

Innovación y Ciencia

VOLUMEN V, Nº 1, 1996

LA REVOLUCION
DE LA
INFORMATICA

TARIFA POSTAL REDUCIDA 769. Precio: \$5.500,00



ESPECIAL

LA CIUDAD DEL FUTURO... HOY HAC

CON CIENCIA

Y TECNOLOGIA

EL CENTRO INTERACTIVO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA, una nueva forma, didáctica y recreativa de enseñar los adelantos científicos y técnicos en un lugar que está destinado a convertirse en modelo de los centros culturales del país y sitio de visita obligada para estudiantes, educadores y turistas.

El futuro ya empezó, y en Ciudad Salitre se hace con ciencia.

Con la promoción de:
ASOCIACION COLOMBIANA
PARA EL AVANCE DE LA
CIENCIA "ACAC".
Y el aporte de:

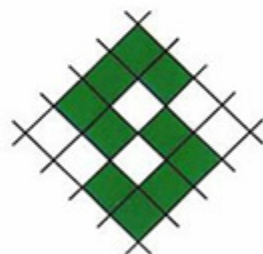
- COLCIENCIAS
- DISTRITO CAPITAL
- GOBIERNO NACIONAL
- SECTOR PRIVADO

Un proyecto de Fiducia
Inmobiliaria Integral

Administrado por:



Filial del BCH

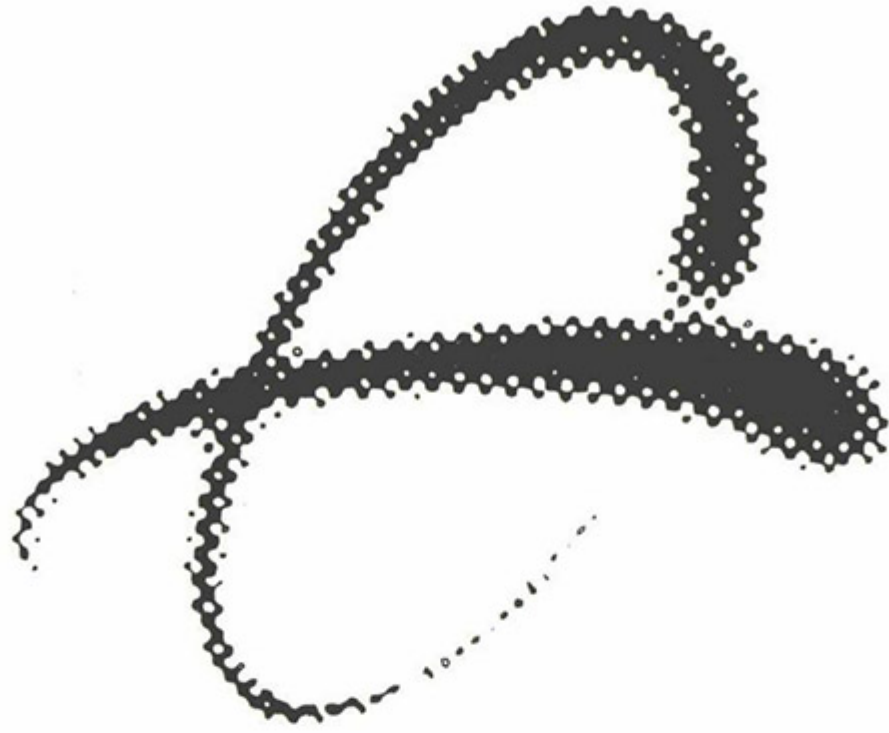


CIUDAD
SALITRE

Un ejemplo a seguir

VIGILADO SUPERINTENDENCIA BANCARIA

CENTRO INTERACTIVO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA



COLCIENCIAS

Esta publicación
ha sido realizada
con la colaboración
financiera de COLCIENCIAS,
entidad cuyo objetivo
es impulsar el desarrollo
científico y tecnológico
de Colombia.



ASOCIACIÓN COLOMBIANA
PARA EL AVANCE DE LA CIENCIA
- A.C.A.C. -

JUNTA DIRECTIVA NACIONAL 1995-1997

PRINCIPALES

Eduardo Posada	Presidente
Guillermo Hoyos	2º Vicepresidente
María Cristina Plazas	Secretaría
Carlos Corredor	Tesorero
Pedro Amaya	Vocal
Gloria Tamayo de Echeverry	Vocal
Paulo Orozco	Vocal

Asociación Colombiana
de Sociedades Científicas
Instituto Colombiano del Petróleo
Centro de Investigaciones Oceanográficas
e Hidrográficas - CIOH

Veedor

Marcelo Riveros

Directora Ejecutiva

Nohora Elizabeth Hoyos T.

Asistente de Dirección

Rosario Martínez

Asesoría Editorial

Mauricio Pérez Gil

Jefe División de Publicaciones

Manuel Cardozo

Revisora Fiscal

Teresa Bonilla

Administradora

María Paulina Rubio

Consejo Editorial Internacional

José Fernando Escobar, Leon Lederman,
Isabel Llano, Rodolfo Llinás, Abdus Salam

Consejo Editorial Nacional

Carlos Corredor, Rodrigo Escobar Navia,
Rodrigo Gutiérrez, Guillermo Hoyos,
Luis Eduardo Mora-Osejo, Antonio Ordóñez-Plaja,
Efraim Otero, Manuel Elkin Patarroyo,
Jorge Rodríguez Arbeláez, Jorge Eliécer Ruiz

Comité Editorial

Nohora Elizabeth Hoyos, Alberto Ospina,
Eduardo Posada, Manuel Cardozo,
Martha Patricia García, Rosario Martínez

Diseño y Producción

Vesalius - Arte y Ciencia Ltda.

Publicidad

Clara López

Fotografía

Photo Images Ltda., Image Bank, SuperStock

Corrección de Estilo

Jorge Iván Cadavid

Digitación de textos

Yenny Yuliett Arias

Pre-prensa Electrónica

Elograf Ltda.

Impresión

Printer Colombiana S.A.

DERECHOS RESERVADOS.

Prohibida su reproducción parcial o total sin
autorización expresa del Consejo Editorial.

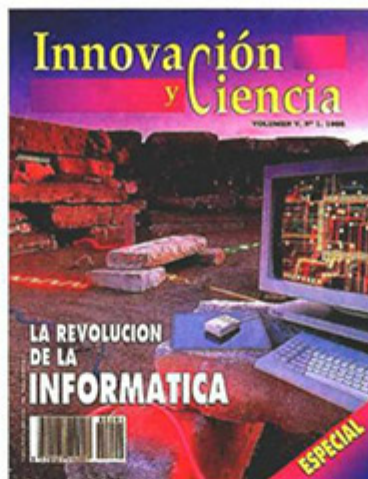
La publicación no es responsable legal
del contenido de la publicidad de la revista.
Resolución Ministerio de Gobierno N° 5447
del 9 de Octubre de 1992. ISSN 0121-5140.

Tarifa Postal Reducida N° 769 de Adpostal
Venc. Dic./96. A.C.A.C. Cra. 50 N° 27-70,
Edificio Camilo Torres, A.A. 92581. Fax: 2216950.
Tels: 2213313 - 2217348 - 2216769.

E-MAIL: acac1@colciencias.gov.co
Santafé de Bogotá - Colombia.

Precio de venta al público \$ 5500.

CONTENIDO



INFORMÁTICA

PORTADA

Los extraordinarios avances de la informática están influyendo en todas las disciplinas de la ciencia y la tecnología y, sin duda alguna, transformarán radicalmente la vida del hombre.

NOTA DEL EDITOR

Presentación

Eduardo Posada F., Nohora Elizabeth Hoyos T.

7

INTRODUCCIÓN

Introducción

Eduardo Sánchez

8

La humanidad enfrenta un nuevo paso en la evolución cultural

Rodolfo Llinás

10

EVOLUCIÓN DEL MATERIAL INFORMÁTICO

Evolución del material informático

Eduardo Sánchez

14

Innovación en microelectrónica

Jordi Aguiló Llobet

22

Multiprocesadores de muy alta potencia

Gerhard Fritsch, Efraim Barbosa

32

Lenguajes y metodologías de programación

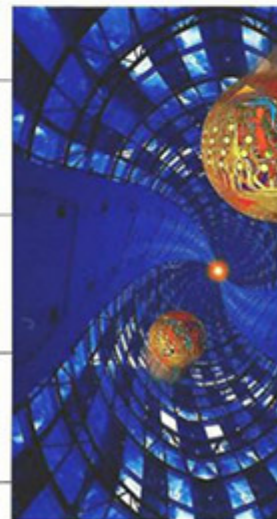
Walter Pineda, Héctor Fabio Restrepo

40

Algoritmos evolutivos

Marco Tomassini

54



Innovación y Ciencia

Volumen V, Nº 1 - 1996



REDES DE COMUNICACIÓN Y AUTOPISTAS DE INFORMACIÓN

Redes de comunicación y autopistas de información
Gonzalo Ulloa

62

El futuro de ATM en las redes informáticas
Jean-Yves LeBoudec

72

Internet es mucho más que el correo electrónico
María Fernanda Trujillo Mendoza

82

DESAFIOS DE LA INFORMÁTICA

Interconexión entre el sistema biológico y el sistema artificial
Rosa Villa, Jordi Aguiló, Elena Valderrama

94

Implantes cocleares
Juan Manuel García G., Augusto Peñaranda S.

104

¡... y el hombre crea los robots...! (Perdone, ¿dijo robots?)
Carlos Moreno

106

La robótica
Álvaro Villa Gálviz

115

Computadores de alto rendimiento y competitividad científica y tecnológica
Gerardo Cisneros S.

116

La odisea de la vida artificial

120

Informática en el tercer milenio
Alfonso Pérez Gama

122

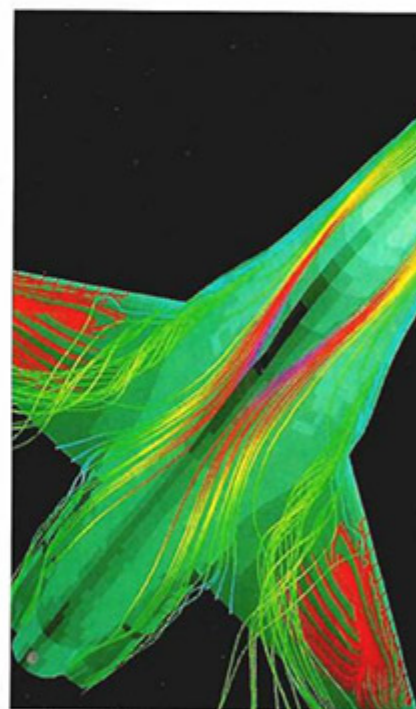
Autoría de aplicaciones en realidad virtual... un reto interesante
Luis Carlos Vargas

130

REVOLUCIÓN DE LA INFORMACIÓN Y ARMONÍA MUNDIAL

Revolución de la información y armonía mundial
Marcelo Alonso

132



ESPECIAL





Promoviendo la investigación científica y tecnológica

Integrando a las comunidades científica, tecnológica y académica

Apoyando la formulación y el desarrollo de una política nacional de ciencia y tecnología

Orientando y fomentando las actividades científicas juveniles

Trabajamos por el Desarrollo de Colombia



ASOCIACION COLOMBIANA
PARA EL AVANCE DE LA CIENCIA
A.C.A.C.



Presentación

Gracias a los descubrimientos hechos por la física a finales del siglo pasado, que sirvieron de base a la invención del tubo de radio y, por tanto, a la aparición de los primeros amplificadores electrónicos, surgieron en las primeras décadas de esta centuria numerosísimas aplicaciones que ni el mismo Julio Verne habría osado imaginar: desde la telegrafía inalámbrica hasta la radio o la televisión, pasando por los más corrientes instrumentos de medición o de uso médico, fueron posibles merced a un invento al parecer tan simple.

Sin embargo, la aplicación más espectacular de todas, hija de la mente brillante de John von Neumann, es sin lugar a dudas el computador, cuya primera versión electrónica nació hacia finales de los años cuarenta, casi al mismo tiempo que el dispositivo que haría posible su posterior desarrollo vertiginoso: el transistor.

Es interesante destacar que el computador, y por consiguiente toda la moderna informática, son frutos directos de la investigación básica, lo cual ilustra claramente la enorme importancia de esta última como verdadero motor del desarrollo tecnológico.

Una gran distancia separa al *Eniac*, primer computador de tubos de hace 50 años, de nuestro omnipresente microprocesador y de su producto más notable, el computador personal. Gracias a los casi increíbles avances en la miniaturización, hoy es posible colocar varios millones de transistores en una sola pastilla de silicio y efectuar operaciones a enormes velocidades, sin que hasta ahora se entrevea un límite claro a ese desarrollo, cuando ya se habla de nanotecnología o de electrónica molecular o cuántica.


La importancia de este tema es fundamental no sólo para Colombia sino para la sociedad en general, dado que si bien la informática dista aún mucho de haberse generalizado, su impacto ha sido gigantesco. Tanto a causa de la automatización y de su impacto en la estructura del mundo del trabajo, como de las posibilidades de información y comunicación entre los seres humanos, casi sin restricciones ni controles, la sociedad está cambiando de manera profunda y casi sin que nos demos cuenta, razón por la cual algunos se han atrevido a comparar el impacto de la informática con el de la invención de la imprenta.

Conscientes de la importancia de este tema, hemos querido dedicar el presente número especial a los desarrollos recientes en este campo, para lo cual hemos logrado la colaboración de un notable grupo de autores, en su mayoría de habla hispana, bajo la coordinación editorial del profesor Eduardo Sánchez, uno de los mejores especialistas colombianos en el tema. A todos ellos queremos expresar nuestra gratitud por haber hecho posible ofrecer a nuestros lectores un compendio de gran actualidad que, sin lugar a dudas, se convertirá en obra de referencia para todos.

**Eduardo Posada F.
Nohora Elizabeth Hoyos T.**



Introducción



La informática se ha convertido en una herramienta básica para casi todas las actividades industriales de este fin de siglo. Y después de revolucionar la producción, la unión de la informática con las telecomunicaciones (especialmente uno de los retoños de esta unión, las ya famosas «autopistas de la información») tiene la posibilidad de extender esta revolución a la esfera cultural.

Una de las características fundamentales de estos cambios es la velocidad con que ocurren: en menos de una generación ha habido transformaciones en todos los niveles, lo que dificulta la comprensión de tales fenómenos a la mayoría de las personas implicadas. Esta edición especial de **Innovación y Ciencia** pretende cubrir modestamente algunos de estos vacíos, tratando de explicar con claridad, pero sin simplificaciones abusivas, algunos aspectos clave de la informática actual. Por supuesto, muchos temas han quedado por fuera (reivindico completamente la subjetividad de la selección) y algunos no están del todo actualizados, ya que el largo tiempo de preparación de los artículos, con los retardos inevitables debidos a las ocupaciones de los autores, es a veces suficiente para pasar por alto algunos detalles. No obstante, esperamos brindar al «hombre de la calle» una imagen fiel de las tendencias de la informática actual.

Consciente de la dificultad de la tarea, acepté la invitación para coordinar este número, únicamente después de haber logrado la colaboración de un excelente grupo de expertos, que aceptaron robar un poco de tiempo a sus sobrecargados horarios de trabajo para explicar en términos no técnicos sus actividades de investigación. Sobre ellos recaen todos los méritos que usted, amable lector, pueda encontrar en los artículos que siguen; de nuevo, mil gracias a todos.

Felicito además a todo el equipo de **Innovación y Ciencia** por los esfuerzos enormes, quijotescos, de llevar adelante esta tarea de divulgación científica de calidad, sin concesiones en el nivel del contenido ni en la belleza de la forma.

Eduardo Sánchez
École Polytechnique Fédérale
de Lausanne (Suiza)



IMPORTANTE. (NO IMPORTADO)



Un automóvil importante, no tiene por qué ser importado. Aquí también lo sabemos hacer tan bien o mejor que afuera. Con todo lo que esto conlleva: disponibilidad de repuestos y accesorios, servicio garantizado, impulso a la industria nacional, creación de puestos de trabajo y el orgullo de saber que lo que hacemos, lo hacemos bien.

Y ahora, ¿Qué le importa más en un automóvil, que sea importado o importante? La respuesta la tiene usted. Y eso es lo que importa.

MAZDA
626
MATSURI

mazda
En el camino de la civilización

La humanidad enfrenta un paso en la evolución cultural

A cogiendo la amable invitación de la doctora Nohora Elizabeth Hoyos a escribir "algunas palabras" para un número de la revista **Innovación y Ciencia** dedicado a la "telaraña mundial de las comunicaciones", acepté hacerlo ya que considero una buena idea examinar las implicaciones increíblemente profundas de esta nueva «conectividad».

Tal vez, como nunca antes en la historia de la humanidad, enfrentamos hoy un acontecimiento profundamente significativo: la casi instantánea comunicación entre millones de individuos a lo largo y ancho del planeta Tierra. No hay razón para dudar de que en las próximas décadas este sistema de comunicación estará al alcance de un alto porcentaje de los seres humanos. Si esto se realiza, las implicaciones políticas, económicas y culturales de esta «conectividad» deben ser consideradas y *tienen aún que ser comprendidas*.

En mi concepto, la telaraña mundial (world-wide web, o WWW) puede tener implicaciones que se asemejen a la «supernova» aparecida en la biología cuando el sistema nervioso evolucionó, hace cerca de 600 millones de años. Antes de esa época, células individuales podían agruparse para formar colonias simples, pero no podían producir verdaderos animales, ni siquiera los más primitivos. Sin duda, las limitaciones causadas por la baja velocidad de comunicación entre las células, determinada básicamente por la tasa de difusión de solutos en el agua, limitaba el nivel de interacciones que un grupo de células podía tener, al intentar formar un «animal completo». Por otra parte, tan pronto como surgió una rápida «conectividad» a través de las muy especializadas células nerviosas, aparecieron

con gran rapidez, si no todas, la mayoría de las especies animales que hoy conocemos. El sistema nervioso permite la amalgama de elementos celulares individuales en las entidades globales que conocemos como «animales». Sobra decir que el sistema nervioso fue necesario para tal globalización.

Si hacemos ahora una analogía un poco extraña entre seres humanos individuales y células individuales (antes de que los «animales» evolucionaran), podemos considerar que socialmente estamos en una encrucijada, en la cual, como individuos, nos comunicamos muy lentamente con los demás utilizando la voz, el cuerpo y el lenguaje escrito, pero nos vemos restringidos por la propiedad espacio-temporal de la matriz en la cual vivimos. Ahora, y de una manera bastante repentina a la escala de la evolución, podemos comunicarnos en forma masiva (en el espacio) y casi instantáneamente (dadas las limitaciones de la electrónica). En este momento, el cuello de botella lo constituye la velocidad de procesamiento del cerebro mismo. Estamos, creo yo, asistiendo al surgimiento de una nueva propiedad social que se parece, a nivel de los sistemas, al desarrollo del cerebro, con respecto a los grupos de células. Este asunto se proyecta, por tanto, no solamente a la economía, la política y la cultura, sino más allá, puesto que podemos tener que enfrentar un orden social diferente, un tipo de «seudoconciencia colectiva». La llamo una seudoconciencia ya que no tiene, y no puede tener con la electrónica actual, acceso directo a nuestro cerebro, lo cual limita el nivel de colectivización a lo que generalmente se denomina «opinión pública», sólo que mucho más fuerte que cualquier cosa que hayamos visto hasta ahora. Los seres

nuevo

humanos somos extraordinariamente sensibles a la presión de nuestros pares, y, siendo profundamente sociales, podemos ser influenciados con mucha facilidad por la regla de la mayoría, es decir, por esa opinión pública, no tanto a causa de la habilidad que otras personas pueden tener de «forzarnos» en alguna forma, sino más bien debido a las propiedades *persuasivas* que los seres humanos tienen sobre los demás. Sin lugar a dudas, la cuestión de los medios masivos de comunicación preocupó a muchos al comienzo de este siglo y se volvió especialmente aguda luego de la introducción de la televisión y, más recientemente, de la realidad virtual. En todo lo anterior, sin embargo, el individuo no participó en el conflicto; se podía ser un observador pasivo que no podía estar fácilmente en el mismo escenario con la gente que intentaba venderle un jabón o cambiarle sus puntos de vista sobre sus valores o creencias personales. Con la WWW *todos nos volvemos jugadores* que pueden ser presas o predadores. Somos elementos activos en las ecuaciones, no simples espectadores.

¿Qué debemos, por tanto, hacer ante la increíble posibilidad de poder comunicarnos repentinamente con otros individuos a una escala masiva? Yo, por mi parte, siempre siento que es mucho más lo que se puede ganar que lo que se puede perder cuando se incrementa la disponibilidad de la educación y la información. No obstante, como ocurre con cualquier medio masivo de comunicación (y es claro que con éste más que con cualquier otro), uno debe usar la WWW, pero hacerlo con cuidado. De lo contrario, la víctima puede ser nuestra individualidad. Si se utiliza adecuadamente, podremos ser capaces de ejercitar de una manera mucho más fructífera y abierta los poderes de la libre expresión y del diálogo.

Sin embargo, una cosa es segura en ese nuevo mundo que se nos viene encima a tal velocidad: necesitamos un alto nivel de educación y una fibra moral sólida. Sin duda, los poderes del individuo están a punto de ser incrementados en cierto sentido y seriamente limitados en otro; lo primero, por la posibilidad de ser escuchados; lo segundo, por la habilidad que el sistema tendrá de cuestionar y «corregir» todo lo que se diga. En último análi-

sis, como lo dije anteriormente, uno puede imaginar que el sistema social evolucione en algo un poco similar a nuestro cerebro, en el cual muchos pensamientos y acciones se combaten por sobre la conciencia y los actos. Podemos estar también ante el surgimiento de una posibilidad diferente. De nuevo, como ocurre en nuestros cerebros, los humanos podríamos alcanzar, a través de la WWW, un nivel de conciencia humana que nos haga recordar lo similares que somos entre nosotros, y cómo, según lo previeron los filósofos del pasado, nos podemos estar moviendo hacia un mundo de «e pluribus unum». Esto último sería maravilloso, pero sólo el tiempo nos dirá si el sistema evolucionará en esa dirección o en alguna de las muchas otras posibles que esta nueva apertura permite.

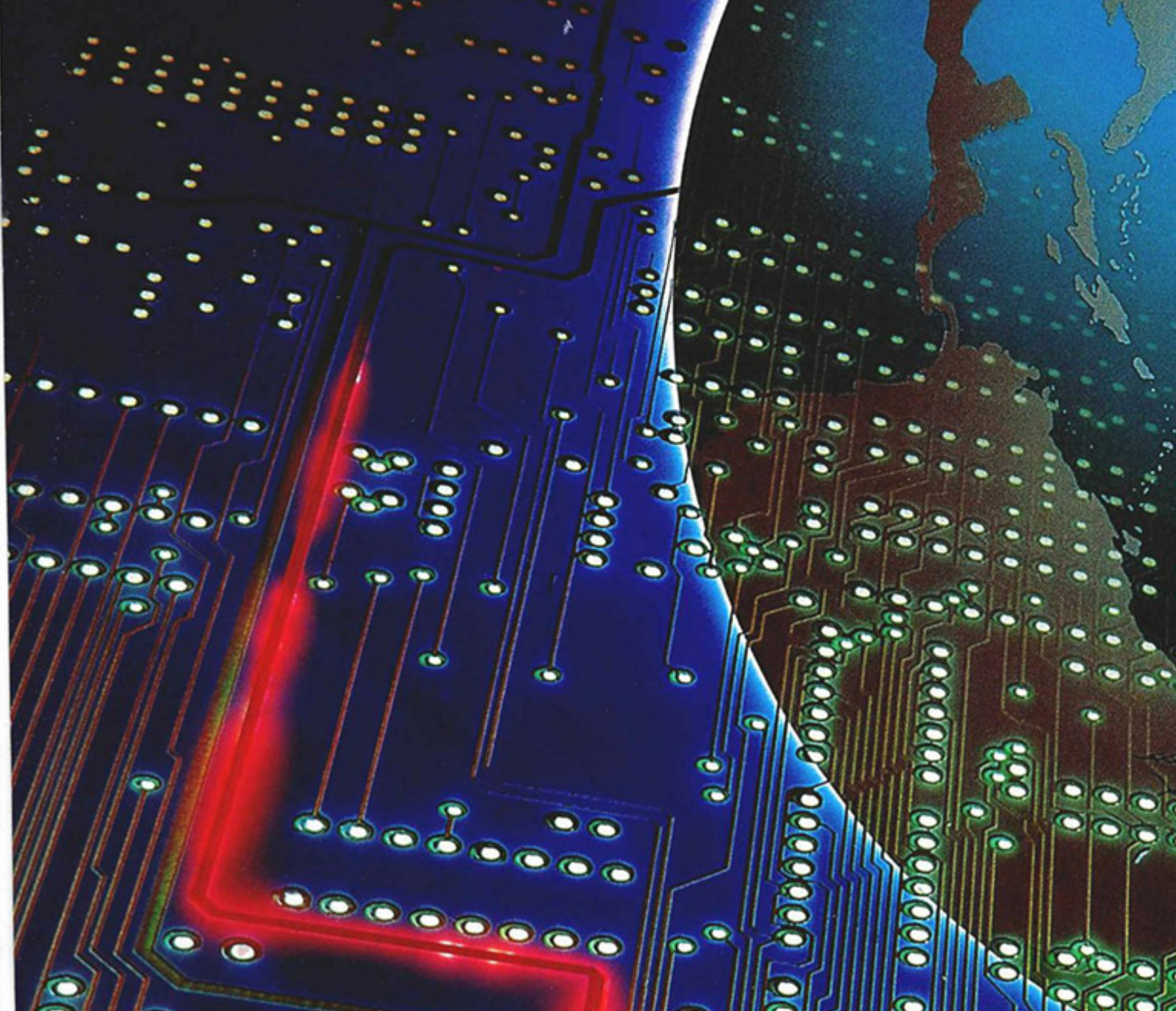
Desde un punto de vista diferente, el de la educación computarizada y la utilidad de las redes, este tema no necesita muchos comentarios. Esas son las herramientas del futuro y el futuro comienza hoy. Al estar personalmente involucrado en el desarrollo en Colombia de un programa general para la globalización de la enseñanza, que he llamado «cosmología», mi posición es evidente. Si bien los libros son herramientas importantes para la enseñanza, los computadores y las redes (libros vivos) lo son aún más. Sin embargo, recordemos que son y deben ser siempre sólo herramientas, que no piensan por nosotros; son ayudas para el pensamiento, pero nunca el pensamiento mismo.

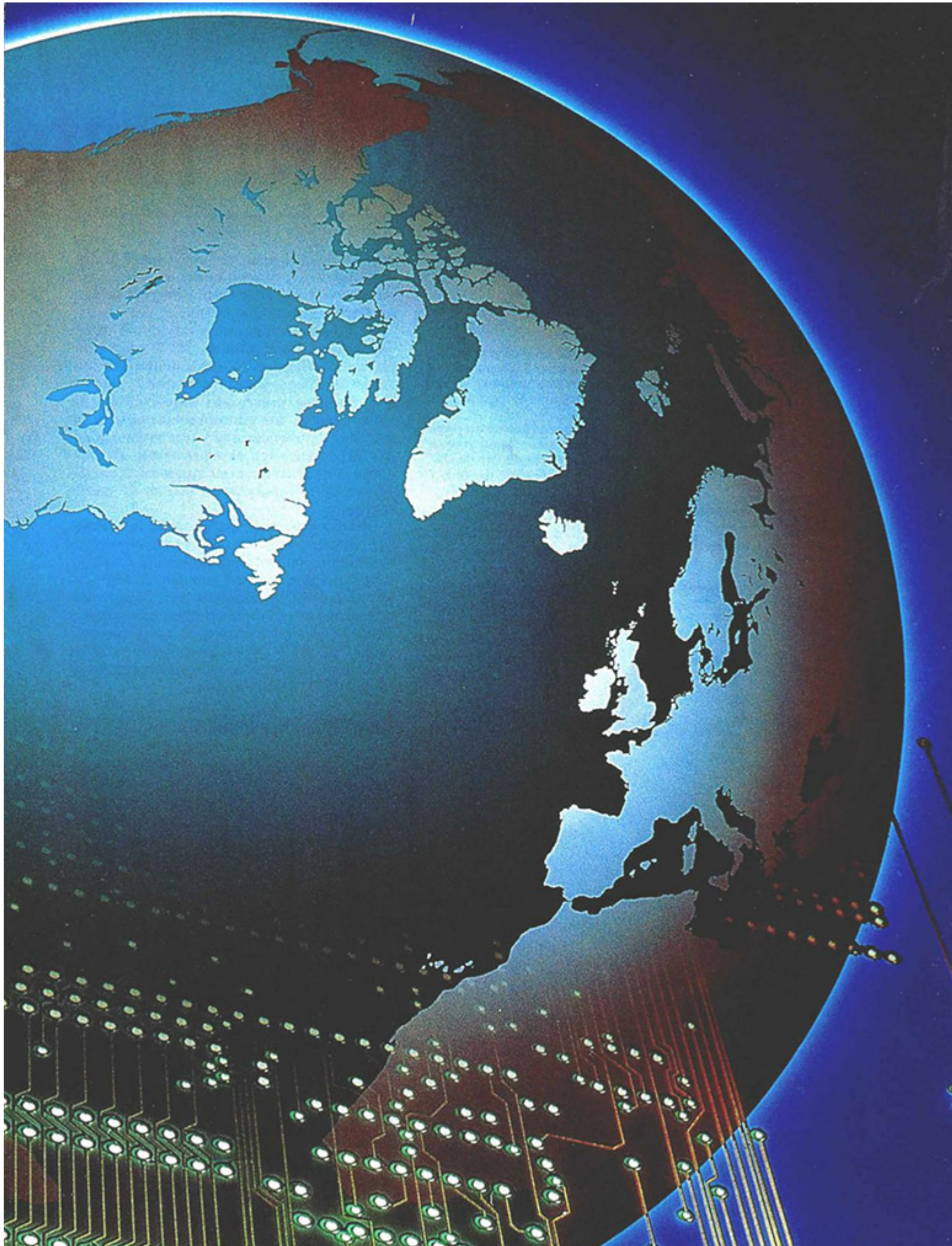
Rodolfo Llinás

Profesor y Jefe del Departamento de Biofísica y Neurociencias de la Escuela de Medicina de la Universidad de Nueva York. Jefe del Equipo Científico de Neurolab - NASA.



Evolución del material informático





Evolución del mate

Eduardo Sánchez
École Polytechnique Fédérale
de Lausanne (Suiza)

"Pienso que existe un mercado mundial para unos 5 computadores".

Thomas J. Watson Sr., fundador de IBM, luego de la Segunda Guerra Mundial

"No hay ninguna razón para poseer un computador en la casa".

Kenneth Olsen, presidente de DEC, al final de los años 70

En muy pocos años la realidad ha desmentido cruelmente las predicciones de dos personajes influyentes, conocedores y altos responsables de la informática en el mundo. Y la evolución ha sido tan rápida que nadie les puede tirar la primera piedra: toda predicción en este campo ha pecado siempre por modestia.

Citemos dos ejemplos de esta evolución:

* Una estación de trabajo (*workstation*), computador al alcance de un buen laboratorio universitario, posee en



la actualidad una mejor *performance* (o desempeño) de cálculo con números enteros que un supercomputador Cray Y-MP de 1988, a una décima parte del precio.

* El primer microprocesador, el 4004, fue realizado por Intel en 1971, para reemplazar 12 circuitos en una calculadora programable. Tenía 2300 transistores. Para el año 2000 se prevé, sin mayor riesgo de equivocación, un microprocesador con 50 millones de transistores y una memoria capaz de almacenar el equivalente de 500 libros. Y de encontrar cualquier información dentro de la memoria en menos de medio segundo.

Estos progresos del material informático —esencialmente los tres componentes de base de un computador: procesador, memorias y dispositivos de entrada/salida— se explican por los progresos tecnológicos (fabricación de circuitos integrados cada vez más pequeños y complejos) y las mejoras arquitecturales en los procesadores. Este artículo tratará de dar una visión rápida de cada uno de estos campos.

Progresos tecnológicos

Los progresos de la microelectrónica, tecnología de fabricación de los circuitos básicos de cualquier material informático, se visualizan de cuatro maneras: los circuitos son cada vez más pequeños, menos caros, más rápidos y más complejos funcionalmente. Como es lógico, la disminución del tamaño de los circuitos explica los otros factores.

El primer paso importante se dio en los años 50, con la invención del transistor y la desaparición consecuente del tubo de vacío, elemento grande y consumidor de energía, propenso además a fallas repetitivas. Si se quisiera hoy fabricar un computador actual con tubos de vacío, su tamaño sería equivalente al Astrodome de Houston y se

Figura 1.
La arquitectura de un procesador ha sufrido pocas modificaciones desde los trabajos pioneros de John von Neumann.

rial informático

necesitaria toda el agua del golfo de México para enfriarlo. Y este esfuerzo sería completamente inútil: el tiempo promedio entre dos fallas sería inferior al tiempo necesario para realizar cualquier operación.

Desde la invención del transistor, la disminución de su tamaño ha sido permanente; la densidad de los transistores en un circuito integrado (cantidad de transistores en un área determinada) se multiplica por 4 cada tres años, lo cual representa un incremento anual del 50%. Actualmente existen circuitos experimentales fabricados con líneas de interconexión que miden 0.1 micras de ancho (¡una diezmillonésima parte de un metro!), dimensión invisible al microscopio óptico y equivalente a la de los virus (**figura 2**). Y el Pentium, microprocesador de los computadores compatibles IBM, es fabricado comercialmente con dimensiones de 0.35 micras.

Esta disminución de tamaño del transistor trajo como consecuencia directa el aumento del número de transistores que se podían fabricar en una superficie dada de silicio (material de base para la fabricación de los circuitos integrados). Y, por tanto, el incremento de la complejidad funcional de dichos circuitos.

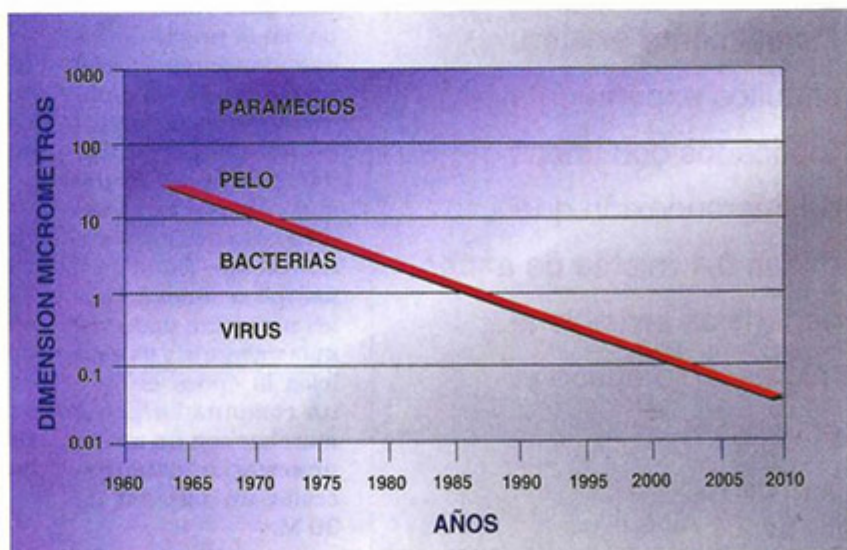
Gordon Moore, un importante dirigente de Intel, ha expresado esta evolución por medio de una ley empírica que lleva su nombre: cualquier parámetro tecnológico de fabricación de transistores (tamaño, costo, velocidad, número de transistores por circuito, etc.), colocado en una escala logarítmica, produce una línea recta cuando se lo grafica en función del tiempo.

Figura 2. Producción de circuitos de interconexión de acuerdo con el tamaño.

Una ilustración de la ley de Moore está dada por la **figura 3**, donde se ve el número de transistores de los procesadores fabricados por Intel en función del tiempo, desde el pionero 4004 hasta el más reciente Pentium Pro (o P6). Este último procesador, aún no disponible en serie, es un caso interesante porque parece violar por primera vez la ley, al utilizar un número de transistores que se predecía únicamente para el año 2000. Esto puede explicarse por el hecho de que el Pentium Pro está compuesto en realidad por dos circuitos integrados juntos: un procesador (o CPU, en inglés, *central processing unit*) y una memoria. El número de transistores del solo procesador se presenta en realidad ligeramente por debajo de la línea prevista por Moore.

Por supuesto, el tamaño de las memorias ha evolucionado de manera equivalente, como puede verse en la **figura 4**.

La disminución del precio de los circuitos se explica fácilmente por el proceso de fabricación de los circuitos integrados: cada circuito integrado no se fabrica de manera aislada, sino que hace parte de una gran pastilla de silicio (*wafers*), de 20 centímetros de diámetro (**figura 5**). Como el costo de fabricación de cada pastilla es idéntico, el costo de cada circuito (*die*) será menor si el número de circuitos por pastilla es mayor, o, lo que es lo mismo, si el tamaño de cada



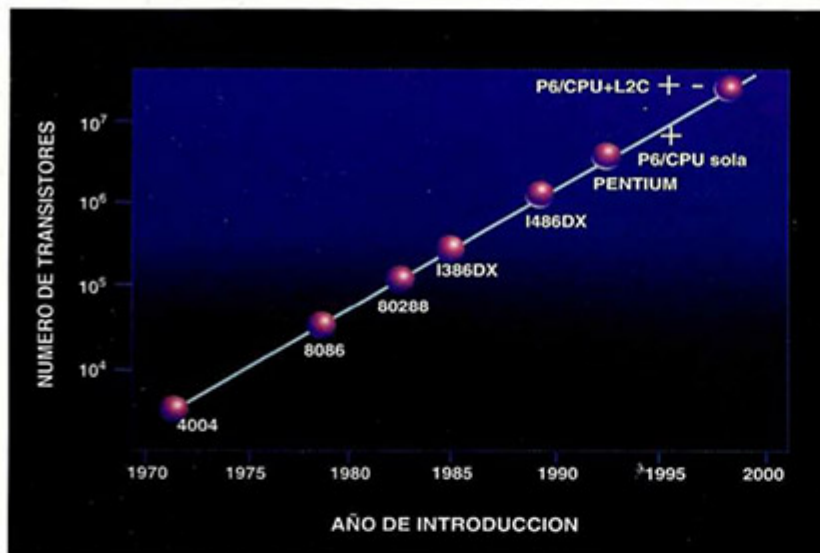


Figura 3. Número de transistores en los procesadores Intel, en función del tiempo.

circuito es inferior. Otro factor que explica el aumento de costos con el aumento del área del circuito es el rendimiento (*yield*), o número de circuitos correctos por pastilla: como el número de defectos de fabricación es estadísticamente equivalente por pastilla, la probabilidad de encontrar un circuito defectuoso es mayor entre más grande sea su área.

Es así que una memoria de 1 M (1 mega o 1 millón de bits, donde 8 bits son necesarios para representar y almacenar un carácter, por ejemplo) costaba 5000 dólares en 1977, en tanto que hoy en día cuesta 6 dólares.

La baja de precio de los circuitos integrados ha producido una disminución global en el precio de los computadores. Pero el precio de las memorias sigue representando un alto porcentaje del precio total del computador: cerca del 40% para una estación de trabajo. En efecto, las aplicaciones actuales necesitan cada vez más memoria y ya está lejos la época en que un computador podía marchar con un mega; una estación actual necesita un mínimo de 36 M.

Progresos en la arquitectura de los procesadores

Un computador es una máquina de tratamiento de información. La información puede ser de cualquier tipo (numérica, simbólica, etc.), y la única condición es que su codificación se haga en números binarios (por ejemplo, el carácter A se representa por los 8 bits 01000001). El tratamiento hecho por el computador depende del tipo de información: cálculo científico, diagramación de un libro, etc.

La información se introduce en el computador por medio de dispositivos de entrada (teclado, ratón) y se entrega al usuario mediante dispositivos de salida (monitor, discos de almacenamiento). Normalmente almacenada en dispositivos de memoria (discos duros, memoria RAM, floppies), la información es tratada por el procesador, verdadero cerebro del computador.

La arquitectura de un procesador ha sufrido pocas modificaciones desde los trabajos pioneros de los 40 años, en lo que constituye la llamada arquitectura de Von Neumann, por el nombre del matemático húngaro que resumió en un memo interno de Princeton los principios de lo que sería el primer computador.

El aumento en la *performance* de los computadores ha sido causada en esencia por los progresos tecnológicos vistos en la sección anterior. Sin embargo, esta situación ha cambiado radicalmente en los últimos 15 años con la aparición de las arquitecturas RISC (*Reduced Instruction Set Computer*). Para entender esta revolución, definamos primero formalmente lo que es la *performance* de un computador.

La *performance* de un computador es una indicación de su rapidez para realizar un determinado tratamiento de información, es decir, del tiempo necesario para ejecutar cierto programa: entre más corto sea ese tiempo, mejor será la *performance* del computador. Por supuesto, este tiempo depende de la aplicación. Suponiendo que se dispone de una aplicación genérica, el tiempo que necesita un procesador para ejecutarla es:

$$T = 1/P = Ni \neq Ci \neq H$$

▶ Actualmente existen circuitos experimentales fabricados con líneas de interconexión que miden 0.1 micras de ancho, dimensión invisible al microscopio óptico y equivalente a la de los virus.

Evolución del material informático

donde:

- T: tiempo de ejecución de un programa.
 P: *performance* del procesador.
 Ni: cantidad de instrucciones ejecutadas por el procesador. Un programa es ejecutado por una serie de instrucciones de base del procesador, llamadas instrucciones de ensamblador o instrucciones de máquina. En general, los programas son escritos mediante instrucciones menos simples, con lenguajes llamados de alto nivel, como Basic, Pascal, C, etc. Un programa denominado compilador traduce el programa de alto nivel a instrucciones de ensamblador, únicas entendidas por el procesador.
 Ci: períodos de reloj por instrucción. Todas las operaciones internas del procesador están sincronizadas con una señal de reloj; la frecuencia de este reloj es lo que se llama la frecuencia del procesador, dada por lo general en megahertz, Mhz, o millones de ciclos por segundo. Cada instrucción de ensamblador necesita varios ciclos, o períodos, de reloj para ejecutarse.
 H: periodo de la señal de reloj. Es el inverso de la frecuencia de reloj del procesador. A título de ejemplo, actualmente existen procesadores que marchan a 300 Mhz, es

decir, realizan 300 millones de operaciones simples en un segundo, o una suma cada 30 nanosegundos (y téngase en cuenta que hay tantos nanosegundos en un segundo como segundos en 32 años!).

Si un fabricante de procesadores, Intel, Motorola o IBM, por ejemplo, deseara fabricar el mejor procesador, aquel con la mejor *performance*, sería entonces muy simple: bastaría con minimizar los tres parámetros de la fórmula anterior, Ni, Ci y H. El problema, como veremos en seguida, es que estos parámetros no son independientes entre sí y, peor aún, que ellos son contrarios: la optimización de uno conduce al deterioro del otro.

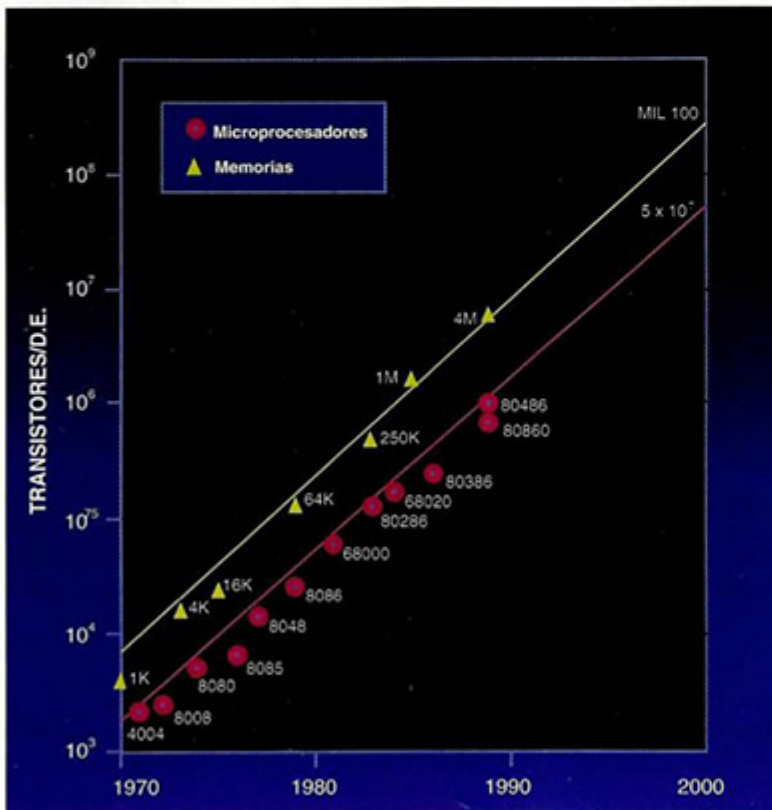
En efecto, si colocamos aparte el período de reloj, que depende en gran medida de la tecnología de fabricación del procesador, los otros dos parámetros dependen de la organización del procesador, de su arquitectura, y están estrechamente relacionados. Por ejemplo, una disminución del número de instrucciones sólo se puede lograr gracias a una complejidad elevada de las instrucciones. Y esta complejidad superior conduce inevitablemente a una ejecución más larga, con mayor número de ciclos de reloj por instrucción.

Tomemos el caso de la multiplicación: ciertos procesadores poseen una instrucción especial para esta operación, mientras que otros, más simples, la realizan como una secuencia de sumas. El primer procesador tendría un mejor Ni, pero el segundo tendría un mejor Ci: varias instrucciones de suma reemplazarían una sola de multiplicación, pero esta última sería más larga que cada instrucción suma.

Confrontados a este dilema, los primeros diseñadores de procesadores le dieron prioridad a la optimización del tamaño de los programas; de esta manera también contribuían a una disminución del precio del computador, puesto que las memorias serían igualmente más pequeñas. Ejemplos de este tipo de arquitectura, llamada CISC (*Complex Instruction Set Computer*), son los procesadores de la familia Intel x86 (el último de los cuales es el Pentium) y Motorola 68000.

A comienzos de los años 80, David Patterson, profesor de informática de la Universidad de Berkeley en California, propuso lo que se consideró en la época como una revolución: olvidar el tamaño de los progra-

Figura 4.



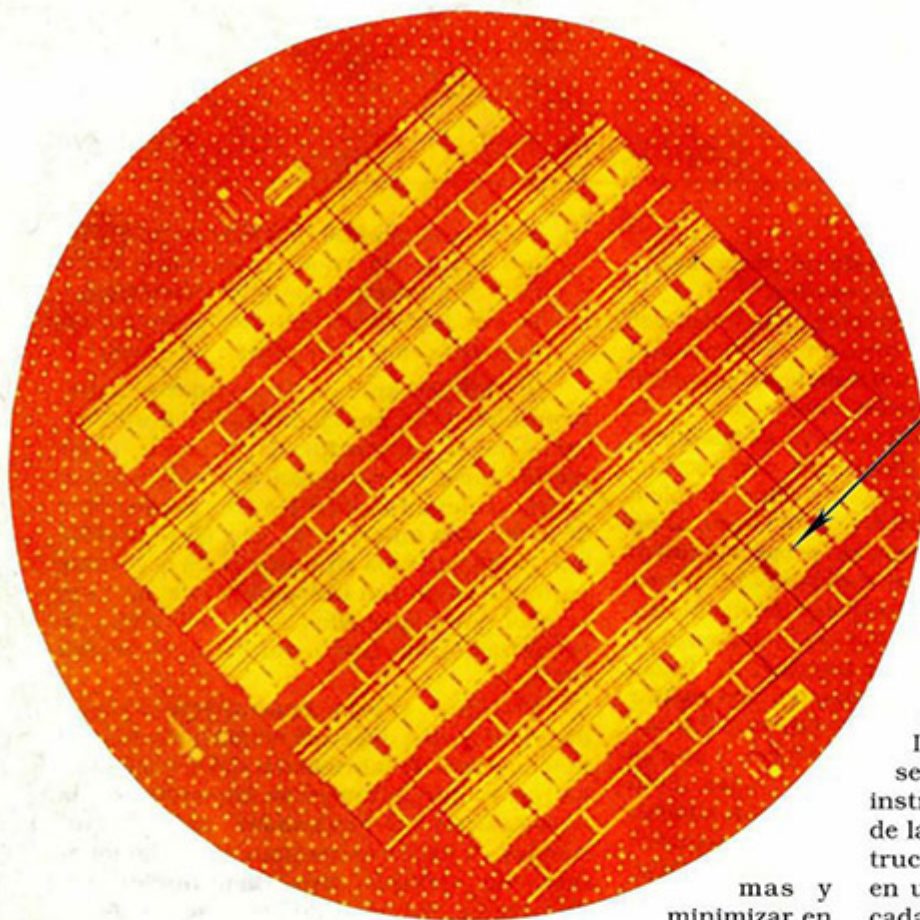


Figura 5.
Un wafer
(pastilla de
silicio) contiene
múltiples
circuitos
integrados en su
interior.

Circuito integrado (die)
(63 Pentium, 200 PPC601)

mas y
minimizar en
cambio el número
de ciclos por instrucción.

Es decir, realizar procesadores con instrucciones tan simples que se puedan ejecutar cada una en un ciclo de reloj. Estas son las arquitecturas RISC (*Reduced Instruction Set Architectures*), predominantes actualmente en el campo de las estaciones de trabajo (procesador Alpha de DEC, MIPS de Silicon Graphics, PA de Hewlett-Packard, SPARC de Sun y Power PC del consorcio Apple-IBM-Motorola).

La ejecución de una instrucción de máquina necesita por lo menos tres ciclos de reloj: uno para buscar la instrucción en la memoria (*fetch*), otro para identificarla (*decode*) y por último uno para ejecutarla (*execute*). Alcanzar la meta RISC, una instrucción por ciclo, implica entonces técnicas especiales. Las dos más utilizadas actualmente son el *pipelining* y el *superscalar*.

La técnica del *pipelining* es similar al proceso de fabricación de automóviles inventado por Ford y ridiculizado por Chaplin: el auto en proceso de fabricación circula a lo largo de una cadena de obreros especializados. Mientras que el tiempo de fabricación no es inferior al tiempo necesitado por un solo obrero, el tiempo entre dos automóviles es ahora inferior, e igual al tiempo más largo necesitado por un obrero especializado en la cadena. En el caso de los procesadores, la

ejecución de cada instrucción se divide en varias fases independientes, realizada cada una por elementos separados del procesador (cinco fases en el ejemplo de la **figura 6**). Al final de la primera fase de la instrucción I, puede comenzar la ejecución de la segunda fase de I y de la primera de la instrucción I + 1. A partir de la quinta fase de la primera instrucción, habrá cinco instrucciones ejecutadas al tiempo, cada una en una fase diferente. Y a partir de allí, a cada ciclo de reloj habrá una nueva instrucción ejecutada; se tendrá entonces el resultado buscado de una instrucción por ciclo.

A este paralelismo incompleto, la técnica del *superscalar* opone un paralelismo real. En este caso el procesador posee suficientes elementos para ejecutar varias instrucciones al tiempo, en un paralelismo real (se tienen, por ejemplo, dos sumadores separados).

Por supuesto, las ventajas del *pipelining* y del *superscalar* se acompañan de inconvenientes. En ambos casos la complejidad del compilador es más grande que para un procesador del tipo CISC convencional. Y el paralelismo introducido en ambos casos hace mucho más difícil la prueba y el desarrollo de los programas (*debugging*).

Por otra parte, es bastante difícil conciliar ambas técnicas en un mismo procesador. Es así como el *pipelining* es privilegiado en los procesadores Alpha, MIPS y PA, mientras que el *superscalar* lo es en SPARC y Power PC.

El uso de estas técnicas no es exclusivo de los procesadores RISC. El Pentium, por ejemplo, posee el *pipelining* y un cierto paralelismo *superscalar*. Sin embargo, el costo de implementación es mucho más grande en el caso de los procesadores CISC (un procesador CISC necesita en general más transistores que un RISC con *performances* equivalentes, lo cual lo hace más costoso).

Evaluación de la *performance* de un computador

La aplicación de la fórmula vista en la sección anterior implica la aceptación de un programa tipo, unidad de comparación para todo tipo de computador (programa llamado *benchmark* en inglés). Ante la imposibilidad de llegar a un acuerdo de tales características, los principales fabricantes escogieron dos conjuntos de programas, uno para cálculos con enteros y otro con números reales; el tiempo promedio de ejecución de esos programas es entonces utilizado como unidad de medida. Se fundó una asociación llamada SPEC (Standard Performance Evaluation Corporation), que se encarga de controlar los resultados y publicarlos regularmente.

El conjunto de programas ha sido definido tres veces, en 1989, 1992 y 1995, para tratar de evitar las posibles optimizaciones aportadas por compiladores especialmente dedicados a la traducción de esos programas (John Mashey, arquitecto de MIPS, ha dicho: "los benchmarks no hacen trampa; pero los tramposos hacen benchmarks"). Los últimos resultados publicados para SPEC95 se resumen en la **tabla 1**.

Como puede verse en la tabla, el único procesador CISC, el Pentium, presenta una *performance* en números enteros equivalente a la de los otros procesadores, mientras que la diferencia es mucho más grande en los cálculos en números reales (*floating point* o *fp*). Esto se explica por el mercado diferente de ambos tipos de procesadores: los com-

	FRECUENCIA (Mhz)	SPECint95	SPECfp95
Alpha 21164	300	7.3	11.6
Power PC 604	133	4.45	3.31
HP PA7200	120	4.37	7.54
Alpha 21064A	275	4.24	6.29
HP PA7150	125	4.04	4.55
IBM Power 2	77	3.67	11.2
Pentium	133	3.64	2.37
SuperSPARC 2	75	2.46	2.14
Power PC 601	80	2.37	2.97

Tabla 1.

putadores personales para el Pentium y las estaciones de trabajo para los RISC.

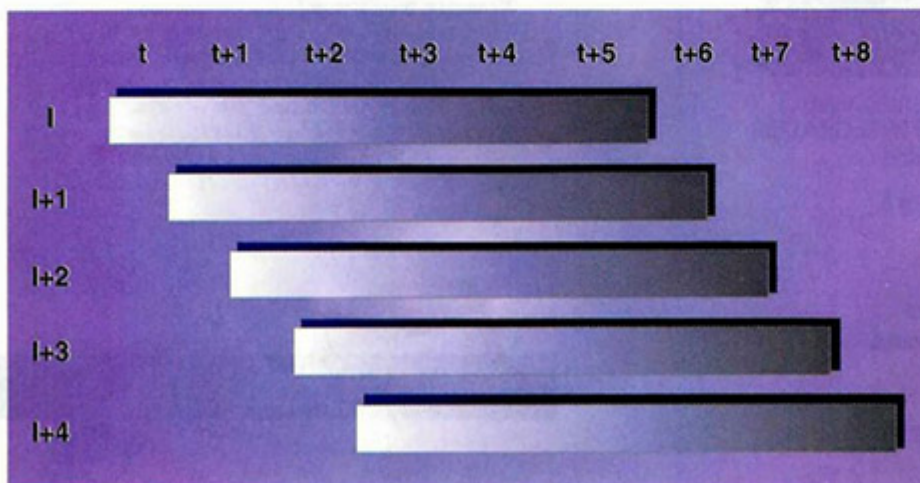
El estándar SPEC95 es muy reciente y la mayoría de los fabricantes continúan utilizando el SPEC92. Y en todos los casos la medida de *performance* en unidades SPEC ha vuelto completamente obsoleta una anterior unidad de medida: los *mips* o millones de instrucciones por segundo (que no se debe confundir con MIPS, el nombre de un procesador RISC fabricado por Silicon Graphics). En realidad, comparar la cantidad de instrucciones ejecutadas por computadores de arquitecturas diferentes era como comparar peras y manzanas, de manera que muy pronto se abandonó este concepto, aunque se siguió utilizando la unidad. Un *mips* era entonces la *performance* de un computador VAX 11/780, el minicomputador más popular de los años 80, y todas las *performances* se medían en relación con ésta. Cuando se adoptó el estándar SPEC, se tomó de nuevo como referencia el VAX 11/780. Pero el nuevo estándar, el SPEC95, ha cambiado el VAX por una SparcStation 2.

Cuando se adoptó el estándar SPEC, se tomó de nuevo como referencia el VAX 11/780. Pero el nuevo estándar, el SPEC95, ha cambiado el VAX por una SparcStation 2.

Futuro

Como dijimos al comienzo, toda predicción en informática presenta enormes riesgos de error; especialmente si se hacen a largo plazo. Sin embargo, para un futuro cercano se puede prever un aumento del paralelismo, tanto a nivel interno del procesador como a nivel externo.

Figura 6.
Técnica del pipelining.



TECNOLOGIA AL SERVICIO DE SU CARTERA



Con una completa infraestructura tecnológica y un equipo altamente profesional, **COVINOC - COBRANZAS INTEGRALES**, le ofrece un portafolio de servicios que le garantiza:

- Recuperación oportuna de su cartera.
- Información y retroalimentación del proceso en línea.
- Resultados de recaudos e informes operativos de gestión sistematizados.

COVINOC®
COBRANZAS INTEGRALES

EDIFICIO COVINOC Calle 19 No. 7-48 Piso 8
Conmutador 342 0011 Fax: (91) 286 2239 Santafé de Bogotá, D.C.

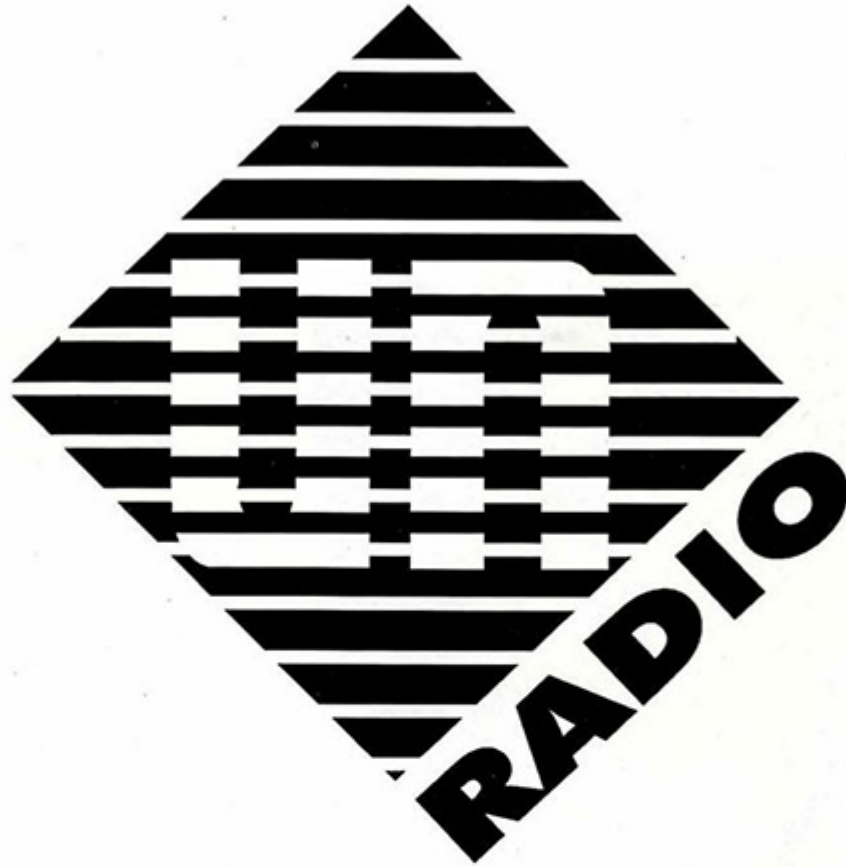
En el primer caso, un acuerdo reciente de colaboración entre Intel y Hewlett-Packard anuncia un futuro prometedor para las arquitecturas VLIW (*Very Large Instruction Word*), en las que, como su nombre lo indica, cada instrucción, compuesta por más de cien bits, controla más de una operación elemental. A título de comparación, todos los procesadores RISC actuales poseen instrucciones de 32 bits y controlan una sola operación.

Por otra parte, de la misma manera que las estaciones de trabajo trajeron la muerte de los minicomputadores, los sistemas multiprocesadores anuncian la muerte de los supercomputadores. En efecto, los esfuerzos de investigación y desarrollo en este último campo desaparecen poco a poco, ante la enorme potencia de cálculo aportada por varias estaciones conectadas en red o por varios procesadores interconectados dentro de la misma estación, a un costo netamente inferior. Es así como Cray, el símbolo de los supercomputadores, ha abandonado toda búsqueda de un superprocesador para dedicarse a la fabricación de computadores con varias decenas de procesadores Alpha interconectados.

Lectura aconsejada

David Patterson, el profesor de Berkeley que dio origen a los procesadores RISC y consultor para el desarrollo de SPARC, se asoció con John Hennessy, profesor de la Universidad de Stanford, pionero de los procesadores MIPS, para escribir el libro que se considera como la biblia en el tema de arquitectura de computadores: Computer Architecture. Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco, 1995 (la segunda edición, recién publicada, presenta grandes modificaciones con respecto a la primera).





98.5 F.M.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Innovación en micr

Jordi Aguiló Llobet

Centro Nacional de Microelectrónica

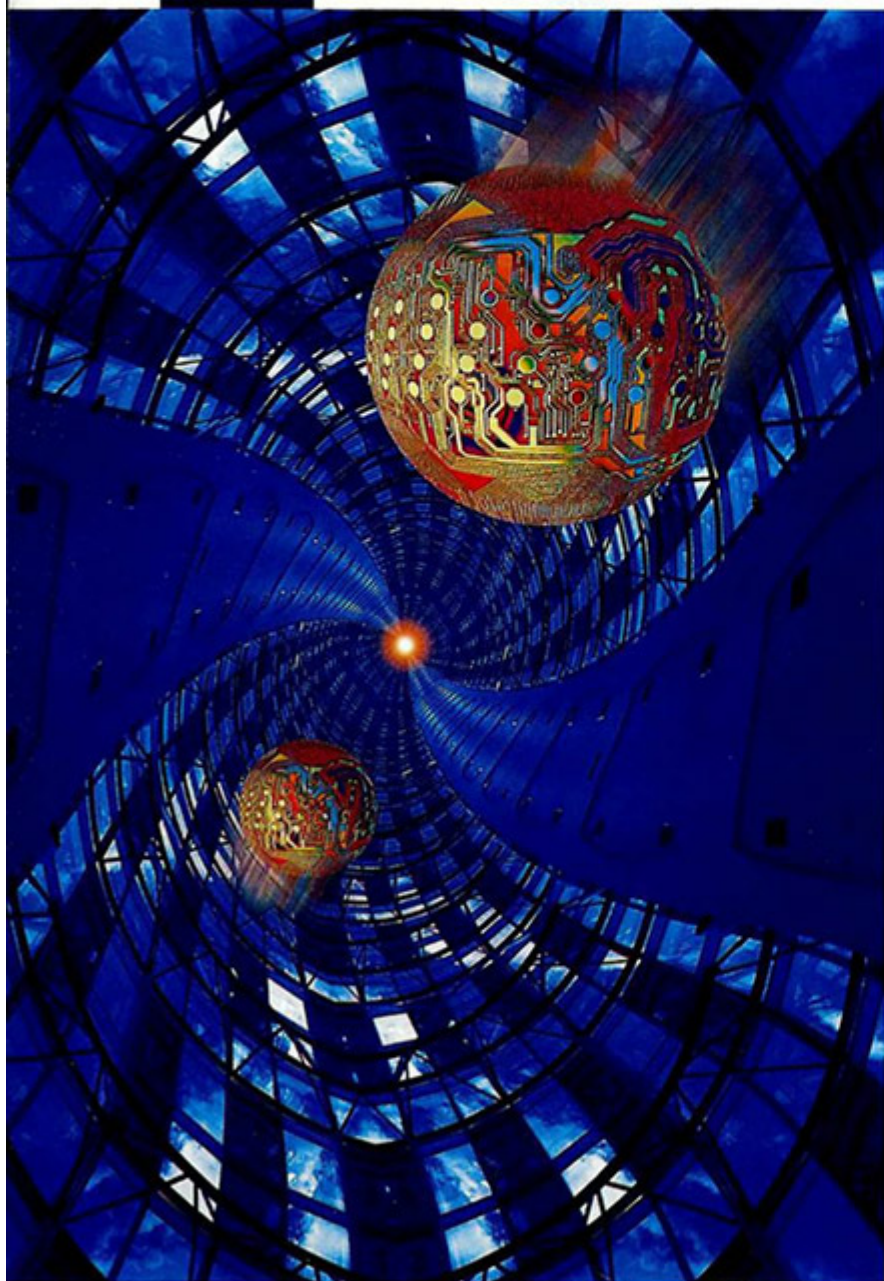
Universidad Autónoma Barcelona, España

Introducción

La microelectrónica es en la actualidad uno de los sectores industriales más importantes a nivel mundial y es también uno de los más dinámicos. Su volumen económico alcanzará muy pronto las cifras del mercado del automóvil y además, junto con todas sus tecnologías asociadas, es uno de los elementos clave en el desarrollo de nuevos productos electrónicos y no electrónicos. Su importancia estratégica está, pues, fuera de toda duda. Microelectrónica es sinónimo de innovación en una gran variedad de sectores a los que imprime su dinamismo, y su valor sinérgico en el desarrollo industrial debe tenerse en cuenta en toda su amplitud.

En el área de electrónica en general, las condiciones de partida vienen fijadas hoy por un mercado globalizado y de fuerte competencia. Telefonía móvil y comunicaciones en general, informática, electrónica del automóvil y electrónica de consumo representan mercados cada vez más abiertos para los que, salvo en casos particulares, las barreras aduaneras y el proteccionismo de mercado están desapareciendo. Como consecuencia de ello, cualquier planteamiento industrial coherente no debe hacerse sobre la base de un mercado local sino sobre la libre competencia en el mercado mundial.

El presente artículo trata de analizar, en primer lugar, las características del mercado de productos y sistemas electrónicos en tanto que éstos determinarán en forma decisiva los objetivos por cubrir y las necesidades de evolución tecnológica. En segundo lugar, las grandes líneas por las que se prevé que avanzará la microelectrónica en un futuro a corto y mediano plazos, entendiendo que, en un sentido amplio, se abarcan no sólo los procesos tecnológicos propiamente



oelectrónica

dichos cuya evolución estará condicionada fundamentalmente por las memorias y microprocesadores, sino también las metodologías, las herramientas de ayuda al diseño y simulación, la caracterización, el test, los procesos de encapsulado, el tiempo de proceso, etc. cuya evolución viene marcada básicamente por los ASIC. También intentaremos sacar conclusiones del análisis de los hilos conductores que determinan esta evolución,

así como de las consecuencias previsibles.

Aunque, por supuesto, el impacto y las repercusiones concretas y directas vendrán muy moduladas por el entorno industrial, geográfico y cultural inmediato, se intentará analizar las posibles vías de aproximación y el posicionamiento previo más adecuado para aprovechar al máximo esta evolución.

Por último, intentaremos enfocar los problemas planteados desde la perspectiva de

una economía basada en pequeñas y medianas empresas y en una industria de productos electrónicos prácticamente inexistente, analizando el papel que puede asumir cada uno de los actores en este escenario.

Microelectrónica y sistemas electrónicos

En el pasado, la gran industria electrónica ha estado representada fundamentalmente por aquella dedicada a aplicaciones militares, la informática y la electrónica de

consumo. A partir de estas aplicaciones se definían la mayor parte de las necesidades en microelectrónica y, como consecuencia, las tendencias de la industria de semiconductores.

Hoy estamos asistiendo al *boom* de la microelectrónica como consecuencia de la coincidencia de varios factores. En primer lugar, la incorporación constante de importantes sectores al grupo de grandes usuarios de la misma, entre los más significativos las comunicaciones, la industria automotriz y la electrónica industrial, junto con otros no tan típicamente electrónicos, como alumbrado de emergencia y domótica en general, suministro eléctrico, etc., y también campos totalmente alejados como cerrajería, zapatería, agricultura, biología y medicina, distribución de agua y gas, etc. Todos ellos, al exigir respuestas sofisticadas para sus demandas específicas, contribuyen sin duda a la diseminación y a la magnificación de esta tecnología.

Debemos señalar también que se ha demostrado estadísticamente que las compañías que incluyen microelectrónica en sus productos crecen con más rapidez y muestran tasas mucho más altas de valor agregado. Desde el punto de vista opuesto, estas compañías son los clientes finales de la industria de semiconductores y, como consecuencia, definen su mercado y por tanto sus necesidades de evolución.

La **tabla 1** muestra el aumento del porcentaje de microelectrónica incluida en los equipos electrónicos. Por su parte, la **figura 1** muestra la relación existente entre el crecimiento de las industrias fabricantes de semiconductores y las de equipos electrónicos.

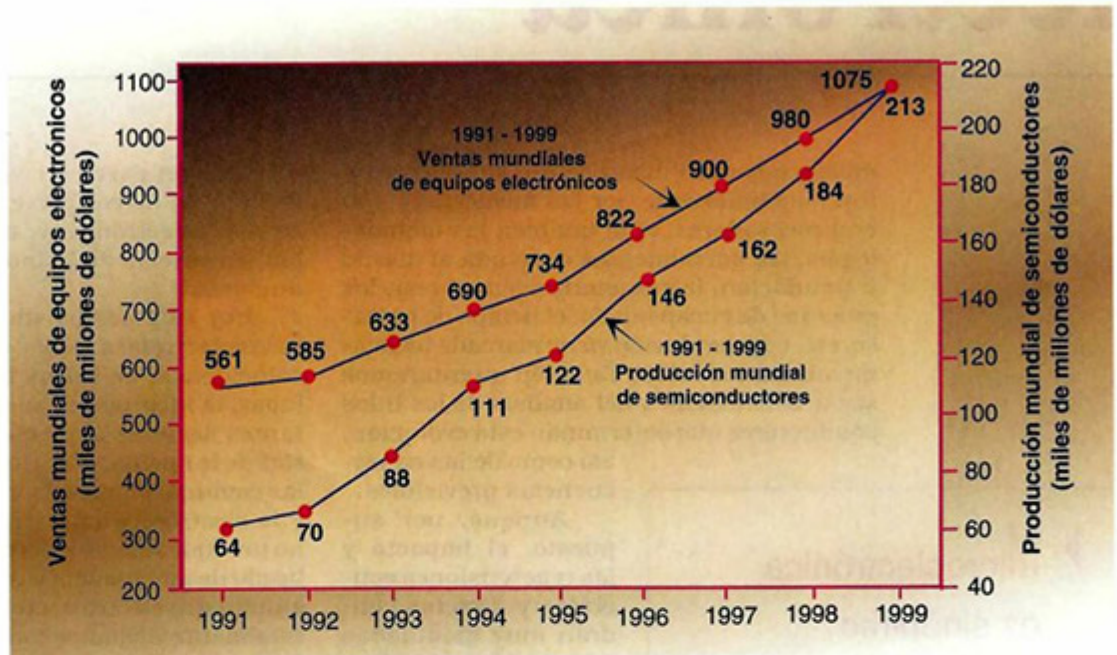
Las grandes inversiones necesarias para seguir adelante con los avances en tecnología a escala global y liderar algunos de ellos son totalmente inviables desde una perspectiva de pequeña y mediana empresa como base industrial y económica. Parece como si

► **Microelectrónica es sinónimo de innovación en una gran variedad de sectores a los que imprime su dinamismo.**

Tabla 1.

Año	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Porcentaje semiconductores	11.4	12.0	13.9	16.1	16.6	17.8	18.0	18.8	19.8

Figura 1.
Producción mundial de semiconductores (miles de millones de dólares).



el desarrollo y puesta en marcha de estos avances tecnológicos estuviera reservado a algunos países o restringido a zonas geográficas específicas en el mundo: Estados Unidos y Japón; Sudeste Asiático y Europa, en un porcentaje mucho menor, y siempre de la mano de grandes multinacionales capaces de soportar las inversiones necesarias para mantener su rentabilidad.

Resulta que las modestas economías de las empresas en países en desarrollo, los propios pequeños países y/o aquellos situados fuera de las zonas geográficas privilegiadas no pueden permitirse su incorporación plena al desarrollo de tecnología. En ese caso, para participar del desarrollo tecnológico es necesario definir y acotar los campos de acción que pueden ser abordados razonablemente, buscando aumentos netos de competitividad en los productos finales fabricados, así como altos valores agregados que permitirán claras y positivas evoluciones que ayudarán a completar el ciclo.

Los comentarios respecto a los grandes mercados de productos electrónicos, sin ser tan drásticos ni tan excluyentes, son similares a los anteriores. Una tradición arraigada, decisiones firmes, objetivos claros, una estrategia perfectamente definida, una economía firme y saneada, capaz de aguantar sin pestañear los primeros embates, unas previsiones de actuación sobre el mercado mundial, una

decisión inquebrantable de participar y de introducir un producto, organización, estructura y dirección adecuadas son algunos de los ingredientes necesarios, aunque no necesariamente suficientes, para conseguir algunas cartas que permitan, por lo menos, participar en este juego.

Entrar en el mercado significa no sólo disponer de un producto por lo menos técnicamente aceptable y a un costo razonable, sino también disponer y definir la estrategia de financiación y sus costos asociados, disponer de los canales de venta y de distribución adecuados, el marketing apropiado al tipo de producto o servicio y un largo etcétera de cuestiones al margen de la investigación, el desarrollo o la tecnología en sí misma.

En el otro extremo, junto a las previsiones sobre los grandes mercados de equipos electrónicos hay también importantes nichos definidos a nivel mundial, cuyo volumen de negocio es lo suficientemente grande para justificar un notable esfuerzo técnico y económico y, a su vez, lo suficientemente pequeño como para no ser comparable con los intereses de las grandes compañías multinacionales que participan del gran juego.

Agrícola, domótica, control y conservación del medio ambiente, telemedicina, mejoras en medicina rural, seguridad, automóvil, climatización, mensajería, logística, ahorro energético, alimentación, ayuda al diagnóstico y

Evolución del material informático

► Para participar del desarrollo tecnológico es necesario definir y acotar los campos de acción que pueden ser abordados razonablemente.

autodiagnóstico y también aspectos o partes específicas de telefonía móvil, red digital de banda ancha en telefonía, televisión digital, pueden ser algunos de los campos para tener muy presentes, en una u otra aproximación.

La **figura 2** muestra la división del mercado de la microelectrónica por sectores.

En todos los campos mencionados puede tratarse de buscar una solución en un sistema electrónico que constituya en sí mismo un producto industrial o únicamente desarrollar eslabones específicos orientados a aplicación o directamente a producto. Otra aproximación posible es tratar de conjugar distintos denominadores comunes sobre los que el estado del arte y las capacidades tecnológicas actúen en colaboración, junto a una bien establecida competencia profesional en diseño de circuitos y sistemas. Circuitos analógicos, baja potencia y bajo consumo, BiCMOS analógico-digital, sensores inteligentes, BiCMOS de alta velocidad, micromecanización, microdispensadores, multisensores y/o sensores distribuidos pueden ser buenos ejemplos de ello.

En cuanto a metodologías por utilizar, puede optarse por la solución con componen-

tes estándar, a partir de circuitos a medida ASIC (*Application Specific Integrated Circuits*) o ASSP (*Application Specific Standard Products*), o a partir de componentes personalizables FPGA (*Full Programmable Gate Arrays*) y, en general, PLD (*Programmable Logic Devices*) que desde el punto de vista de uso pueden englobarse en la categoría ASIC.

El de ASIC es un mercado en crecimiento, con cifras de 13.500 millones de dólares en 1994, que triplican las de los 10 años anteriores y con una previsión de doblar esta cifra hasta 25.000 millones de dólares hasta el 2001.

La **tabla 2** muestra la posición relativa de los distintos tipos de ASIC en cuanto a su situación en el mercado (introducción, crecimiento, madurez, saturación, obsolescencia).

Las cifras en cuanto a metodologías utilizadas dan cuenta de la obsolescencia del full custom, que representaban del orden de un 50% a mediados de la década de los 80, para caer hasta un 20% en el 94 y con una previsión de únicamente el 10% en el 2001. Se prevé un mantenimiento en el crecimiento espectacular de los standard cells, que llegarán a ocupar un 40% del mercado en el 2001 e igualarán a los gate arrays, lineales más digitales, que ya ocupaban el 40% en 1994 y el 30% en el 85.

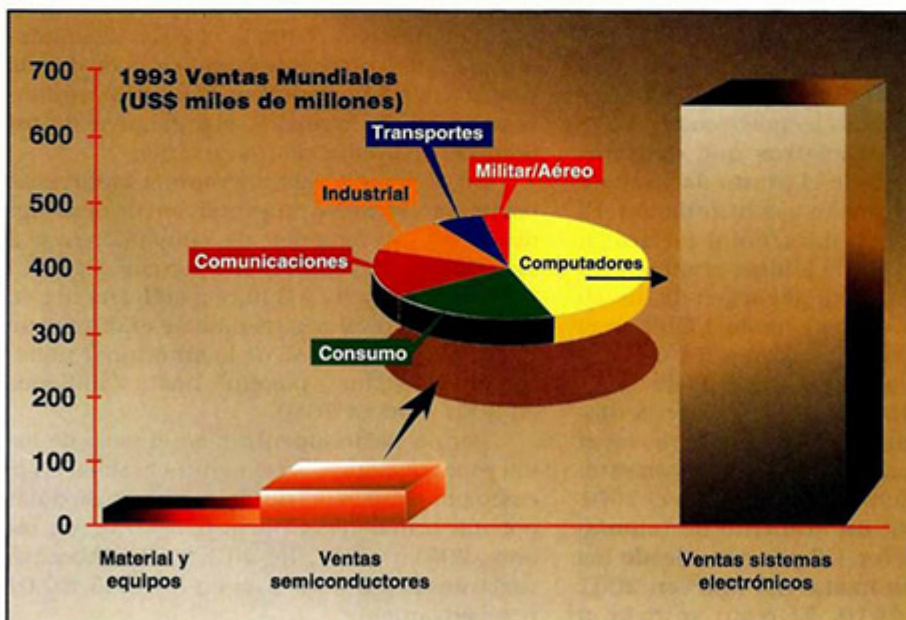
Por su parte, a nivel global, el mercado de los PLD (incluyendo FPGA) se mantiene en un 10% del total desde 1994 hasta 2001, habiendo crecido en los últimos 10 años del 7% al

10%. Sin embargo, los PLD siguen apareciendo en competencia feroz con los gate arrays y por ello todos los grandes fabricantes de semiconductores participan cada vez más directamente en el mercado de los FPGA. Por ejemplo, mientras que en 1993 se situaba alrededor de las 700 unidades el límite máximo de rentabilidad para un FPGA de 5000 puertas, en 1994 esta cifra es de prácticamente 1000 unidades.

La evolución de la tecnología

Desde el punto de vista estrictamente tecnológico, el objetivo y las metas por conseguir a corto y mediano plazos derivan

Figura 2. Tamaños mundiales del sector y ventas de semiconductores por sector.



INTRODUCCION	Gate CMOS muy alta complejidad (>500.000 puertas)
CRECIMIENTO	Flash-PLDs, Standard Cell: Analog-Dig., GaAs; G. Arrays: CMOS 10%, BiCMOS, GaAS
MADUREZ	PLD: TTL4.5, E y EEPLD, SRAM, GaAs; G. Array: ECL 20.000, Digital mixed Analog arrays, Digital SC, CMOS G. Array-20.000, TTL-PLD 5ns
SATURACION	ECL-G. Array 5000 ECL PLD, CMOS-G. Array 10.000
OBSOLESCENCIA	Full custom, TTL-PLD 7ns, G. Array: CMOS<10.000, ECL<5000 TTL-PLD > 10 ns

Tabla 2.

de la necesidad de cumplir con los objetivos técnicos y económicos señalados desde la propia evolución de los productos estrella: memorias y microprocesadores que constituyen el 50% del mercado mundial de semiconductores, con cifras del orden de los 43.000 millones de dólares. Y también de la necesidad de cumplir con los objetivos técnicos y económicos indicados desde sus grandes mercados: consumo, informática, comunicaciones, militar-espacial, automóvil e industrial.

La tecnología CMOS seguirá dominando en gran volumen y altas prestaciones. CMOS sigue compatibilizando sus disponibilidades de alta complejidad con una potencia disipada razonable y una posibilidad de encapsulado de bajo costo. Por su parte, la evolución prevista sigue básicamente la ley de Moore, con la memoria RAM dinámica liderando el mercado y fijando sus necesidades. Esta situación privilegiada de liderazgo es compartida ahora con las memorias flash utilizando, exigiendo y financiando los avances tecnológicos.

Los grandes parámetros que determinan la evolución desde el punto de vista de la tecnología se expresan a continuación. El tamaño de la memoria (bits/chip) variará en un factor 4, desde los 64 Mbits actuales a un costo (en gran cantidad) del orden de los 20 centavos de dólar el mega hasta 1 Gbit en el 2001 a 3 centavos el mega y a 64 G en el 2010 a 0.2 centavos. Este aumento de capacidad será en parte consecuencia de la disminución de las dimensiones mínimas en el circuito en un factor 1.3 aproximadamente, desde las 0.35 micras hasta 0.18 en el 2001 y 0.07 en el 2010; un aumento de tamaño del chip en un factor 1.5 por año, desde los 190 mm² actuales hasta 420 mm² en 2001 o 14 cm² en el 2010. El resto se debe a

mejora en el tamaño de las células y a diversos avances en arquitectura.

El conjunto se traduce en celdas de memoria DRAM de 1.5 mm² hoy, de 0.24 mm² en el 2001 y de 0.015 mm² en el 2010, mientras que para la RAM estática van de 8 mm² hasta 1.3 mm² en el 2001 y 0.08 mm² en el 2010. La reducción en el costo por bit en un factor 2.5 por año se debe a la disminución de las dimensiones ya mencionadas y a un aumento en el diámetro de las obleas procesadas desde los 200 milímetros, los 300 en el 2001 y los 400 en el 2010.

Por su parte, tanto ASIC como microprocesadores, en lo que tiene que ver con la lógica integrada en pequeño y gran volumen respectivamente, financiarán desarrollos tecnológicos específicos de su exclusivo interés particular como, por ejemplo, las múltiples capas de interconexión sumando un nivel hasta el 2001 y otro hasta el 2010, las metodologías y las nuevas herramientas de diseño y también la organización adecuada para conseguir una disminución significativa de los tiempos de producción necesarios.

En el caso de los microprocesadores en particular, se prevé una variación de densidades desde 4 millones de transistores y 2 Megabits de memoria cache por cm² hasta 13 y 20 en 2001 y 90 y 300 respectivamente en 2010. Los circuitos a medida se mantendrán en una discreta mitad de lo anterior: 2 millones de transistores por cm², hasta 7 millones en 2001 y 40 en 2010.

Por su parte, mientras en el caso de los microprocesadores se esperan cambios en el costo por transistor, desde 1 centavo de dólar por mil transistores hasta 0.2 y 0.02 en los años 2001 y 2010, los NRE en los Acechas variarán desde los 0.3 hasta los 0.05 y 0.01 respectivamente.

Evolución del material informático

El aumento de complejidad debido a las mayores posibilidades tecnológicas lleva a aumentos considerables en el número de pins, desde máximos actuales en los ASIC del orden de 700 hasta 1500 en 2001 y 3000 en 2010, con costos en centavos por pin decreciendo desde 1.4 hasta 1.1 y 0.8 en el mismo período. La frecuencia de trabajo en el interior del chip variará aproximadamente al mismo ritmo, a partir de los 150/300 Mhz actuales, y a un ritmo previsiblemente menor en la comunicación desde el chip al exterior, con cambios desde 150 Mhz hasta 250 en el 2001 y 450 en el 2010, y ello suponiendo considerables ayudas de los MCM supuestamente disponibles.

Todo ello con metas de 0.9 V en alimentación en el 2010 y consumos globales de 5 a 10 W en productos portátiles o portables, lo que no es fácilmente alcanzable con la tecnología CMOS actual. La **tabla 3** resume los aspectos considerados.

La perspectiva industrial

Las inversiones realizadas en investigación y desarrollo tecnológico (I+D) y la eficacia de las mismas son un factor clave para la subsistencia de un tejido industrial basado

en pequeñas y medianas empresas (PyMEs). Este factor adquiere más importancia en entornos donde no existe gran empresa ni, por tanto, la infraestructura industrial y de servicios que ésta crea a su alrededor. Todavía es más importante en los casos en que la base de PyMEs es extraordinariamente débil o en los casos en que se está realmente hablando de microempresa (mE).

Como el concepto de mE no es tan universalmente aceptado como el de PyME, conviene introducirlo como una empresa cuyos rasgos característicos se sintetizan en: personal muy reducido (en cualquier caso menor de 30 empleados), división del trabajo poco definida, estructura poco definida, creada alrededor de uno o pocos productos de alto valor agregado, cubriendo una pequeña cuota de mercado en el ámbito regional o, muy puntual en el caso de mercados altamente especializados, alcanzando una escasa diversificación industrial y geográfica, con importantes aspectos psicológicos y de relación personal que se deben tener en cuenta debido a su escaso personal, con un staff económico-financiero y directivo extremadamente simples y muy poco sofisticados, con un conocimiento del mercado muy poco amplio pero puntualmente muy profundo, cuyos recursos de I+D se diferencian muy poco del soporte de producción, servicio posventa, mantenimiento y reparación, y con una relación demasiado escasa con otras empresas del sector. En ocasiones la relación está muy polarizada hacia una gran empresa, lo que crea una relación de dependencia.

A las empresas de este tipo les es imprescindible un profundo conocimiento del mercado, siempre restringido, al que se dirigen, al igual que una gran flexibilidad y capacidad de adaptación. En estas condiciones, una gran voluntad de innovación puede permitir su crecimiento y su supervivencia sin hacerlas esclavas ni víctimas de una protección indefinida y sin límites.

Por otra parte, por el hecho de tratarse de PMyEs, no se les permite la realización de grandes inversiones ni tampoco soportar investigación y desarrollo durante largos períodos. Como consecuencia, habrá que definir mecanismos

Tabla 3.

	1995	2001	2010
DRAM Bits/chip	64 M	1 G	64 G
costo (c)/ Mbit	20	3	0.2
Dimensiones mínimas (mm)	0.35	0.18	0.07
Tamaño máx. del chip (mm ²)	190	420	1400
Diámetro de la oblea (mm)	200	300	400
Número de niveles de interconexión	4	5	7
Complejidad			
Lógica mP (Mtr/cm ²)	4	13	90
Memoria cache mP (Mb/cm ²)	2	20	300
Lógica (ASIC) (Mtr/cm ²)	2	7	40
Número de máscaras	18	20	24
Tiempo mínimo de procesado (días)	10	11	12
Pin máx.	700	1500	3000
Frecuencia máx. in-chip (Mhz)	150/300	300/600	600/1000
Frec. máx. comunicación out-chip (Mhz)	150	250	450
Alimentación (V)	3.3	1.8	0.9
Potencia (W)	5/2.5	7/3	10/5

de soporte a la innovación y potenciar la realización de una verdadera transferencia de tecnología entre estas empresas y una investigación más o menos aplicada que persiga metas y objetivos concretos, la cual deberá realizarse normalmente en instituciones públicas. Cuando ello es una realidad se permite a las PMyMEs no sólo reducir los costos de su I+D sino también los riesgos asociados a cualquiera de ellas.

Ello implica un esfuerzo de aproximación franca en los dos sentidos. En nuestras industrias deben estar presentes conceptos como: síntesis automática, ASIC, FPGA, sensores inteligentes, micromecanización, microsistemas, subsistemas, módulos multi-chip, testabilidad, fiabilidad, potencia inteligente, simulación, herramientas EDA, etc., todos ellos conceptos básicos en nuestro vocabulario técnico.

En el extremo opuesto, nuestros investigadores y profesores universitarios deben también entender otro vocabulario nuevo para ellos: prototipo, verificación y validación, rendimiento, estándares y normas, investigación aplicada, desarrollo, aplicaciones, industrialización, producto final, escandallo, innovación tecnológica, I+D, transferencia de tecnología, valor agregado, tecnologías estratégicas, incentívación industrial, nichos de mercado, mercados cautivos, cuota de mercado, economía de escala, productividad... Sólo de esta forma podrán empezar y prosperar cooperaciones entre los dos sectores, llamémosles académico e industrial, que siendo interesantes para ambas partes tengan sentido en sí mismas y se realimenten positivamente de su propio éxito desde los dos puntos de vista.

Las anteriores consideraciones son totalmente válidas en cualquiera de los sectores industriales y con un factor de escala para cualquier tamaño de empresa, pero adquieren una importancia decisiva en sectores dinámicos donde la evolución tecnológica y de mercado son muy rápidas, y todavía más especialmente si se trata de pequeñas y medianas empresas.

► Se debe dedicar atención a potenciar la transferencia de conocimientos desde los entornos académicos y de investigación a los ámbitos industriales.

Otro escollo que deben salvar las PyMEs es consecuencia inmediata de la globalización del mercado ya mencionada en párrafos anteriores. Debido a ella, va perdiendo sentido la justificación de un producto sobre una base local de cercanía al usuario final, si ello no lleva aparejada una componente de necesidades o características muy específicas de este mercado local, que, ciertamente, puede estar determinado por razones totalmente objetivas u objetivables aunque puedan ser también totalmente subjetivas. La consecuencia inmediata de ello es que los productos se dirigen a un mercado mucho mayor y el número de unidades de las series aumenta considerablemente.

Por razones similares, las fábricas de semiconductores dirigen su oferta al mercado mundial, sin restringirse a una localidad geográfica más o menos amplia, y como consecuencia, sus usuarios finales demandan series mayores. La estructura de estas fábricas de semiconductores crece y se adecúa para hacer frente a esta demanda de gran serie, y como resultado de ello el mercado de la pequeña serie está quedando totalmente desasistido; de ahí que resulta cada vez más penalizada económicamente para una PyMEs la posibilidad de realización de pequeñas series de ASIC, en favor de la utilización de FPGA o cualquier otro tipo de PLD.

En cualquier caso, la utilización de un FPGA es recomendable como forma de demostrar la viabilidad de una solución y de obtener con rapidez muestras o pequeñas series con las cuales situar el producto inicialmente en el mercado. En la actualidad, el precio por puerta en un FPGA es del orden de diez veces superior al precio por puerta en un gate array, aunque esta razón disminuirá a 7.5 veces en 1996 hasta ser sólo el doble en el 2001. Por supuesto, los costos de desarrollo son mucho menores en el caso del FPGA, lo que, volviendo al ejemplo medio de un dispositivo alrededor de las 5000 puertas, significa hoy que mientras el precio del FPGA varía un 40% al pasar de 100 a 1500 unidades, éste variaría aproximadamente en un 90% en el caso de un gate array.

Conclusiones

Para afrontar el futuro con ciertas garantías de éxito, debe fomentarse ordenadamente el desarrollo de nuevos conceptos tecnológicos que aparezcan como viables y que a mediano plazo puedan concretarse en demostradores prácticos.

Evolución del material informático

Universidades y centros de investigación no sólo deben participar sino que son piezas clave en el desarrollo industrial como fuente de ideas y campo de experimentación de las mismas antes de que puedan transformarse en productos industriales. Pero, por supuesto, en estrecha coordinación con las industrias y siguiendo planes y estrategias definidas y soportadas económicamente, compartiendo fondos industriales con fondos públicos de investigación.

Debe tenerse en cuenta especialmente que, en este terreno, viabilidad significa no sólo posibilidad técnica sino también económica, de acceso a la tecnología y de acceso al mercado. Por su parte, el acceso al mercado no está determinado por los costos más que en un pequeño porcentaje; acceder al mercado exige competitividad en precios pero además calidad y fiabilidad demostrada y demostrable, confianza del usuario final, mantenimiento o servicio posventa, marketing adecuado, protección contra copia, cumplimiento de las normas particulares y de los estándares establecidos y un muy largo etcétera de cuestiones ajenas por completo a una viabilidad técnica y a una oportunidad de mercado que pueden estar demostradas desde el primer momento.

En cualquier caso, en lo que nos afecta como técnicos, deberemos asegurar en primer lugar una formación de base adecuada en las universidades. Ello se consigue con una buena formación de los futuros formadores y la puesta a disposición de las herramientas de hardware y software adecuadas, facilitando el acceso a la fabricación de prototipos y posibilitando el acceso al test de las muestras obtenidas para completar el ciclo de formación. Es muy conveniente, aunque no imprescindible, que estas facilidades puedan ser utilizadas a nivel de investigación de postgrado e incluso en pregrado; la economía de cada centro marcará las fronteras en la utilización de las mismas.

El segundo lugar se refiere en general al desarrollo, transferencia de nuevas tecnologías e industrialización de productos. Se debe dedicar atención a potenciar la transferencia de conocimientos desde los entornos académicos y de investigación a los ámbitos industriales, buscar sinergias entre distintos grupos o crear los eslabones necesarios para transformar estos conocimientos en tecnologías realmente transferibles.

En particular, habida cuenta de todos los condicionantes externos, la mayor atención debería prestarse al desarrollo de nuevas áreas

de aplicación que potencien mercados industriales propios ya consolidados u otros que permanezcan todavía abiertos. En este apartado figuran, sin duda, aplicaciones con una gran cantidad de aspectos por resolver, pertenecientes a disciplinas totalmente alejadas. Es precisamente en este terreno donde hay que aplicar nuestras capacidades de introducción en el mercado y también está ahí nuestro gran reto. Mecánica, mecatrónica, máquinas eléctricas y distribución de energía, aplicaciones médicas, medición remota, home systems, agrónoma, mensajería electrónica, etc., son campos en que nuestras pequeñas y medianas empresas pueden conseguir su lugar en el mercado mundial con una mínima ayuda inicial.

Otros mercados clave en el futuro: telefonía celular, equipos de banda ancha, electrónica para el automóvil, automatización industrial, tarjetas inteligentes, electrónica de consumo avanzada, seguridad, etc., corresponden a aplicaciones supeditadas a la gran industria electrónica, afrontando mercados en los que difícilmente se podrá sobrevivir salvo en los casos que se consideren estratégicos y que sean apoyados con decisión desde las administraciones públicas. Colaboraciones puntuales en estos terrenos son, sin embargo, posibles y deseables; la existencia de algunos grupos que resuelvan aspectos parciales en alguna de estas áreas significa asegurar una posibilidad de seguimiento de la evolución tecnológica en la misma.

En cada uno de los campos, las actividades deben desarrollarse con paciencia pero con firmeza. No exijamos resultados a corto plazo sino a medio o largo, no hagamos previsiones demasiado optimistas, tracemos metas claras, objetivos particulares por conseguir y marquemos hitos en el camino y no nos desviemos si no es estrictamente necesario. La experiencia demuestra que el camino es largo y tedioso pero que al fin todo marcha.

La industria debe tener o recuperar la confianza en los grupos de investigación y además darse cuenta de que ellos son una de sus únicas oportunidades. Por su parte, los grupos deben no sólo hacerse merecedores de esta confianza que pretenden, sino ganársela día a día aprendiendo a resolver honestamente los problemas que se plantean las industrias en su entorno, aunque no correspondan exactamente a su ideal científico. Utilicemos la microelectrónica cuando ello se traduzca realmente en innovación, e intentemos comprender y colaborar en los proyectos de de-

sarrollo aportando ideas innovadoras. Sólo así conseguiremos esa confianza de la industria que muchas veces lamentamos no poseer.

Como se apuntaba, deben resolverse también algunos problemas desde un punto de vista económico. Muchas veces microelectrónica es sinónimo de necesidad de inversión inicial en infraestructura, de aumento del tiempo de desarrollo y también del costo de desarrollo y, por tanto, de mayor riesgo financiero. Según decíamos también, el pequeño volumen no representa el caso ideal en ASIC; se precisan ciertas cantidades no ya para conseguir rentabilidad sino para alcanzar volúmenes mínimos de negocio interesantes para los fabricantes. En cierto modo la solución está de nuevo en nuestra mano. La inversión inicial consiste básicamente en adquisición de hardware de uso general (PCs o estaciones de trabajo), herramientas EDA de concepción y diseño de circuitos y sistemas electrónicos, y formación del personal adecuado.

Se puede demostrar, y desde IBERCHIP estamos empeñados en hacerlo, que las soluciones son factibles a partir de un planteamiento global tanto para adquisición del equipo necesario como para la formación de técnicos.

Con el mismo planteamiento los costos de desarrollo pueden ser compartidos entre distintos usuarios, con lo que disminuye tanto el costo como el riesgo para el usuario final. Una solución análoga se adapta para obtener producción en pequeñas cantidades; los volúmenes de negocio adecuados se alcanzan sobre la base de cursar simultáneamente distintas órdenes de fabricación actuando como broker de silicio.

Disminuir los tiempos de desarrollo y también para obtener rápidamente prototipos con los cuales validar algunas ideas o realizar una primera prospección de mercado, la utilización de FPGA, por ejemplo, puede ser muy adecuada. Prototipos más una primera pequeña serie, mientras se perfecciona el producto, pueden realizarse con esta metodología con muy bajo costo de desarrollo y precios unitarios razonables para una primera serie, a la espera del desarrollo del producto definitivo.



EMISORA H.J.C.K.

EL MUNDO EN BOGOTA F.M. ESTERO 89.9

...Desde 1950 una emisora para la inmensa minoría...

**POR EL BIEN DEL HOMBRE
POR EL BIEN DE LA NATURALEZA.**



**Líneas Acuacer y Nova
Productos sanitarios de bajo consumo de agua.**



Corona pone a disposición de los consumidores colombianos, estas dos líneas de productos sanitarios de alta tecnología, que permiten ahorrar hasta el 60% de agua.

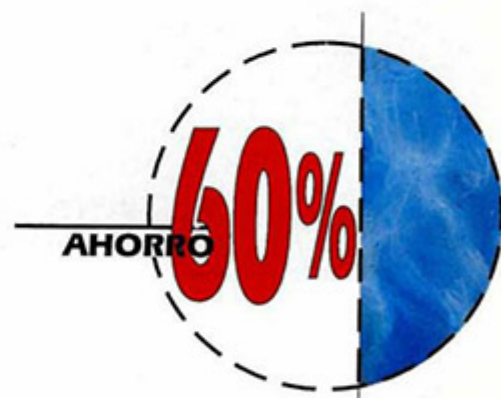
Economice dinero, proteja la naturaleza y elija los colores que armonizan con los ambientes de Cerámica Corona.



Nova



Acuacer



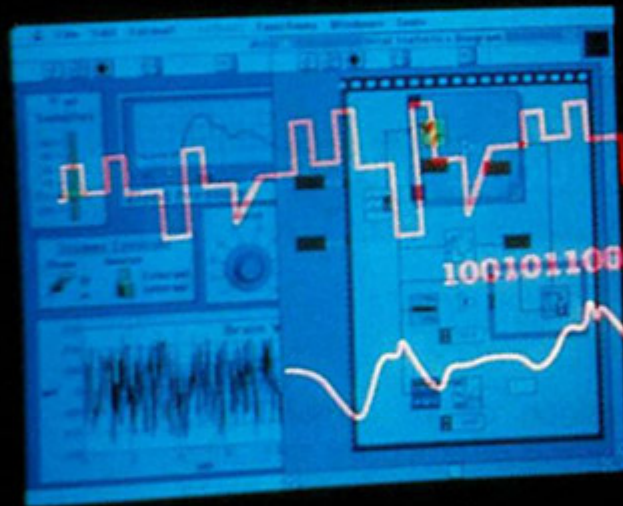
Viva el Ambiente!

Corona

Nova

Acuacer

Multiprocesadores de muy alta potencia



1001011081 110000110

Gerhard Fritsch
Universidad de Erlangen-Nuremberg, Alemania
Profesor Honorario Universidad Nacional de Colombia

Efraím Barbosa
Profesor Universidad Nacional de Colombia

Advenimiento de los supercomputadores

Durante los pasados 50 años, desde los primeros computadores de Princeton y de Zuse en Alemania, la potencia de cálculo y la capacidad de memoria del computador han crecido en muchos órdenes de magnitud. Sin embargo, su construcción ha estado basada casi exclusivamente en la arquitectura secuencial de Von Neumann. En esta arquitectura un procesador central único (central process unit) realiza operaciones, generalmente aritméticas, una después de otra. Para aumentar la potencia computacional, recientemente se han construido computadores basados en una arquitectura paralela, en la cual varios procesadores realizan simultáneamente, pero de manera coordinada, varias tareas. Así es como se ha logrado construir los denominados supercomputadores, que sirven como herramienta fundamental para la realización de investigaciones científicas avanzadas.

En la actualidad los supercomputadores logran potencias de cálculo de unos 10 gigaflops*, trabajando con memorias activas de varios gigabytes**. Podemos afirmar casi con seguridad, que antes de terminar este siglo existirán computadores con potencias de un teraflops***.

► El uso del computador permite simular experimentos peligrosos, costosos, o que nunca se podrían llevar a cabo en la realidad, como los «experimentos» astrofísicos.

Tanto en las ciencias como en las ingenierías, los supercomputadores abren grandes posibilidades para la investigación y el desarrollo de nuevos productos y procesos. Estas máquinas se aplican principalmente en los métodos de simulación numérica de fenómenos de la física, la química y las ingenierías.

Aplicaciones intensivas en cálculo numérico

Tradicionalmente las ciencias avanzaron mediante una interacción fructífera y permanente entre la teoría y la práctica. Esta última permite ratificar y mejorar las teorías existentes, o también rechazar o refutar teorías planteadas. A su vez, una teoría puede hacer predicciones y proponer nuevos experimentos, cuyos resultados posiblemente corroboran la hipótesis o predicciones de las teorías.

Con la aparición de los computadores de alta potencia, una nueva metodología, la ciencia computacional (computational science) está contribuyendo al avance de la investigación científica y al desarrollo de productos, materiales y complejos sistemas operativos. Muchos problemas no se pueden resolver analíticamente y por tanto es necesario utilizar métodos numéricos. Cuando el número de cálculos que el investigador debe realizar es muy grande, se requiere la utilización de un computador.

Por otro lado, si la potencia computacional es tan alta que podemos incluir un número suficientemente grande de parámetros o variables, entonces es posible simular fenómenos y experimentos científicos en el computador. Aunque en principio se puede simular cualquier experimento real, lo más importante es que pueden simularse experimentos peligrosos, costosos, o bien experimentos que nunca se podrían llevar a cabo en la realidad.

* *Flops, floating point operations per second (operaciones de punto flotante por segundo). Diez gigaflops equivalen a 10 mil millones de operaciones aritméticas por segundo.*

** *1 GB equivale a mil millones de bytes, o sea mil millones de caracteres contenidos en una enciclopedia de alrededor de 30 volúmenes. De otro lado, 1 B equivale a 8 bits.*

*** *Un millón de millones de operaciones aritméticas por segundo.*

▶ **A las metodologías tradicionales experimental y teórica, debemos ahora añadir una nueva metodología computacional.**

como los «experimentos» astrofísicos. Los resultados de tales simulaciones o «preexperimentos» constituyen una buena base para el diseño de experimentos reales en el laboratorio.

A las metodologías tradicionales experimental y teórica, debemos ahora añadir una nueva metodología computacional. La cooperación de las tres metodologías se muestra esquemáticamente en la **figura 1**.

Para poder realizar una simulación del comportamiento de un sistema físico, químico o de cualquier otro tipo, es necesario adoptar un modelo matemático

que esté de acuerdo con las posibilidades computacionales del computador de que dispongamos. En muchos casos es necesario producir una discretización de las variables físicas que normalmente son continuas. Así por ejemplo, el espacio continuo se reemplaza por una red o malla, de la cual sólo se tiene en cuenta los nodos de la misma. También el tiempo continuo se sustituye por una secuencia discreta de pasos de tiempo. De esta manera, un sistema de ecuaciones diferenciales parcialmente se transforma en un sistema de ecuaciones de diferencias finitas y por consiguiente en un sistema de ecuaciones algebraicas.

Para estimar el número de cálculos que es necesario realizar, veamos a continua-

ción las características de un problema de aerodinámica, como por ejemplo el que encontramos en la simulación del flujo de aire alrededor de un ala de avión o una carrocería de automóvil:

- Variables físicas (presión, componentes de la velocidad del flujo, temperatura): 10 (precisión del cálculo: 64 bit)
- Puntos de la malla numérica: 100 millones
- Pasos de tiempo: 100 mil
- Número de operaciones aritméticas por punto y por iteración: 100

Un problema como éste necesita un esfuerzo computacional de 10^{15} operaciones aritméticas. Si se utiliza un supercomputador con potencia de cálculo de 1 Gflops (mil millones de operaciones aritméticas por segundo), el tiempo de cálculo sería por lo menos 1000 segundos (en la práctica resulta ser mucho más, porque la eficiencia de la computación está bastante por debajo del 100%). La memoria activa necesaria para la solución computacional de tal problema es de 10^7 bytes.

Con estas simulaciones los ingenieros buscan optimizar la geometría del ala o de la carrocería, y para ello es necesario repetir los cálculos muchas veces cambiando parámetros geométricos. Utilizando los supercomputadores el tiempo de cálculo será de días o de meses. Con los computadores secuenciales ordinarios será de años o de siglos, lo que significa un tiempo total de cálculo bastante dispendioso.

Además de modelos basados en ecuaciones diferenciales, se aplican otros modelos apropiados al problema que se quiere simular. En tales modelos se emplean sistemas de muchas partículas donde se requiere la utilización de métodos de dinámica molecular o métodos estadísticos de Monte Carlo. En otros casos se usan cálculos *ab initio* basados en soluciones de la ecuación de Schrödinger, como por ejemplo en los cálculos de orbitales atómicos y moleculares.

Actualmente los problemas de simulación con necesidades de alta po-



Figura 1. Interacción entre las tres metodologías con que cuenta ahora la investigación.

Evolución del material informático

tencia de cálculo se presentan en áreas como nuevos materiales (simulación de propiedades macroscópicas de nuevos compuestos, por ejemplo cerámicas, polímeros, recubrimientos, superconductores y materiales multifuncionales); microtecnología y nanotecnología (nanoelectrónica, micro y nanoprosesamientos, tecnología de plasma); fotónica (optoelectrónica, tecnología láser, telecomunicación) y bioquímica (macromoléculas, biocatálisis, biotecnología, biosensórica, neurobiología).

Solamente los grandes computadores de arquitectura paralela, que corresponden a sistemas computacionales de muy alto rendimiento, permiten la simulación de los problemas en estas áreas.

Arquitectura de los computadores paralelos

Hoy en día se conocen dos grandes clases de computadores en paralelo: los de tipo MIMD (multiple instructions multiple data) y los de tipo SIMD (single instruction multi-

ple data). Para la simulación numérica se utilizan preferiblemente computadores paralelos del tipo MIMD, que se caracterizan por el hecho de que cada procesador en el sistema paralelo trabaja bajo su propio control. Los computadores del tipo SIMD se utilizan más bien para el procesamiento de imágenes.

Existen muchas posibilidades para las arquitecturas MIMD. Si el acoplamiento de comunicación entre los procesadores o computadores individuales es fuerte, se habla de multiprocesadores. Según el tipo de comunicación interprocesadora, se distinguen tres clases de ellos: los de memoria distribuida, los de memoria distribuida compartida y los de memoria globalmente compartida, tal como se presenta en la **figura 2**.

Los multiprocesadores con memoria distribuida se caracterizan por la comunicación interprocesadora a través de mensajes entre pares de procesadores, los cuales se conectan al mismo bus (conexiones múltiples para la comunicación entre procesadores).

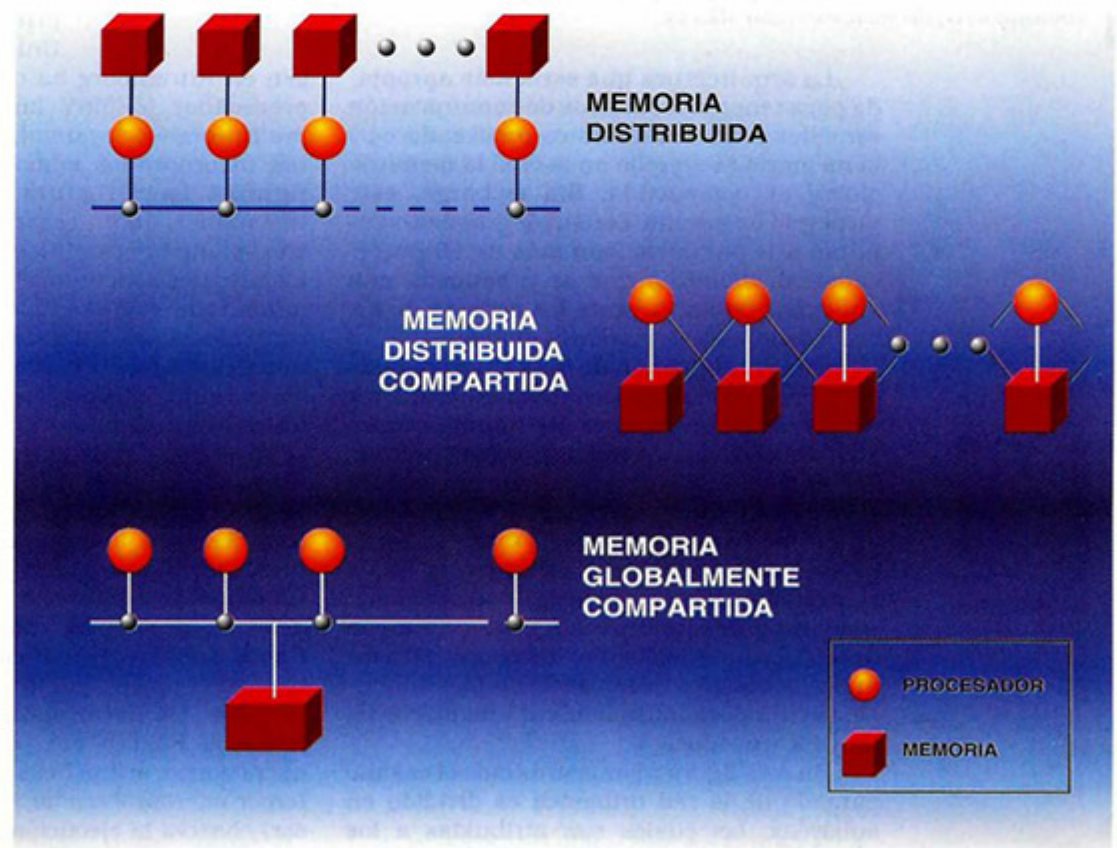


Figura 2.
Las tres clases
de acoplamiento
de nodos en
multiprocesadores.

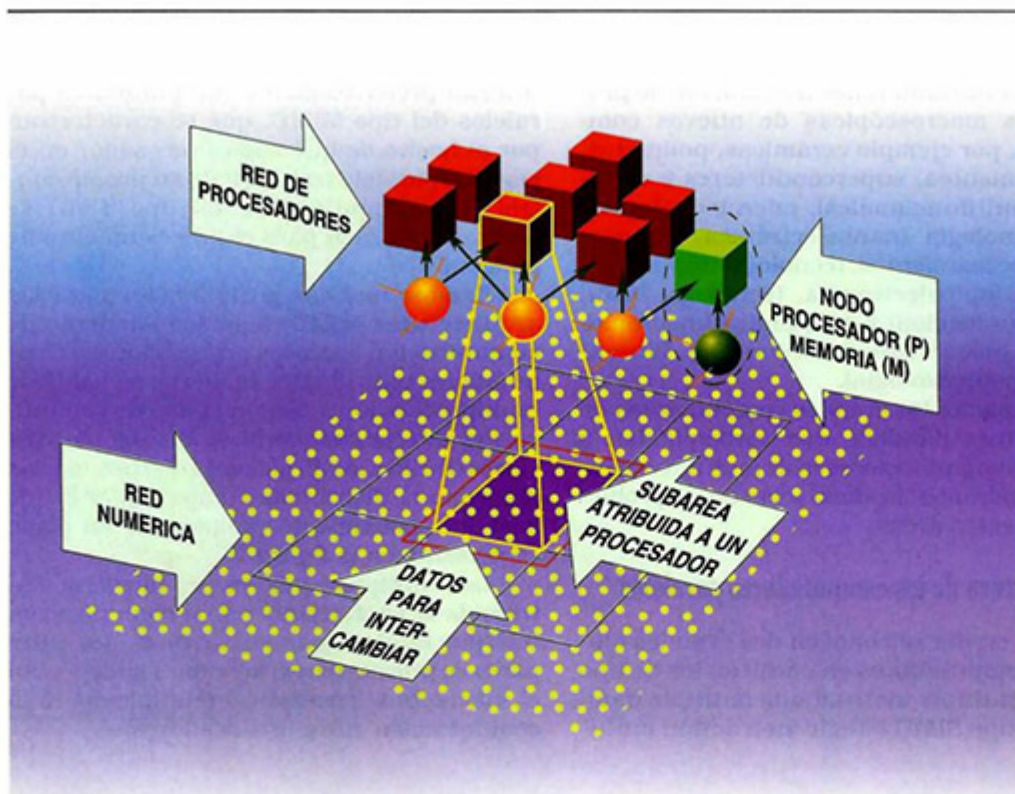


Figura 3. «Mapping» de la red numérica al plano A (plano de «trabajadores») del multiprocesador MEMSY.

La arquitectura que sería más apropiada para tener mecanismos de comunicación sencillos entre los distintos procesadores y la memoria es aquella en la cual la memoria global es compartida. Sin embargo, este principio no permite construir grandes computadores paralelos (con más de 10 procesadores), debido a que se produciría una gran congestión durante los accesos de los procesadores a la memoria global.

Una combinación de las características de ambas arquitecturas se da en el microprocesador con memoria distribuida común (distributed shared memory). Este tipo de arquitectura es especialmente apropiada para el «mapping» o correspondencia de redes numéricas de un modelo discreto a una red bidimensional de procesadores. En la figura 3 puede verse una ilustración del «mapping» de subáreas (en este caso áreas de la red numérica) sobre los nodos para un multiprocesador organizado en dos dimensiones (procesador individual y memoria del multiprocesador).

En esta figura se muestra cómo el cálculo paralelo de la red numérica es dividido en subáreas, las cuales son atribuidas a los procesadores de un multiprocesador organi-

zado en dos dimensiones. Se necesita esencialmente comunicación local de datos entre subáreas vecinas. Esto corresponde al intercambio de datos entre procesadores vecinos de la red de comunicaciones.

En esta arquitectura la comunicación local se realiza a través del siguiente mecanismo: un procesador deposita datos en una memoria de comunicación y un procesador vecino, que también tiene acceso a esta memoria, lee los datos, sigue con un procesamiento de estos datos o los deposita en otra memoria de comunicación para transferirlos a otro procesador vecino.

Con base en este principio de diseño, la Universidad de Erlan-

gen en Nuremberg ha construido el multiprocesador MEMSY (modular expandable multiprocessor system), con 21 procesadores incorporados como se muestra en la figura 4. La estructura es una pirámide en tres planos: 16 procesadores «trabajadores» en el plano inferior (A), encargados de hacer los cálculos solicitados; 4 procesadores «administradores», en el plano medio (B), para controlar a los trabajadores y para lograr una posible comunicación de mayor distancia, y un procesador top, «el jefe supremo», ubicado en el plano superior (C), para el control global y de entrada y salida.

Cada nodo del sistema multiprocesador MEMSY contiene un procesador compuesto y una memoria de comunicación con seis conexiones: una para el propio procesador, cuatro para los vecinos y una para el procesador «jefe» en el plano B, como se aprecia en la figura 5. El procesador compuesto consta de tres microprocesadores y de sus memorias privadas. Un microprocesador es el «master» (Motorola 88200), otro «especial» se dedica a operaciones aritméticas muy rápidas, y el tercer microprocesador «watchdog» (supervisor) observa la ejecución del programa y comunica posibles errores al plano de control B.

Evolución del material informático

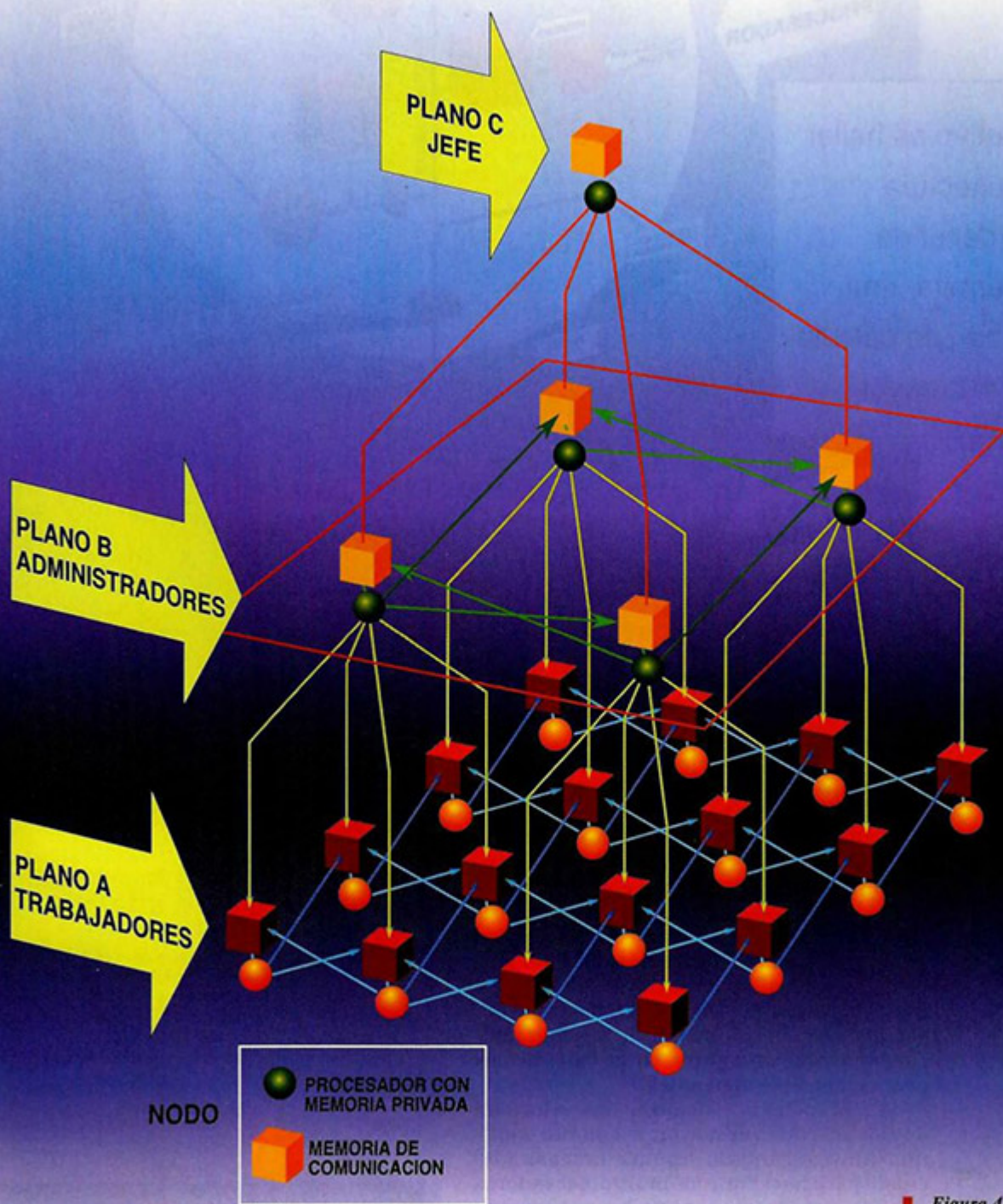
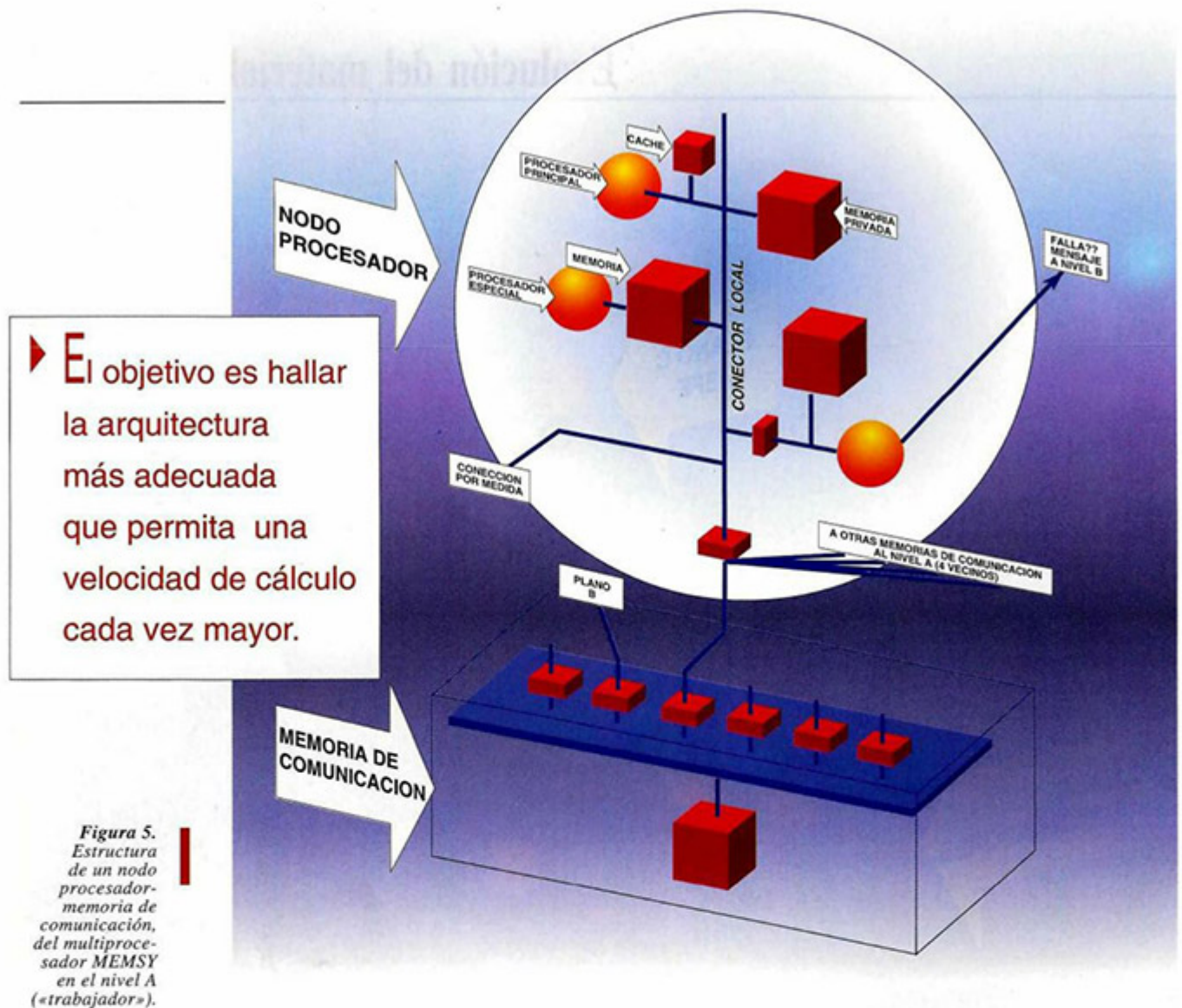


Figura 4.
Esquema de la
distribución jerárquica
en tres planos del
multiprocesador
MEMSY.



► El objetivo es hallar la arquitectura más adecuada que permita una velocidad de cálculo cada vez mayor.

Figura 5. Estructura de un nodo procesador-memoria de comunicación, del multiprocesador MEMSY en el nivel A («trabajador»).

En otros lugares se utilizan otras arquitecturas conformadas con base en mecanismos diferentes de comunicación entre los procesadores. En este artículo hemos mostrado solamente unos pocos ejemplos de los logros alcanzados en el progreso del procesamiento en paralelo. Sin embargo, en el futuro cercano se debe intensificar no sólo la investigación para el diseño de nuevos multiprocesadores sino también para el desarrollo de nuevos métodos de programación que son diferentes en el caso de los procesadores secuenciales.

En la lucha por alcanzar una velocidad de cálculo cada vez mayor, el hombre continuará investigando la arquitectura más adecuada para hacer que los multiprocesadores paralelos realicen coordinadamente tareas que son muy intensivas en cálculo numérico. La ciencia computacional ayudará a su vez al desarrollo de otras ciencias que trae-

rán consigo desarrollos tecnológicos de indiscutible utilidad para el bienestar de la humanidad.

Bibliografía

1. Fritsch G, et al.: Distributed Shared Memory Architecture MEMSY for High Performance Parallel Computations. Computer Architecture News 17(6): 22-35, Dec. 1989.
2. Hofmann F, et al.: MEMSY, A Modular Expandable Multiprocessor System. Proceedings SFB 182 IMMD, Universität Erlangen-Nürnberg, 1993.



Educación

ON Line®

XXY PUBLICIDAD

ON LINE es garantía de excelencia académica y certificación de alto nivel para los colegios adscritos. **ON LINE** es un diálogo electrónico permanente de los directivos y profesores con el equipo docente del sistema. **ON LINE** es aprovechar los avances universales de la ciencia y la tecnología. **ON LINE** es un servicio diario de apoyo, información y capacitación académica para profesores y directivos. **ON LINE** es un sistema interactivo multimedia continuo al servicio de la educación. **ON LINE** es investigación y actualización pedagógica y tecnológica a la mano en todos los rincones del país. **ON LINE** es aumento en el grado de reconocimiento docente para directivos y profesores. **ON LINE** es una respuesta eficaz en la racionalización de los presupuestos escolares. **ON LINE** es el Instituto de Altos Estudios Pedagógicos y Tecnológicos S.A. .

Cra. 18 No. 108-19 tel. 621 25 92 Fax 2146679. Santafé de Bogotá, D.C.

Lenguajes y metodol

Walter Pineda
Héctor Fabio Restrepo
École Polytechnique Fédérale
de Lausanne, Suiza

¿Qué es un lenguaje de programación?

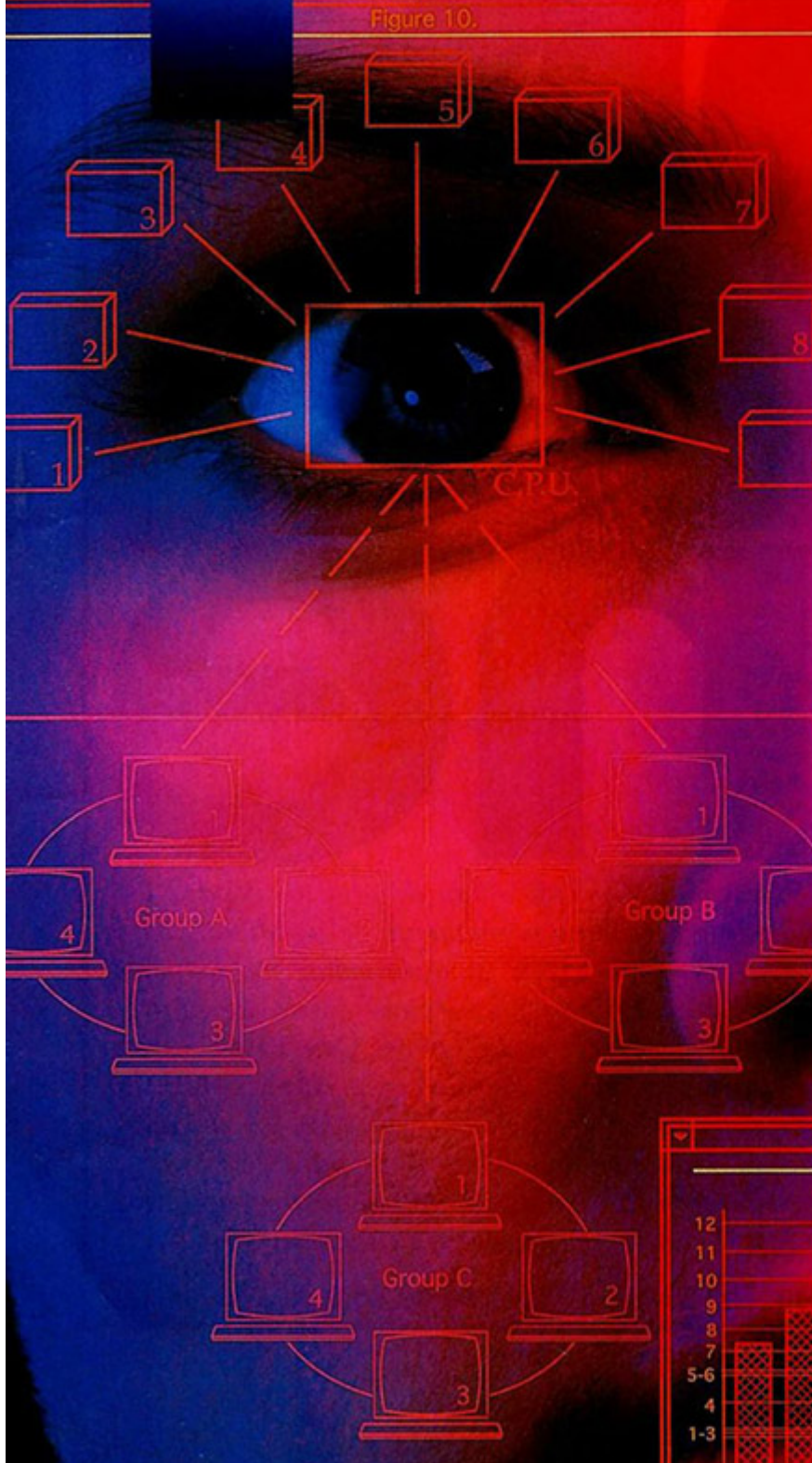
De una manera simple podríamos decir que un lenguaje de programación tiene como objetivo la descripción de programas. Un programa así descrito puede ser ejecutado en un computador y permitirá de esta forma resolver un problema determinado.

Pero si tratamos de ver un lenguaje de programación como una analogía con nuestro lenguaje mismo de comunicación (el español, por ejemplo), podríamos decir que es una forma de comunicación entre una persona y un computador o entre personas. Un lenguaje de programación es un conjunto de reglas por medio de las cuales podemos describir valores, propiedades y procesos que permiten a un computador resolver un problema.

El estudio de un lenguaje se divide normalmente en dos partes: su *sintaxis* y su *semántica*. Un lenguaje natural, como el español, o uno artificial, como PASCAL, se encuentra constituido por caracteres de cierto alfabeto. Por medio de estos caracteres podemos construir palabras y con las palabras frases. La *sintaxis* estudia las reglas por medio de las cuales se determina si las combinaciones de caracteres y de palabras son construcciones válidas aceptadas por el lenguaje. La *semántica* nos dice cómo se deben interpretar estas palabras y frases, es decir, su significado.

Dominios de aplicación

La mayoría de lenguajes de programación se han desarrollado para satisfacer una clase de aplicación particular. Existen lenguajes que han intentado cierta forma de universalidad, como PL/1, ALGOL, ADA, pero que en la



ogías de programación

práctica no han tenido resultados exitosos hasta el día de hoy. Algunos de los dominios de aplicación más conocidos son el cálculo científico, la enseñanza, la gestión comercial, los sistemas operativos, la simulación, los sistemas en tiempo real, etc.

En el dominio del cálculo científico, los datos que se manipulan son de carácter numérico y con frecuencia se agrupan en arreglos de una o más dimensiones. Las prioridades se manifiestan en aspectos como el tiempo de cálculo y la precisión de los mismos, mientras que aspectos como la presentación, visualización, edición o almacenamiento de datos tienen un carácter de nivel secundario. En materia de cálculo científico FORTRAN ha ocupado, y sigue ocupando, una posición importante respecto de los demás lenguajes de programación, porque fue diseñado para satisfacer estas necesidades y por las evoluciones que sobre el lenguaje han ido apareciendo desde los años 70. Esto no implica, sin embargo, que con otros lenguajes de programación no se pueda realizar cálculo científico. La ventaja de FORTRAN radica en el número de librerías matemáticas que se encuentran

disponibles y que han sido depuradas a lo largo del tiempo. Por esta razón resulta más cómodo reutilizar dichas librerías que implementarlas nuevamente.

En el área de la enseñanza, un lenguaje debe permitir al estudiante comprender los principios básicos de la algoritmia, facilitar e incrementar la capacidad de expresión de sus ideas y, entre otras cosas, permitir la posibilidad de aprender fácilmente nuevos lenguajes. En esta área PASCAL es uno de los lenguajes de mayor difusión dado que fue concebido con un propósito pedagógico.

Los primeros computadores utilizados en el área comercial se construyeron hacia 1950 y tenían un lenguaje de programación específico. Hacia el año 1960 aparece el lenguaje de programación COBOL, que ha sido el lenguaje de alto nivel más utilizado en el desarrollo de aplicaciones comerciales. Los lenguajes comerciales se caracterizan por exigir facilidades de presentación elaboradas y tipos de datos decimales.

El sistema operativo y todos los programas de soporte de un computador se utilizan en forma constante, es por esta razón que su

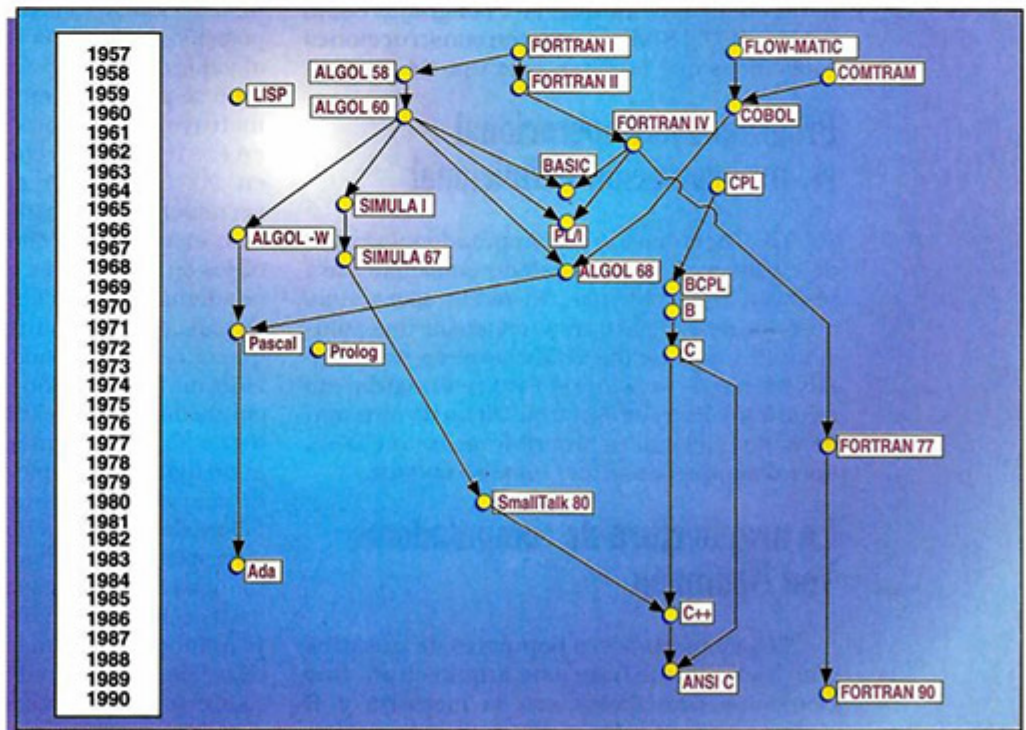


Figura 1.

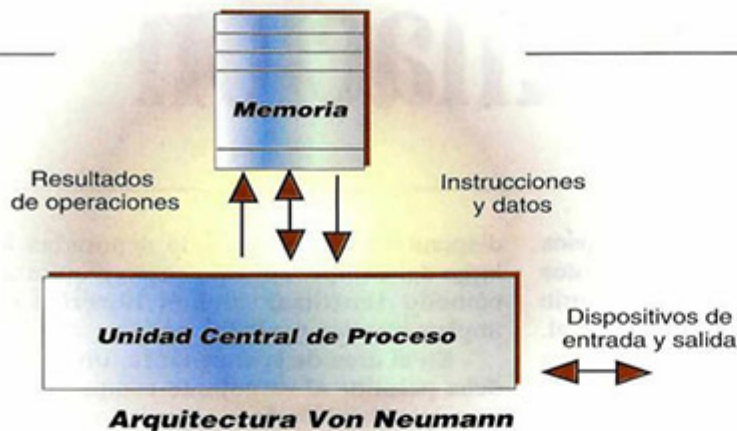


Figura 2.

ejecución debe ser lo más eficiente posible. Un lenguaje que permita esta funcionalidad debe tener características de bajo nivel y debe también permitir la escritura de programas para el control de dispositivos (impresoras, discos, cintas, video, etc.). Unix es un ejemplo de un sistema operativo ampliamente difundido. Unix está escrito casi en su totalidad en lenguaje C, lo que ha permitido una fácil portabilidad sobre diferentes tipos de computadores.

En el campo de la simulación discreta, por ejemplo, existen problemas muy particulares referentes a la gestión del tiempo y de los eventos. Es necesario tener actualizado un reloj lógico, administrar listas de espera, generar valores aleatorios, etc. Lenguajes como SIMSCRIPT y SIMULA ofrecen construcciones específicas que facilitan este tipo de gestión.

Programación operacional vs. programación definicional

La programación de computadores se puede clasificar según el método empleado para resolver los problemas. El modo *operacional* describe paso a paso *cómo* construir una solución. El modo *definicional* establece *propiedades acerca de la solución* para restringirla, sin describir *cómo* computarla. Dicho de otra manera, definicional es describir *qué* se requiere, operacional es describir *cómo* se obtiene.

La arquitectura de computadores Von Neumann

Los computadores populares de nuestros días toman como base esta arquitectura. Sus elementos principales son la memoria y el microprocesador. La memoria puede descri-

birse como un conjunto finito de celdas con capacidad para contener un dato o una instrucción. Cada celda se encuentra numerada y ese número se conoce como la *dirección de la celda*. El microprocesador o unidad central de proceso se encuentra separado de la memoria y se encarga de la ejecución de las instrucciones. Los datos y el programa están almacenados en la memoria y deben transferirse entre ésta y el microprocesador (figura 2).

Un microprocesador puede ejecutar cierto número de operaciones elementales; este conjunto de operaciones se denomina *lenguaje de máquina*. La forma de codificar estas operaciones o *instrucciones* es por medio de ceros y unos, que es lo único que entiende el microprocesador.

Un *lenguaje ensamblador* permite realizar programas con instrucciones muy cercanas a las contenidas en un lenguaje de máquina. Su utilidad es facilitar la lectura y escritura de un programa. Dos instrucciones típicas en un lenguaje ensamblador son:

```
ADD POSICION1, POSICION2
MOV POSICION3, POSICION1
```

Estas instrucciones se traducen posteriormente en lenguaje de máquina para permitir al microprocesador realizar las operaciones que se describen a continuación: en la primera instrucción se toma el valor almacenado en la posición de memoria POSICION2, luego lo suma al valor almacenado en POSICION1 y el resultado se almacena en POSICION1. La segunda instruye al microprocesador para almacenar en POSICION3 una copia del valor almacenado en POSICION1. El microprocesador ejecuta secuencialmente cada una de las instrucciones, modificando, como ellas lo indiquen, los datos en la memoria. El microprocesador ofrece además instrucciones para manipulaciones lógicas, comparación de datos e instrucciones que alteran la ejecución secuencial. La alteración de la ejecución secuencial puede estar condicionada al resultado de una operación lógica. Cada microprocesador tiene un lenguaje de máquina propio. Programar en lenguaje de máquina permite obtener los mayores beneficios de las características propias de un microprocesador. Por el contrario, es una metódica tarea consistente en componer las instrucciones elementales para obtener un resultado. El programa que se obtiene es una descripción precisa de cómo calcular el resultado en un microprocesador determinado. Esto se denomina *programación de bajo nivel*.

Compilación vs. interpretación

La traducción de un lenguaje de alto nivel (PASCAL, C, etc.) en lenguaje de máquina puede realizarse básicamente de dos formas diferentes: una es la *compilación*. En este caso el traductor, conocido como *compilador*, traduce el programa escrito en *lenguaje fuente* (programa escrito en PASCAL, C, etc.) en *lenguaje objeto* (lenguaje de máquina). La ejecución se realizará posteriormente, cuando el programa objeto sea cargado en la memoria del computador. Para la ejecución de este programa ya no será necesario ni el compilador ni el programa fuente. La ejecución del programa objeto así creado es mucho más rápida. La otra forma de traducción es la *interpretación*: el traductor, conocido como *intérprete*, traduce cada instrucción, la ejecuta inmediatamente y pasa a la siguiente instrucción. De esta manera siempre tendremos una dependencia del programa fuente y del intérprete.

► En el área de la enseñanza, un lenguaje debe permitir al estudiante comprender los principios básicos de la algoritmia.

Los lenguajes de programación imperativos

Estos lenguajes son los más conocidos, como ejemplos podemos citar BASIC, FORTRAN, COBOL, PASCAL, C y muchos otros. Los conceptos que los fundamentan tienen fuerte influencia de la arquitectura de computadores conocida como Von Neumann, de la cual abstraen las interacciones entre sus componentes principales: memoria y microprocesador. La programación imperativa soporta instrucciones que realizan cálculos y modifican los datos en memoria, ejecutadas en forma secuencial. Como ejemplo, calcular el promedio de dos valores puede describirse como:

```
a := 3
b := 9
promedio := (a + b) / 2
```

lo que significa: «primero» se almacena el valor 3 en la posición de memoria a; «luego» se asigna 9 a b; «finalmente» la suma de a y b se divide entre 2 y el resultado final se almacena en promedio. a, b y promedio se denominan variables del programa y hacen referencia a

posiciones de memoria. El símbolo := se conoce como la *instrucción de asignación*.

Las variables están asociadas con *tipos* predefinidos que representan el conjunto válido de valores y las operaciones que se pueden ejecutar sobre ellos. El lenguaje define las conversiones posibles entre diferentes tipos (en Pascal, el valor de tipo *Real* 2.3, convertido a *Integer*, descarta la parte decimal, dando como resultado 2). Las variables se asocian con los tipos cuando se introducen por primera vez en el código en las llamadas *instrucciones de declaración*. Por ejemplo:

```
nombre, apellido, persona : String;
edad : Integer;
```

nombre, apellido y persona son variables que pueden almacenar cadenas de caracteres (*String*), edad es una variable que puede almacenar números enteros (*Integer*).

Algunas operaciones son:

```
nombre := "Simón";
apellido := "Bolívar";
persona := nombre + " " + apellido;
edad := 1831 - 1781;
```

El símbolo - (menos) indica la existencia de la operación diferencia entre datos de tipo *Integer*, el símbolo + (más) representa la operación concatenación entre datos de tipo *String* (después de la ejecución de la instrucción, la variable persona tendrá como contenido la cadena "Simón Bolívar").

Los datos pueden provenir de fuentes externas al programa. Las *instrucciones de entrada* permiten indicar en qué posición de memoria se depositan los datos de proveniencia externa. Ejemplo:

```
Read(fuente, a);
```

Lo anterior expresa que se toma un valor del productor de datos fuente y se deposita en la variable a. El productor de datos puede ser, por ejemplo, el teclado o la conexión de red.

Existen instrucciones que permiten alterar la secuencia de ejecución del programa, éstas son la instrucción *condicional* (if then else) y los *ciclos* (do, for, while).

```
if promedio > 4 then bonificación := 100
else bonificación := 0
```

En el código precedente, la próxima instrucción por ejecutar se condiciona al valor almacenado en la variable promedio.

```

total := 0;
venta := 1;
while venta > 0 do
  read (teclado, venta);
  total := total + venta;

```

En el código precedente, se acumula en la variable *total*, las ventas efectuadas, los valores de cada venta individual se comunican al programa por medio del teclado, el proceso se termina cuando el usuario ingresa un valor negativo o cero.

Los datos se necesitan tratar algunas veces como colecciones, más que como valores individuales. Los lenguajes imperativos ofrecen facilidades para conformar grupos de información contiguos en memoria llamados *arreglos*, *vectores* o *matrices* si sus componentes son del mismo tipo, y llamados *registros* o *estructuras* si son de diferente tipo. Se pueden componer arreglos de estructuras o estructuras que contienen arreglos, combinándolos en las formas que sean necesarias a la aplicación. Como ejemplo:

```

notas : Array[1..10] of Integer;
Alumno : Record
  nombre : String;
  edad : Integer;
  notas : Array[1..10] of Real;
End;

```

También existen mecanismos para relacionar información independiente de sus posiciones en la memoria. La forma más general de relacionar la información se denomina grafo, que consiste en un conjunto de nodos de información que pueden estar relacionados con cualquier otro nodo en el grupo; dos versiones regulares de esta estructura son las listas y los árboles. Para optimizar la creación y evolución de estas estructuras se emplean las direcciones de cada bloque de memoria utilizado. El tipo de variable denominado *apuntador* se usa para manipular estas direcciones de memoria.

► En su forma pura los lenguajes imperativos solamente tienen las instrucciones de asignación, los saltos condicionales o incondicionales y el concepto subyacente de ejecución secuencial.

Se dice que en su forma pura los lenguajes imperativos solamente tienen las instrucciones de asignación, los saltos condicionales o incondicionales y el concepto subyacente de ejecución secuencial.

Los *subprogramas* permiten agrupar un conjunto de instrucciones que ejecutan una tarea específica sobre unos datos definidos. Varios subprogramas conforman una librería. Como ejemplo:

```

inversa (sistema : Matriz; filas Integer; resultado Integer)

```

es una de las funciones que podría ofrecer una librería matemática, donde *sistema* es una variable del tipo *Matriz* que se define como:

```

Type
Matriz : Array[1..10][1..10] of Integer;

```

e *inversa* representa el conjunto de operaciones necesarias para calcular la matriz inversa de *sistema*, expresando en resultado el éxito o fracaso de la operación.

Un subprograma es una *abstracción de un proceso* por realizar sobre un conjunto de datos determinados. El usuario del subprograma puede ignorar cuáles son las operaciones necesarias para procesar estos datos; el programador del subprograma elige libremente las instrucciones que le permiten obtener el resultado especificado.

Un lenguaje con las características hasta aquí descritas se conoce como un *lenguaje de programación estructurada*.

Programar en lenguajes imperativos implica las siguientes actividades: definir qué datos se requieren para obtener la solución; representar estos datos asociándolos a posiciones en la memoria y derivar una secuencia de transformación, paso a paso, sobre estos datos, de modo que sus valores finales correspondan con el resultado esperado. Son lenguajes catalogados como operacionales ya que el resultado de la computación se expresa por medio de un programa que indica detalladamente cómo calcularlo.

Los lenguajes imperativos pueden hacer un uso eficaz de los computadores construidos según la arquitectura Von Neumann, lo que les impide sacar provecho directo de otras arquitecturas, por ejemplo, la llamada arquitectura paralela, compuesta de varios microprocesadores ejecutando instrucciones simultáneamente.

Sus instrucciones, con conceptos demasiado ligados a un computador determinado,

dificultan la fácil y clara abstracción de la computación subyacente; es necesario un gran esfuerzo para expresar cómo obtener el resultado, lo que impide concentrarse en qué se quiere obtener. Operaciones y datos están íntimamente ligados, entrelazados a lo largo del código, lo cual dificulta la comprensión de los programas y su verificación. El carácter destructivo de la operación de asignación puede implicar efectos laterales de difícil previsión y detección. Algunas prácticas de buena programación tratan de evitar los errores frecuentes de los programadores, inherentes a lo elemental de las instrucciones disponibles: las variables deben tener un valor inicial antes de utilizarlas, evitar el uso de la instrucción `goto`, descomponer el problema en subproblemas, etc.

Abstracción de datos

Con la intención de abstraer conceptos, aparecieron lenguajes que introdujeron lo que se conoce como datos abstractos. Un *dato abstracto* presupone la existencia de información asociada con ciertas operaciones, que son el único medio de acceder o modificar esta información. Lenguajes que soportan este concepto son MODULA-2 y ADA, entre otros.

Como ejemplo, una lista de datos puede abstraerse como una secuencia de datos a la cual se le pueden adicionar y extraer elementos, consultar la existencia de un elemento particular, recorrer los elementos secuencialmente, etc.

```
alumnos: Lista of Alumno;
alumno: Alumno;

alumnos.Adicionar(" Carlos ");
alumnos.Adicionar(" Diana ");
i := 0;
while i <= alumnos.Cantidad() {
  alumno := alumnos.Siguiente();
  /* imprima alumno */
}
if alumnos.Contiene(" Fernando ") then
.../* ejecute algún cálculo .. */
```

Los tipos básicos presentes en los lenguajes de programación son en sí mismos datos abstractos: REAL en FORTRAN representa números con fracción decimal, sobre los cuales se pueden aplicar los operadores matemáticos predefinidos en el lenguaje; aunque dos compiladores de FORTRAN pueden tener código diferente para implementar las operaciones

sobre el tipo REAL, sin que el punto de vista del usuario se modifique: 3.0 - 2.0 debe siempre dar como resultado 1.0. Un lenguaje que implementa abstracción de datos permite al programador definir unidades de información con mayor significado que las de los tipos predefinidos y utilizarlas con la facilidad de éstos. Un usuario de un dato abstracto puede concentrar su esfuerzo en la lógica del programa. El programador que implementa un dato abstracto es libre de elegir la representación concreta de los datos y las instrucciones que implementan las operaciones. En el ejemplo, el programador puede representar la Lista como un arreglo o como un conjunto disperso de segmentos de memoria.

Genericidad de tipos

Algunas computaciones que tienen objetivos definidos, hacen suposiciones generales sobre los tipos de los datos que utilizan. Por ejemplo, determinar el menor de tres valores impone solamente la existencia de un operador de comparación sobre los datos. Un código genérico para lograr este objetivo puede ser:

```
mayor(a: Tipo1; b Tipo1; c Tipo1) : Tipo1 {
  aux := a;
  if (b > aux) aux := b;
  if (c > aux) aux := c;
  return aux;
}
```

Tipo1 se denomina un *tipo genérico* para esta operación.

Por ejemplo, se puede utilizar la operación anterior en diversas situaciones:

```
examen1, examen2, examen3 : Integer;
nota := mayor(examen1, examen2, examen3);

alumno1, alumno2, alumno3 : Alumno;
elegido := mayor(alumno1, alumno2, alumno3);
```

El lenguaje generará automáticamente dos versiones de código, una para actuar sobre variables de tipo Integer y otra para actuar sobre las variables del tipo Alumno definido por el usuario; este último debe contar entre sus operaciones con la definición del operador de comparación > (mayor que). El proceso de generación automática de código para un tipo dado se conoce con el nombre de *instanciación*.

Lenguajes de programación orientados a objeto

La programación orientada a objeto posibilita la definición de un programa en términos de objetos inspirados en entidades existentes en el mundo real. Cada *objeto* en el programa puede recibir ciertos *mensajes*; ante la recepción de un mensaje un objeto ejecuta un *servicio* particular.

El conjunto de mensajes posibles se conoce como la *interfaz* del objeto. Para aclarar los conceptos, supóngase un reloj con dos botones, uno de ellos para modificar la hora y el otro para modificar los minutos. Los mensajes que se pueden enviar al reloj son: mostrar la hora, avanzar una hora o avanzar un minuto. Esta descripción de relojes independiente de los mecanismos internos del reloj (piñones y resortes en un reloj mecánico, cristal de cuarzo y transistores en un reloj electrónico). Los botones, el tablero y los mensajes definidos se consideran la *interfaz* del objeto *reloj*, la *información* y *mecanismos* internos necesarios para dar la hora, se conocen como su *implementación*.

Otro ejemplo: un cliente tiene algo de dinero y necesita alguna cantidad de un producto. La satisfacción de su necesidad se concreta en el consumo del producto. La compra de este producto está sujeta a la disponibilidad del mismo y a su valor. Un código que representa esta situación es:

```
cantidad := cliente.Necesidad(producto);
if (cantidad > 0) {
  if (producto.Existencia() > cantidad) {
    if (cliente.Dinero() > producto.Precio()*cantidad){
      factura.Incremente(producto.Precio()*cantidad);
      producto.DescontarInventario(cantidad);
      cliente.Pago(producto.Precio()*cantidad);
      cliente.Consume(producto, cantidad);
    }
  }
}
```

En este código, el *envío de un mensaje a un objeto* se representa por un punto: a la izquierda

del punto se encuentra el objeto, a la derecha el mensaje que se le envía, posiblemente con algunos parámetros entre paréntesis.

Cada objeto almacena algunos datos internos, conocidos como su *estado*: para el cliente, su estado es la cantidad que necesita del producto y el dinero disponible; para el producto, la cantidad disponible y su precio unitario; para la factura, el monto acumulado de la venta. Después de la interacción el estado de los objetos se modifica según el sentido de las operaciones indicadas: el dinero del cliente disminuye, así como su necesidad del producto; la existencia del producto disminuye y el monto de la factura aumenta.

Como ocurre con datos abstractos, la representación interna del estado y el código de las operaciones permanecen ocultos al usuario del objeto. Este concepto se conoce como *encapsulamiento de la información*, o simplemente *encapsulamiento*.

En este código están implícitas las nociones de almacenamiento de datos y ejecución secuencial de las instrucciones, que caracterizan la programación imperativa.

Un objeto pertenece a una *clase* determinada, en una relación similar a la existente entre un dato y su tipo. En la clase están definidos los mensajes que el objeto puede recibir. En el programa pueden existir varios objetos pertenecientes a la misma clase, cada uno con su estado particular. En el caso del ejemplo: pueden existir dos clientes, cada uno con diferente cantidad de dinero y diferente necesidad del mismo producto. Crear un nuevo objeto perteneciente a una clase determinada recibe el nombre de *instanciación* de la clase.

Otra característica potente de la programación orientada a objeto es la *herencia*, o sea la posibilidad de describir nuevas clases en términos de clases existentes. La nueva clase hereda de la clase existente o *ancestro*, convirtiéndose en su *descendiente*. Otra forma de denominar esta relación es designando las clases como *clase base* y *clase derivada*. Una clase derivada puede recibir todos los mensajes que recibe la clase base y puede definir la posibilidad de recibir nuevos mensajes; también puede definir una forma diferente a la de su ancestro de reaccionar ante la recepción de un mensaje; esto se conoce como *redefinir* el comportamiento ante un mensaje. Si es necesario, una clase descendiente puede definir su propia información, adicional a la de su ancestro; su estado estará conformado por la unión de los dos conjuntos de información. Como ejemplo se puede citar una clase *Radio*, que

► La programación orientada a objeto posibilita la definición de un programa en términos de objetos inspirados en entidades existentes en el mundo real.

Evolución del material informático

recibe mensajes para cambiar la emisora y para aumentar o disminuir el volumen del sonido; representar un radio reloj se puede lograr simplemente declarando una nueva clase `RadioReloj`, que heredará de las clases `Radio` y `Reloj`.

Algunas secciones del código de un programa expresan sus operaciones en términos de los mensajes aceptados por clases bases. Al momento de la ejecución, el programa instancia clases derivadas, que reaccionan en forma diferente ante el mismo mensaje. El código así escrito se dice que es *polimórfico*, porque se puede comportar en forma diferente cada vez que se ejecuta.

Por ejemplo, un programa de información de un zoológico puede desplegar ciertas informaciones acerca de un animal particular. La clase base `animal` define los siguientes mensajes:

```
animal.Dibujo(pantalla);  
animal.Edad(pantalla);  
animal.Localización(pantalla);
```

El resultado de este código (el dibujo, la edad y la localización presentes en la pantalla) dependerá de la instanciación previa del objeto `animal` en las clases derivadas `Tortuga` o `Chigüiro`.

```
animal = new Tortuga (TortugaGalápagos,  
90, Norte);
```

```
animal = new Chigüiro (ChigüiroDel  
Amazonas, 4, Sur);
```

La programación orientada a objeto nos conduce a pensar acerca de conceptos individuales, liberándonos de la obligación de tener presente la información total del sistema, que es la consecuencia de las instrucciones propuestas por los lenguajes de programación estructurada. La descomposición de los problemas se realiza en términos de objetos que ejecutan las tareas cooperativamente; estos objetos son modelos de las entidades en el dominio de la aplicación; esto permite una mejor comprensión del problema. Las implicaciones directas son un mejor dominio de la evolución posible de la aplicación, facilitando su extensión y confinando los posibles cambios a porciones limitadas en el código. La herencia permite la reutilización del código, reduciendo la necesidad de escribir nuevo código.

Muchos de los lenguajes orientados a objeto incluyen implícita o explícitamente mecanismos de genericidad de tipos. En este caso el código escrito supone que los objetos involucrados están en capacidad de recibir ciertos mensajes.

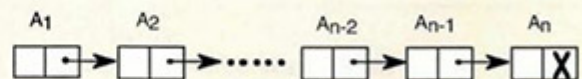
El abuso de la herencia puede generar estructuras complejas, cuyas interrelaciones son difíciles de comprender (informalmente se le denomina «código lasaña», así como el «código espagueti» se origina en el abuso del `goto` en la programación estructurada). El abuso

Un poco sobre listas

Una lista es una secuencia de elementos que se encuentran en un orden particular, lo que nos permite hacer referencia a un primer elemento, segundo elemento, etc., hasta llegar al último elemento (para una secuencia finita). En una lista pueden existir dos o más elementos exactamente iguales. Sobre una lista se puede realizar un gran número de operaciones relativamente simples, entre ellas eliminar o adicionar un elemento en cualquier posición de la lista, ordenarla según un criterio determinado, unir dos listas, etc.

La importancia principal de las listas es que proveen una forma simple de agrupar una colección de elementos (del mismo tipo) como un objeto simple y donde el número de elementos puede variar de una colección a la otra.

La siguiente gráfica es una lista simple que representa la secuencia $A_1, A_2, \dots, A_{n-2}, A_{n-1}, A_n$



A_1 es el primer elemento de la lista y tiene la información (representada por la flecha) que nos indica cuál es el siguiente elemento; en el caso de A_n la **X** nos indica que es el último elemento de la lista.

del polimorfismo también puede conducir a código difícil de comprender.

Ciertos expertos consideran que los lenguajes orientados a objeto se deben enseñar/aprender antes que los lenguajes de programación estructurada. SmallTalk y Eiffel son catalogados como lenguajes orientados a objeto puros. C++ extiende el lenguaje C, incorporando las características de la programación orientada a objeto, manteniendo la eficiencia de ejecución muy cercana a la obtenida por lenguajes escritos en C.

Lenguajes funcionales o aplicativos

¿Qué pensaría usted de un lenguaje de programación que no tiene variables, ni instrucciones de asignación, ni noción de control de flujo?

En un lenguaje imperativo el resultado de la evaluación de una expresión se almacena en un lugar en la memoria, el cual se representa a través de una variable. En un lenguaje de programación funcional no se utilizan variables ni instrucciones de asignación. De esta forma, el programador no tiene ninguna relación directa con posiciones de memoria en el computador.

La programación funcional está basada en el más simple de los modelos: encontrar el valor de una expresión. Esto es algo a lo que los estudiantes se enfrentan en sus primeros años de escuela, cuando aprenden a resolver expresiones como $10 + (4-2)$ evaluando cada una de las partes, 10 y $(4-2)$, para posteriormente sumar los dos resultados.

La programación funcional tiene como concepto básico la aplicación de funciones matemáticas. Lo que significa que trata de imitar en lo posible el comportamiento del modelo de función matemática. Un lenguaje funcional suministra un conjunto de funciones primitivas, un conjunto de formas funcionales para construir funciones complejas a partir de las funciones de base, expresiones condicionales, recursividad para el control de ejecución y algunas estructuras para almace-

namiento de datos, siendo la lista el tipo abstracto fundamental. La mayoría de los lenguajes funcionales existentes están implementados por medio de intérpretes, pero también existen versiones implementadas con compilador. Haskell y Miranda son algunos ejemplos de lenguajes de programación funcional. Las principales aplicaciones de los lenguajes funcionales se encuentran en el dominio de la inteligencia artificial.

El siguiente ejemplo implementa la función factorial:

```
factorial :: num -> num
factorial n
    = 1, if n = 0
    = n * factorial(n-1), if n>0
    = error "argumento negativo",
      otherwise =
```

La primera línea del ejemplo indica que la función `factorial` recibe un argumento del tipo `Int` y retorna como resultado un valor del tipo `Int`. Se observa también el uso de la recursividad y de una expresión condicional para la definición de la función `factorial`; la función `error` envía un mensaje a un dispositivo de salida para el caso en que se pase un argumento negativo a la función `factorial`.

El siguiente ejemplo encuentra el mayor de dos números:

```
mayor :: num -> num -> num
mayor n m
    = n , if n>=m
    = m , otherwise
```

En esta definición se declara que la función `mayor` recibe dos parámetros del tipo `num` y retorna un valor del tipo `num`, en donde `num` es el tipo usado para indicar números. El resto de la definición expresa la forma para encontrar el mayor.

Un ejemplo de evaluación de estas funciones podría ser:

```
mayor (factorial 3) 10
```

lo que daría como resultado 10. Es también posible definir una función en términos de otra. Por ejemplo:

```
cuadrado :: num -> num
cuadrado x = x * x
```

```
cubo :: num -> num
cubo x = x * cuadrado x
```

► Ciertos expertos consideran que los lenguajes orientados a objeto se deben enseñar/aprender antes que los lenguajes de programación estructurada.

La desventaja desde el punto de vista de eficiencia de un lenguaje funcional, respecto de los lenguajes imperativos, se ve compensada por el alto nivel de abstracción que permite, lo que significa que se requiere un esfuerzo de programación menor, la probabilidad significativamente menor de generar errores y la ausencia de efectos laterales. La semántica y la estructura sintáctica de un lenguaje funcional también son más sencillas. Además, con el uso

cada vez más amplio de computadores masivamente paralelos (con muchos procesadores), la programación funcional mejora su eficiencia, dado que por naturaleza está mejor adaptada para trabajar en ambientes paralelos.

Existen actualmente un buen número de lenguajes funcionales, algunos llamados puramente funcionales (sin variables y fundamentados en la lógica combinatoria), entre los que encontramos Haskell (Haskell es actualmente un esfuerzo de estandarización), Miranda, Gofer, Hope, LML, Concurrent Clean, ASpecT, Erlang, etc. Y otros que presentan aspectos funcionales y que son de carácter híbrido, es decir, presentan características de programación imperativa (uso de variables); entre éstos encontramos LISP, Scheme, CAML, etc. LISP fue el primer lenguaje funcional, pero sólo su primera versión fue puramente funcional.

En la actualidad se está empezando a utilizar la programación funcional en diferentes instituciones académicas, cerca de 78 en Estados Unidos, Gran Bretaña, Suecia, Francia, Alemania, de las cuales un 23% introducen la programación funcional como primer lenguaje de programación.

La programación lógica: diciendo «qué» en lugar de «cómo»

Los lenguajes de *programación lógica* son muy diferentes de los lenguajes imperativos y aún más de los lenguajes funcionales. La programación lógica no es procedural; al escribir un programa con este tipo de lenguajes, no se describe **cómo** se debe llegar al resultado sino **qué** es lo que se desea como resultado. Los programas están compuestos por declaraciones en lugar de asignaciones, por lo que se conocen también como *lenguajes declarativos*.

Un programa escrito en programación lógica está constituido por un conjunto de *hechos* verdaderos (*axiomas*), *reglas* (que describen relaciones lógicas entre los hechos) y una declaración que se tiene como *objetivo* o *pregunta* (una proposición por verificar o un problema por resolver). La información suministrada (reglas y hechos) se manipula usando reglas de la lógica de inferencia hasta demostrar que el *objetivo* inicial es o no una verdad.

Orígenes de la programación funcional

La programación funcional o aplicada tiene sus orígenes con el comienzo de la Inteligencia Artificial (IA) y el procesamiento de listas hacia el año 1950. Fue por esta época cuando empezaron a aparecer personas de formaciones diferentes, como lingüistas que se interesaron en el procesamiento del lenguaje natural, matemáticos interesados en la mecanización de ciertos procesos como la prueba de teoremas, y psicólogos que se interesaban en modelar, entre otros, el método de acceso y memorización de la información en el cerebro.

El resultado de las investigaciones desarrolladas por estos grupos convergió sobre una conclusión común: la necesidad de desarrollar un método que permitiera a los computadores procesar datos simbólicos en listas.

Es así como surgió el concepto de procesamiento de listas, el cual fue desarrollado por Allen Newell, J.C. Shaw y Herbert Simon. Newell y Simon realizaron una publicación en 1956, en la que describen uno de los primeros programas de IA y un lenguaje en el que podría implementarse. El lenguaje se llamó IPL-I (Information Processing Language I), pero este nunca fue implementado. La versión siguiente, IPL-II, se implementó sobre un computador Johnniac de Rand Corporation. La contribución de la familia IPL estuvo en el diseño de listas y en demostrar que era realizable y útil.

En el año 1950, IBM manifestó su interés en el área de la IA. Por esta razón y por el alto costo de desarrollo de FORTRAN, se diseñó el FORTRAN List Processing Language (FLPL), que fue una extensión de FORTRAN. FLPL se utilizó para construir un verificador de teoremas para la geometría plana.

John McCarthy realizó en 1958 investigaciones sobre la computación simbólica y los requerimientos para realizarla. De este estudio se concluyó que se necesitaba un lenguaje que permitiera recursividad, expresiones condicionales y la posibilidad de destrucción de listas en desuso.

Para McCarthy era claro que existía la necesidad de crear un lenguaje de estas características (que FLPL no poseía). Es así como a fines de 1958 en el MIT, él y Marvin Minsky comienzan la tarea de producir un programa para el procesamiento de listas. De sus esfuerzos se obtuvo como resultado final el desarrollo del lenguaje de procesamiento de listas LISP (List Processing Language).

En el siguiente ejemplo de programación lógica las tres primeras líneas representan las reglas (en nuestro caso, cómo se establecen las relaciones entre parientes); las siguientes tres líneas representan los hechos (algunas relaciones conocidas entre parientes y que podemos asimilar como una base de datos); la última línea enuncia un objetivo por probar.

```

progenitor(X, Y) :- padre(X, Y) .
progenitor(X, Y) :- madre(X, Y) .
abuelo(X, Z) :- progenitor(X, Y), progenitor(Y, Z) .

padre(fabio, daniel) .
padre(daniel, rocío) .
madre(camila, rocío) .

:- padre(daniel, rocío) .

```

La primera línea puede leerse como «X es progenitor de Y si X es el padre de Y». De esta manera las dos primeras líneas expresan la idea X es un progenitor de Y si X es padre o madre de Y. La tercera línea expresa que «X es un abuelo de Z, si para algún Y, X es progenitor de Y y Y es un progenitor de Z». Las cuatro líneas correspondientes a los hechos corresponden a afirmaciones respecto de relaciones conocidas, así el hecho `padre(fabio, daniel)` afirma que Fabio es el padre de Daniel y el hecho `madre(camila, rocío)` significa que Camila es la madre de Rocío. En la última línea se lanza la pregunta: ¿es Daniel padre de Rocío?, para la cual se tiene la respuesta:

yes

El programa encontró la respuesta gracias al hecho `padre(daniel, rocío)` (Daniel es el padre de Rocío) que corresponde con el objetivo `:- padre(daniel, rocío)` (¿es Daniel el padre de Rocío?). Otro objetivo podría ser:

```
:- abuelo(X, rocío) .
```

que corresponde a la pregunta: ¿existe un individuo X que es abuelo(a) de Rocío?, caso en el cual el programa genera la respuesta:

```
X = fabio
```

El proceso mediante el cual el programa encuentra la respuesta se conoce como *inferencia* (proceso de deducción). Para probar que un objetivo es cierto, se debe encontrar mediante este proceso una cadena de reglas y/o hechos que conecten entre sí el objetivo y

uno o más hechos en la base de datos. Por ejemplo, si Q es el objetivo, entonces se debe encontrar, mediante el proceso de inferencia, Q como un hecho en la base de datos o una secuencia de proposiciones P_1, P_2, \dots, P_n tales que permitan verificar Q. El proceso de encontrar los P_i (o subobjetivos), cuando éstos existen, se realiza haciendo comparaciones con la información contenida en la base de datos y con los nuevos hechos que se van generando. El proceso mediante el cual se encuentran los valores intermediarios de las variables que permiten llegar a la solución del problema se llama *unificación*, y la asignación temporal de valores a estas variables se conoce como *instanciación*.

En el caso del ejemplo, el programa debe intentar, a través de la *unificación*, encontrar una *instanciación* de X que resulte en un valor verdadero para el objetivo.

El siguiente ejemplo, escrito en Prolog, es una versión un poco más compleja del anterior y como éste se divide en tres partes principales, en la primera se tiene un conjunto de cláusulas que definen el dominio del problema, en este caso las relaciones entre parientes. La tercera línea expresa que «X es un abuelo de Z, si para algún Y, X es progenitor de Y y Y es un progenitor de Z». Las siguientes dos líneas expresan una definición recursiva de la relación ancestro: «X es un ancestro de Z si X es progenitor de Z o, si para algún Y, X es un progenitor de Y y Y es un ancestro de Z», etc.

```

progenitor(X, Y) :- padre(X, Y) .
progenitor(X, Y) :- madre(X, Y) .
abuelo(X, Z) :- progenitor(X, Y), progenitor(Y, Z) .
ancestro(X, Z) :- progenitor(X, Z) .
ancestro(X, Z) :- progenitor(X, Y), ancestro(Y, Z) .
hermanos(X, Y) :- madre(M, X), madre(M, Y),
                  padre(F, X), padre(F, Y), X \= Y .
primos(X, Y) :- progenitor(U, X),
                progenitor(V, Y), hermanos(U, V) .

```

```

padre(fabio, jefferson) .
madre(graciela, jefferson) .
padre(fabio, daniel) .
madre(graciela, daniel) .
padre(walter, camila) .
madre(milena, camila) .
padre(daniel, rocío) .
madre(camila, rocío) .
padre(daniel, victor) .
madre(camila, victor) .

```

```
:- ancestro(X, rocío), hermanos(X, jefferson) .
```

► En la programación lógica no se describe *cómo* se debe llegar al resultado sino *qué* es lo que se desea como resultado.

Evolución del material informático

La primera parte del programa enuncia cierto número de principios generales (reglas) y la segunda enuncia un número de hechos particulares. Así, podemos ver que Fabio es el padre de Jefferson y que Graciela es la madre de Jefferson. Se puede asociar esta parte del programa como una base de datos que define las relaciones entre los individuos.

Para que el programa pueda entregar una respuesta se le debe hacer una pregunta. Este es el propósito de la tercera parte del programa, en donde se enuncia el *objetivo*. El *objetivo* en este caso es encontrar X tal que X sea un ancestro de Rocío y también un(a) hermano(a) de Jefferson.

Como en este caso existe un individuo que satisface el *objetivo*, el sistema responde:

$X = \text{daniel}$

Para llegar a la respuesta, el sistema debe generar la siguiente prueba:

El objetivo es encontrar un X tal que «ancestro(X , rocío)» y «hermanos(X , jefferson)». Ahora, «hermanos(X , jefferson)» es verdadero si existen los individuos M y F tales que «madre(M , jefferson)», «padre(F , jefferson)», «madre(M , X)» y «padre(F , X)». Si fijamos $M = \text{graciela}$ y $F = \text{fabio}$, tenemos que «madre(M , jefferson)» y «padre(F , jefferson)». Pero ahora es necesario encontrar un X tal que «madre(M , X)» y «padre(F , X)». Este X es «daniel».

Se debe determinar también si «ancestro(daniel, rocío)» es verdad. Ahora, «ancestro(daniel, rocío)» es verdad si «progenitor(daniel, rocío)» o si hay un Y tal que «padre(daniel, Y)» y «ancestro(Y , rocío)». Además, «progenitor(daniel, rocío)» es verdad si «padre(daniel, rocío)» o «madre(daniel, rocío)» es verdad. Pero se tenía que «padre(daniel, rocío)», entonces el teorema es verdad para $X = \text{daniel}$.

Para el mismo ejemplo, obsérvense las respuestas que genera el sistema si se plantean otros objetivos.

si el objetivo fuera: abuelo(fabio, víctor).
 el sistema respondería: yes
 si el objetivo fuera: primos(graciela, walter).
 el sistema respondería: no

Es importante notar que cuando el sistema responde «no», esto no significa que el objetivo sea falso, significa que el objetivo no puede probarse con las reglas y los hechos particulares que se suministraron.

Si planteamos el objetivo: :-hermanos(A , B).
 la respuesta sería: $A = \text{jefferson}, B = \text{daniel}$

Si planteamos varias veces el mismo objetivo, las respuestas serían:

$A = \text{jefferson}, B = \text{daniel};$
 $A = \text{daniel}, B = \text{jefferson};$
 $A = \text{rocío}, B = \text{víctor};$
 $A = \text{víctor}, B = \text{rocío};$
 no

El sistema encuentra todas las posibles formas del objetivo por satisfacer (aun si hay algunas que no son de interés) y responde «no» cuando no encuentra más soluciones.

Prolog es una herramienta muy útil y práctica. Sin embargo, introduce algunas impurezas que manifiestan las diferencias entre Prolog, el lenguaje, y la programación lógica, el concepto.

El concepto de programación lógica se encuentra ligado históricamente al lenguaje de programación Prolog. En los años 70, Alain Colmerauer, Philippe Roussel y sus colegas del grupo de Inteligencia Artificial de la Universidad de Marsella desarrollaron un lenguaje basado sobre estas ideas (de programación lógica). El lenguaje se llamó Prolog por «*Programming in Logic*». Prolog fue desarrollado en 1972 y es aún en nuestros días el lenguaje de programación de este tipo más ampliamente difundido. Prolog se aplicó inicialmente al procesamiento del lenguaje natural. También se ha usado en especificación de algoritmos, búsqueda en bases de datos, escritura de compiladores y construcción de sistemas expertos. Prolog también se ha utilizado en aplicaciones relacionadas con el reconocimiento de formas.

Algunas palabras sobre el proceso de desarrollo de programas

La operación de muchos sistemas se apoya hoy en día en complicados sistemas de software. Muchos de ellos adquieren importancia a nivel económico, estratégico o financiero: manejo de las grandes bolsas de acciones del mundo, los equipos de comunicaciones de las centrales telefónicas, los sistemas de re-

servación de tiquetes de avión, el software incorporado en las naves espaciales, etc. El funcionamiento erróneo de algunos de estos sistemas puede llevar a la pérdida directa de vidas humanas: plantas nucleares, sistemas de control automático de vuelo en los aviones, equipos de medicina, entre otros. La creciente importancia del software ha conducido a reflexionar sobre su proceso de producción, con miras a obtener productos de indiscutible calidad.

En la década de los 70 se evidenció lo que se conoce como la crisis del software, caracterizada por la dificultad en prever los recursos necesarios para la realización de un proyecto de software. Así mismo, las fallas de algunos sistemas evidenciaron la dificultad en garantizar la confiabilidad de los mismos. Un caso popular entre estas fallas fue el bloqueo completo del sistema de teléfonos de Nueva York durante más de nueve horas. Una reflexión respecto de los métodos de desarrollo de programas empleados entonces, condujo a las siguientes conclusiones: generalmente los desarrollos se hacen de una forma empírica, casi artesanal, reposando en gran medida en la experiencia de algunos miembros del grupo de desarrollo. No hay metodología que guarde la información de las decisiones efectuadas en

diversas etapas del desarrollo. Hay dificultad en garantizar que los programas corresponden a las necesidades que los generaron, muchas veces por dificultades en la expresión de las mismas. Es difícil prever el impacto de modificaciones sobre el código existente. La incorporación de nuevas funcionalidades relativamente simples puede implicar cambios en la casi totalidad del código. Es difícil afrontar el desarrollo de grandes sistemas.

El estudio del proceso de producción de software mantiene su importancia, dado que las aplicaciones existentes se ven sometidas a exigencias de modificaciones, algunas de ellas provenientes de nuevos desarrollos tecnológicos (el advenimiento de computadores paralelos, por ejemplo), de la masificación de las redes

de computadores que permiten su acceso remoto, de la exigencia de acoplarse a estándares de calidad o estándares de interacción, etc.

Existen propuestas de metodologías de desarrollo de programas que atacan estas y otras debilidades. Un modelo aceptado del desarrollo de software comprende las siguientes etapas: identificación del problema, captura de requerimientos, análisis, concepción, implementación, pruebas y puesta en servicio. Se ha llegado al consenso de partir de especificaciones que indican *qué* se requiere del sistema, retardando al máximo expresar *cómo* se piensa obtener el resultado; la respuesta al *cómo* se producirá progresivamente en las etapas de concepción y de implementación. Así mismo, se aboga por las técnicas que permitan la reutilización de módulos existentes con calidad certificada y minimicen la escritura de nuevo código. Se pretende igualmente la generación de nuevos módulos reutilizables.

Cada etapa produce ciertos modelos, que se toman como datos de entrada para la etapa siguiente; los nuevos modelos producidos son versiones más detalladas de los modelos de entrada, haciendo énfasis en una solución particular; la producción de los nuevos modelos implica una reflexión sobre los modelos anteriores y posiblemente su revisión. Se pretende realizar un proceso altamente iterativo en las etapas iniciales, de tal forma que se minimicen las modificaciones en las etapas finales, donde las modificaciones son más costosas.

Se observa también un interés en automatizar las etapas de producción de software; existen programas denominados ambientes de programación o herramientas de desarrollo de software; éstas pueden ser más o menos complejas, abarcando desde la ayuda a representar y almacenar los modelos y las decisiones de diseño, hasta expresar y verificar la existencia de algunas propiedades o generar automáticamente algunas secciones de código.

Ciertos investigadores trabajan en la incorporación de métodos formales, que tienen como base diversas teorías matemáticas y que permitirán definir de forma no ambigua los objetivos del sistema y las propiedades que debe cumplir. En cada etapa del proceso se podrá verificar la coherencia con los objetivos y garantizar en los nuevos modelos la existencia de las propiedades definidas en las anteriores etapas. Aunque en el caso ideal las pruebas parecen innecesarias, una consideración realista es lograr la automatización y reducir los costos del proceso de pruebas.

► La creciente importancia del software ha conducido a reflexionar sobre su proceso de producción, con miras a obtener productos de indiscutible calidad.

Algunos lenguajes de programación se han desarrollado para responder a estas tendencias y otros se han modificado. La utilización de los lenguajes existentes se puede reevaluar para acercarse gradualmente a estos conceptos, aprovechando la experiencia y confianza en el conocimiento de los mismos. Sin embargo, para mejorar el proceso de producción de software, se recomienda adoptar lenguajes con un nivel de abstracción más elevado que el presente en los lenguajes de programación imperativos tradicionales.

► Un modelo aceptado del desarrollo de software comprende las siguientes etapas: identificación del problema, captura de requerimientos, análisis, concepción, implementación, pruebas y puesta en servicio.

Para saber más

El libro *Concepts of Programming Languages* presenta de manera muy amena las herramientas (conceptos) necesarias para una evaluación crítica de los lenguajes de programación existentes. Se encuentra dividido en capítulos que pueden leerse de modo independiente, lo que permite concentrarse en algún tema de interés sin depender del contenido de los anteriores.

Fusión es uno de los métodos orientados a objeto pregonado como el

punto de encuentro de los aspectos positivos de los métodos existentes (de ahí su nombre). Fusión está descrito por el grupo que lo desarrolló, en el siguiente libro (también existe un video de 10 horas que provee una rápida introducción al método): *Object Oriented Development. The FUSION Method*. Derek Coleman et al. Prentice Hall, Object Oriented Series, 1994.

C++ es uno de los lenguajes orientados a objeto de más amplia utilización en el momento. El libro *The C++ Programming Language*, Second edition. Addison Wesley, 1991, escrito por Bjarne Stroustrup, es una muy buena presentación del mismo. Requiere conocimiento de un lenguaje de programación estructurado, preferiblemente C.

Un libro que introduce C++ y a la programación desde sus conceptos básicos es *C++ primer*, Second edition. Addison Wesley, 1991, escrito por Stanley B. Lipman.

Referencias

1. *Concepts of Programming Languages*, Robert W. Sebesta, The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc., 1993.
2. *Operational Versus Definitional: A Perspective on Programming Paradigms*, Allen L. Ambler, Margaret M. Burnett, Betsy A. Zimmerman, IEEE Computer, 1992.
3. *Les Langages de Programmation, Concepts essentiels: Evolution et classification*, J. Lonchamp, Masson, 1989.
4. *Programming Languages, Concepts and Constructs*, Ravi Sethi, AT&T, 1989.
5. *Programming Languages, Structures and Models*, Dershem H., Jipping M.J., PWS Publishing Company, 1993.
6. *Principles of Programming Languages, Design, Evaluation and Implementation*, Bruce J. MacLennan, Holt, Rinehart and Winston, second edition, 1986.
7. *Principles of Programming Languages*, R.D. Tennent, Prentice-Hall International, 1981.
8. *Functional Programming, Practice and Theory*, Bruce J. MacLennan, Addison - Wesley, 1990.
9. *Elements of Functional Programming*, Chris Reade, Addison Wesley, 1989.



ESTOS SON NUESTROS SERVICIOS, ¡UTILICELOS!

Correo ordinario
Correo certificado
Certificado especial
Encomiendas aseguradas
Encomiendas contra reembolso
Cartas aseguradas
Filatelia
Giros
Electrónico burofax
Internacional APR/SAL
"Corra"
Respuesta comercial
Tarifa Postal Reducida
Especiales

Teléfonos para quejas y reclamos: 334 0304 - 341 5536, Bogotá
CUENTE CON NOSOTROS Hay que creer en los Correos de Colombia



Algoritmos

evolutivos

Marco Tomassini

Swiss Scientific Computing Center, Manno
y École Polytechnique Fédérale de Lausanne
Lausanne, Suiza

(e-mail: tomassini@di.epfl.ch)

Introducción

El desempeño de los computadores modernos es impactante; puede decirse que son muy superiores a los humanos en muchos campos y constituyen una herramienta poderosa que cambia constantemente nuestra perspectiva del mundo. En problemas científicos y de ingeniería que requieren «masticar» números el desempeño mejora constantemente y con las máquinas gigaflops (y muy pronto teraflops) paralelas podemos resolver los llamados «problemas de gran desafío». Los mejores programas de ajedrez existentes derrotan a los maestros, demostrando ser dignos contendores en una tarea que implica procesamiento simbólico de alto nivel. Muchas otras tareas, menos sofisticadas pero de gran importancia, se llevan a cabo con excelentes resultados usando un computador portátil corriente. Escribir documentos de gran calidad, con gráficos en color, o conectarse a Internet para obtener información valiosa son hoy en día actividades comunes.

Sin embargo, a pesar de estos logros, existe aún una gran área gris en la cual nuestros paradigmas actuales de computación parecen no funcionar bien. Los niños, incluso los animales, son mucho mejores que los computadores en tareas cotidianas realizadas en un ambiente dinámico. De hecho, la biología ha sido durante mucho tiempo fuente de inspiración para la construcción de artefactos; lo mismo puede aplicarse a los computadores, una vez reconocemos la estructura digital fundamental que subyace tanto a la biología molecular como a las máquinas. Si bien esta extrapolación se sostiene en principio, en la práctica existen numerosos impedi-

mentos y dificultades; no obstante, el paradigma es valioso y de largo alcance, como nos proponemos demostrar con los ejemplos que se incluyen a continuación.

Los métodos de resolución de problemas inspirados en el mundo biológico, tales como la computación evolutiva y las redes neurales, son ampliamente aceptados en la actualidad y constituyen una herramienta muy popular entre científicos e ingenieros de diversas áreas. Inicialmente fueron relegados durante décadas por los grupos de inteligencia artificial que trabajan con solucionadores generales y manipuladores universales de símbolos, por considerarlos un enfoque inadecuado para describir la belleza matemática que supuestamente se oculta tras la complejidad de los sistemas, tanto naturales como hechos por el hombre.

Además, los recursos de computación disponibles presentaban un problema serio de cara a dichos métodos. El enfoque simbólico funcionaba bastante bien con subconjuntos de problemas ideales, como comprobaciones de teoremas y juegos. Sin embargo, cuando se trataba de reconocer patrones simples el enfoque tropezaba con problemas enormes y no permitía descomposiciones satisfactorias. La dificultad se originaba en la imposibilidad de adaptar la descripción a condiciones cambiantes y, por tanto, a ambientes dinámicos. Se puede intentar adecuar estos sistemas añadiendo más reglas, más parámetros, más poder de procesamiento o más información experta humana, pero tarde o temprano la estructura entera colapsa.

Definitivamente, los sistemas formales tienen su lugar y son de gran utilidad en muchos casos; sin embargo, el manejo de ambientes dinámicos, insuficientemente definidos, requiere nuevos enfoques. El cambio continuo y la adaptación son propios de muchos fenómenos y los métodos «torpes» de la naturaleza pueden ser los mejores para manejar tales situaciones. De hecho, la vaguedad y la aproximación parecen ser la regla y no la excepción en muchas actividades cotidianas y en el mundo circundante.

En este ensayo nos centraremos en los métodos inspirados en la evolución natural, demostrando que constituyen una metáfora

poderosa y flexible para la resolución de problemas.

Algoritmos evolutivos

Los *algoritmos evolutivos* son procedimientos de búsqueda y optimización que se han originado e inspirado en el mundo biológico. La teoría darwiniana de la evolución, que hace énfasis en la supervivencia del más apto en un ambiente dinámico, parece ser generalmente aceptada, por lo menos sobre la base de la evidencia acumulada hasta la fecha en la Tierra.

El término general algoritmos evolutivos comprende cierto número de metodologías relacionadas, basadas en el paradigma de la evolución natural. *Algoritmos genéticos*, *estrategias de evolución* y *programación evolutiva* son enfoques históricamente relevantes que, junto con la *programación genética*, han surgido en años recientes. Nos concentraremos en los algoritmos genéticos (AG) y la programación genética (PG), las dos técnicas más frecuentemente usadas con hardware capaz de evolucionar. Después de presentar las bases de los algoritmos genéticos, mediante un ejemplo simple, se discutirán ampliaciones y refinamientos y, por último, se introduce el enfoque de programación genética.

Los algoritmos evolutivos son intrínsecamente paralelos, puesto que la evolución tiene lugar mediante interacciones simultáneas entre individuos de dominios espacialmente extensos. Los AG paralelos son por lo general fáciles de implementar y ofrecen un mejor desempeño, con costos de programación bajos. Puesto que los métodos evolutivos son intensivos desde el punto de vista computacional, los AG paralelos ofrecen un enfoque prometedor; más aún, sugieren formas novedosas para la aplicación de la evolución artificial.

Los algoritmos evolutivos han sido aplicados a muchos problemas en diversos campos de estudio: optimización de función dura y combinatoria, diseño de redes neurales, planeación y catalogación, diseño industrial, administración y economía, aprendizaje asistido por máquinas y reconocimiento de patrones, entre otros. No es nuestra intención discutir aquí las aplicaciones par-

ticulares de los algoritmos evolutivos, por ello remitimos al lector interesado a la amplia literatura disponible.

La evolución artificial representa la posibilidad de modificar fundamentalmente el diseño de artefactos de computación. La *ingeniería evolutiva*, como se denomina con frecuencia, podría ser la única forma de fabricar sistemas con mejor adaptabilidad y mayor tolerancia a las fallas.

Algoritmos genéticos

Los algoritmos genéticos fueron inventados por John Holland, quien se inspiró en los procesos evolutivos que ocurren en la naturaleza. La idea principal es: para que una población de individuos se adapte colectivamente a un ambiente, debe comportarse como un sistema natural; la supervivencia, y por tanto la reproducción, se promueve eliminando rasgos inútiles o dañinos y recompensando conductas útiles. El aporte de Holland consistió en extrapolar los mecanismos biológicos fundamentales de adaptación de un sistema, a un algoritmo matemático definido.

Los algoritmos genéticos se han usado esencialmente en problemas de búsqueda y optimización y en aprendizaje asistido por máquinas. Sin embargo, persiste la pregunta no resuelta de si el proceso evolutivo natural es en realidad un proceso de optimización. La evolución es, básicamente, un

medida; por tanto, cualquier hipótesis relativa a la optimización en la naturaleza es muy tenue, en el mejor de los casos. No obstante, el enfoque de la evolución artificial puede considerarse viable si consigue obtener soluciones que demuestren ser válidas por comparación con otros enfoques. No se espera que los algoritmos evolutivos sean completamente fieles a la naturaleza sino que permitan encontrar soluciones eficientes. Una de las ventajas de la evolución artificial es la posibilidad de simular los procesos evolutivos cuantas veces se desee, variando las condiciones y usando velocidades electrónicas. El mundo natural proporciona una fuente inagotable de inspiración una vez nos damos cuenta de que tenemos libertad para moldear nuestras ideas de manera pragmática, sin necesidad de seguir al pie de la letra a la naturaleza.

Un AG es un procedimiento iterativo que consiste en una población de número constante de individuos, cada uno representado por una secuencia finita de símbolos que codifica una posible solución en un espacio de problema. Este espacio, conocido también como *espacio de búsqueda*, comprende todas las posibles soluciones al problema en cuestión. El alfabeto de símbolos utilizado es usualmente binario, debido a su generalidad y otras propiedades matemáticas ventajosas. El AG «estándar» funciona de la siguiente manera: se genera una población inicial de individuos, al azar o en forma

heurística. Para cada paso evolutivo, llamado *generación*, los individuos en la población determinada se decodifican y evalúan de acuerdo con un criterio de calidad previamente definido que se denomina *aptitud*. Para formar una población nueva se seleccionan individuos con una probabilidad proporcional a su aptitud relativa. Esto asegura que el número de veces que un individuo es escogido sea

aproximadamente proporcional a su desempeño relativo dentro de la población; de esta manera, los individuos de gran aptitud («buenos») tienen mayor oportunidad de reproducirse, mientras que los de baja aptitud son más susceptibles de desaparecer. El procedimiento de selección no puede introducir por sí mismo ningún nuevo punto en el

► **El mundo natural proporciona una fuente inagotable de inspiración una vez nos damos cuenta de que tenemos libertad para moldear nuestras ideas de manera pragmática, sin necesidad de seguir al pie de la letra a la naturaleza.**

experimento de una sola vía; pese a que en el proceso de selección se ensayan y descartan muchas alternativas, no es posible empezar de cero e intentar de nuevo. La optimización es significativa sólo en un contexto dado y con restricciones dadas. La dinámica del proceso evolutivo es extremadamente compleja y desconocida en gran

espacio de búsqueda; dichos puntos son generados por operadores genéticos, siendo los más populares la *traslocación* y la *mutación*. La traslocación es un operador recombinante en el cual dos individuos, llamados *padres*, intercambian partes y forman dos nuevos individuos llamados *descendientes*; en su forma más simple, se intercambian subsecuencias, una vez se ha escogido al azar un punto de traslocación. Este operador permite al proceso evolutivo avanzar hacia regiones prometedoras del espacio de búsqueda. El segundo operador, la mutación, es básicamente ruido de fondo que se introduce para prevenir la convergencia prematura de óptimos locales, mediante muestreo aleatorio de puntos nuevos en el espacio de búsqueda. Se lleva a cabo lanzando al azar bits de probabilidad reducida.

Los AG son algoritmos iterativos estocásticos que no garantizan la convergencia. La condición terminal puede desencadenarse al alcanzar un número máximo de generaciones o encontrar una solución aceptable. El siguiente esquema general resume un algoritmo genético estándar:

1. Produzca una población inicial de individuos
2. Evalúe la aptitud de todos los individuos
3. Mientras no se alcance la condición terminal:
 - seleccione los individuos más aptos para reproducción
 - recombine individuos
 - mute algunos individuos
 - evalúe la aptitud de los nuevos individuos
 - genere una nueva población, insertando algunos individuos nuevos «buenos» y descartando algunos individuos viejos «malos».
4. Termine una vez alcanzada la condición

En términos de la analogía biológica, debe notarse que los AG se centran en la evolución individual mediante cambios genotípicos, es decir, actuando sobre las secuencias codificadoras de los individuos. Otros algoritmos evolutivos, como las estrategias de evolución y la programación evolutiva, utilizan el enfoque fenotípico, en el cual los operadores evolutivos actúan sobre los individuos mismos, los cuales son simplemente representaciones naturales del problema en cuestión, por ejemplo, números reales en problemas de optimización de parámetros.

Programación genética

La programación genética (PG) es un nuevo enfoque evolutivo, que amplía el modelo genético del aprendizaje al ámbito de los programas. Se trata de una variación mayor de los algoritmos genéticos, en la cual los individuos que evolucionan son programas de computador, y no cadenas de longitud fija construidas a partir de un alfabeto de símbolos bastante limitado. La forma actual de la PG se debe principalmente a Koza.

En la PG los programas individuales pueden expresarse, en principio, en cualquier lenguaje de programación actualmente en uso. Sin embargo, la sintaxis de la mayoría de los lenguajes es tal que conduciría a los operadores de PG a crear un alto porcentaje de programas sintácticamente incorrectos. Por esta razón, Koza escogió una sintaxis en forma de prefijos, similar a la de LISP, y un lenguaje restringido, con un número apropiado de variables, constantes y operadores definidos para adecuarse al problema. De esta forma se respetan las restricciones de sintaxis y se limita el espacio de búsqueda del programa.

El lenguaje restringido se forma mediante un *conjunto de funciones* F y un *conjunto de términos* T , definidos por el usuario. Las funciones escogidas son aquellas que a priori se consideran útiles para el problema en cuestión, y los términos son por lo general variables o constantes. Además, cada función del conjunto debe poder aceptar, en calidad de argumento, cualquier valor de retorno de otra función y cualquier tipo de datos del conjunto de términos, propiedad denominada *cierre sintáctico*. Así, el espacio de programas posibles está constituido por el conjunto de todas las posibles composiciones de funciones que puedan formarse recursivamente a partir de elementos de F y T .

Como ejemplo: supongamos que estamos trabajando con expresiones aritméticas simples en tres variables. En este caso, los conjuntos F y T adecuados podrían definirse como:

$$F = \{+, -, *, /\} \quad \text{y} \quad T = \{A, B, C\}$$

y los siguientes son programas válidos:

$$(+(* A B) (/ C D)) \quad \text{y} \quad (*(-(+ A C) B) A)$$

Es importante anotar que la PG no requiere ser implementada en lenguaje LISP (aunque éste fue el que se usó en la implementación

original). Cualquier lenguaje que pueda representar programas internamente como árboles parse es adecuado. Por tanto, en la actualidad la mayoría de los paquetes de PG se escriben en C o C++ mejor que en LISP.

Los programas se representan como árboles de ramas ordenadas en los cuales los nodos internos son funciones y las hojas son los términos del problema. Para los ejemplos citados tendríamos los árboles que muestra la **figura 1**.

La evolución por PG es similar a la de los AG, pero utiliza representaciones individuales y operadores genéticos diferentes. Una vez se determinan las funciones y los términos adecuados para el problema en cuestión, se construye una población inicial aleatoria de árboles (programas). En adelante la población evoluciona como lo haría con un AG en el cual se asigna la aptitud después de ejecutar el programa (individuo) en un conjunto adecuado de casos de prueba y con operadores genéticos adaptados a la representación en árbol.

La traslocación empieza seleccionando al azar un punto en cada árbol padre y luego intercambiando los subárboles, con lo cual se originan dos árboles hijos, como se indica en la **figura 2**. La mutación se lleva a cabo removiendo aleatoriamente un subárbol en un punto determinado y remplazándolo con un subárbol generado al azar; sin embargo, este operador se usa muy rara vez.

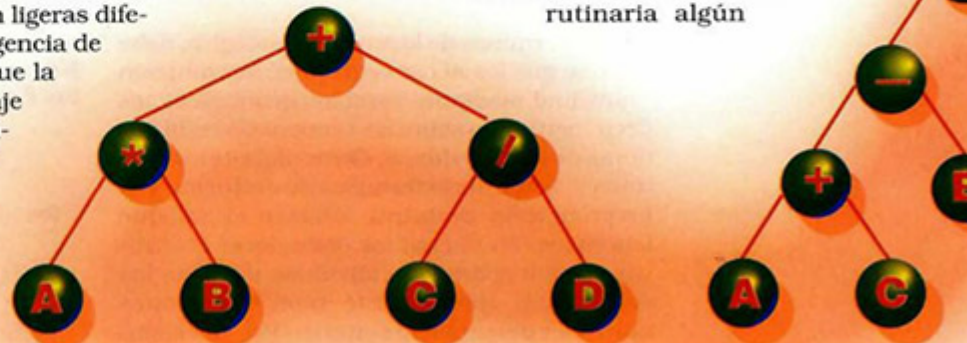
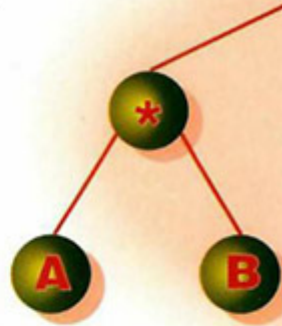
La programación genética se ha aplicado con éxito a una amplia gama de problemas en diversos campos.

Un paso problemático en la PG es la escogencia del lenguaje apropiado para un problema determinado. Por lo general, el problema mismo sugiere un conjunto razonable de funciones y términos, pero este no siempre es el caso. Aunque la evidencia experimental ha demostrado que pueden obtenerse buenos resultados con ligeras diferencias en la escogencia de *F* y *T*, está claro que la elección del lenguaje incide directamente en el grado de dificultad del problema que se va a resolver mediante la PG. Hasta la fecha, no exis-

ten pautas para estimar esta dependencia.

Otro punto de controversia se relaciona con el tamaño de los árboles de PG. En principio, la profundidad de los árboles puede aumentar de manera indefinida por la acción de traslocaciones sucesivas. La mayoría de los sistemas PG tienen un parámetro que previene el exceso de profundidad, evitando que se sature toda la memoria disponible y aumente el tiempo de evaluación. Persiste el debate respecto de si debe permitirse que los árboles se reproduzcan y crezcan hasta alcanzar profundidad máxima o si deben editarse y simplificarse para obtener programas más cortos. El argumento en favor de árboles más grandes se basa en que el frecuente material genético redundante ofrece un conjunto de posibilidades de reproducción mayor y puede conducir a un aumento en la diversidad de poblaciones sucesivas. Por otra parte, el uso de principios de LDM (longitud de descripción mínima) puede dar origen, en algunos casos, a soluciones eficientes y compactas. La cuestión es difícil de resolver debido a lo limitado del conocimiento sobre la dinámica de evolución de las poblaciones de programas.

La PG funciona bien con problemas que no sean demasiado complejos y que originen programas relativamente cortos. Extender su uso a problemas más complejos requiere la introducción de algún principio jerárquico. Cualquier actividad orientada a la resolución de problemas requiere consideraciones jerárquicas para la producción de soluciones económicamente viables. Esto es cierto en el caso del diseño deductivo clásico, en el cual se utiliza en forma rutinaria algún



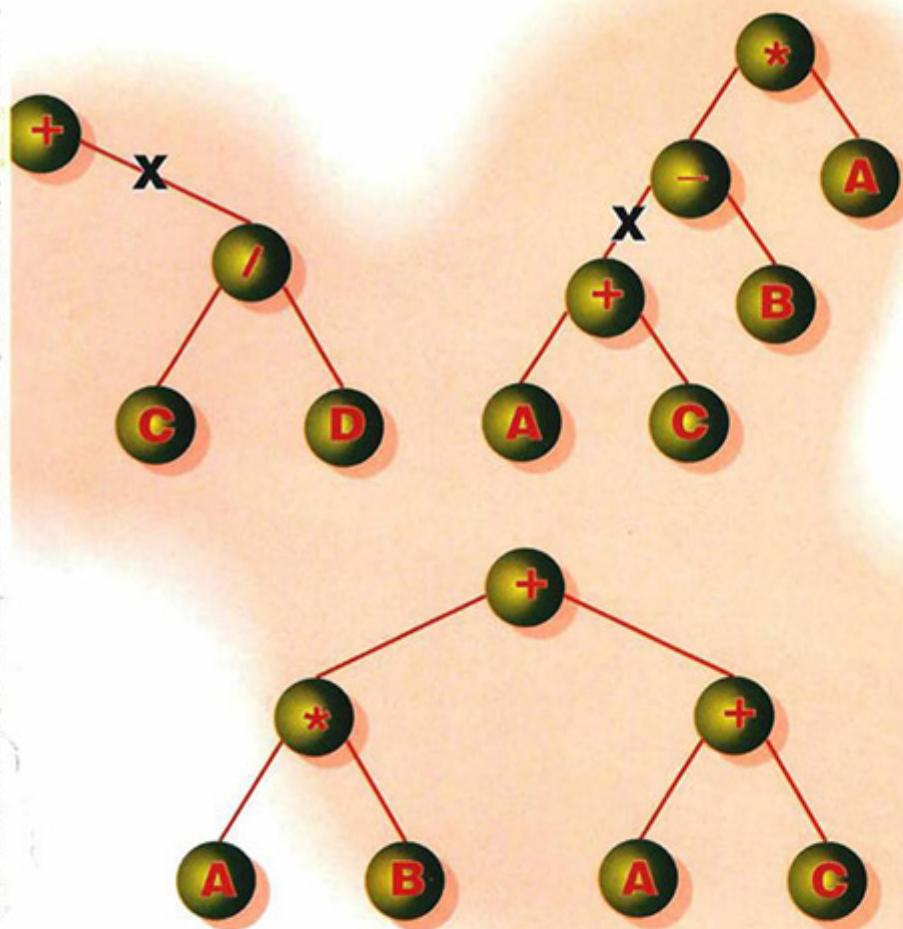


Figura 1.
Árboles de PG
correspondientes a las
expresiones
LISP del texto.

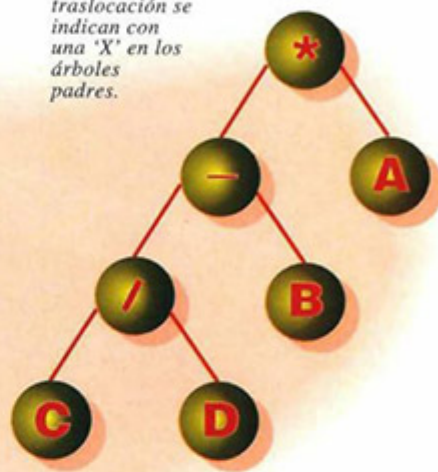
tipo de estrategia «divide y vencerás» para descomponer el problema en subproblemas manejables. Las mismas consideraciones resultan útiles cuando se trabaja de manera inductiva, como en el caso de los modelos evolutivos artificiales. Varios investigadores han observado que durante la evolución algunos subárboles aparecen repetidamente dentro de la población, como partes de individuos exitosos. Estos árboles que parecen desempeñar una función útil pueden ser identificados, encapsulados en módulos y reutilizados como unidades en el proceso evolutivo.

En conclusión, se ha demostrado empíricamente que la PG es una poderosa metodología de inducción de programas. Sin embargo, aún está por ver si este enfoque puede ser ampliado para desarrollar programas que ejecuten tareas más difíciles y para programación general.

Recursos de computación evolutiva

Una gran cantidad de información útil sobre algoritmos evolutivos se encuentra dis-

Figura 2.
Arriba,
individuos
padres. Abajo,
descendencia.
Los puntos de
traslocación se
indican con
una 'X' en los
árboles
padres.



ponible en Internet. Se puede acceder a la localización más importante de AG en el siguiente URL:

<http://www.aic.nrl.navy.mil/galist>

Se obtiene gran cantidad de información sobre actividades, conferencias, cursos y talleres, informes técnicos, códigos de fuentes y enlaces con localizaciones relacionadas. Los ftp anónimos tienen acceso en la siguiente dirección:

[ftp://aic.nrl.navy.mil in/pub/galist](ftp://aic.nrl.navy.mil/in/pub/galist)

Es posible suscribirse a una lista AG depurada (las reseñas se envían sólo una vez a la semana) dirigiendo un mensaje a:

GA-list-request@aic.nrl.navy.mil.

Otra dirección útil, con varios enlaces interesantes, es la localización Encore:

<ftp://ftp.cs.wayne.edu/pub/EC/Welcome.html>



Redes de comunicación y autopistas de información







Redes y au

Gonzalo Ulloa
Universidad del Valle
Departamento de Electricidad
(e-mail: ulloa@univalle.edu.co)

Introducción

Desde sus más remotos orígenes, la humanidad ha tenido la imperiosa necesidad de comunicarse, desarrollando el lenguaje, la escritura y la pintura, y ha usado los más diversos métodos. Desde las señales de humo hasta las palomas mensajeras, desde el ruidoso tam tam de los tambores en la selva profunda hasta el sordo sonido del cuerno de los Alpes.

Esta necesidad ha conducido a la humanidad a desarrollar métodos de comunicación cada vez más modernos y a evolucionar con ellos. En 1876 Alexander Graham Bell realizó las primeras experiencias con un sistema de comunicación a distancia que él llamó teléfono. Este invento rápidamente transformó la vida y se popularizó en las ciudades más pujantes de la era industrial como Nueva York, París y Londres.

Posteriormente se interconectaron las ciudades y los continentes creando una red de comunicaciones a nivel mundial. Aún en este momento no había surgido el desarrollo que cambiaría la vida en la segunda mitad del siglo XX: los computadores, que generaron la revolución de la informática que hoy vivimos.

No podemos dejar de mencionar también la profunda transformación que han

Image not found or type unknown



TIPO DE RED	DISTANCIA	EJEMPLO
A nivel de componentes electrónicos	menor de 0.1 m	Transputer, PC (Phillips)
Buses de expansión de sistemas	menor de 0.5 m	Bus PC ISA, VME, Multibus
Buses paralelos	menor de 5 m	Centronix, IEEE 488, SCSI
Redes de área local (LAN)	menor de 2 km	Ethernet, Token Ring, FDDI
Redes de área metropolitana (MAN)	menor de 100 km	FrameRelay, ATM
Redes de área amplia (WAN) y redes mundiales (GAN)	mayor de 100 km	X.25, ATM, FrameRelay

Tabla 1.
Clasificación
de las redes.

Las redes de comunicación

Las redes de comunicación pueden clasificarse según la distancia que cubren; de hecho, esta es la clasificación más corriente. Ésta va desde redes a nivel de componentes electrónicos con alcance del orden de centímetros, a redes con cubrimiento mundial y distancias del orden de miles de kilómetros (tabla 1).

Con sistemas que hoy nos parecen rudimentarios, las redes de comunicación se fueron consolidando, con la ayuda de un gran esfuerzo de normalización que garantiza que los equipos que cumplen con estas normas son interconectables, se pueden conectar entre sí, e interoperables, es decir, equipos diferentes (heterogéneos), de diversos fabricantes, pueden comunicarse e intercambiar información.

El nacimiento de las redes de comunicación

Estas primeras redes no eran soluciones suficientes para los problemas que presentaría la naciente informática. A mediados de los años 70, en la Universidad de Hawai, se desarrolló una red de comunicaciones que usaba transmisores de radio convencionales, con los cuales se comunicaban más de 500 islas del archipiélago. Por medio de un ingenioso protocolo de comunicaciones, lograron comunicar los computadores que es-

taban distribuidos en las sedes remotas con el computador central de la universidad. Para comunicarse entre islas, debían pasar primero por el computador central. Este método, aunque primitivo, permitió dar los primeros pasos en lo que serían las redes de comunicación. El protocolo utilizado se llamó Aloha y fue la base tecnológica para que unos años después, en los laboratorios de investigación de Xerox en Palo Alto, California (PARC), se desarrollara un sistema de comunicaciones que se llamó Ethernet y que hoy en día es el sistema más usado en el mundo.

El éxito de Ethernet consiste en tener un protocolo muy bien adaptado para la transmisión de datos, que permite un rápido transporte de los datos en forma eficiente, y también que miles de equipos informáticos se conecten a la red y empiecen a intercambiar datos sin necesidad de complejos procedimientos de configuración; finalmente, es una norma internacional, lo cual ha permitido que muchos fabricantes produzcan equipos bajo este mismo protocolo sin necesidad de pagar costosas regalías, contribuyendo a bajar aún más los precios y a popularizar el sistema.

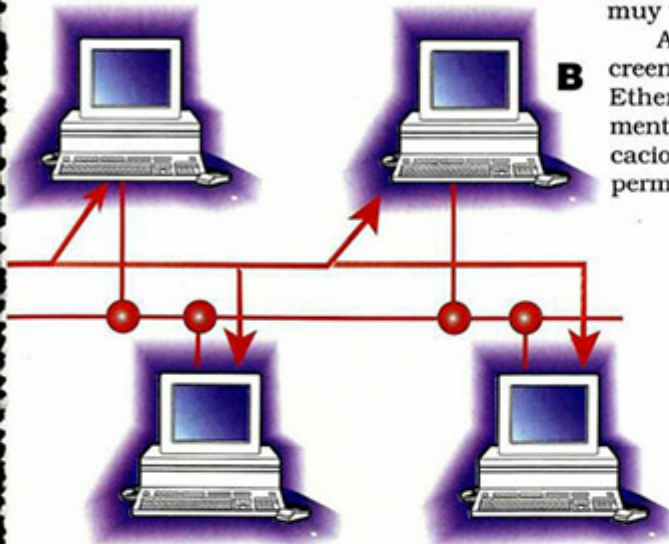
Otro aspecto importante en el éxito de Ethernet ha sido su capacidad de evolución como medio de comunicación. Inicialmente se usaba cable coaxial grueso, lo que se llamó Ethernet gruesa o 10Base5. A mediados de 1980 pasó a usar una versión económica de cable coaxial delgado, lo que se llamó Ethernet delgada o 10Base2. A comienzos de los años 90 pasó a usar cable trenzado sin blindaje parecido al cable telefónico, cable UTP, versión muy popular hoy en día, llamada 10BaseT. Ethernet usa actualmente otros medios de transmisión como fibra óptica, cable blindado, cable trenzado



► **E**thernet ha evolucionado para satisfacer la demanda cada vez mayor de transmisión de información de las aplicaciones actuales.

Redes de comunicación y autopistas de información

Figura 2.
Estructura
en bus.



con y sin blindaje, etc., y todas estas versiones soportan el mismo protocolo de base, convirtiendo éste en un medio de comunicación muy versátil.

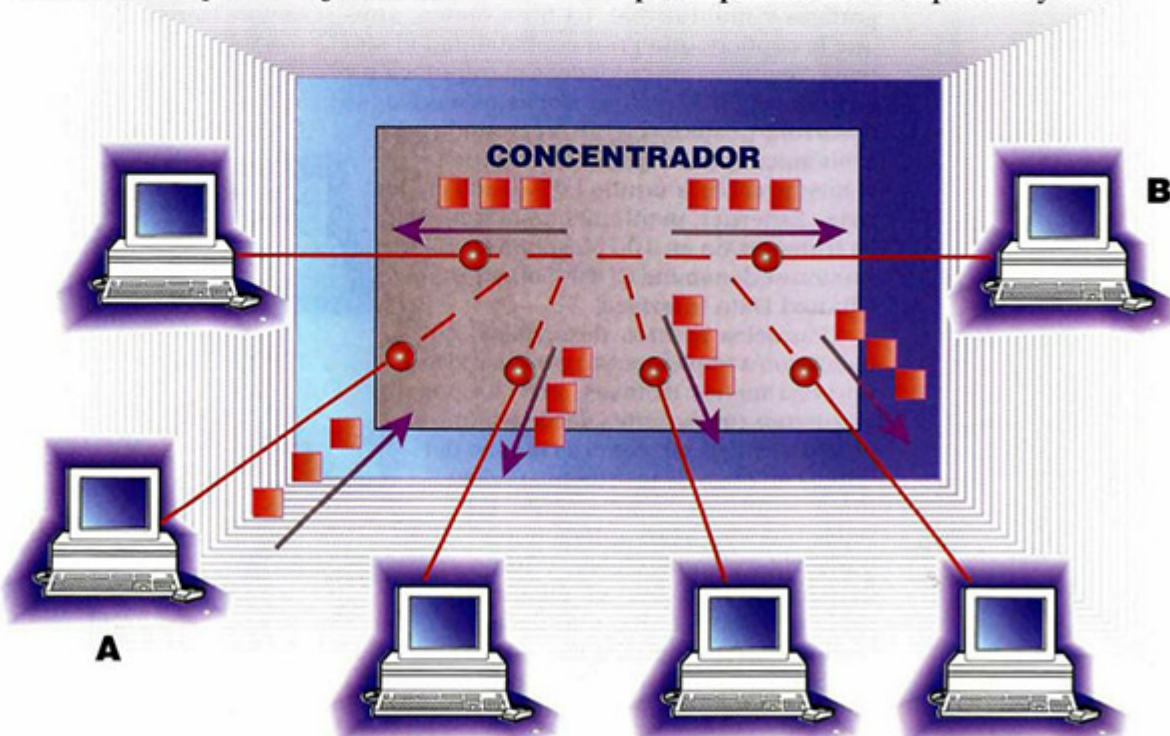
A pesar de una creencia muy extendida, Ethernet no es formalmente una red de comunicaciones. Ethernet sólo permite transportar unidades de información (llamadas *paquetes*) por un medio físico como son los cables coaxiales, la fibra óptica, los cables entorchados, etc. Para ser una red en el sentido estricto de la palabra, se necesitan

protocolos de comunicación de más alto nivel, como es el caso de TCP/IP, Novell, AppleTalk, Decnet, etc., que son redes que funcionan basadas en Ethernet. Por esta razón, al mencionar a Ethernet, trataremos de obviar el término *red* para usar en cambio el término *sistema de transporte de información*.

Ethernet ha evolucionado, pasando de ser un sistema de transporte de información en bus, donde todos los dispositivos están conectados en el mismo cable y todos escuchan la información que circula por él, como es el caso de las versiones 10Base5 y 10Base2 (figura 2), a ser un sistema que guarda la estructura lógica de bus, pero físicamente se conecta en una estrella, usando un dispositivo llamado concentrador (figura 3). El bus se realiza físicamente al interior del equipo.

Si bien la capacidad de transmisión de datos de Ethernet era de 10 Megabits/s (10 millones de unidades de información por segundo) y fue considerada en principio como ampliamente suficiente, hoy en día, con la proliferación de aplicaciones que usan el ambiente gráfico de manera intensiva, transmiten imágenes y utilizan multimedia, tal capacidad es insuficiente. Estas aplicaciones necesitan transmitir volúmenes enormes de información; pero, como veremos más adelante, Ethernet ha evolucionado en dos sentidos para satisfacer esta demanda: por un lado, ha aumentado su capacidad hasta poder transmitir 100 Megabits por segundo, y por otro, está utilizando la tecnología de los conmutadores (*switches*) para evitar la congestión producida cuando muchos equipos desean comunicarse al mismo tiempo, ampliando así su capacidad y divi-

Figura 3.
Estructura
en estrella
con un concentra-
dor



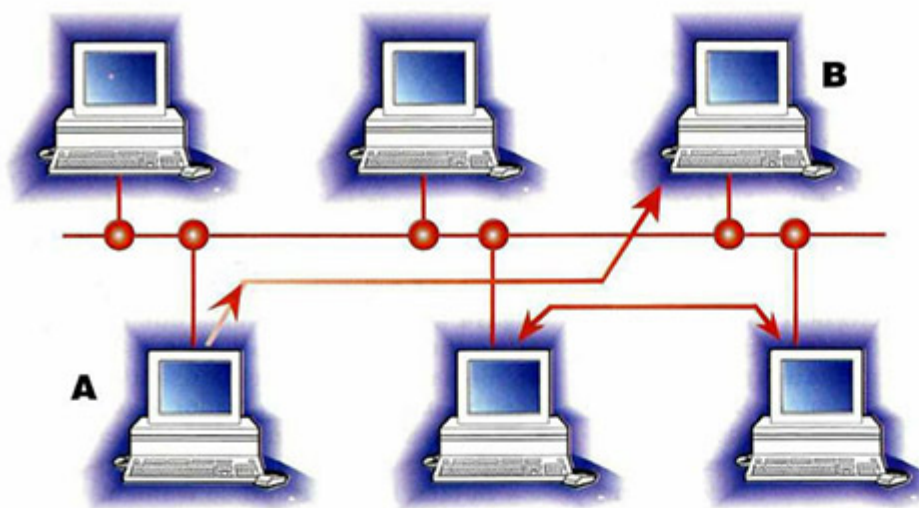


Figura 4.
Estructura de bus utilizando un conmutador.

diendo dinámicamente la red en la medida en que los equipos se comunican entre sí (figuras 4 y 5).

Para responder a la nueva demanda de aplicaciones hambrientas de ancho de banda, a finales de los años 80 se desarrolló un nuevo protocolo basado en la naciente tecnología de la fibra óptica: FDDI (Fiber Distributed Data Interface). Este superaba a Ethernet, pues su capacidad de transmisión era 10 veces superior, 100 Megabits por segundo. Este sistema se popularizó para las redes que conforman la infraestructura básica de comunicación en una empresa, edificio o campus universitario, lo que se llama la espina dorsal de una red y se utiliza en instalaciones que necesitan una gran capacidad de flujo de datos (aplicaciones gráficas y multimedia). La fibra óptica, aunque le confiere una gran confiabilidad al sistema, requiere una cuidadosa manipulación y su instalación es costosa. Por estos motivos se desarrolló posteriormente una versión más económica que no utiliza fibra óptica sino el mismo cable trenzado UTP usado en las redes Ethernet, manteniendo la velocidad de transmisión en 100 Megabits/s. Esta versión se denomina CDDI (Copper Distributed Data Interface).

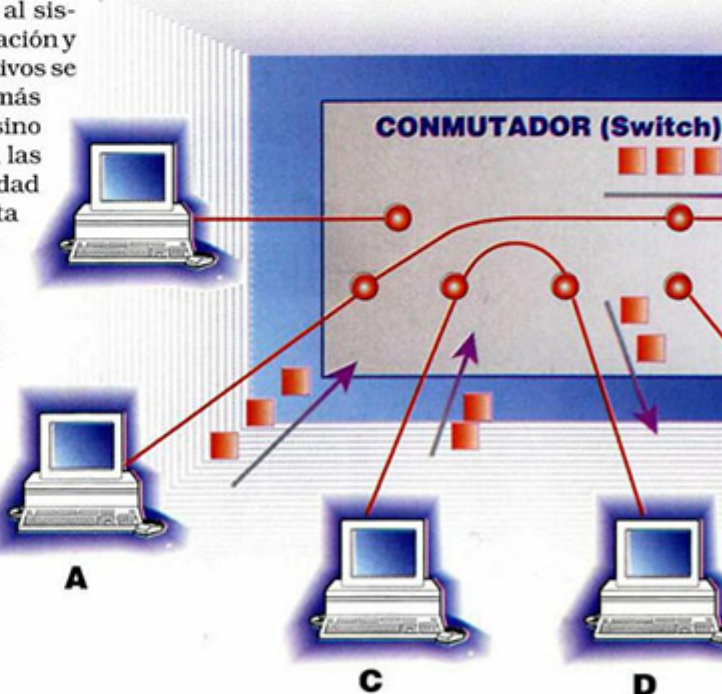
Paralelos a estos desarrollos, comenzaron a implementarse otras redes un poco menos exitosas, pero no por ello menos importantes desde el punto de vista comercial, como es el caso del anillo con paso de testimonio (Token Ring), utilizada ampliamente en redes que soportan aplicaciones bancarias y comerciales, y fundamentalmente por el gigante IBM, que basó todos sus desarrollos en esta tecnología.

Se desarrolló también, con menos éxito, el bus con paso de

testimonio (Token Bus), que fue promovida sobre todo para la norma de la red industrial MAP (Manufacturing Automation Protocol), pero no logró imponerse en el mercado.

Con todas estas tecnologías de redes surgió el problema de cómo instalar en las oficinas y en los sitios de trabajo los diferentes tipos de redes, ya que cada una de ellas necesita especificaciones de cables diferentes, utiliza conectores diferentes y tipos de acceso diferentes. Con

el fin de resolver este problema, se desarrollaron tecnologías para facilitar la conexión en redes independientemente del tipo particular de tecnología de red utilizada. Esta técnica para la instalación de redes se denomina *cableado estructurado* y es aceptada hoy día como el estado del arte en instalación de redes en edificios. No se debe confundir esto con el término que se ha puesto de moda «edificios inteligentes», que se refiere más bien a un sistema de control técnico centralizado para el edificio, en lo que se refiere a iluminación, climatización (aire acondicionado y calefacción), alarmas de fuego, control de accesos, etc. El que un edificio tenga una infraestructura de telecomunicaciones, lo hace mejor adaptado para los usuarios y probablemente facilita la instalación de un sistema técnico de



Redes de comunicación y autopistas de información

control, pero no lo hace más o menos «inteligente».

Redes públicas de transmisión de datos

Capítulo aparte merecen las redes públicas de transmisión de datos; éstas se han

Nuevas tecnologías

El avance de la telefonía digital no se quedaba aquí. No podemos olvidar que el sector de las telecomunicaciones fue el único que no se resintió con la recesión mundial de la postguerra del Golfo. La informática



Figura 6 - Acceso básico de RDSI

desarrollado desde mediados de los años 70 sobre la infraestructura de telecomunicaciones pública diseñada originalmente para la telefonía. Se ha aprovechado la interconexión de los sistemas telefónicos para crear una red global con alcance y cobertura mundial.

El primer ejemplo de este esfuerzo es la red de conmutación de paquetes que se basa en los protocolos agrupados bajo el nombre de X.25 y que en Colombia se conoce como Coldapaq. Esta tecnología llegó a Colombia en 1990, con algunos años de retraso respecto a los países desarrollados. Permite una transmisión digital de datos con velocidades de hasta 9600 bps.

Simultáneamente, en el mundo se desarrollaban otros esfuerzos encaminados a modernizar el sistema telefónico que casi no había sufrido variación desde su invención hacia 100 años. Esta modernización incluía llevar el teléfono de una tecnología analógica a una tecnología completamente digital. Al ser digital, el teléfono no sólo sería apto para la transmisión de la voz sino para transmitir todo tipo de datos, desde imágenes y video hasta información multimedia. Se desarrolló y normalizó el sistema RDSI (Red Digital de Servicios Integrados, o ISDN en inglés). El teléfono se convertiría entonces en un sistema capaz de transmitir dos canales de voz (dos canales de 64 Kbps) y un canal de control de 16 Kbps. Esto es lo que se llama tasa básica de acceso (BRI). Se puede ilustrar (figura 6) como un canal de comunicaciones que lleva dos conductores con capacidades cada uno de 64 Kbps y un conductor o canal de control con capacidad de 16 Kbps¹.

tuvo que reestructurarse y la crisis ocasionó la desaparición de varias empresas. En las telecomunicaciones, en cambio, el crecimiento se mantuvo a ritmos increíbles del 20% anual. Al punto que nadie duda hoy de que es el gran negocio en el futuro. Como pruebas podemos mencionar en Colombia la respuesta que tuvo de parte de los sectores financieros la licitación de la telefonía celular y el éxito que esta tecnología ha tenido en nuestro país. Por otro lado, las enormes inversiones que se han venido realizando con la liberación del sector de las telecomunicaciones y la excitación que causa la liberación del servicio de telefonía de larga distancia para fines del año 1996.

En informática, las nuevas tecnologías sirven como impulsores del desarrollo en dos sentidos: por un lado, el desarrollo de la informática ha impulsado las aplicaciones cada vez más complejas que demandan nuevos recursos, y a su vez los nuevos recursos informáticos puestos a disposición de la humanidad han estimulado la imaginación y han permitido ir cada vez más allá, generando aplicaciones más y más complejas.

Es así como la antigua tecnología de Ethernet ha evolucionado hasta convertirse en una

¹ En todos los países desarrollados la telefonía digital se ha impuesto. En Colombia, en algunas ciudades como Medellín, Cali y Bogotá, hay proyectos piloto de telefonía digital. Es necesario reconocer aquí el indudable avance que tienen las Empresas Públicas de Medellín, con su proyecto RDSI que opera desde hace más de dos años en toda el área metropolitana.

Figura 5. Tecnología de conmutadores soportando comunicaciones simultáneas.



tecnología de transmisión de datos de alta capacidad. Desde 1992 se empezó a trabajar sobre una alternativa más moderna y salieron a la luz dos propuestas básicamente diferentes: la primera, impulsada por un grupo de fabricantes de equipos de telecomunicaciones e informática como Hewlett-Packard e IBM, pretendía hacer enormes transformaciones al protocolo de base de Ethernet para hacerlo más moderno y eficiente. A la postre estas transformaciones fueron aceptadas, pero el protocolo resultante no se llamará Ethernet sino 100VGAnyLan (IEEE 802.12). Este protocolo ofrece transmisión de datos de 100 Megabits/s sobre cable trenzado de baja calidad (Voice Grade).

Por otra parte, Cisco, BayNetworks, DEC, Intel y otros lograron transformar Ethernet para hacerla compatible con la antigua tecnología pero operando a mayor velocidad, 100 Megabits/s. Esta nueva versión de Ethernet tiene el nombre genérico de 100BaseT y es formalmente considerada como Ethernet.

Si a esto le sumamos las tecnologías de los conmutadores (switches) para las redes, vemos que hay una gran variedad de nuevas tecnologías en el abanico de elección.

Pero las promesas de RDSI no son suficientes para un mundo ansioso de

aumentar la capacidad de transmisión de datos. El protocolo X.25 no podía quedarse sin evolucionar hacia una versión más moderna y de mayor capacidad. X.25 fue desarrollado para operar en sistemas telefónicos convencionales, que tenían innumerables defectos y generaban errores en la transmisión de los datos. Para compensar dichos errores, X.25 era un protocolo muy robusto en la detección y en la corrección de los errores de transmisión. Con la evolución de la tecnología, los canales de comunicación fueron mejorando y era necesario desarrollar un protocolo más moderno y mejor adap-

tado a estas nuevas condiciones. Se desarrolló entonces el protocolo llamado Frame Relay (1992), que permite transmisión de datos en redes públicas o privadas a velocidades que van desde 9600 bps hasta 2 Mbps. Este protocolo es muy eficiente y soluciona en buena medida las necesidades de transmisión de datos del futuro. En especial, permite transmisión de datos en redes de área amplia o metropolitanas, generando lo que pudiéramos llamar las primeras autopistas de información.

Las autopistas de información

Las empresas de telecomunicaciones, los llamados familiarmente *carriers* (transportadores), inquietos por la modernización de RDSI, continúan trabajando en una versión más moderna que se convierta en una alternativa de transmisión de datos de alta velocidad, lo que se denomina RDSI de banda ancha (B-ISDN), que esté acorde con las nuevas tecnologías de transporte de datos de alta capacidad como la fibra óptica. Un grupo de empresas y fabricantes se reunió alrededor de una propuesta de AT&T llamada ATM (Asynchronous Transfer Mode, o Modo de Transferencia Asíncrona), que permite transmitir todo tipo de información en forma digital. Una de las principales características de ATM radica en que se transmiten unidades de información de tamaño fijo llamadas células (en contraposición a las tramas usadas en las redes, que son de tamaño variable), lo que permite una fácil manipulación de éstas a altísimas velocidades de transmisión.

Las tecnologías desarrolladas para los sistemas telefónicos están muy bien adaptadas para transmitir voz

► Los nuevos recursos informáticos puestos a disposición de la humanidad han estimulado la imaginación y han permitido ir cada vez más allá, generando aplicaciones más y más complejas.

REDES DE BANDA AMPLIA (ADSL)



ADSL

Redes de comunicación y autopistas de información

(permiten transmisión sincrónica o periódica de los datos), pero mal adaptadas para transmitir datos que vienen por oleadas, o sea en forma asincrónica. Con ATM se pretende resolver, con la misma base tecnológica, ambos problemas. Por una parte, si se requiere transmitir voz, video o imágenes que necesitan un flujo de datos constante, ATM puede asegurar un flujo de celdas constante. Por otra parte, si se necesita transmitir datos que requieren un flujo variable de información, ATM podrá transmitir tantas celdas cuantas sean necesarias, resolviendo de esta forma tanto la necesidad de transmisión sincrónica (voz y video) como la necesidad de transmisión

asincrónica (datos). De este modo de operación viene el nombre de ATM (modo de transferencia asincrónica).

La normalización de ATM, que aún está en curso, está en manos de un consorcio de más de 700 fabricantes y empresas de telecomunicaciones que se han reunido en una institución llamada ATM Forum, que opera como un foro de discusión para la normalización. Se calcula que la investigación necesaria para el desarrollo futuro de ATM, será el aspecto en que mayor dinero se invertirá en la década de los 90.

Aunque ATM no es una tecnología que depende del medio de transmisión, es decir, teóricamente se puede transmitir igual de bien por cable entorchado y por fibra óptica, hasta el presente se han normalizado dos versiones que permiten la transmisión de datos a 155 Megabits/s y a 625 Megabits/s, es decir,

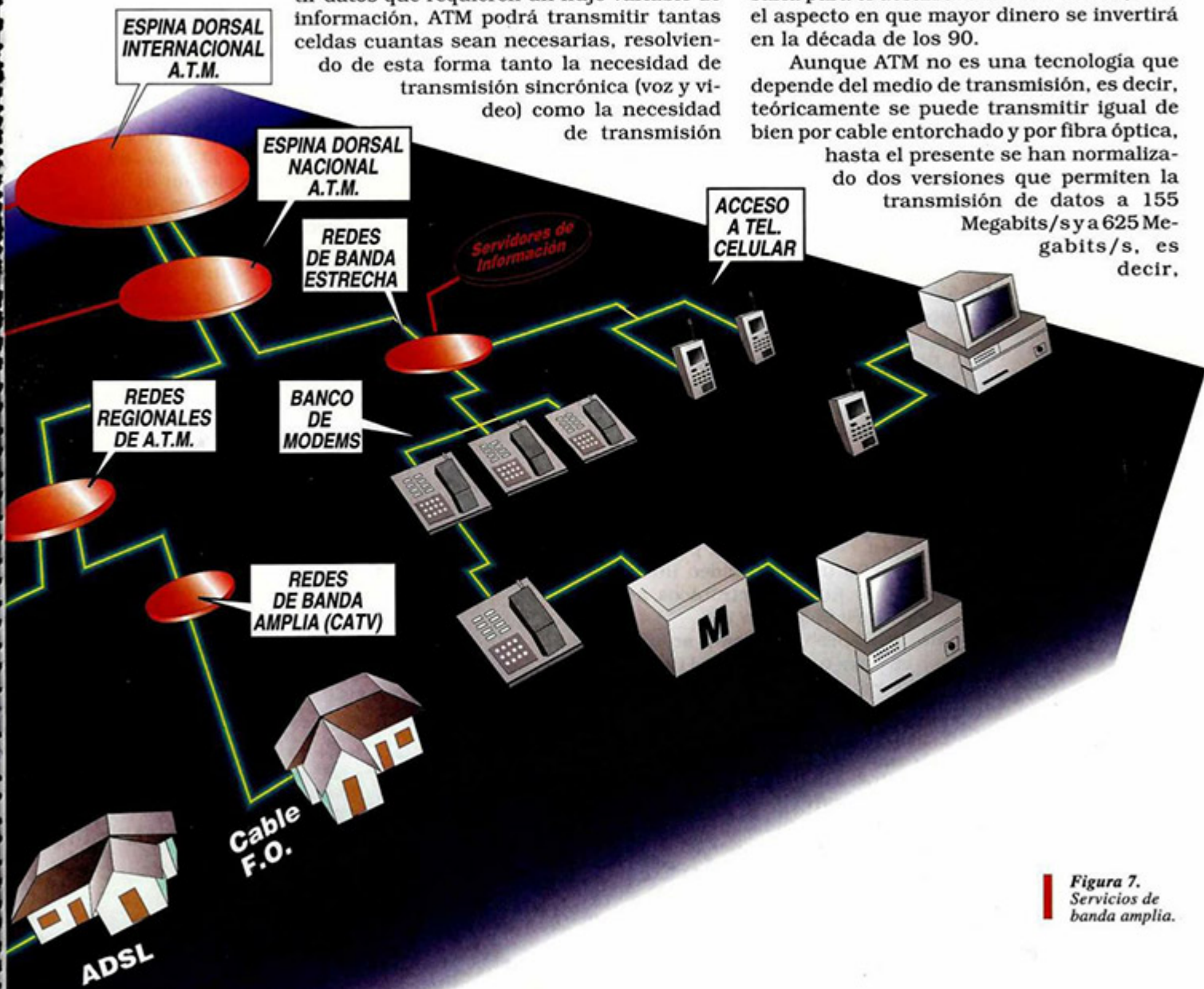


Figura 7.
Servicios de
banda amplia.

Redes de comunicación y autopistas de información ■

► Si el siglo XX fue el siglo del desarrollo industrial, de la explosión de la informática, el siglo XXI será la era de la información y las telecomunicaciones.

15 y 60 veces más que la versión original de Ethernet. Esto no parece un avance mayor si no se considera que Ethernet está limitada a una red de alcance local (en promedio 2 km), mientras que ATM promete ser una red de alcance mundial. Esta tecnología será la que muy probablemente se utilizará para establecer las ahora llamadas autopistas de información, pues permite transmitir todo tipo de tráfico a altísimas velocidades y sin limitaciones ni fronteras.

Los gobiernos de los países desarrollados no se han quedado inmóviles

frente a los nuevos desafíos de las telecomunicaciones y han identificado claramente que la nueva era será la era de la información. El proyecto de NII (National Information Infrastructure) de la administración estadounidense fue acogido por los jefes de Estado del grupo de los siete países más desarrollados, el G7, a comienzos de 1995 como iniciativa común. Este hecho fortalecerá no sólo las redes de información sino también los canales de comunicación internacionales para que en cada hogar se puedan tener servicios como Internet, video interactivo, video a pedido, juegos electrónicos, acceso a bases de datos, compras, etc.

Para esto probablemente se utilizarán accesos en fibra óptica hasta el usuario o se reutilizará el cable coaxial existente para la distribución de TV por cable. El 95% de los hogares de América del Norte (Estados Unidos y Canadá) tienen acceso a la TV por cable, y cifras similares se manejan para otros países desarrollados. El tener los hogares cableados permite pensar en construir una red con una anchura de banda supremamente alta por donde podrán operar estos nuevos servicios en banda amplia, brindando accesos combinados de fibra óptica por un lado y cable coaxial de banda amplia (CATV) por otro.

Estos servicios serán soportados por redes regionales de ATM que tendrán servidores de información y estarán conectadas a redes nacionales e internacionales de ATM,

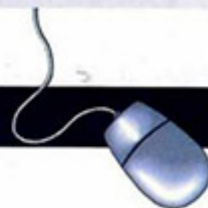
conformando las grandes autopistas de información. Las redes de banda estrecha (Ethernet, Token Ring, FDDI, etc.) seguirán brindando servicio por línea conmutada a usuarios fijos o servicios de acceso a usuarios móviles a través de redes de teléfonos celulares (figura 7).

El desarrollo de tecnologías integradas de transporte de datos de alta capacidad como ATM, que soporta tráfico de datos tradicional y soporta el transporte de los datos con una tasa de bits constante en tiempo real, permite ampliar los servicios de acceso a Internet para tener en la misma red video, audio y acceso interactivo multimedia.

Podemos afirmar, sin temor a equivocarnos, que si el siglo XX fue el siglo del desarrollo industrial, de la explosión de la informática, el siglo XXI será la era de la información y las telecomunicaciones. Debemos prepararnos para ello construyendo cuanto antes las autopistas de información del futuro. En caso contrario, perpetuaremos el subdesarrollo y la dependencia tecnológica.

Lecturas recomendadas

1. **William Stallings:** *ISDN and Broadband ISDN with Frame Relay and ATM*, 3th Edition. Prentice Hall, 1995.
2. **Anthony Alles:** *ATM Internetworking*. Cisco Systems Inc., White Paper, 1995.
3. **Bennett Z. Kobb:** *Telecommunications*. *IEEE Spectrum*, Vol. 32, No. 1, January 1995.
4. **Sue Lowe:** *Data Communications*. *IEEE Spectrum*, Vol. 32, No. 1, January 1995.
5. **William Pugh and Gerard Boyer:** *Broadband Access: Comparing Alternatives*. *IEEE Communications Magazine*, Vol. 33, No. 8, August 1995, pp. 34-47.
6. **Mario Vecchi:** *Broadband Network and Services: Architecture and Control*. *IEEE Communications Magazine*, Vol. 33, No. 8, August 1995, pp. 24-33.



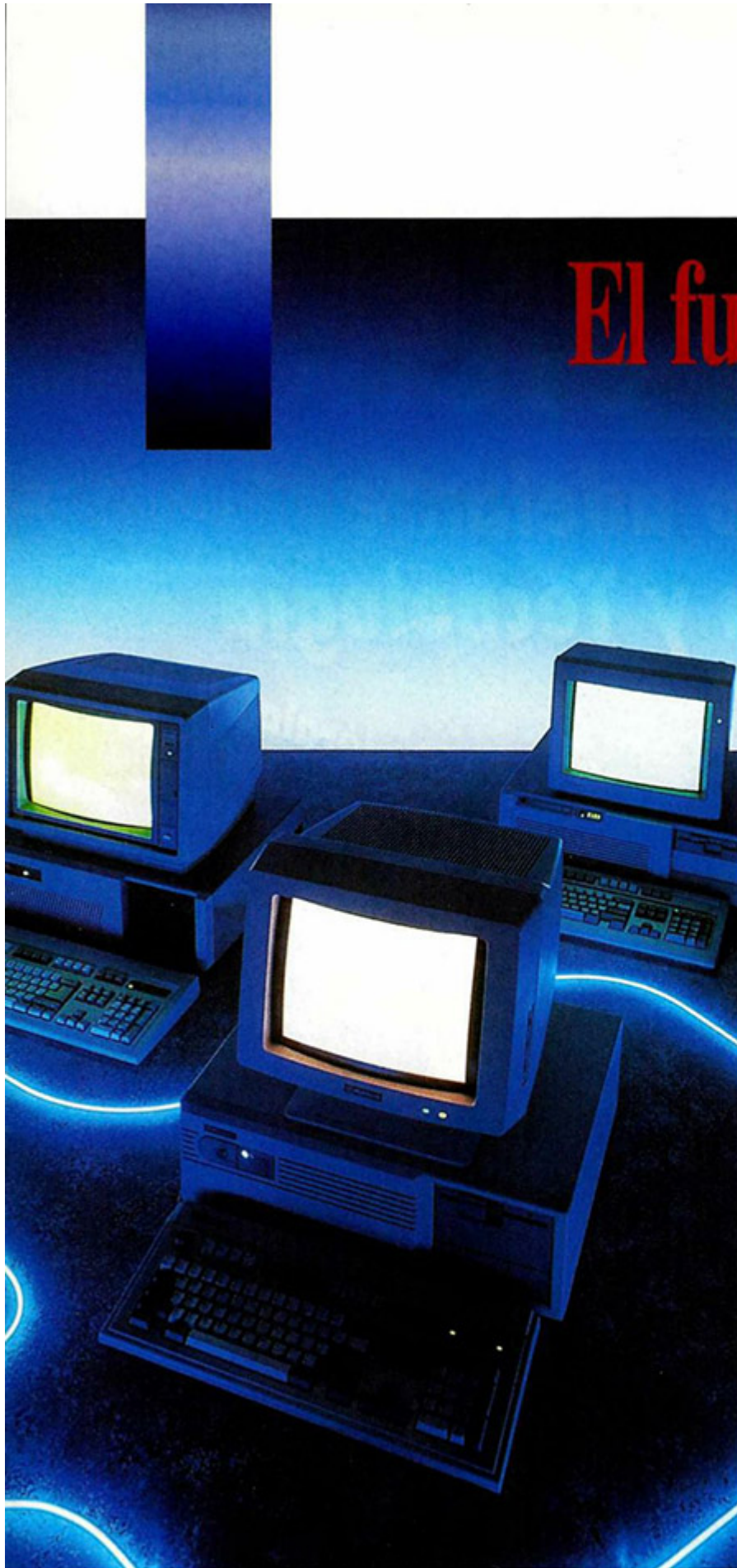
Innovación y Ciencia

**Un paso adelante
en Ciencia y Tecnología**



**Adquiérala ya
en puestos de revistas
y suscríbese**

**Todo lo
que usted
debe saber
para estar al día**



El futuro de ATM en las redes informáticas

Jean-Yves LeBoudec

Communications Networks Laboratory
Swiss Federal Institute of Technology

En este momento, cuando el público empieza a descubrir Internet, los profesionales en redes ven surgir en el horizonte la onda de ATM (Asynchronous Transfer Mode). Ahora bien, Internet y ATM representan dos tecnologías fundamentalmente diferentes, por su arquitectura y sobre todo posiblemente por la herencia de los medios en que se desarrollaron. ¿Qué representan estas tecnologías? ¿Qué nos deparan los próximos años? ¿Qué lugar tomará ATM en las redes? Estas son las preguntas que intentan resolverse en este artículo.

En el principio fue IP y X.25

Internet nació en los años setenta; se basa en el protocolo IP (Internet Protocol). Como se habrá notado, el nombre mismo indica que se trata de una tecnología de interconexión de redes. En el principio estas redes eran Ethernet y uno de los objetivos de IP fue vencer sus limitaciones de distancia y tamaño. Para lograrlo, simplemente se otorga a cada red un *número de red*, y a cada

► En el principio las redes eran Ethernet y uno de los objetivos del protocolo IP fue vencer sus limitaciones de distancia y tamaño.

computador conectado a una red un número de máquina (*host number*). Entre las redes se conectan enrutadores, en los cuales se escriben, en forma automática, tablas de enrutamiento que permiten enviar los paquetes a los lugares adecuados.

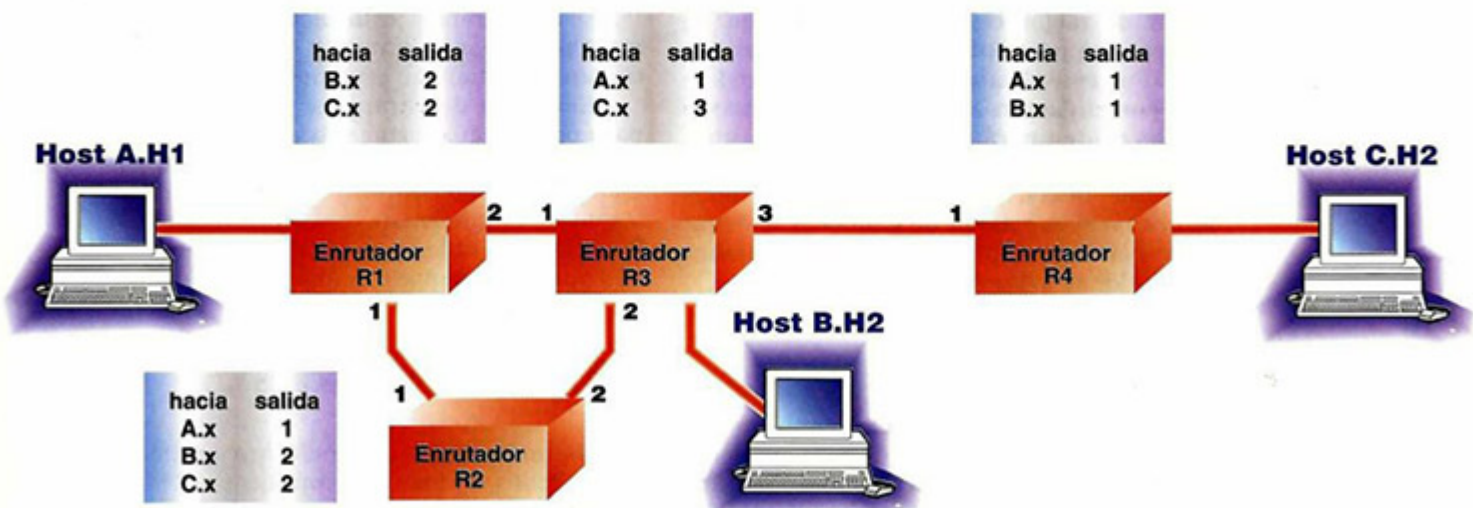
Una de las características esenciales de IP es que el protocolo es *sin conexión*. Esto significa que para enviar un paquete IP, un computador necesita escribir únicamente la dirección del destinatario, de la misma manera como cuando se envía una carta por correo. Claro está que el paquete llegará a su destino final sólo si todas las tablas de enrutamiento en la red están escritas correctamente. Esta es la función del protocolo de enrutamiento, que funciona entre enrutadores. Los enrutadores no mantienen información sobre las comunicaciones en forma individual, para ellos es suficiente saber por dónde se deben enviar (**figura 1**).

Uno de los objetivos presentes en la concepción de IP, que explica la elección de un modo sin conexión, fue permitir el desarrollo de las redes en un contexto no directivo y sin operador central. La elección del

modo sin conexión es también la elección de la simplicidad; una ventaja decisiva en el complejo mundo de los protocolos. La misma elección fue adoptada por casi todos los constructores de redes de segunda generación¹:

es el caso de AppleTalk y de IPX (Novell). Por el contrario, las redes de primera generación (SNA) y ciertas redes de segunda generación (APPN) utilizan la técnica con conexión: cuando un computador desea comunicarse con otro, es necesario establecer de antemano una conexión a través de toda la red, por medio de un intercambio de mensajes de control con un enrutador (por ejemplo, un enrutador APPN). Todos los enrutadores entre el origen y el destino se encuentran implicados en el flujo de control, y autorizan o rechazan la conexión. En la parte final de la fase de control, el computador de origen puede enviar datos sobre la conexión. Todos los enrutadores implicados en la conexión mantienen una máquina de estado finito que refleja el estado de la conexión (**figura 2**). La figura ilustra que las tablas de enrutamiento de un enrutador que implementa el protocolo con conexión, poseen una en-

Figura 1. Modo de transferencia sin conexión, ilustrando las tablas de enrutamiento.



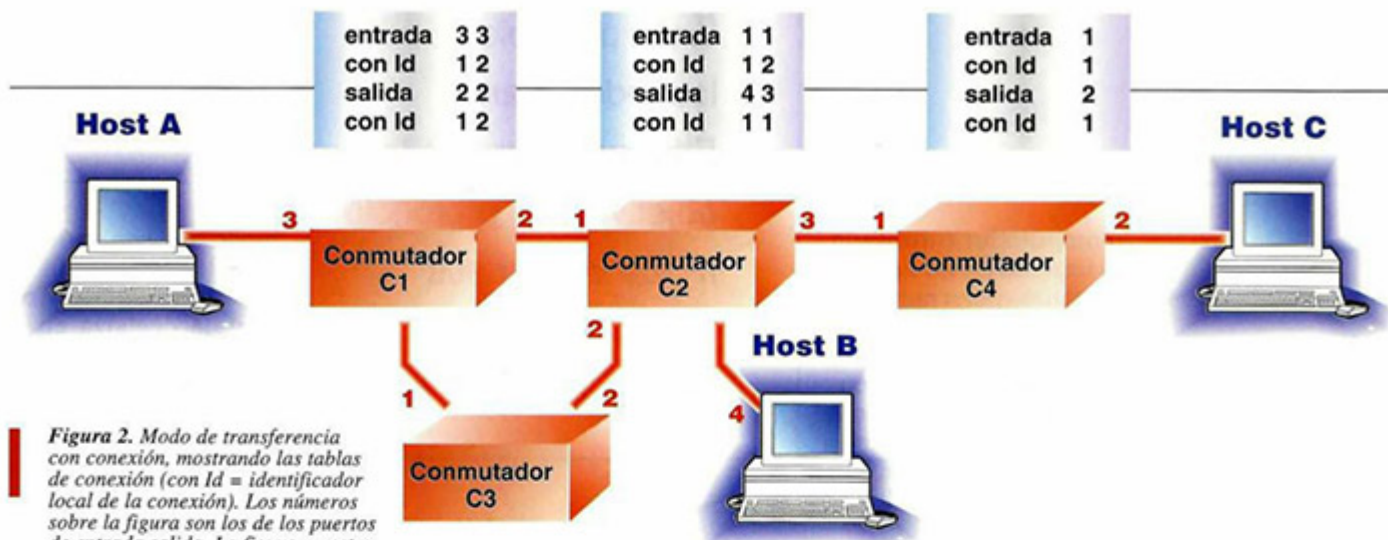


Figura 2. Modo de transferencia con conexión, mostrando las tablas de conexión (con Id = identificador local de la conexión). Los números sobre la figura son los de los puertos de entrada salida. La figura muestra dos conexiones: la primera conecta A con B pasando por C1 y C2, y está identificada por un «con Id» igual a 1 sobre todos los enlaces. La segunda conecta A con C pasando por C1, C2 y C4 y está identificada por un «con Id» igual a 2 tanto entre A y C1 como entre C1 y C2 e igual a 1 sobre los demás enlaces.

trada por cada conexión y no por red de destino como en el caso sin conexión². Por tanto, son mucho más voluminosas.

El modo orientado a conexión es más complejo, tanto para los que utilizan el servicio como para los enrutadores. Por el contrario, posee la ventaja de tener un mejor control sobre el flujo de tráfico. Se puede, por ejemplo, garantizar que una fracción determinada de la capacidad de la red sea reservada en prioridad al flujo de tráfico interactivo, cuya calidad es vital para la empresa (como las transacciones de reserva para una compañía aérea). Las redes dedicadas a las misiones críticas de la empresa utilizan preferiblemente una técnica con conexión (SNA, APPN, Frame Relay).

Las redes públicas prefieren también una técnica con conexión, por la misma razón de mejor control sobre el flujo de tráfico y en particular por fines de facturación. Fue éste el caso del protocolo de red de la recomendación X.25, el cual fue más o menos contemporáneo de IP y que, por simplificación de las funciones de red, dio lugar a Frame Relay. En el caso de las redes públicas, el enrutador de paquetes se denomina por lo general *conmutador*, la palabra *enrutador* se evita en este contexto.

Llegó ATM

ATM fue escogido por el órgano central de normalización del mundo de las telecomunicaciones (ITU) hacia el final de los años ochenta. ATM es un heredero directo de

Frame Relay, del cual difiere por el uso de paquetes de talla pequeña y fija (denominados *células*). Por tanto, ATM es orientado a conexión. En la práctica, las funciones de enrutamiento de células se implementan en hardware, caso contrario al de la mayoría de los enrutadores IP o de los conmutadores X.25 o Frame Relay. En el caso de ATM también se habla de conmutador en lugar de enrutador de células.

ATM adiciona a las tecnologías precedentes la posibilidad de garantizar la capacidad y calidad de los servicios orientados a conexión. De esta forma se puede establecer una conexión entre dos sistemas ATM y especificar, por ejemplo, que se desea para esta conexión una capacidad de 3 Mb/s, un retardo máximo de 100 ms, una variación de retardo inferior a 5 ms y un porcentaje de pérdidas inferior a 10⁻¹⁰. Si comparamos esta tecnología con las mencionadas anteriormente, éstas no proporcionan garantías tan exigentes.

Este tipo de garantías son necesarias para poder transportar sobre ATM circuitos numéricos (de 64 kb/s, 2 Mb/s, 34 Mb/s, etc.) que caracterizan los servicios esenciales de las empresas de telecomunicaciones. También son útiles para establecer conexiones multimedia, por ejemplo para transportar flujos de audio o vídeo.

ATM para las redes locales

Definido en sus orígenes para suplir las necesidades de las redes públicas, ATM se impuso rápidamente como la tecnología al-

Redes de comunicación y autopistas de información

terna por excelencia para las redes locales de empresas (LANs). ¿Por qué esta evolución?

Para comprenderla, primero se debe recordar que las redes locales, antes que nada, resuelven un problema de cableado. En principio se basan en técnicas que comparten el medio físico. Tanto con Ethernet como con Token Ring o FDDI, la red se construye con base en un método de acceso que permite a varios computadores utilizar cables comunes para comunicarse entre sí.

En el primer caso, el método de acceso consiste en autorizar a varios computadores para que emitan paquetes al mismo tiempo y en el caso de una colisión, retirarse y emitir posteriormente. En los otros dos casos, es un *token* el que se encarga de controlar el acceso a la red: sólo el computador que posee el token tiene derecho a emitir. Estas técnicas de red local están bien adaptadas al carácter extremadamente esporádico del tráfico entre computadores. Pero tienen restricciones importantes de tamaño y configuración. Por una parte, el método de acceso impone un límite a la extensión geográfica de la red (dos kilómetros como máximo para Ethernet) y al número de computadores conectados (raramente más de cien). Por otra,

todos los computadores sobre una misma red comparten los mismos cables y no es posible aislar un computador de los demás. El aislamiento se desea por razones de desempeño o de seguridad; como el tráfico es muy irregular, con frecuencia en las empresas sería deseable aislar un grupo de trabajo para que no monopolice la red, o en el caso contrario, para evitar que éste sea perturbado por el resto del tráfico. Podemos citar como ejemplo el caso de una empresa en la cual, en el momento en que el contador lanza la operación cotidiana de cierre, el resto de la red queda paralizada durante 15 minutos.

Con el propósito de compensar estas limitaciones en las redes locales, ha aparecido un conjunto complejo de técnicas de acompañamiento: concentradores, puentes y enrutadores. Los concentradores son equi-

pos que permiten construir redes locales paralelas y facilitar de esta manera una cierta independencia entre la localización de un computador y la red a la cual se encuentra conectado. Retomando el ejemplo anterior, por medio de un concentrador se puede crear, bajo ciertas condiciones, una red dedicada a la contabilidad y otra al resto de las operaciones, haciendo posible la coexistencia de las dos redes sobre la misma área. Los puentes y enrutadores permiten interconectar diferentes redes locales de este tipo; también permiten superar los límites de tamaño y de extensión.

Sin embargo, el conjunto que se obtiene es muy difícil de implementar y de administrar, a causa de la multiplicidad de tecnologías que participan; cada elemento (computador, concentrador, puente, enrutador) debe configurarse correctamente; los conceptos y las técnicas para cada uno son independientes. Cuando se adiciona a la administración de todos estos elementos aquella de los servidores (de archivos, de aplicaciones), se considera que una empresa necesita una persona de tiempo completo por cada cincuenta usuarios de la red.

Una de las razones principales de esta complejidad está, paradójicamente, arraigada en los principios mismos de Ethernet, Token Ring y FDDI, que son el principio del acceso compartido. Una solución alterna es la conmutación (*layer 2 switching*). Con una tecnología de conmutación, cada computador está conectado por medio de una conexión punto a punto a un nodo de la red, y las comunicaciones entre los computadores pasan necesariamente por estos nodos. Los nodos de la red son componentes activos, que deben examinar la cabecera de cada paquete con el fin de enrutarlo. Por tanto, estos nodos son conmutadores tal como los habíamos visto en las secciones precedentes. Los puentes y los enrutadores son también conmutadores de este tipo. De esta forma hemos visto aparecer los conmutadores Ethernet, Token Ring o FDDI (*switched LANs*); con estos conmutadores ya no se habla de acceso compartido (éstos conservan los nombres Ethernet, Token Ring o FDDI solamente para permitir la conexión de computadores con este tipo de interfaces). Por el contrario, el tráfico puerto a puerto se conmuta sin conflicto (**figura 3**). Estos conmutadores son en realidad puentes entre redes locales reducidos a un solo elemento.

▶ ATM adiciona a las tecnologías precedentes la posibilidad de garantizar la capacidad y calidad de los servicios orientados a conexión.

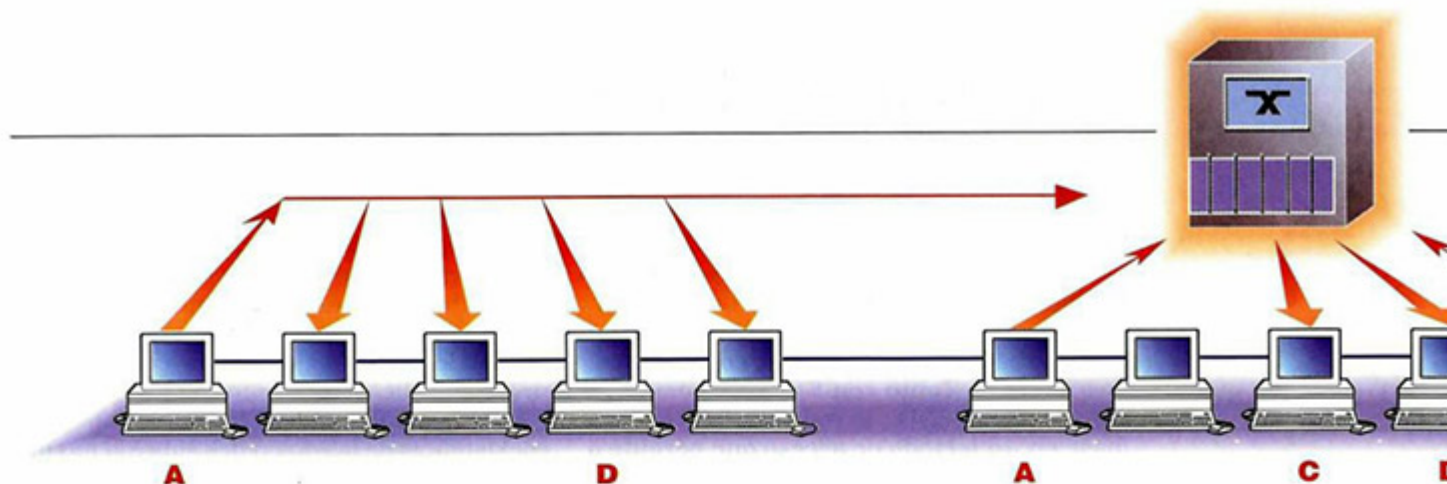


Figura 3. Acceso compartido (a la izquierda) contra conmutación (a la derecha). A la izquierda, cuando A habla a D, toda la red está ocupada. A la derecha, A y E pueden enviar paquetes al mismo tiempo.

Una solución con base en la conmutación resuelve todos los problemas antes mencionados. En particular, y con la condición de poseer la tecnología para conectar los conmutadores entre ellos (enrutamiento, resolución de direcciones, etc.), éstos permiten crear redes de cualquier tamaño y extensión geográfica, como es el caso de la red telefónica.

Al mismo tiempo que la ITU especificaba ATM para el RNIS a banda larga, la industria de redes locales se encontraba en la búsqueda de un estándar para definir una tecnología de conmutación. La elección se dio en forma natural sobre ATM, no tanto a causa de las cualidades intrínsecas de las decisiones técnicas adoptadas por la ITU (el concepto de paquete de tamaño fijo, la célula, está poco adaptado al mundo de los datos), sino por el valor en sí de un estándar estable y duradero.

Es de esta manera que aparece ATM como la elección tecnológica para las redes locales. Por esta razón la red local moderna utilizará, cada vez más, esta tecnología (**figura 4**):

- Los conmutadores Ethernet o Token Ring (*switched Ethernet* o *switched Token Ring*) se utilizan como tecnologías para conec-

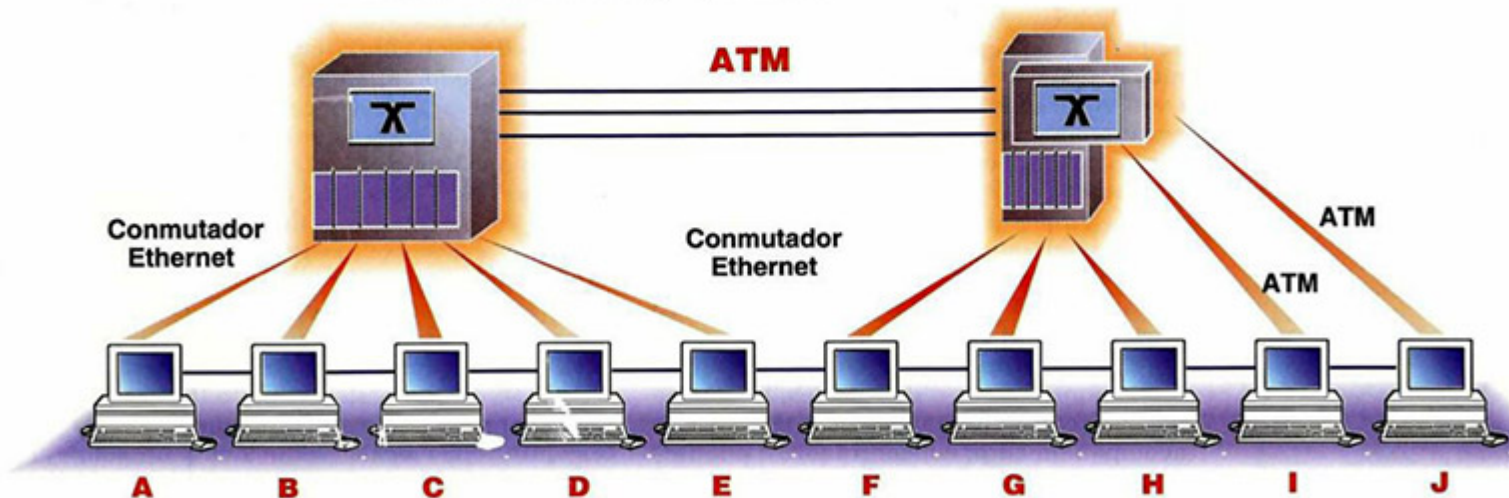
tarse a la red (sin acceso compartido) y ATM se utiliza como infraestructura de espina dorsal.

- Los computadores se conectan directamente a ATM, sin la intervención de las tecnologías Ethernet, Token Ring o FDDI. Estas dos soluciones coexisten sobre una misma red, siendo imposible en el momento predecir sus importancias relativas.

IP sobre ATM

La implementación de ATM requiere portar protocolos de red (como IP y APPN, mencionados con anterioridad). En efecto, sin esto, un computador conectado por medio de ATM sólo podría comunicarse con otro computador sobre ATM. Recordemos que IP permite interconectar redes como Ethernet y

Figura 4. ATM en una red local. De A a H utilizan Switched Ethernet, I y J utilizan ATM nativo. Los conmutadores de Ethernet utilizan ATM entre ellos. Entre Switched Ethernet y ATM, los computadores se comunican por medio de una emulación LAN o por IP sobre ATM.



Redes de comunicación y autopistas de información



E

Token Ring. Entonces es relativamente simple adicionar ATM a esta lista, lo cual fue hecho por la IETF (Internet Engineering Task Force) en una serie de RFCs (Requests for Comments, suministrados en los documentos oficiales de la IETF).

La solución especificada en este momento (figura 5), utiliza lo que se conoce con el nombre de *modelo clásico*. En forma general funciona de la siguiente manera. Los computadores tienen direcciones IP ($A1$, $A2$) y direcciones ATM ($a1$, $a2$).

- En el momento de la puesta en marcha, el computador 1 establece una conexión ATM con el servidor de direcciones. Este último puede implementarse en un enrutador o al interior de un computador conectado a la misma red ATM. La dirección ATM del servidor de direcciones se conoce con anterioridad.
- El servidor de direcciones se entera por este medio que la dirección IP $A1$ es accesible por medio de la dirección ATM $a1$.
- El computador 1 desea enviar datos al computador 2 utilizando el protocolo IP. El computador 1 conoce la dirección IP del computador 2. Ahora debe encontrar la dirección ATM del computador 2, la cual obtiene preguntándole al servidor de direcciones, por la conexión ATM existente (1).
- El computador 1 puede establecer en este momento una conexión con el computador 2, si esta no existe con anterioridad, y utilizarla para el envío de datos (2).

El papel del servidor de direcciones es compensar la ausencia de la propiedad de difusión (*broadcast*) de una red ATM. Recordemos que la resolución de direcciones sobre Ethernet, Token Ring o FDDI se efectúa difundiendo la solicitud a toda la red, lo cual es fácil de hacer en este tipo de redes.

Es necesario realizar una pequeña precisión sobre esta descripción, que se relaciona con el concepto IP de *red lógica*. Una red lógica es un conjunto de direcciones que, en la práctica, corresponden por ejemplo a todos los sistemas conectados a la misma Ethernet. La comunicación entre redes lógicas se hace

mediante enrutadores; al interior de una red lógica no se utiliza un enrutador, sino la red Ethernet directamente (por ejemplo). El escenario precedente de IP sobre ATM se aplica sólo si los computadores 1 y 2 están definidos como pertenecientes a una misma red lógica. De lo contrario la comunicación entre ellos requiere la intervención de un enrutador como

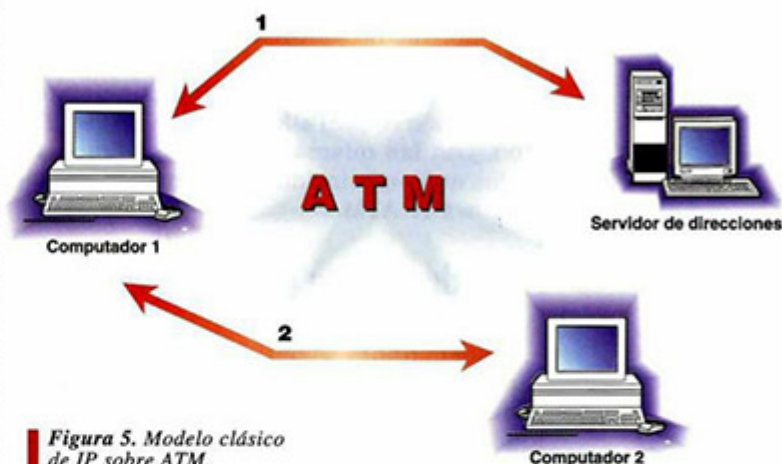


Figura 5. Modelo clásico de IP sobre ATM.

intermediario, aun si existe otra forma directa de conexión. Ahora bien, las redes lógicas se utilizan como unidades administrativas. Así por ejemplo, existe al interior de las empresas de cierto tamaño una red lógica por cada pequeña unidad, esto permite racionalizar la administración de las direcciones IP; infortunadamente, de este hecho, no es muy concebible pedir que todos los sistemas ATM que tengan que comunicarse entre sí pertenezcan a la misma red lógica. Con el modelo clásico puede ser necesaria la utilización de enrutadores como intermediarios, incluso al interior de un conjunto de computadores conectados por medio de ATM. El modelo clásico utiliza ATM como un Ethernet (de allí su nombre), y no permite en general utilizar ATM de punto a punto.

Una solución a este problema se encuentra en vía de elaboración (NHRP, Next Hop Resolution Protocol) y deberá finalizarse dentro de poco tiempo. Esta solución autorizaría a sistemas que pertenecen a redes lógicas diferentes a establecer conexiones ATM directamente entre ellos. Lo que representa una desviación del protocolo IP original (que impone el uso de enrutadores entre redes lógicas) y representa un cambio importante de software. Los problemas por resolver, y que se discuten actualmente en la IETF, tienen que ver con la presencia de bucles persistentes

introducidos por esta desviación del protocolo IP, si se utiliza sin precaución en un ambiente que utiliza los protocolos existentes. Este problema no existe con el modelo clásico.

Existe, al lado de IP sobre ATM, otra solución para interconectar sistemas que utilizan IP y otros protocolos. Se trata de la emulación LAN, que en el momento está especificada por ATM Forum, y que tiene por objeto emular el acceso Ethernet o Token Ring por medio de un sistema conectado a ATM. Esto permite reutilizar tal cual el código de los protocolos existentes (por ejemplo, IP, también AppleTalk, NetBIOS, APPN, IPX, etc.), con las mismas limitaciones mencionadas con anterioridad en el modelo clásico de IP sobre ATM.

ATM de punto a punto, RSVP

Hasta ahora se han presentado los conceptos fundamentales de IP y de ATM, y cómo se puede utilizar IP sobre ATM. En todos los casos descritos, ATM interviene con el mismo papel que Ethernet o Token Ring; el objetivo de IP sobre ATM, como el de la emulación LAN, es precisamente evitar que las características específicas de ATM sean visibles a las aplicaciones. La ventaja principal de utilizar ATM en un contexto de este tipo es, por una parte, el aumento de capacidad de la red, y por otra, la posibilidad de configurar dos redes lógicas independientes de la localización.

Existe, sin embargo, una característica de ATM que es interesante hacer visible a las aplicaciones: la reservación de recursos gracias a que ATM usa conexiones. La garantía de recursos es necesaria para transportar flujos de información como video y audio con una calidad comercial. Aunque existen expe-

riencias de transporte de información de video sobre Internet, por tanto sin conexión ni garantía, pero la calidad es variable, imprevisible y, por lo menos para el video, insuficiente para usuarios dentro de las exigencias normales.

Para ofrecer garantía de recursos, una solución es utilizar ATM de punto a punto. La **figura 6** ilustra un escenario, tomado de un proyecto «Web sobre ATM». Un cliente Web (un cliente World Wide Web) utiliza Internet para navegar a través de bases de información; al finalizar esta fase de navegación, obtiene la dirección (URL) de un servidor donde se encuentra una secuencia de video a la que desea acceder. Al mismo tiempo que recibe la dirección URL del servidor, suponemos que también recibe la dirección ATM del servidor, una identificación del objeto video en el servidor y quizá su costo. En una segunda fase, el cliente establece una conexión ATM con el servidor, sobre la cual se transmite la secuencia de video. La calidad de la transmisión está garantizada a partir de ese momento, y el usuario puede emplear la conexión para funciones como pausa, avance rápido, etc., utilizando el servidor como un reproductor de video remoto (*remote VCR*).

La **figura 6** supone un escenario de protocolo de doble pila (*dual protocol stack*). El cliente Web implanta, uno al lado del otro, los protocolos TCP/IP sobre ATM (para navegar sobre el Web) y una pila ATM nativa (para ATM punto a punto hacia el servidor). La doble pila de protocolos tiene la ventaja de la simplicidad conceptual y de la compatibilidad con Internet.

Sin embargo, ATM punto a punto tiene el inconveniente de ser... punto a punto. Si

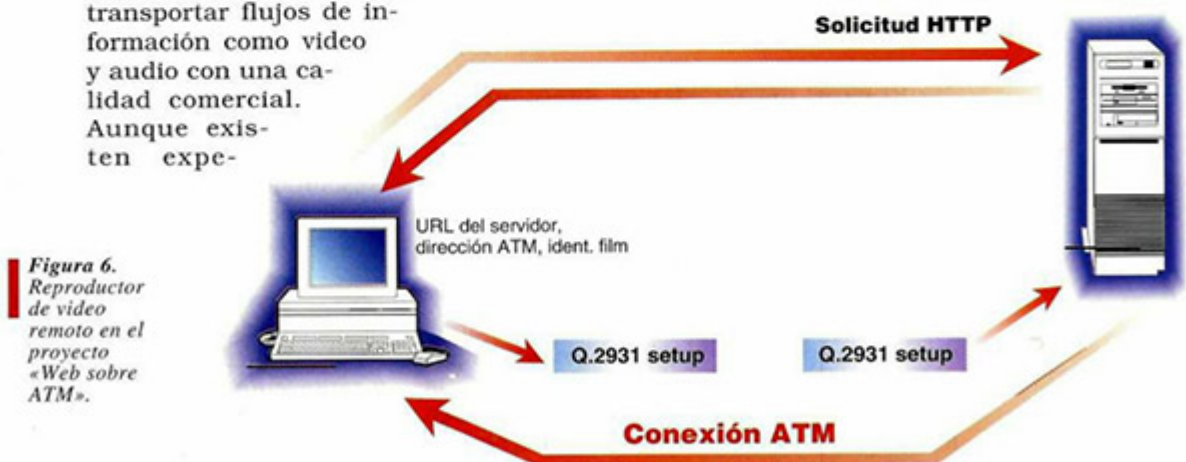


Figura 6. Reproductor de video remoto en el proyecto «Web sobre ATM».

Redes de comunicación y autopistas de información

uno solo de los componentes de la cadena entre el cliente y el servidor de vídeo no soporta ATM, entonces el escenario no es posible. Como la introducción de ATM requiere, en general, el cambio de la tarjeta de interfaz de comunicación (sin hablar de la red), será necesario por largo tiempo hacerse a la idea de dominios sin ATM. Contrariamente a IP, ATM no es una tecnología de interconexión.

Por tanto, la tecnología multimedia necesita un IP con *reservación*. Se han realizado muchos intentos en este sentido: protocolos como **ST** y **ST.II** juegan este papel y están parcialmente disponibles en ciertos productos UNIX. Por razones que sería muy largo explicar aquí, la IETF se inclina hacia RSVP (Resource reSerVation Protocol), cuya estandarización se está realizando actualmente. Con RSVP es posible reservar los recursos necesarios para una comunicación. Al contrario de ATM, RSVP es un protocolo de acompañamiento de IP, y no exige una nueva tarjeta de interfaz de comunicación sobre los computadores. Sin embargo, para funcionar correctamente, RSVP exige que los enrutadores sean modificados para realizar todas las tareas ligadas a la reservación, tareas para las cuales los equipos actuales no han sido diseñados. Por el contrario, RSVP funciona (bien o mal) aun si una parte de la red es incapaz de efectuar la reservación. Si existe capacidad suficiente sobre la parte mencionada, la comunicación multimedia será de buena calidad; de lo contrario, no. En fin, contrariamente a ATM, RSVP soporta muy bien la comunicación de grupo (*multicast*)³.

¿Cuál es entonces el lugar de ATM en un mundo que utiliza IP y RSVP? ¿Y cuál es el interés de RSVP si se tiene ATM? Como siempre en redes, la respuesta tiene varios aspectos:

- La puesta en servicio de enrutadores que soportan RSVP puede tomar un tiempo bastante grande, mientras que la implantación de ATM en los conmutadores está bastante avanzada.
- ATM juega un papel de sustitución de Ethernet y Token Ring, y por esta razón, soporta otras redes diferentes de IP (por ejemplo, AppleTalk).
- ATM es la tecnología elegida por las redes públicas que ofrecen una banda pasante tarifada (a causa, entre otras, de ser orientado a conexión).

- Por el contrario, la comunicación punto a punto exige un protocolo como RSVP, independiente de la tarjeta interfaz de comunicación.

En consecuencia, se puede conjeturar en este momento que ATM se va a establecer en las redes locales, sea directamente o como tecnología de interconexión entre conmutadores (*switched Ethernet*, *switched Token Ring*), e incluso, las redes públicas ofrecerán servicios de banda ancha, utilizando como base ATM. Por el contrario, es bien posible que RSVP se imponga en todos los casos en que la heterogeneidad sea la regla. En particular, se verá RSVP funcionando incluso sobre ATM, para permitir a sistemas ATM establecer comunicaciones con reservación de recursos con sistemas no ATM.

Web sobre ATM

La discusión precedente ilustra la complejidad de la introducción de ATM en un mundo de computadores, en donde los protocolos son numerosos. Al contrario de lo que se ha escrito imprudentemente, ATM no va a simplificar la gestión de redes en una primera etapa; muy por el contrario. Uno de los problemas esenciales es guardar la posibilidad de comunicación universal ofrecida por IP (y los protocolos que le acompañan), sacando el mejor provecho de los beneficios de desempeño, garantía del servicio y facilidades de gestión ofrecidos por ATM.

El proyecto Web sobre ATM fue lanzado por la SSC (Sección de Sistemas de Comunicación) de la EPFL (Escuela Politécnica Federal de Lausanne - Suiza) en ese contexto. Su objetivo es aportar soluciones que permitan ofrecer la calidad ATM, y en particular la calidad de la garantía, en un servicio Internet como el Web. El proyecto reagrupa los laboratorios del DI (Departamento de Informática) y del DE (Departamento de Electricidad): LRC (Laboratorio de Redes de Comunicación - coordinador), LIG (Laboratorio de Infografía), LTI (Laboratorio de Teleinformática), LTS (Laboratorio de Tratamiento de Señales) y TCOM (Laboratorio de Telecomunicaciones). Los objetivos del proyecto son:

- Extensiones del ambiente Web para expresar la garantía de recursos, y mejo-

Redes de comunicación y autopistas de información ■

ras en desempeño para sacar provecho de una banda pasante más ancha.

- Interfuncionamiento de RSVP y ATM, y gestión de la calidad del servicio.
- Aplicaciones de video y de realidad virtual adaptadas al Web y a ATM.

Para poder implantar nuestras nuevas soluciones en un ambiente real, el proyecto necesita, para los protocolos de bajo nivel (RSVP y TCP en particular), un sistema UNIX de libre acceso. Nuestra elección se hizo sobre LINUX, para el cual estamos desarrollando en este momento el subsistema ATM. Los protocolos no se implantarán solamente en un sistema real, sino que se desarrollarán también con la preocupación de obtener especificaciones claras y verificadas.

Conclusión

ATM aparece en un doble papel: como sucesor de Ethernet, Token Ring y FDDI en las redes locales, y como infraestructura para las redes públicas. Una primera pregunta por resolver es si, en las redes locales,

ATM permanecerá limitado a las funciones de infraestructura (al interior de la red, entre concentradores y conmutadores), o se impondrá hasta en los computadores personales. Un segundo riesgo tiene que ver con la competencia con los protocolos de la familia TCP/IP que, tales como RSVP, permiten reservar recursos de punto a punto. En cualquier caso, nosotros pensamos que ATM será durante los próximos 10 años la principal nueva tecnología en redes, pero que el nuevo mundo así creado continuará siendo heterogéneo.

Notas

¹ Llamamos redes de primera generación a las redes de empresas, tales como SNA, construidas alrededor de grandes computadores centrales (mainframes), las cuales soportan el modo de cálculo centralizado. Las redes de segunda generación se construyen alrededor de redes locales (Ethernet, Token Ring) y soportan el modo de cálculo cliente-servidor.

² La discusión en este punto se refiere solamente al nivel de red (que tiene como función llevar los paquetes de un computador origen a un computador destino). En última instancia, la comunicación entre dos sistemas es frecuentemente con conexión, independientemente de o de las redes empleadas. Así, el célebre protocolo de transporte TCP es con conexión. En el caso del protocolo de transporte, TCP está implementado en los computadores fuente y destino, pero no en los enrutadores.

³ RSVP continuará existiendo con IP versión 6, la nueva versión de IP que está siendo estabilizada actualmente. IP versión 6 incorpora un concepto de identificación de flujo, lo que implica introducir, al lado del modo sin conexión, un modo con conexión.



**Correos
de Colombia**

Adpostal

ESTOS SON NUESTROS SERVICIOS ¡UTILICÉLOS!

- Correo ordinario • Correo certificado • Certificado especial
- Encomiendas aseguradas • Encomiendas contra reembolso • Cartas aseguradas • Filatelia
- Giros • Servicio electrónico Burofax • Servicio Internacional APR/SAL • Servicio Corra • Respuesta comercial • Tarifa postal reducida • Servicios especiales.

Teléfonos para quejas y reclamos:
341 5536 - 334 0304 - Bogotá.

**CUENTE CON NOSOTROS
HAY QUE CREER EN LOS CORREOS DE COLOMBIA**



PROGRAMACION ACADEMICA A.C.A.C

1996

Marzo 5 y 6	Instrumentos Jurídicos para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología	Seminario Nacional	Bogotá
Marzo 26	Asamblea General Ordinaria A.C.A.C.		Bogotá
Abril 18-19-20	Oportunidades de Financiamiento para Organizaciones no Gubernamentales	Curso Nacional	Bogotá
Junio 6-7-8	Hacia la Agricultura del Mañana	Seminario Internacional	Rionegro
Junio 11/14	Micorrizas	Taller	Bogotá
Julio 25-26-27	Enfermedades Genéticas Metabólicas	Seminario internacional	Bogotá
Agosto 27-28-29	VII Congreso Colombiano de Geología	Congreso	Bogotá
Septiembre 18-21	XI Convención Científica Nacional "Popularización y Enseñanza de las Ciencias"	Convención	Armenia
Octubre 24-25-26	Plantas Medicinales	Curso Nacional	Bogotá
Por definir	II Congreso Internacional de Sida, Cáncer y Dolor	Congreso Internacional	Bogotá
Noviembre 21-22	Perspectivas de Caracoles Promisorios	Seminario Internacional	Chinchiná



**Hace 100 años
Wilhelm Konrad Röntgen
descubrió los rayos X
Hace 100 años Philips ya existía
Hoy seguimos innovando
sobre este descubrimiento.
Porque...**

Juntos hacemos tu vida mejor.



Internet es mucho más

María Fernanda Trujillo Mendoza

Ingeniera Industrial, Universidad del Valle

M.Sc. in Knowledge Based Systems,

University of Edinburgh

Directora del Centro de Servicios de Información

Universidad del Valle. Cali, Colombia

(e-mail: mft@mafalda.univalle.edu.co)

“Las tecnologías son, como lo señalaba McLuhan, extensiones del hombre. Una extensión es siempre una forma de llegar más allá de lo inmediato de mi cuerpo y mi contexto para atrapar información y para proyectarla”¹.

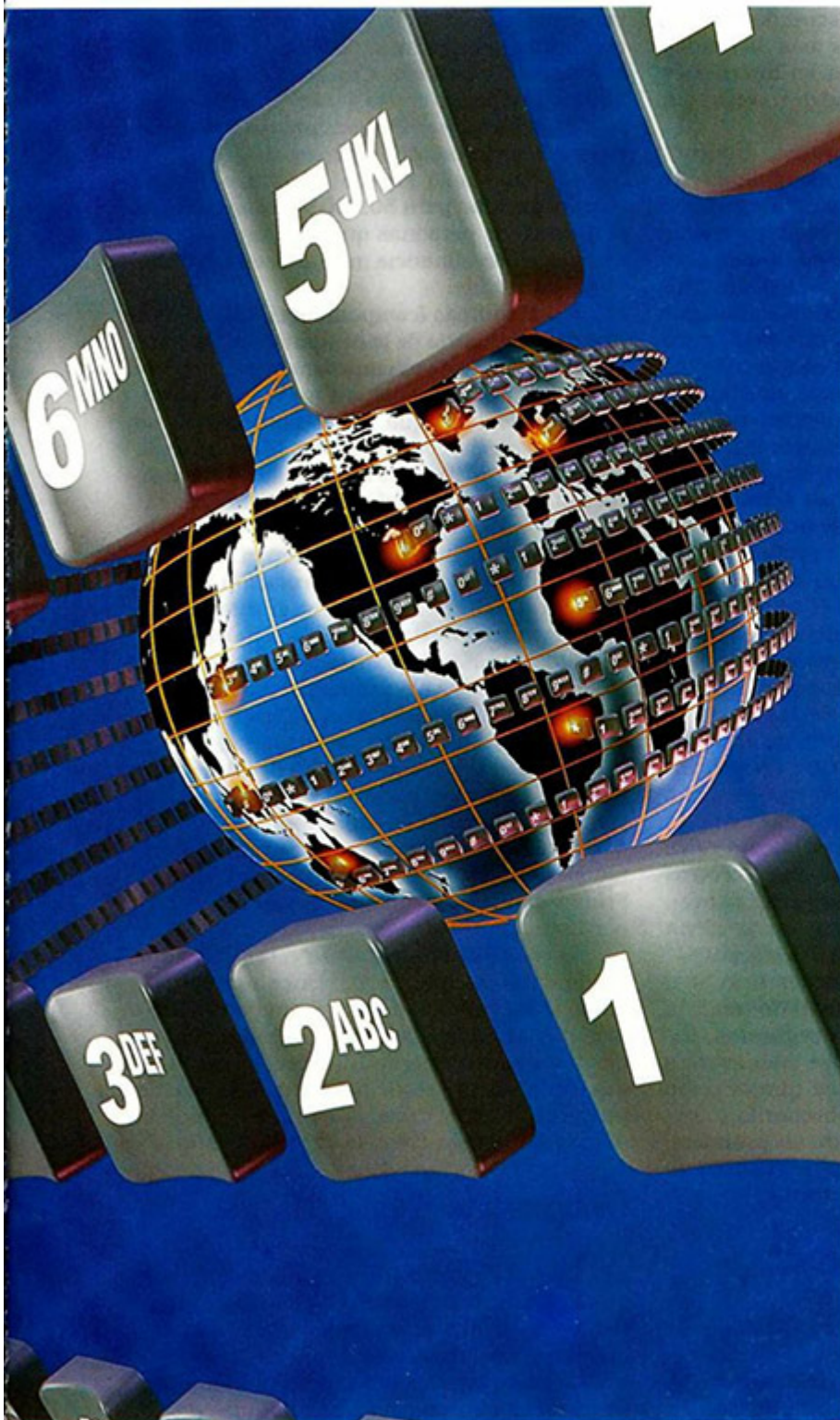
“¿Para qué sirven las redes de computadores? Para comunicarse. Aclaro, no se hacen para comunicar computadores entre sí, se hacen para comunicar seres humanos mediante computadores. Allí radica su fuerza y la explicación del reciente auge de las redes: en que ofrecen la posibilidad de establecer comunicación con otros, permiten un tipo distinto de relación social basada en la colaboración y complementación de los participantes trabajando en un ambiente cooperativo. En pocas palabras, facilitan el interaprendizaje, la posibilidad de entreayudarnos. Esta nueva forma de interacción con los demás, y a partir del reconocimiento del otro, abre un espacio donde se puede dar rienda suelta a la búsqueda de la satisfacción de necesidades axiológicas de valores como la creatividad y, sobre todo, la libertad”².

¹ **Prieto, Daniel:** Mediación pedagógica y nuevas tecnologías. Serie: Nuevas Tecnologías Aplicadas a la Educación Superior, ICFES, 1995 mayo, p. 51.

² **Trujillo M., María Fernanda:** Redes y mediaciones pedagógicas. Serie: Nuevas Tecnologías Aplicadas a la Educación Superior, ICFES, 1995 mayo, p. 29.



que el correo electrónico



He querido aprovechar esta oportunidad para, no sólo presentar algunos aspectos de Internet, sino también hacer unos bosquejos de unas posibles reflexiones acerca del uso de esta tecnología, que sin duda serían tema de un artículo posterior.

El desarrollo mundial de las redes, y más exactamente de la red de redes, Internet, se ha dado principalmente en las universidades y centros de investigación. Es en estas instituciones donde los proyectos de red resultan estratégicos y fortalecen la misión de la universidad. Internet ha evolucionado, al pasar de ser LA red científica y tecnológica por excelencia, a ser el medio de comunicación de mayor crecimiento hoy en día, más incluso que la telefonía celular o las mismas máquinas de fax.

Quizá usted es uno de esos lectores que se ha topado con artículos que hacen referencia a Internet en algún periódico o revista de divulgación masiva; la verdad es que Internet es una red que llega a todos los lugares del mundo, y ha crecido de una manera que nadie nunca imaginó. Los servicios que ofrece son cada día mayores, más sofisticados y potentes y, sin embargo, cada vez más fáciles de usar, aunque muchos de sus usuarios siguen sin entender qué es exactamente Internet. Para definir a Internet empecemos con la descripción de otro ejemplo.

Cuando se inventaron las primeras bicicletas, el que quisiera manejarlas tenía que aprender todos los detalles del diseño de las bicicletas, aprender a solucionar cualquier problema mecánico o de repuestos; es decir, tenía que ser un experto y con conocimientos que le permitieran ser autosuficiente en bicicletas para poder disfrutarlas. Hoy en día no es tan difícil manejar una bicicleta, y de hecho, después de unas caídas, cualquier persona aprende a disfrutar los paseos en bicicleta. Hace unos años, Internet era sólo para expertos en redes, los enlaces no eran confiables y se requerían conocimientos avanzados en computación para no *vararse*. Hoy en día, dado que los modelos se han depurado, y la industria ha avanzado, Internet tiene más de 48 millones de participantes que no son expertos en computación, como químicos, bibliotecólogos, profesores de colegios, etc. Las herramientas para hacer más fácil la vida de estos usuarios son cada vez mejores, más fáciles de

► Internet brinda a cualquier usuario la posibilidad de tener la información que necesita en segundos, independientemente de dónde se encuentre o qué tan lejos.

conseguir y más baratas. A los navegantes de Internet se les llama «internautas», y espero que usted se convierta en uno. Recuerde que una de las cosas más divertidas de participar en Internet es la posibilidad de navegar sin *vararse*.

Para algunos, Internet significa la posibilidad de tener un buzón electrónico que permite recibir y enviar mensajes a cualquier otro buzón electrónico en otro lugar del mundo. Para algunos incluso, éste es el único servicio que conocen de Internet, o fue el *gancho* que los atrajo inicialmente. En

cualquier caso, el buzón electrónico es el servicio más utilizado de Internet, pero... no es el único. Internet tiene otros servicios de información como el sistema de noticias o grupos de discusión. En estos grupos se discuten temas tan variados como los adelantos en resonancia nuclear hasta el último disco de los Rolling Stones. Cualquiera puede participar, aprender, responder preguntas y, en general, encontrar soluciones, información y conocimiento. Otro servicio de información muy poderoso es la transferencia de archivos entre diferentes computadores o ftp (del inglés: file transfer protocol). Con este servicio, un usuario de Internet puede *bajar* o copiar software gratuito (de dominio público) y utilizarlo en su computador personal, o en otros casos puede conseguir software «shareware», que si le gusta o lo utiliza, se le envía cierta suma de dinero al autor de dicho software.

En pocas palabras, Internet brinda a cualquier usuario la posibilidad de tener la información que necesita en segundos, independientemente de dónde se encuentre o qué tan lejos. Esto no implica que se debe pagar dinero adicional por obtener la información, incluso es gratamente sorprendente encontrar un gran número de fuentes de información absolutamente gratis.

Algunos datos de Internet

Permítame presentarle algunos datos de Internet:

- En promedio, cada 10 minutos, se conecta a Internet un nuevo computador.

- El 2 de marzo de 1993, el presidente Clinton se convirtió en el primer mandatario del mundo en enviar un mensaje vía Internet.

- Si, por ejemplo, las 48.000.000 de personas que participan en Internet se reunieran, se necesitarían más de 600 estadios como el Pascual Guerrero de Cali para alojarlos. En 1992 este número crecía a más de 20% al mes, sobre todo en países en desarrollo y en colegios de secundaria estadounidenses.

- El estadio Pascual Guerrero de Cali tiene capacidad para 50.000 personas. Ese es el número de personas que leen un grupo de discusión con afluencia mediana, que explicaré más adelante.

- Máquinas (computadores). En los inicios de la industria de la computación, la compañía IBM alguna vez consideró que el negocio de los computadores no era un buen negocio, porque calculaba que en el mundo sólo se necesitaban seis computadores. ¡Vaya error de cálculo! La IBM rectificó su apreciación y desde ese entonces se han vendido millones de computadores. Hoy se habla de más de 3.500.000 computadores conectados a Internet.

- Información. La información que se encuentra en Internet es de una gran variedad: desde las bases de datos institucionales de las bibliotecas más importantes del mundo, información que no ha sido sometida a censura de ningún tipo, y muchas veces información que es sólo opinión de algún participante.

- ¿Desde dónde se puede conectar? ¡Desde cualquier parte! Desde la casa, el colegio, la universidad, una empresa y, en fin, desde cualquier lugar donde haya un computador. ¡Hoy en día hay 18 cafeterías en San Francisco que ofrecen conexiones a Internet por unos minutos!

A estas alturas, usted se estará preguntando: ¿qué es Internet?... Buena pregunta, nadie la ha contestado aún de manera satisfactoria. Aunque estos datos le pueden ayudar a entender algo de Internet, lo cierto es que cada participante habla de Internet de manera diferente. Como dice una voz popular: «cada uno cuenta cómo le va en la fiesta».

Componentes de Internet

A pesar de lo difícil que es definir Internet, una buena aproximación sería decir que Internet es la suma inmensa de participantes, máquinas conectadas que ofrecen servicios de información, enlaces de conexión, programas (software) e información casi infinita.

Redes de comunicación y autopistas de información

El hardware

En computación, el término hardware generalmente se refiere a equipos que se pueden tocar (o ver). El hardware que conforma a Internet es la suma de computadores (llamados máquinas, servidores, etc.) y equipos de comunicación.

Más de 3.5 millones de computadores de todo tipo, modelo, tamaño y color se conectan a Internet. Para convertirse en usuario de Internet, usted no necesita tener algún tipo de equipo en especial, o de una marca en particular. Cualquier equipo le permite comunicarse, incluso aquellos obsoletos o discontinuados. Se dice que los equipos que se encuentran en fabricación ya están incluyendo el software que permite utilizar los servicios de información de Internet. Empresas como Microsoft hacen esfuerzos por tener un papel protagónico en el futuro desarrollo de la red.

Para la comunicación se utilizan equipos de comunicación que establecen canales de comunicación de alta velocidad, así como líneas telefónicas comunes y corrientes. El punto importante por resaltar es que, independientemente de la capacidad del canal de comunicación que se utilice, la información a la que se tiene acceso es la misma, sólo que se consulta a diferentes velocidades.

Los computadores

Los computadores conectados varían desde los más poderosos supercomputadores hasta computadores personales. Estos se pueden clasificar en dos tipos: computadores «servidores» (servers) y computadores «clientes» (clients). Por lo general, los servidores son equipos de mayor capacidad conectados mediante enlaces de comunicación más rápidos. Esto conforma una sub-red que se comunica con otra sub-red con enlaces de comunicación de mayor capacidad, y así sucesivamente.

Un conjunto de servidores y clientes forma un nodo de Internet. Todos los nodos tienen igual 'status', cada uno con autoridad para pasar y generar mensajes. Generalmente los nodos ofrecen servi-

cios de conexión remota para usuarios con computadores personales y modems en su casa, o para otros nodos. Por ejemplo, la Universidad del Valle es un nodo de Internet.

Las redes de conexión

En términos sencillos, dos computadores que se conectan entre sí, dentro de un campus, conforman una red de área local (del inglés: LAN - Local Area Network). A medida que la red local crece, ésta se puede conectar con otras redes locales independientes para formar una red de área amplia (del inglés: WAN - Wide Area Network). A esta configuración se la llama internet (con minúsculas). Internet (con mayúsculas) es la conexión más amplia de redes locales. Una verdadera conexión Internet implica que los computadores conectados utilicen un protocolo de comunicación llamado TCP/IP (del inglés: Transmission Control Protocol/Internet Protocol); pero estos detalles sólo le interesan a quienes administran nodos de Internet, y no lo voy a aburrir con ese tipo de información.

Cuando se utilizan conexiones de computadores personales que se conectan vía líneas telefónicas, se utilizan unos equipos llamados modems (modulador-demodulador). Este equipo permite hacer una traducción de la señal numérica a una señal análoga y viceversa. Es decir, le permite a un computador comunicarse con otro utilizando una línea telefónica convencional. Estos artefactos han evolucionado enormemente en los últimos años. Los primeros modems trans-

mitían a 300 bps (bits por segundo o baudios), posteriormente sus velocidades se incrementaron a 1200 y 2400 bps e incluso a los 14.400 bps que se utilizan hoy en día. Los modems de hoy tienen por lo general servicio de fax y modem, permiten hacer corrección de errores, así como compresión de datos. Muchos de los equipos que se venden hoy día incluyen tarjeta fax/modem incorporada.

En la actualidad existen modems más pequeños que una tarjeta de crédito, que se pueden adaptar a computadores

► **Cualquier computador es apropiado para conectarse a Internet, incluso aquellos obsoletos o discontinuados.**

portátiles, tarjetas internas que se adaptan a un computador, o modems externos que se conectan con un cable a un puerto de un computador.

Los modems se utilizan para comunicación por línea telefónica. Existen otros artefactos para otros tipos de comunicación; por ejemplo, para computadores que se encuentran en un área en la que exista una red física, es decir, que se haya instalado una red de transmisión de datos, se utilizan tarjetas de comunicaciones. Este tipo de redes son comunes en organizaciones privadas y públicas,

y generalmente están comunicadas con otras redes vía modems. Si usted tiene algún tipo de vinculación con una universidad o centro de investigación, lo más probable es que tenga acceso por esta vía.

Lo importante es saber que existen múltiples canales de comunicación con velocidades que varían enormemente, por ejemplo, las comunicaciones microondas, vía satélite, con fibra óptica, etc. Pero ante todo Internet es mucho más que una simple conexión de computadores. En realidad los computadores se encargan del trabajo de «carpintería», es decir, pasar los datos entre sí. Estos datos son información, que en Internet generalmente proviene de los mismos participantes.

Información

Como ningún otro invento humano, Internet es un «accidente feliz». Internet no se rige por ningún «plan maestro», ni la información se mantiene gracias a los servicios bibliotecarios de un ente central. Algunas fuentes de información, que se mantienen al día por algún grupo de voluntarios, pueden aparecer y desaparecer con la misma facilidad y, en la mayoría de los casos, cuando desaparece una fuente de información importante, aparece otra que la reemplaza, que por lo general se alimenta de trabajo volun-

tario de algún otro grupo que se hace cargo. Internet no es una red creada por alguna empresa o grupo de socios de la cual esperan obtener algún tipo de rentabilidad; Internet es el resultado tecnológico de trabajo cooperativo entre nodos participantes.

Los servicios de Internet

Un usuario de Internet casi siempre hace uso de varios servicios en una sesión. Esto generalmente incluye: leer el correo, ponerse al día en discusiones de algún tema, consultar la biblioteca y buscar información en algún computador en alguna parte del mundo. Todos los servicios los utiliza mediante su cuenta electrónica, también conocida como dirección electrónica. Veamos en qué consiste.

Direcciones Internet

En Internet cada computador tiene una dirección única (el número IP), como si fuera su cédula mundial que lo identifica del resto de los millones de computadores conectados. Los computadores se comunican entre sí con estos números, que las personas conocen con nombres, pero que en realidad son traducidos a números cuando se hace cualquier tipo de interacción entre computadores. Para las direcciones, se utilizan los nombres como mafalda.univalle.edu.co, en vez de números como 157.253.103.1 porque éstos son más difíciles de recordar para la mayoría de los usuarios. Los números se construyen con un sistema de dominio de nombre (domain name system) que asigna números menores que 256 en forma jerárquica en cuatro subgrupos.

Estos números reflejan la estructura jerárquica de las direcciones de Internet, es decir, como si fueran árboles (**figura 1**).

Las direcciones electrónicas se construyen con el nombre del dominio, subdominio y el país, un símbolo de arroba '@', que en inglés significa 'at', y el nombre del usuario, toda la información seguida y sin espacios:

usuario@servidor.subdominio.dominio.país

Las direcciones de Estados Unidos generalmente no tienen código de país, aunque algunas utilizan us. Colombia tiene asignado el código co. Los dominios indican el tipo de institución que está conectada,

► Internet no es una red creada por alguna empresa o grupo de socios de la cual esperan obtener algún tipo de rentabilidad; Internet es el resultado tecnológico de trabajo cooperativo entre nodos participantes.

Redes de comunicación y autopistas de información

como com de comunicaciones, gov de gobierno, edu para las instituciones de educación, etc., y por lo general está asociado con el país. El subdominio se refiere a la institución, como icfes para el ICFES, caltech para California Technological Institute, o univalle para la Universidad del Valle. El servidor se refiere al computador que aloja la cuenta del usuario, como mafalda o maxwell o hemeroteca o diablo, etc. Por último, el usuario es identificado por su «login» asignado, identificación única, buzón o cuenta electrónica. Los usuarios de la **figura 1** tendrían las siguientes direcciones electrónicas:

carlos@rose.caltech.edu
jvez@hemeroteca.icfes.gov.co
yepes@diablo.univalle.edu.co
rolf@mafalda.univalle.edu.co
mft@mafalda.univalle.edu.co
ulloa@mafalda.univalle.edu.co
trujillo@disun20.epfl.ch

Figura 1.
Árboles de direcciones electrónicas.

Existen usuarios especiales en cada servidor, como los usuarios identificados como root, que se encargan de administrar los recursos del servidor:

root@maxwell.univalle.edu.co

Correo electrónico

El correo electrónico o «e-mail» (del inglés: electronic mail) es uno de los servicios más populares de Internet. Es, por así decirlo, la columna vertebral de Internet. El correo le permite enviar mensajes a un individuo particular, a varios individuos a la vez o a una lista de individuos que usted predefina. La información que contiene cada correo puede ser textual (archivos tipo texto, conocidos también como archivos ASCII), u objetos binarios como programas, gráficas, audio, etc. Para enviar mensajes se utilizan las direcciones electrónicas.

Una sesión típica de manejo de correo electrónico incluye: verificar si hay correo (mensajes), leer los mensajes recibidos (una pantalla a la vez), buscar mensajes por tema o remitente, responder mensajes, incluir archivos o mensajes en el mensaje que se está creando y guardar, archivar, borrar, reenviar o imprimir mensajes.

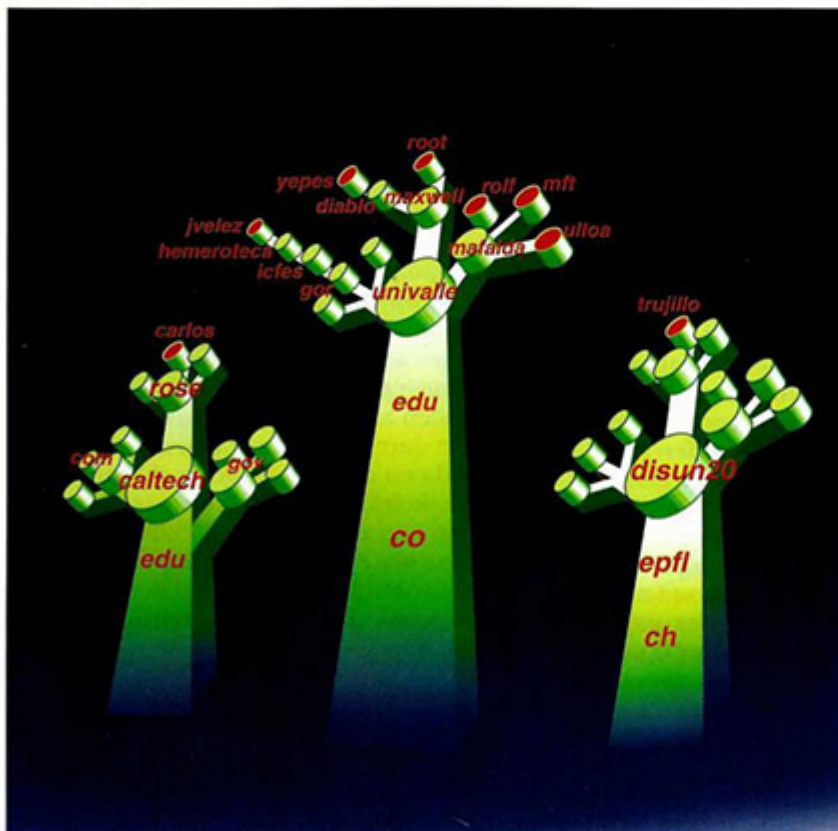
La mayoría de los mensajes tienen tres partes: el encabezado (header), el cuerpo (body) y la firma (signature) (**figura 2**).

El encabezado incluye: la dirección electrónica del que envía el mensaje, seguida de la fecha y hora en la que envió el mensaje, la dirección electrónica del que recibe el mensaje, seguida de la fecha y hora de recibo. Si el mensaje incluye más información, ésta se refiere a la información que refleja el camino de computadores por donde pasó el mensaje y alguna identificación única asignada al mensaje. Adicionalmente, se incluye la información de las direcciones electrónicas de las personas que recibieron copia del mensaje, así como una línea que hace referencia al tema (subject).

Sistemas entrelazados (gopher, veronica, wais)

Gopher

El gopher es un sistema de navegación por menús entrelazados. En el gopher, cada entidad ofrece información pública, por ejemplo, el acceso a su directorio telefónico o la



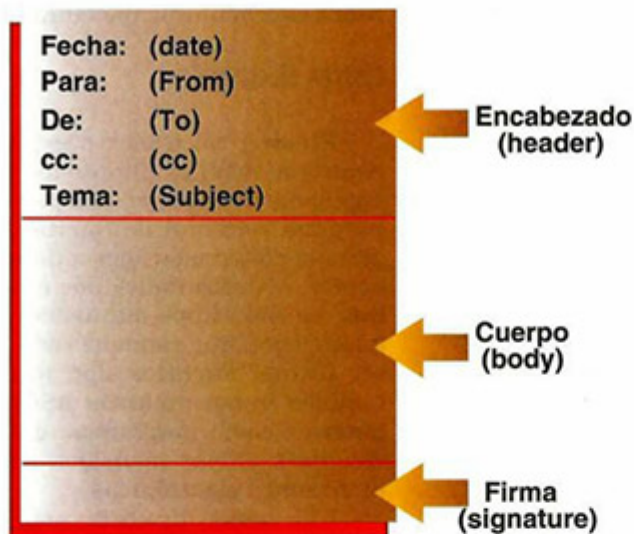


Figura 2.
Partes que componen un mensaje.

base de datos de su biblioteca o el calendario académico de la institución. El sistema gopher fue desarrollado por la Universidad de Minnesota con el ánimo de distribuir información entre los estudiantes y docentes. Parece que su nombre se debe a que el sistema le ayuda al usuario a «ir por cosas», o en inglés «go for» things.

El sistema permite consultar todo tipo de información organizada por menús que accesan bases de datos, bibliotecas, directorios telefónicos, catálogos públicos y privados, entre otros. Una gran ventaja, desde el punto de vista de la eficiencia de la comunicación del gopher, es que al realizar la conexión, toda la información consultada se lee de una vez, acción que desocupa el canal de comunicación.

Con el sistema de gopher se pueden hacer viajes entre países y sitios sin tener que aprender ningún comando de computación, ni de dominios, ni números. Algunas veces unos menús contienen opciones que lo llevan a otros menús que lo pueden regresar a donde empezó. Las distancias geográficas no importan en el espacio de gopher o «gopherspace», y se dice que hay más de 1300 sitios que ofrecen servicio gopher. Incluso hay sitios (como la Universidad del Valle) que tienen varios servidores gopher de diferentes departamentos, facultades u oficinas administrativas, como el Departamento de Matemáticas, la Biblioteca Central o la Oficina de Registro Académico.

Una gran ventaja del gopher es que sirve de interfaz estándar para una gran variedad de otros servicios conectados.

Veronica

El sistema de veronica es complementario del gopher, ya que permite realizar búsquedas en el gopherspace. Cuando se hace una búsqueda o consulta con veronica, ésta se realiza en el gopherspace, es decir, todo el mundo del gopher. La búsqueda se hace utilizando una palabra clave (keyword) que puede buscar diferentes tipos de fuentes de información, o uno puede definir que busque los títulos de gophers que contengan la palabra clave que uno busca. En pocas palabras, veronica es una herramienta de búsqueda muy poderosa, dado que le ayuda al usuario a identificar gophers que le interesan. Su uso lo explicaré en detalle más adelante.

WAIS

WAIS significa Wide Area Information Service, es decir, Servicio de Información para Grandes Áreas. En 1991, cuatro grandes compañías (Apple Computer, Dow Jones & Co., Thinking Machines Corporation y KPMG Peat Marwick) se agruparon alrededor de un proyecto que permitiera buscar información dispersa en múltiples bases de datos.

Una de las características de WAIS es que realiza la búsqueda de manera indiscriminada en múltiples bases de datos que cumplen con el estándar Z39.50, desarrollado por bibliotecas como el estándar para el manejo de información bibliográfica. Los resultados de la búsqueda se organizan por relevancia por puntajes descendentes a partir del 1000 que se le asigna al resultado más relevante a la búsqueda realizada. Otra gran ventaja del WAIS es que la búsqueda de información se hace con frases que semejan el lenguaje natural.

En pocas palabras, el gopher es un sistema de navegación por menús entrelazados que pueden contener enlaces a otros menús o bases de datos. El veronica es un sistema de búsqueda en el gopherspace y el WAIS es un sistema de búsqueda en bases de datos que cumplen con el estándar Z39.50. En general, estos sistemas se relacionan con bases de datos institucionales, o, en la mayoría de los casos, con información institucional de referencia.

Sistemas de noticias (usenet)

El sistema de noticias (usenet) incluye más de 8000 grupos de interés. Este sistema ha ido reemplazando otro más antiguo conoci-

Redes de comunicación y autopistas de información

do como listas de distribución (LISTSERV), que enviaba mensajes relacionados con un tema al buzón de personas suscritas a la lista. El usenet no envía los mensajes al buzón personal (ahorrando tráfico innecesario), sino que los mensajes se colocan en una especie de cartelera electrónica que un usuario puede leer a su antojo. Para reducir el inmenso tráfico (que puede ser de 30 a 50 MB diarios de información en un grupo), cada nodo de Internet escoge los grupos de noticias que va a ofrecer a sus usuarios, por ejemplo, en la Universidad del Valle se han escogido alrededor de 2200 grupos de los posibles 8000.

Charlas interactivas (write, talk, irc)

Existen tres tipos de comunicaciones interactivas, es decir, en tiempo real. Cada tipo de comunicación se utiliza con fines diferentes, pero tienen en común que todas suceden mientras las personas están trabajando en algún equipo en la red.

Mensaje tipo «telégrafo» (write)

Este mensaje se hace en una sola dirección, de una persona que está trabajando en un servidor y le quiere enviar un mensaje muy corto (de tres a cinco frases) a otra persona que está trabajando en el mismo servidor. Este tipo de mensajes se leen y se limpian sin respuesta.

Mensaje tipo «charla» (talk, ytalk)

Estos mensajes se hacen en doble vía, y en el caso del ytalk se pueden hacer entre dos o más personas a la vez. Estas charlas sólo se pueden realizar si las personas están conectadas a Internet a la vez, y tienen el servicio instalado.

Mensajes tipo «foro» (irc)

El IRC, que viene del inglés: Internet Relay Chat, fue escrito por Jarkko Oikarinen en 1988 en Finlandia. Estos mensajes se hacen entre cientos o miles de personas hablando entre sí en la red. El irc lo menciono porque es uno de los servicios ofrecidos, pero no recomiendo su uso indiscriminado, ya que utiliza muchos recursos de cómputo para charlas que generalmente son desordenadas y muchas veces triviales. Goza de gran popularidad entre algunos usuarios de la red.

Transferencias de archivos (ftp)

Muchas de las personas que dicen tener acceso a Internet, sólo tienen acceso al servicio de correo electrónico. Para poder utilizar el servicio de ftp (del inglés: file transfer protocol) se requiere una conexión tipo TCP/IP.

Cliente ftp

Para entender cómo funciona el FTP, se debe tener en cuenta el concepto de cliente y servidor (**figura 3**). El cliente FTP es el programa que usted ejecuta en el computador que está utilizando en un momento dado, y el servidor FTP es el computador que tiene los archivos que usted desea transferir. Por lo general el cliente es un computador personal (aunque no siempre) y el servidor tiene sistema operativo UNIX (aunque no siempre).

Al utilizar FTP, se modifica el concepto de terminal bruta que generalmente se utiliza en las sesiones de la red. El FTP implica que hay dos discos duros (o unidades de almacenamiento) involucrados en el proceso, para que la información de algún archivo pueda transferirse de un disco a otro.

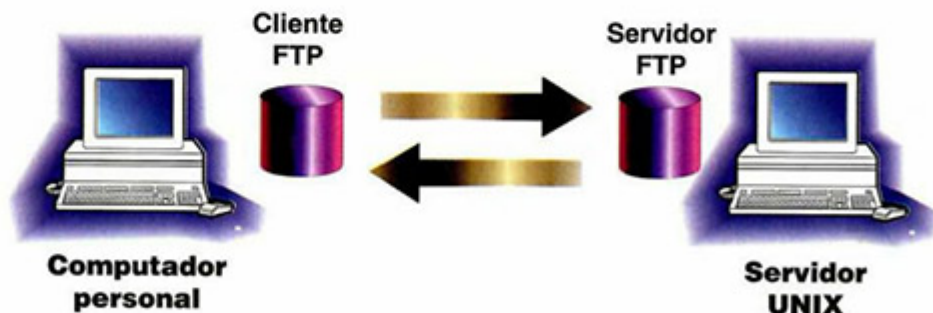


Figura 3.
Transferencia
de archivos FTP.

▶ Mediante el uso de esta tecnología, ella adquiere su verdadero carácter social. Los que aprenden a utilizar las redes aprenden a compartir con otros y, sobre todo, a divertirse, jugar y gozar.

Tipos de archivos

El servicio de FTP hace una gran cantidad de trabajo de traducción en la transferencia del archivo, pero hay que definir unos parámetros básicos, como el tipo de archivo que se está transfiriendo. Los tipos de archivos más comunes que se transfieren son de dos tipos: ASCII (textuales) y BIN (binarios o programas ejecutables). Los archivos binarios son archivos que se transfieren *tal cual*, respetando códigos y caracteres especiales; los ASCII transfieren carácter por carácter.

Archie

Al igual que en el gopher, la herramienta que permite hacer búsquedas en los servidores ftp es el archie. Archie se utiliza con una palabra clave (keyword) para buscar los nombres de los archivos residentes en los servidores ftp. El resultado de la búsqueda es la información completa de dónde (en qué servidor, directorio y subdirectorio) se encuentra el archivo que está buscando para realizar FTP.

Hipertexto o hypertext (www)

WWW significa World Wide Web. Este servicio comenzó como un proyecto académico del Centro CERN para la Investigación en Física de Alta Energía en Suiza. Con este servicio se enlazan documentos de hipertexto creados con el lenguaje HTML (del inglés: Hyper Text Markup Language), que a su vez pueden tener enlaces a otros servicios como usenet, FTP, gopher y WAIS.

Usted podrá reconocer las páginas de hipertexto cuando le citen algo del estilo «http:// ...». Éstas se pueden consultar con una variedad de productos, aunque uno de los más populares es MOSAIC, desarrollado por el NCSA (National Center for Supercomputing Architecture de Estados Unidos), que es de dominio público. Sin embargo, hay productos comerciales que sirven de «Web Browsers», como Netscape (el más popular de los productos comerciales), WinWeb,

MacWeb, Cello, entre otros, que consultan documentos hechos con el lenguaje HTML.

Algunas reflexiones

Tendencias de Internet

Internet es un resultado irónico de los planes iniciales del Departamento de Defensa de los Estados Unidos. Hoy es tecnología de conocimiento público; por así decirlo, pertenece a la humanidad.

Yo, en particular, creo en un futuro optimista. La red es fruto de un esfuerzo común y realmente cooperativo, y creo que, a pesar de que aparezcan otras organizaciones comerciales o individuos que no necesariamente compartan este espíritu, éste prevalecerá, e incluso fomentará el surgimiento de nuevas formas de relaciones sociales.

Hoy en día se discute acerca de los peligros que ofrece Internet, a nivel de virus, de seguridad, de uso por parte de individuos inescrupulosos, etc., pero el peligro es reflejo y parte integral de nuestra sociedad. Internet, como la herramienta de comunicación más importante del siglo, será un espacio que refleje un espectro de intereses y usos diversos. La diversidad y complejidad del ser humano se reflejará en este mundo paralelo de Internet, algunas veces llamado «cyberspace» o espacio cibernético. ¿Existirá una entidad con capacidad para controlar una red mundial con recursos de fuentes diferentes? No creo, pero quién sabe.

En cuanto al crecimiento de Internet, siempre surge la pregunta de si podrá seguir creciendo así, si hay algún límite en capacidad de computadores o de canales de comunicación; por ejemplo, hoy se transmite la Enciclopedia Británica en dos segundos entre una punta y otra de los Estados Unidos. ¿Podremos seguir así? Yo sinceramente creo que a medida que crezca la red, se harán más poderosos y de mejor capacidad los canales de comunicación, así como el número de sitios desde los cuales se podrá acceder. Incluso se verán fusiones interesantes entre servicios telefónicos, de televisión por cable y las redes de datos.

En cuanto al uso comercial, yo creo que habrán nichos comerciales o redes comerciales que un usuario podrá elegir para explorar, pero no creo en la posibilidad de realizar comercialización de información dirigida a los buzones personales de los participantes, sino

Redes de comunicación y autopistas de información ■

la creación de grupos de discusión o de ofertas de compra y venta en los mismos.

El uso de las herramientas hipertexto (hypertext) nos introduce en un mundo abierto de posibilidades que nadie aún es capaz de imaginar. Incluso, se empiezan a estrenar términos recién acuñados como «turismo virtual» o «shopping a través de la WEB (WWW)».

En cualquier caso, aventurarse a predecir el futuro de Internet es un ejercicio sin mucho sentido, porque nadie hubiera podido imaginar este increíble presente de «aldea global».

Una mediación pedagógica

El uso de las redes promueve y acompaña el aprendizaje de sus usuarios, sean estos usuarios docentes, estudiantes o ninguno de los anteriores. Aprender a utilizar los servicios es aprender a navegar por los ríos, lagunas y océanos de información para localizar, reconocer, procesar y utilizar información.

Mediante el uso de esta tecnología, ella adquiere su verdadero carácter social. Los

que aprenden a utilizar la tecnología de las redes aprenden a compartir con otros y, sobre todo, a divertirse, jugar y gozar.

“La madurez pedagógica pasa por la capacidad discursiva (...) por el uso de tecnologías con la soltura de quien se ha apropiado de un recurso tan ágil como la propia mano”³.

³ Prieto, Daniel: Mediación pedagógica y nuevas tecnologías. Serie: Nuevas Tecnologías Aplicadas a la Educación Superior, ICFES, 1995 mayo, p. 60.

Las ideas centrales de este artículo fueron tomadas del documento universitario: Trujillo M., María Fernanda: Internet para todos. Centro de Servicios de Información, Universidad del Valle, Cali, 1995.



XI CONVOCATORIA PARA FINANCIACION DE PROYECTOS DE INVESTIGACION

Inscripción: 18 de Marzo al 31 de Mayo de 1996

PERFIL DE LAS PROPUESTAS:

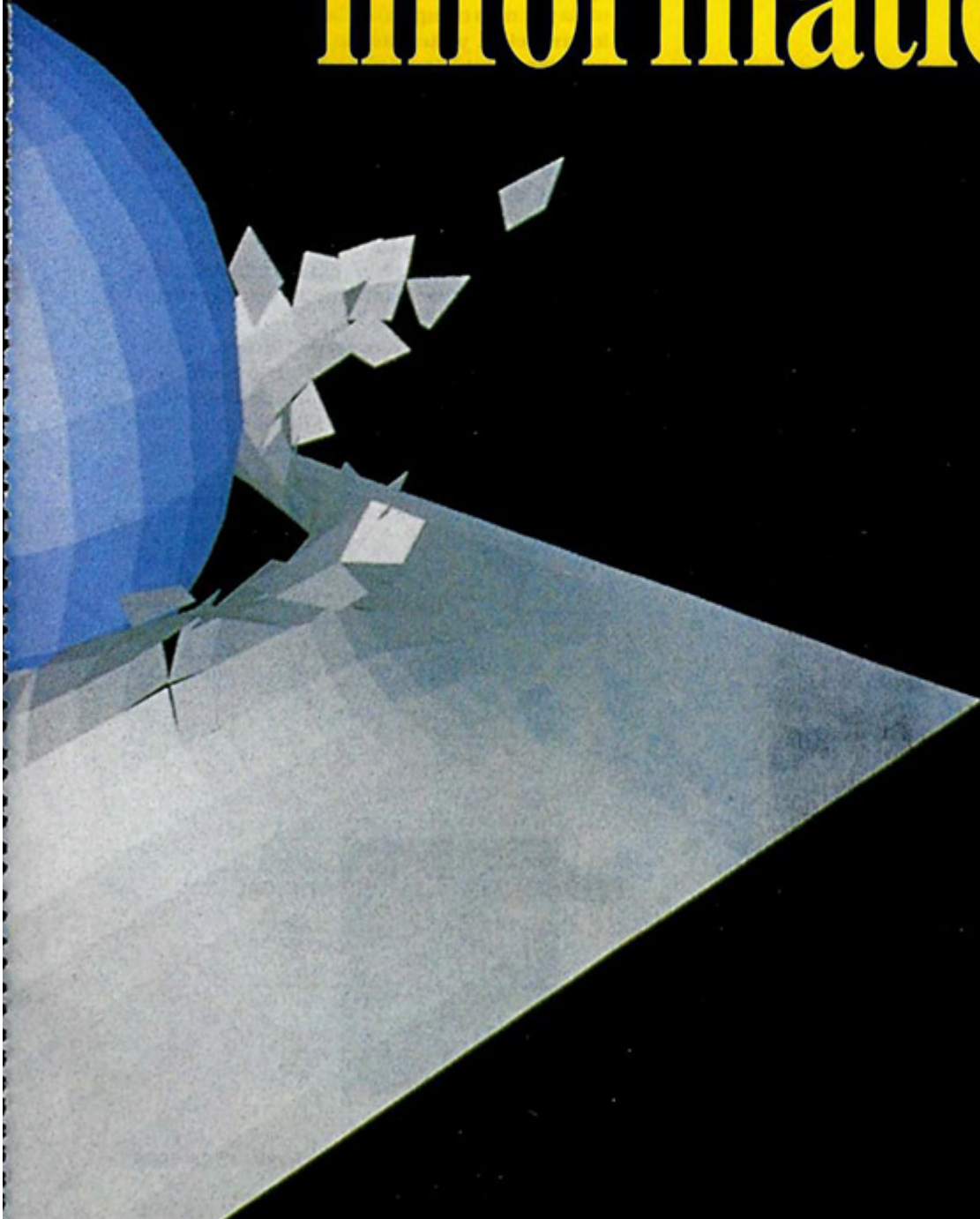
- Investigaciones en el campo de la ecología y las ciencias ambientales
- Se dará preferencia a aquellas propuestas que apunten al estudio de la diversidad biológica en cuencas hidrográficas, páramos y embalses
- Se busca promover el desarrollo de investigaciones básicas, en las áreas señaladas, que sirvan de insumo para la gestión ambiental del sector energético del país
- Proyectos con duración máxima de un año
- El monto solicitado no debe exceder los \$8.000.000



Informes: FONDO FEN COLOMBIA



Desafíos de la informática



Interconexión entre

Rosa Villa,
Jordi Aguiló,
Elena Valderrama
Centro Nacional de Microelectrónica
Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Universitat Autònoma de Barcelona
Bellaterra, Barcelona, España

Tecnologías entre dos mundos

Habitualmente, las tecnologías de la información trabajan a partir de procesadores y redes totalmente externos al operador humano. En estos sistemas artificiales el flujo de información se realiza a través de cables, buses, y en algunos casos mediante enlaces de radio. En los seres vivos la transmisión de la información se realiza a través de los nervios que actúan como el equivalente de los cables en los sistemas artificiales. Tradicionalmente estos dos «mundos» totalmente independien-

tes, sistemas artificiales y seres vivos, se han comunicado a través de dispositivos simples (teclado, ratón, pantallas táctiles, conmutadores) que se van sofisticando y aumentan su complejidad hasta llegar, por ejemplo, a la realidad virtual.

A pesar del progreso, aún persiste la barrera que separa el entorno exterior del operador humano, constituido por el mundo cada vez más complejo de las tecnologías de la información, y su entorno interno, que es el también complejo mundo del procesamiento sensorial, control motor, emociones, razonamiento, planificación, etc., por citar sólo algunas entre otras cualidades humanas.

La región entre estos dos extremos pertenece al dominio de interfaces hombre/máquina (figura 1). En todos los casos un centro de control, humano o artificial, es decir, un «cerebro», está conectado a través de algún tipo de sistema a un efector o sensor «órgano diana»¹.

El control de un órgano diana humano por una máquina es algo bastante común en aplicaciones médicas y su utilidad es siempre suplir una deficiencia. Por ejemplo, todo el mundo conoce los marcapasos, sistemas

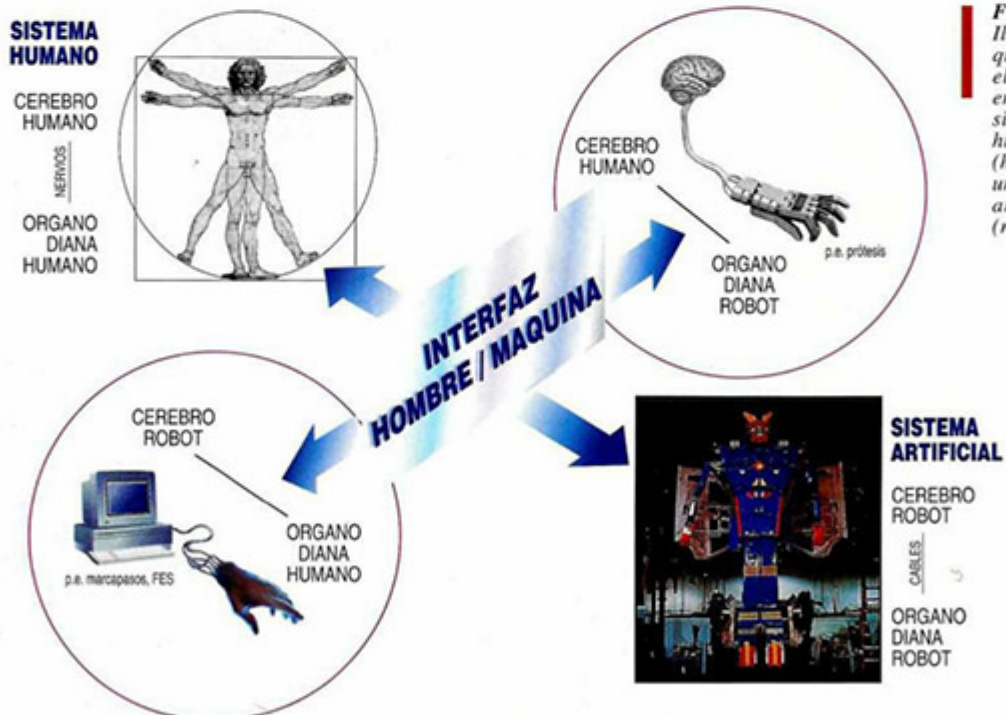


Figura 1. Ilustración que describe el continuum entre un sistema humano (hombre) y un sistema artificial (robot).

el sistema biológico y el sistema artificial

implantados para restaurar el ritmo cardíaco normal. Hay otros más novedosos, como la estimulación eléctrica neuromuscular para provocar movimientos funcionales en paralíticos, como ponerse de pie, sentarse o incluso dar un paso. Como novedades también están las llamadas prótesis sensoriales para restaurar la pérdida de algún órgano sensorial. Entre éstas, cada vez más conocidas por sus éxitos, están los implantes cocleares, sistemas que mediante la estimulación eléctrica en el oído interno permiten a sordos totales tener sensaciones sonoras. Actualmente hay también muchos avances en las prótesis visuales, en las que se introduce un chip en la retina, que se activa por láser y envía estímulos eléctricos al nervio óptico⁷.

El control de un órgano diana robot por el cerebro humano se hace siempre a través de interfaces externas al cuerpo. El control de un sistema artificial por el sistema nervioso humano se ha conseguido por medio de interfaces indirectas, como a través de la actividad de un electromiograma (EMG) para control de prótesis artificiales⁵, o, de una manera más futurista, a través de las señales de un electroencefalograma para controlar el cursor en una pantalla de computador.

La unidireccionalidad es la limitación de las interfaces mencionadas. La potencialidad de la bidireccionalidad se está comenzando a utilizar; son ejemplos de ello siste-

mas como el marcapasos desfibrilador, que produce desfibrilaciones cardíacas en el momento en que él mismo registra ciertas alteraciones específicas de la actividad cardíaca. O el tan pretendido páncreas artificial, en que su funcionamiento depende de la bidireccionalidad entre la detección de ciertos valores de glucosa, a través de sensores, y la secreción de la dosis de insulina correspondiente.

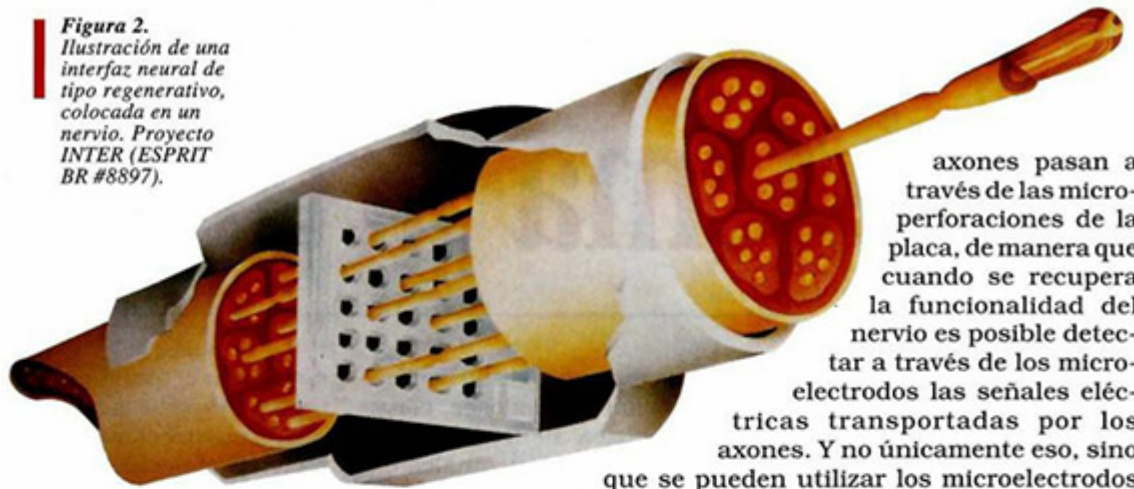
Para seguir adelante con el control de sistemas artificiales por el sistema nervioso humano, la meta está en desarrollar una interfaz directa hombre-máquina. El primer paso necesario para tales sistemas es registrar en forma estable la actividad nerviosa, sea del sistema nervioso central o periférico, durante periodos largos de actividad normal. Esto es un objetivo difícil ya que por medio de sistemas no invasivos (ECG, EMG) sólo se detectan valores globales de actividad y es imposible la separación de las señales nerviosas. En un intento de acceder *in vivo* a señales cada vez más individualizadas se han utilizado electrodos implantados en el nervio o en su vecindad. Existen diferentes configuraciones pero todas ellas presentan la desventaja de su temporalidad (el tejido nervioso acaba dañándose debido a pequeños movimientos del electrodo).

Una aproximación más reciente al registro y estimulación de señales provenientes del sistema nervioso periférico consiste en aprovechar la capacidad regenerativa de los nervios periféricos. Al regenerar los axones mediante una rejilla de electrodos se obtiene una unión estable y permanente entre el tejido neural y el sistema artificial.

Son las llamadas *interfaces neurales de tipo regenerativo*, que prometen ser una poderosa herramienta para aplicaciones tales como el control motor, el control de prótesis sensoriales/motoras para extremidades que han sido amputadas, estimulación directa de las extremidades paralizadas por seccio-

► Para seguir adelante con el control de sistemas artificiales por el sistema nervioso humano, la meta está en desarrollar una interfaz directa hombre-máquina.

Figura 2.
Ilustración de una
interfaz neural de
tipo regenerativo,
colocada en un
nervio. Proyecto
INTER (ESPRIT
BR #8897).



nes a nivel de médula espinal, como dispositivos de entrada/salida para control directo de máquinas y computadores, y cualquier otra aplicación que nuestra imaginación sea capaz de soñar^{2,3}.

Interfaces neurales de tipo regenerativo

En el Centro Nacional de Microelectrónica de Barcelona se está desarrollando un proyecto en esta línea. Este proyecto, conocido con el nombre de INTER (Interfaz Neural Inteligente), se realiza en el marco del programa ESPRIT de la Unión Europea. En él colaboran un grupo italiano, SSSA, dos grupos alemanes, FhG-IBMT y HSG-IMIT y un hospital suizo, CHUV. El objetivo primordial de INTER es progresar en el desarrollo de una interfaz directa hombre-máquina para uso clínico⁴ (figura 2).

La idea básica del proyecto de interfaz neural consiste en colocar un chip de silicio no mayor de 2 mm² entre los extremos proximal y distal de un nervio seccionado, antes de que se produzca la regeneración axonal. Esta placa de silicio contiene en su centro una matriz de microperforaciones rodeadas, cada una de ellas, de un microelectrodo. Al producirse la regeneración los

axones pasan a través de las microperforaciones de la placa, de manera que cuando se recupera la funcionalidad del nervio es posible detectar a través de los microelectrodos las señales eléctricas transportadas por los axones. Y no únicamente eso, sino que se pueden utilizar los microelectrodos para excitar eléctricamente los axones. El proyecto pretende desarrollar una interfaz permanente y bidireccional (que haga posible captar señales neurales y enviar señales hacia el cerebro a través de los axones), entre un número elevado de axones que forman el nervio y el mundo exterior. Ciertamente, estamos hablando de una interfaz con el sistema nervioso periférico.

Una interfaz como esta permite pensar que, en un futuro no muy lejano, sea posible conectar el sistema nervioso con todo tipo de prótesis artificiales que serían comandadas directamente desde el cerebro y no a través de otros músculos especialmente entrenados para suplir la minusvalía. A pesar de que estos objetivos parezcan acercarse a la ciencia ficción, son posibles siempre que se demuestre que se pueden construir dispositivos que capten la señal nerviosa, la procesen y la conviertan en órdenes. La posibilidad de excitar eléctricamente los axones permite pensar en futuras prótesis avanzadas en las que una serie de sensores captarían «sensaciones» como temperatura, presión, etc., y las enviarían hacia el cerebro.

Innovaciones tecnológicas

Ha habido que esperar a que ciertos avances en nuevas tecnologías permitieran pensar en desarrollar sistemas de esta complejidad. Tomando como base el ejemplo de la interfaz neural, nos damos cuenta de que en cualquier sistema artificial que pretenda la conexión íntima con un sistema biológico se requiere el aporte de innovaciones tecnológicas en distintas áreas que abarcan la biología, la informática, la electrónica, los materiales, etc. Concretamente, en el desarrollo completo de

► En un futuro será posible conectar el sistema nervioso con todo tipo de prótesis artificiales que serán comandadas directamente desde el cerebro.

un sistema de interfaz neural se pueden separar tres partes fundamentales: *microsistema*, *sistema de transmisión de datos* y *sistema de procesamiento de datos*. Cada una de estas tres partes pertenece a áreas diferentes de investigación y desarrollo, pero todas ellas tienen que evolucionar en forma paralela para converger e interactuar de manera óptima (figura 3).

Comentaremos aspectos de cada una de las partes, pero nos centraremos especialmente en una de ellas dada su importancia y nuestra particular experiencia: los microsistemas. Lejos de nuestra intención está el pretender resumir el estado del arte en el tema de microsensores. Pretendemos dar una visión comparativa desde el área biológica, analizando además los grandes retos que todavía hay que solventar con el mundo biológico, para poder interactuar con él de una manera similar.

Microsistemas: sensores y actuadores

El uso de microsistemas obtenidos mediante tecnologías de micromecanización del silicio parece ser muy prometedor en instrumentación biomédica. El pequeño tamaño, el bajo costo y la posibilidad de incluir tratamiento de señales en el microsistema son las características más sobresalientes y que hacen especialmente adecuada su utilización en medicina.

Generalmente se dividen en dos categorías para aplicaciones biomédicas, según la dirección del flujo de información: del interior del cuerpo al sistema artificial (sensores) y del sistema artificial al sistema humano (actuadores).

En la primera categoría, estos microsistemas o sensores pueden clasificarse, a su vez, según el parámetro a medir: físicos, bioquímicos; según el tipo de tecnología utilizada; según el principio de medida; según su interacción con el cuerpo: invasivos o no; por su aplicación final: en un medio hospitalario, ambulatorio o a domicilio, desechables o reutilizables, de colocación permanente o temporal, etc.

El objetivo primordial de los actuadores es el envío de estímulos, ya sean químicos, eléctricos o mecánicos, a una parte del cuerpo. Por lo general trabajan en conjunción con órdenes o señales que provienen de sensores.

Los sensores juegan un importante papel en la instrumentación médica; ellos sirven como interfaz entre el sistema biológico y el hardware de la instrumentación. La gran diferencia con sensores utilizados en otras áreas no médicas, es que en ésta se exigen duras restricciones en cuanto al tamaño, seguridad, sensibilidad y características específicas como estabilidad en un medio acuoso, resistencia a la corrosión iónica y otras características especiales, por ejemplo, que se han de construir

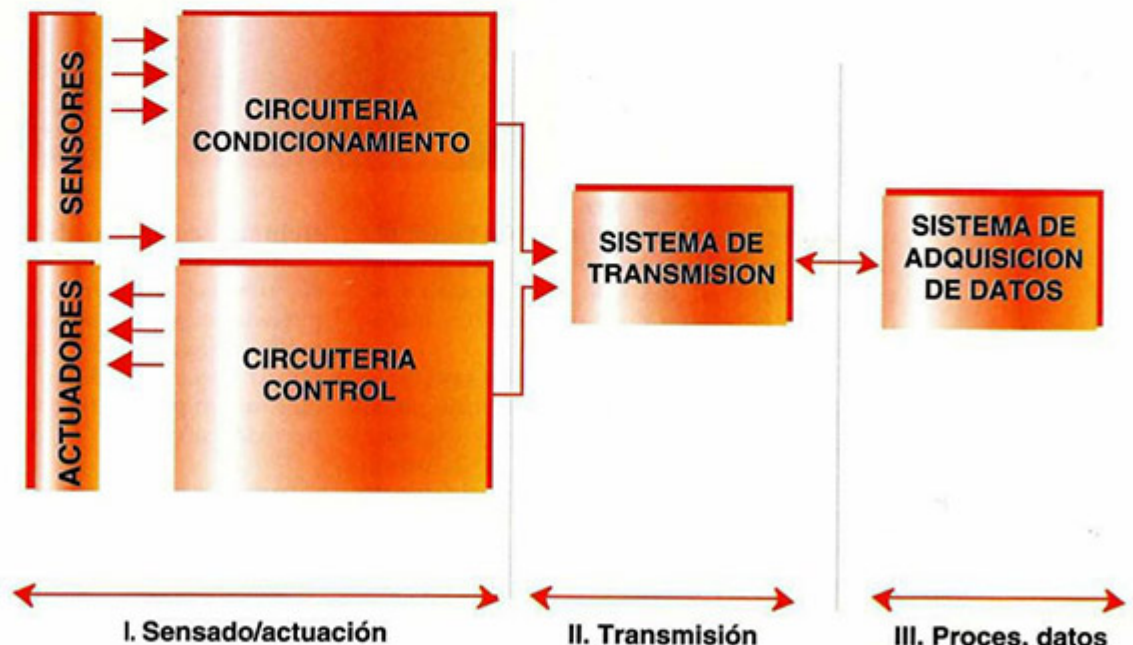


Figura 3.
Áreas de investigación en el desarrollo de un sistema de interfaz neural.

Figura 4. Sensor de presión colocado en la punta de un catéter, realizado en el CNM de Barcelona para la empresa Leventon S.A.

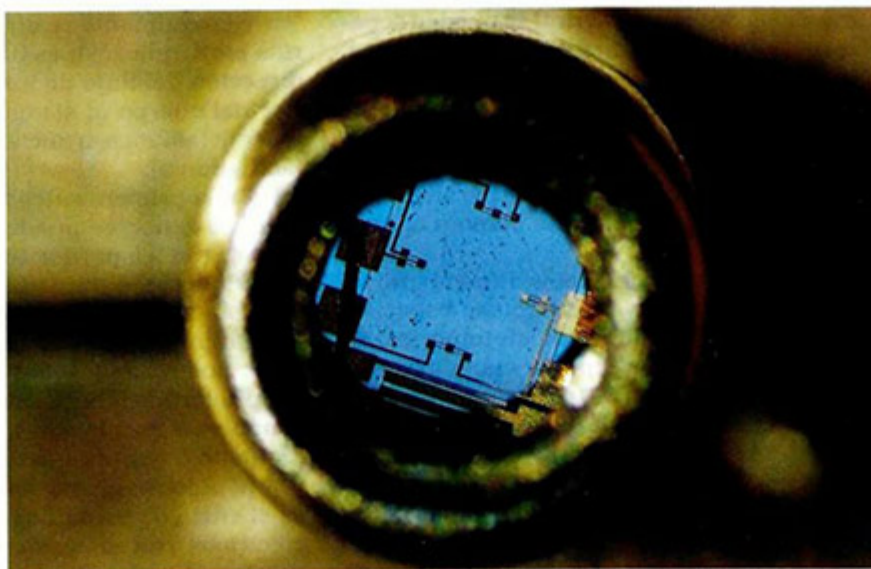
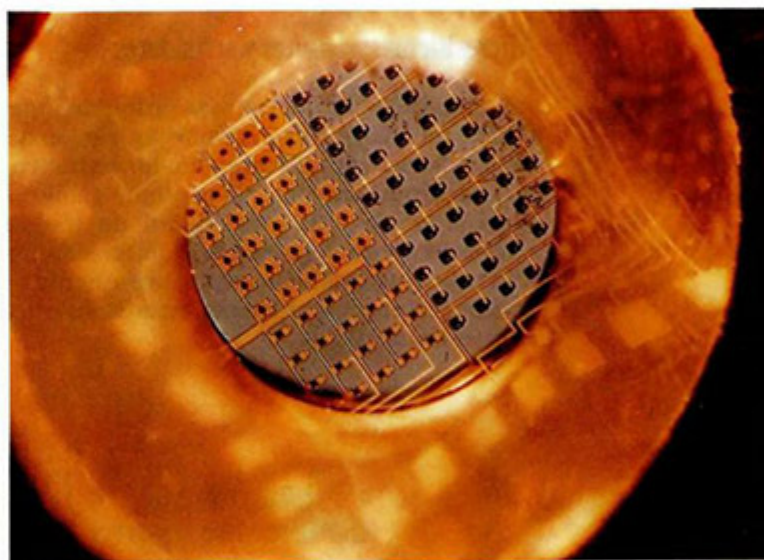


Figura 5. Foto de un microsistema de interfaz neural colocado en una guía de silicona para su implantación en el tejido nervioso. Sistema realizado en el CNM.

obviamente en materiales biocompatibles y que además permitan que el sistema final pueda someterse a técnicas de esterilización; o dependiendo de su ubicación y su uso final, por ejemplo, si van a estar emplazados en la corriente sanguínea no pueden desencadenar los mecanismos de la coagulación.

Los sensores más frecuentemente empleados son los sensores de presión. Según datos del mercado en Estados Unidos, la producción anual de estas unidades ha pasado de 40.000 unidades a más de 17 millones, a la vez que el precio se ha reducido en un factor 6^6 . Las nuevas versiones de sensores de presión son aquellas en las que el dispositivo se coloca en la misma punta del catéter intravascular (**figura 4**).

En la interfaz neural, el microsistema implantado propiamente dicho es una placa de silicio con características muy especiales, ya que además entra en contacto íntimo con el tejido neural. La realización de uno de estos microsistemas requiere la colaboración de especialistas en distintos campos. El reto está en varios frentes. Primero, el poder realizar microp perforaciones en el silicio sin dañar la circuitería (técnicas de RIE, plasma

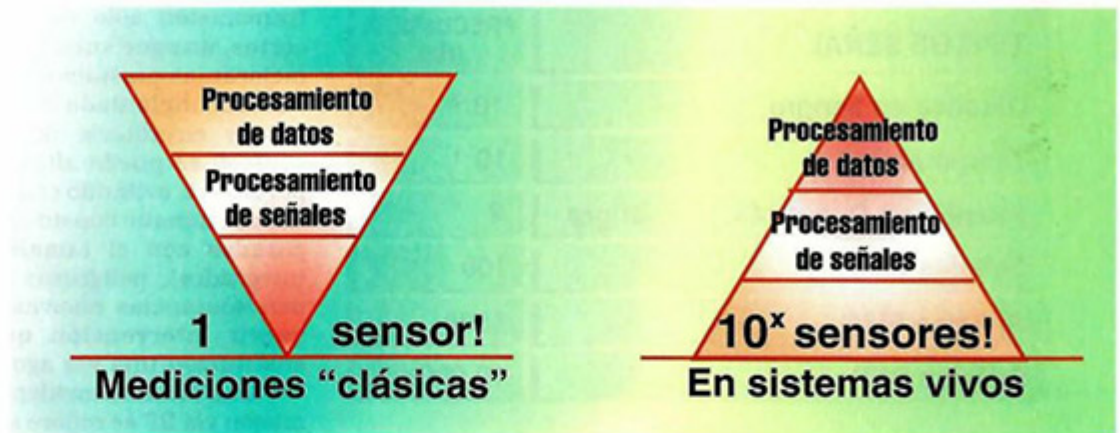


etching). Así mismo, definir la configuración idónea, el tamaño de los agujeros y el tipo de electrodos. Problemas relacionados con la pasivación y el aislamiento respecto a un medio muy agresivo como es el biológico y, por último, estudios en animales de experimentación para valorar aspectos de la regeneración a corto y largo plazos.

Sensores biológicos: a pesar de...

A pesar de todos los avances y logros alcanzados, sigue existiendo un abismo entre unos u otros. Diferencias en el número, precisión e interrelaciones.

Figura 6. Esquema de las diferencias entre los sensores artificiales y los biológicos.



En cuanto al número, los sistemas artificiales parten de pocos sensores, por lo general uno solo, mientras que el procesamiento de señales y datos los convierte en sistemas muy sofisticados. Por el contrario, los sensores naturales están integrados en estructuras y órganos con una densidad proporcional a la importancia de la función bajo control. El sistema sensorial presenta un número elevado de sensores, se calcula que se utilizan en grupos de 1000 a 100.000 o más. Sus señales, en las que existe mucha redundancia, son procesadas instantáneamente, estableciéndose además frecuentes enlaces e interacciones entre ellas. El procesamiento individual de la señal es sencillo, pero los senderos y por tanto las señales están mutuamente conectados, consiguien-

do de este modo sistemas mucho más robustos.

En cuanto a la precisión, cabe señalar que, en el mismo sentido anterior, en los seres vivos la precisión en los senderos individuales es muy baja mientras que se requieren altas prestaciones en sus homólogos artificiales. Sin embargo, la medida que se obtiene de un solo sensor no es suficientemente relevante debido a la falta de homogeneidad del medio. Se obtendrían mejores resultados con una red de sensado de distintos parámetros interaccionando entre sí.

La tendencia en los sensores artificiales debe ser disminuir las dimensiones para poder ser implantados en gran número sin que sea necesaria una gran precisión e interrelacionando varios parámetros a la vez.

Algunos de estos factores se empiezan a solventar con el diseño de multisensores (figura 7), usando principios complementarios (químicos, ópticos y térmicos). El dispositivo obtenido tiene la ventaja adicional de que su colocación es menos invasiva que la toma de estas medidas individualmente.

En la gran mayoría de los casos, los valores capturados por los sensores requieren un procesamiento previo *in situ* que suele incluir etapas de amplificación, filtrado, muestreo y, a veces, multiplexado en el tiempo. La información capturada por los sensores se procesa y, en caso de sistemas sensor/actuador completos, se generan señales que determinarán la acción a realizar por el actuador. Dichas señales requieren también un proceso de traducción y acondicionamiento antes de que sean directamente utilizables

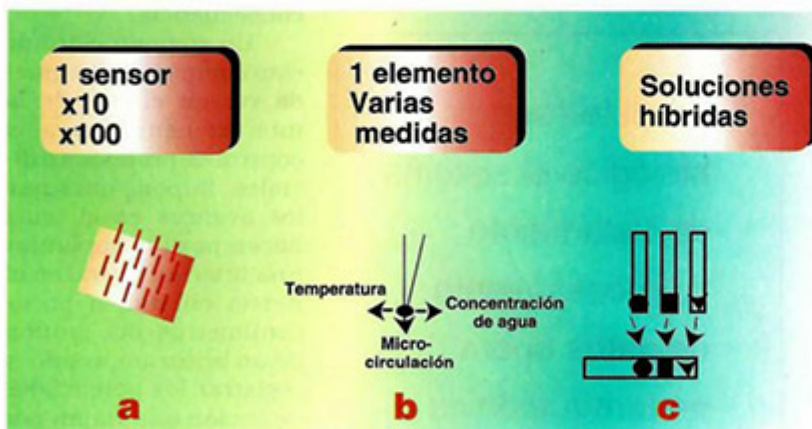


Figura 7. Sistemas de multisensores. a) El mismo elemento es usado en un número elevado, por ejemplo, arrays de electrodos en silicio como la interfaz neural de tipo regenerativo. b) Varias medidas se obtienen a través de un solo sensor, por ejemplo, un sensor microtérmico para caracterización de la piel (no invasivo). c) Solución híbrida: varios sensores de diferentes principios se integran en el mismo microchip.

TIPO DE SEÑAL	FRECUENCIA (Hz)
Glucosa en sangre	10 ⁻²
Temperatura	10 ⁻¹
Presión de O ₂ o de CO ₂ en sangre	2
Señales EEG	100
Señales EMG	1000
Señales SNP	10.000

Tabla 1

por el controlador. La circuitería de acondicionamiento de señal y de control depende muy íntimamente del tipo de sensor y actuador con el que se trabaje, y del tipo de señal.

Sistema de transmisión de datos

La información detectada por los sensores se envía, habitualmente, hacia algún sistema de adquisición y tratamiento de datos no implantado. Si bien la forma más simple de extraer esta información es mediante conectores percutáneos, este sistema suele presentar problemas de índole práctica, sobre todo cuando se pretende su utilización durante periodos prolongados: vías abiertas a través de las cuales es fácil que se produzcan infecciones, ulceraciones de las zonas cercanas a los puntos de salida de los cables, fragilidad de éstos, limitación en la libertad de movimientos del individuo, etc.

La transmisión sin cables, vía radiofrecuencia (RF), ultrasónica u óptica, requiere dispositivos más sofisticados. De estas alternativas, la RF es la que se utiliza con más frecuencia, seguramente debido a lo bien que se conoce. La transmisión se basa en la inducción electromagnética de una corriente en una bobina colocada en el exterior cuando se produce un flujo magnético en una segunda bobina implantada. Dado el principio utilizado, la

transmisión sólo es posible a distancias cortas, aunque suelen ser suficientes. Para mejorar las prestaciones del sistema, la circuitería implantada (circuitería de transmisión y circuitería de condicionamiento/control) se puede alimentar a través de la portadora, evitando el uso de baterías internas, de tamaño considerable (al menos comparadas con el tamaño de los circuitos integrados), peligrosas por cuanto contienen sustancias nocivas, y que pueden requerir intervención quirúrgica para su sustitución una vez agotadas.

Una última consideración sobre la transmisión vía RF se refiere a su ancho de banda efectivo. Las señales biomédicas cubren un amplio rango de frecuencias, desde las centésimas de Hz hasta los cientos de KHz, como puede verse en la **tabla 1**.

Sistema de procesamiento de datos

En el caso más general posible, el sistema de procesamiento de datos debe cerrar el bucle sensor-actuador, y para ello debe ser capaz de: 1. interpretar en forma conveniente la información extraída por los sensores, y 2. tomar decisiones sobre las acciones que debe llevar a cabo el o los actuadores. El problema es especialmente arduo de resolver, por cuanto 1. la cantidad de información extraída por los sensores es muy grande (tratamiento masivo de datos), y 2. se debe dotar al sistema de procesamiento de datos de una cierta «inteligencia» para que sea capaz de interpretar las señales y actuar en consecuencia.

Un ejemplo claro de esta complejidad se puede ver en el uso de la interfaz neural para el control de prótesis artificiales. Supongamos que los avances en el tema hacen posible implantar una interfaz neural en el nervio cubital, a pocos centímetros del muñón de un brazo amputado, y registrar los potenciales de acción que viajan por los axones regenerados. Para que a partir de estas señales sea posible controlar un brazo mecánico, es necesario: 1.

► **En el terreno biológico el sistema de tratamiento y procesamiento de datos opera en forma todavía espeluznante para nosotros.**

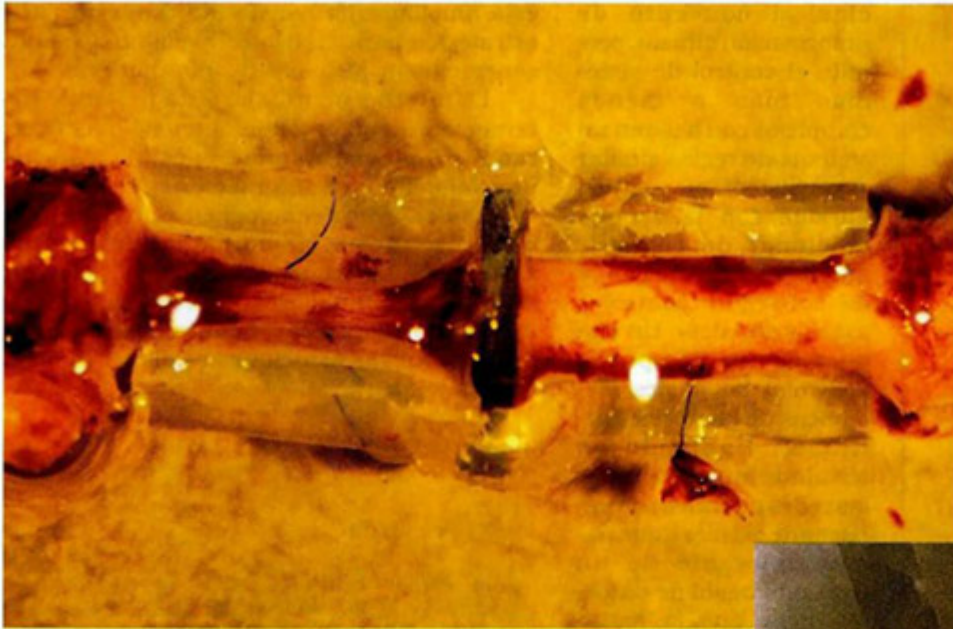


Figura 8. En esta foto se observa un nervio periférico (nervio ciático de ratón) que ha regenerado a través de una interfaz neural.

Figura 9. Foto de microscopía electrónica donde se observan tres axones que atraviesan los agujeros de una interfaz neural de tipo regenerativo.



identificar las señales motoras, esto es, establecer qué subconjunto de todas las señales registradas por los electrodos de la interfaz (hablamos posiblemente de centenares de señales) son potenciales de acción que, de no haber existido la amputación, inervarían los músculos del brazo; 2. identificar las señales sensitivas, es decir, aquellas que envían información (táctil, temperatura, etc.) al cerebro; 3. identificar cómo se asocian los distintos patrones de señales motoras con los movimientos del brazo deseados, y 4. identificar patrones sensitivos con «sensaciones». Aun eliminando el punto 4, y ciñéndonos al control más o menos convencional de un dispositivo mecánico externo al paciente, se necesitan alternativas a las técnicas convencionales de tratamiento de señal.

Las redes neurales artificiales, la lógica difusa (fuzzy logic) y las aproximaciones neuro-fuzzy ofrecen soluciones prometedoras en muchos casos. Las redes neurales artificiales (RNAs) son paradigmas de cálculo especialmente indicados en problemas que requieran el tratamiento masivo de datos. Inspiradas en el cerebro, las RNAs están formadas por conjuntos de elementos muy simples (neuronas artificiales - NAs), con un alto grado de interconexión entre ellos, capaces de exhibir comportamientos interesantes: capacidad de aprender con base en

ejemplos, capacidad de generalización, memoria asociativa, etc. En general, las RNAs se muestran especialmente útiles en la resolución de problemas que 1. trabajan con datos imprecisos o con altas tasas de ruido, 2. no se conocen las relaciones intrínsecas entre los datos, como el caso que nos ocupa, o 3. se desean clasificar patrones. Una RNA podría encargarse de la identificación de señales motoras/sensoras y, tal vez, de la clasificación de patrones.

Por otro lado, la lógica difusa se ha venido utilizando en los últimos años con muy buenos resultados en problemas de control. Gra-

► Las nuevas tecnologías ofrecen nuevas posibilidades y a nosotros nos corresponde identificar nuevos problemas y diseñar nuevas soluciones en el campo de la biomedicina.

cias al concepto de «información difusa», permite el control de sistemas más o menos complejos con base en un sistema de reglas similar a los sistemas expertos, aunque con la ventaja adicional de requerir muchas menos reglas, y de conseguir controles más «graduales». Un sistema de este tipo podría controlar las partes mecánicas de la prótesis artificial. Hablando en términos muy generales, las redes neurales son capaces de extraer información relevante de un conjunto basto de datos, mientras que la lógica difusa permite controlar en forma sencilla elementos artificiales cuyo funcionamiento conocemos hasta cierto punto. Las

combinaciones de ambos paradigmas resultan atractivas.

En el terreno biológico el sistema de tratamiento y procesamiento de datos opera en forma todavía espeluznante para nosotros. Como datos casi anecdóticos, nuestro oído, por ejemplo, recibe más de medio millón de bits de información verbal por segundo, o podemos considerar que nuestro sistema de visión recibe una imagen cada décima de segundo, cada una de las cuales consta de un millón de puntos con una paleta de más de doscientos cincuenta colores distintos, lo que hace un total de más de cien millones de bits por segundo que deben ser procesados para su interpretación; y, finalmente, el cerebro humano dispone de más de cien mil millones de neuronas y se calculan del orden de cien a mil billones (millones de millones) de conexiones en esa inmensa red. Por supuesto, es imposible emular artificialmente nada semejante.

Futuro

El desarrollo de interfaces que permitan una interconexión íntima entre el sistema biológico y un sistema artificial, preservando la propia naturaleza de cada uno de los sistemas,

está ampliamente reconocido como un paso estratégico para el avance hacia la siguiente generación de sistemas de información.

La interfaz neural descrita pretende interaccionar con el tejido nervioso. Las **figuras 8 y 9** muestran que es posible y que es una realidad esta interacción.

Las nuevas tecnologías, entre ellas la microelectrónica, la informática, los nuevos materiales, la biotecnología, etc., ofrecen nuevas posibilidades y a nosotros nos corresponde identificar nuevos problemas y diseñar nuevas soluciones en el campo de la biomedicina.

Referencias

1. *Robots and Biological Systems: Towards a new Bionics*. NATO ASI Series. Series F: Computer and Systems Sciences, Vol. 102? Edited by Dario Sandini Aebischer. Springer-Verlag, 1993.
2. **Kovaacs GTA, Storment CW, Halks-Miller, Della-Santina, Lewis**: Silicon-substrate microelectrode arrays for parallel recording of neural activity in peripheral and cranial nerves. *IEEE Trans Biomed Engin* 1994; 41: 567-577.
3. **Rosen JM, Grosser M, Hentz VR**: Preliminary experiments in nerve regeneration through laser-drilled holes in silicon chips. *Restor Neurol Neurosci* 1990; 2: 89-102.
4. **Valderrama E, Villa R, Cabruja E, Garrido P**: Regenerative-Type neural interface. In: Mira F, Sandoval F (eds): *From natural to artificial neural computation. Lecture Notes in Computer Science No. 930*, Springer, Berlin, 1995, pp. 114-120.
5. *Análisis y desarrollo de un sistema para control de prótesis electromiográficas*. Master Thesis. Universidad de Los Andes, Nov. 1991. Presented at the Colombia IEEE Section Conference, Bogotá, Agosto 30, 1993.
6. **Bryzek J, Kurt P**: Micromachines made of silicon. *IEEE Spectrum*, May 1994, pp. 20-31.
7. **Rizzo JF, Wyatt J, Edell D**: Silicon retinal implant to aid patients suffering from certain forms of blindness. Massachusetts Institute of Technology. Interim Progress Report. May 1992-1994.





**DIRECTORIO
NACIONAL
DE COMPUTADORES
USUARIOS Y AFINES
1996**

**SOLICITELO GRATIS PRESENTANDO CARTA
MEMBRETEADA DE SU EMPRESA**

**BOGOTA: CL. 100 No. 18-36 OF. 301
BARRANQUILLA: CR. 53 No. 76-79 OF. 220
BUCARAMANGA: CRA. 32 No. 49-84
MANIZALES: CRA 23 No. 27-05
MEDELLIN: CR. 76 No. 33-8 OF. 201
NEIVA: CENTRO LA INMACULADA L. 105
PASTO: CL. 13 No. 24-83
CALI: CR. 18 No. 10-65**

**OTRAS CIUDADES FAVOR ENVIAR \$ 5000
PARA PORTES DE CORREO**

PROGRAMACION ACADEMICA A.C.A.C.

Marzo 5 y 6	Instrumentos Jurídicos para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología	Seminario Nacional	Bogotá
Marzo 26	Asamblea General Ordinaria A.C.A.C.		Bogotá
Abril 18-19-20	Oportunidades de Financiamiento para Organizaciones no Gubernamentales	Curso Nacional	Bogotá
Junio 6-7-8	Hacia la Agricultura del Mañana	Seminario Internacional	Rionegro
Junio 11/14	Micorrizas	Taller	Bogotá
Julio 25-26-27	Enfermedades Genéticas Metabólicas	Seminario internacional	Bogotá
Agosto 27-28-29	VII Congreso Colombiano de Geología	Congreso	Bogotá
Septiembre 18-21	XI Convención Científica Nacional "Popularización y Enseñanza de las Ciencias"	Convención	Armenia
Octubre 24-25-26	Plantas Medicinales	Curso Nacional	Bogotá
Por definir	II Congreso Internacional de Sida, Cáncer y Dolor	Congreso Internacional	Bogotá
Noviembre 21-22	Perspectivas de Caracoles Promisorios	Seminario Internacional	Chinchiná

1996

Implantes

Tratamiento quirúrgico y rehabilitación de la sordera profunda

Juan Manuel García G.,
Augusto Peñaranda S.
Sección de Otorrinolaringología
Fundación Santa Fe de Bogotá

Los implantes cocleares se han utilizado con éxito alrededor del mundo en los últimos años, beneficiando a aquellos individuos que sufren de sordera profunda. Las primeras estimulaciones del oído interno las realizaron en París Djourno y Eyries, quienes mediante la implantación de un electrodo rudimentario en un paciente generaron percepción auditiva a la estimulación eléctrica. Esta avanzada tecnología evolucionó con rapidez durante la década de los ochenta, y finalmente fue aprobada por la FDA de los Estados Unidos para su aplicación en niños y adultos.

El sistema de implante coclear que más difusión ha tenido en el mundo ha sido el australiano, diseñado por el grupo de la Universidad de Melbourne dirigido por el doctor Clark, quienes iniciaron la aplicación clínica del sistema en 1978. En la actualidad existen en el mundo más de 15.000 pacientes que se han beneficiado de esta tecnología. En Colombia los primeros implantes cocleares fueron realizados en 1992, por el grupo de la Fundación Santa Fe de Bogotá y la Escuela Colombiana de Rehabilitación. Hasta el momento han sido operados y rehabilitados 57 pacientes entre los 2 y los 57 años de edad.

Este novedoso sistema permite rehabilitar la audición y por consiguiente favorece un mejor desempeño lingüístico en pacientes con sordera neurosensorial profunda bilateral por lesiones congénitas o adquiridas, quienes no pueden beneficiarse con los audífonos convencionales. Los pacientes adultos o aquellos que perdieron la audición luego de adquirir el lenguaje son quienes reciben los mejores beneficios, percibiendo el lenguaje sin labio lectura, y algunos incluso pueden comunicarse por teléfono, con lo

que mejoran su calidad de vida y dejan de depender de los demás.

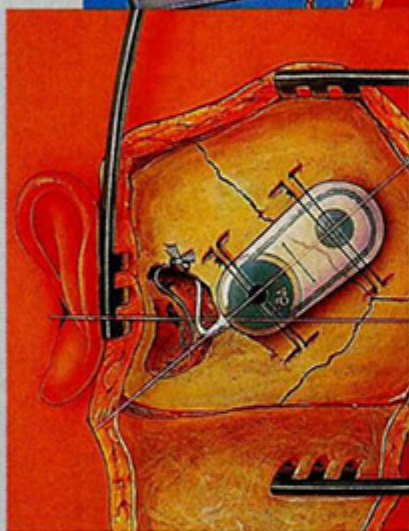
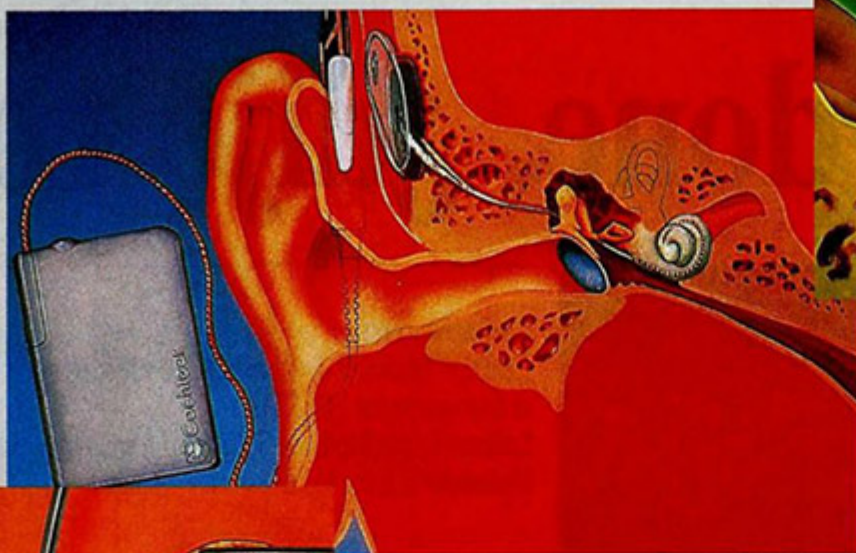
La edad ideal para la cirugía son los dos años de edad, ya que después de los siete años la plasticidad de la vía auditiva disminuye de manera significativa. Los niños operados requieren un intenso programa de rehabilitación que finalmente conducirá a que adquieran un lenguaje inteligible y puedan estudiar en colegios de niños con audición normal.

El sordo profundo bilateral en la mayoría de los casos logra mínimos beneficios con el uso de amplificación tradicional. Este grado de hipoacusia afecta a una persona de cada mil nacidas y otra más la adquiere a lo largo de la vida. En Colombia existen aproximadamente 30.000 pacientes que padecen sordera profunda bilateral y en los Estados Unidos se considera que hay 250.000 pacientes con esta patología. Las repercusiones de una sordera profunda son enormes en los aspectos lingüísticos y psicosociales, afectando profesional y familiarmente a estos pacientes. Los beneficios del implante coclear son evidentes en estos campos, lo que hace que esta técnica sea considerada una de las conquistas más importantes de la moderna ingeniería médica y de la bioelectrónica.

La sordera profunda en estos pacientes es causada por diversas etiologías congénitas y adquiridas como meningitis, rubéola, hipoxia neonatal, ototoxicidad y etiologías desconocidas. Estas patologías lesionan irreversiblemente el órgano de Corti, que pierde su capacidad de transducir una vibración mecánica inducida por la perilinfa en un potencial eléctrico. Frente a esta lesión, el implante coclear actúa como un transductor que cambia las señales acústicas en potenciales eléctricos que estimulan los elementos neuronales de la cóclea y la vía auditiva correspondiente.

Los implantes cocleares son prótesis que el cirujano implanta en la mastoide, con electrodos directamente incluidos en la cóclea que estimulan las fibras nerviosas y remplazan las células ciliadas del órgano de Corti. Estos electrodos transmiten impulsos eléctricos a la corteza cerebral a través del nervio auditivo, lo cual permite la percepción útil del sonido. La

cocleares



La cirugía se realiza en 3 ó 4 horas bajo anestesia general y el paciente permanece hospitalizado durante 24 horas. La prótesis implantada (componente interno) queda fijada al cráneo y completamente aislada del exterior por la cobertura de la piel del cuero cabelludo, por lo que el paciente puede

realizar todas sus actividades normales, incluso bañarse en piscinas. Las complicaciones quirúrgicas son infrecuentes y por lo general se relacionan con infecciones del área quirúrgica que responden en forma adecuada a los antibióticos. El implante coclear está diseñado para ser biocompatible y no se han presentado reacciones sistémicas o rechazos. Las fallas electrónicas son infrecuentes (1%) y en caso de presentarse pueden ser solucionadas ya que el implante puede remplazarse en una corta operación.

Para lograr escuchar, el paciente debe utilizar unos componentes externos removibles consistentes en un pequeño micrófono ubicado a nivel del pabellón auricular, que recibe y envía los sonidos a un microprocesador de bolsillo; este computador, del tamaño de un buscapersonas, se encarga de analizar la señal, extrayendo sus características acústicas principales especialmente útiles para la percep-

ción del habla. El microprocesador se programa de acuerdo con características individuales del usuario, utilizando una interfaz que lo conecta a un programa de software diseñado para tal propósito.

Las señales analizadas en el microprocesador se convierten en códigos eléctricos que son conducidos por ondas de radiofrecuencia a través de la piel al receptor-estimulador implantado en la región mastoidea y luego convertidos en impulsos eléctricos que llegarán a estimular los diferentes electrodos según la frecuencia extractada de la señal original. La corriente genera un campo eléctrico entre dos electrodos que produce una despolarización de los elementos neuronales cocleares y, secundariamente, un potencial de acción que viaja por la vía auditiva hasta la corteza cerebral, la cual recibe e interpreta estas señales.

Los implantes cocleares han sido el desarrollo tecnológico más importante de este siglo en el campo de la otología. Es una tecnología costosa (aproximadamente 30.000 dólares), pero los análisis de costo-beneficio realizados a largo plazo demuestran que la rehabilitación del paciente y su integración al mundo oyente social y laboralmente, justifican enormemente la inversión. Además, en comparación con otros tratamientos de alta complejidad el costo es inferior.

¡... y el hombre

(Perdone, ¿dijo rob

Carlos Moreno

Centre d'Etudes et de Recherches en Mécanique
et Automatismes - CERMA

Laboratoire de Mathématiques et Informatique - LAMI
Université d'Evry Val d'Essonne - Francia

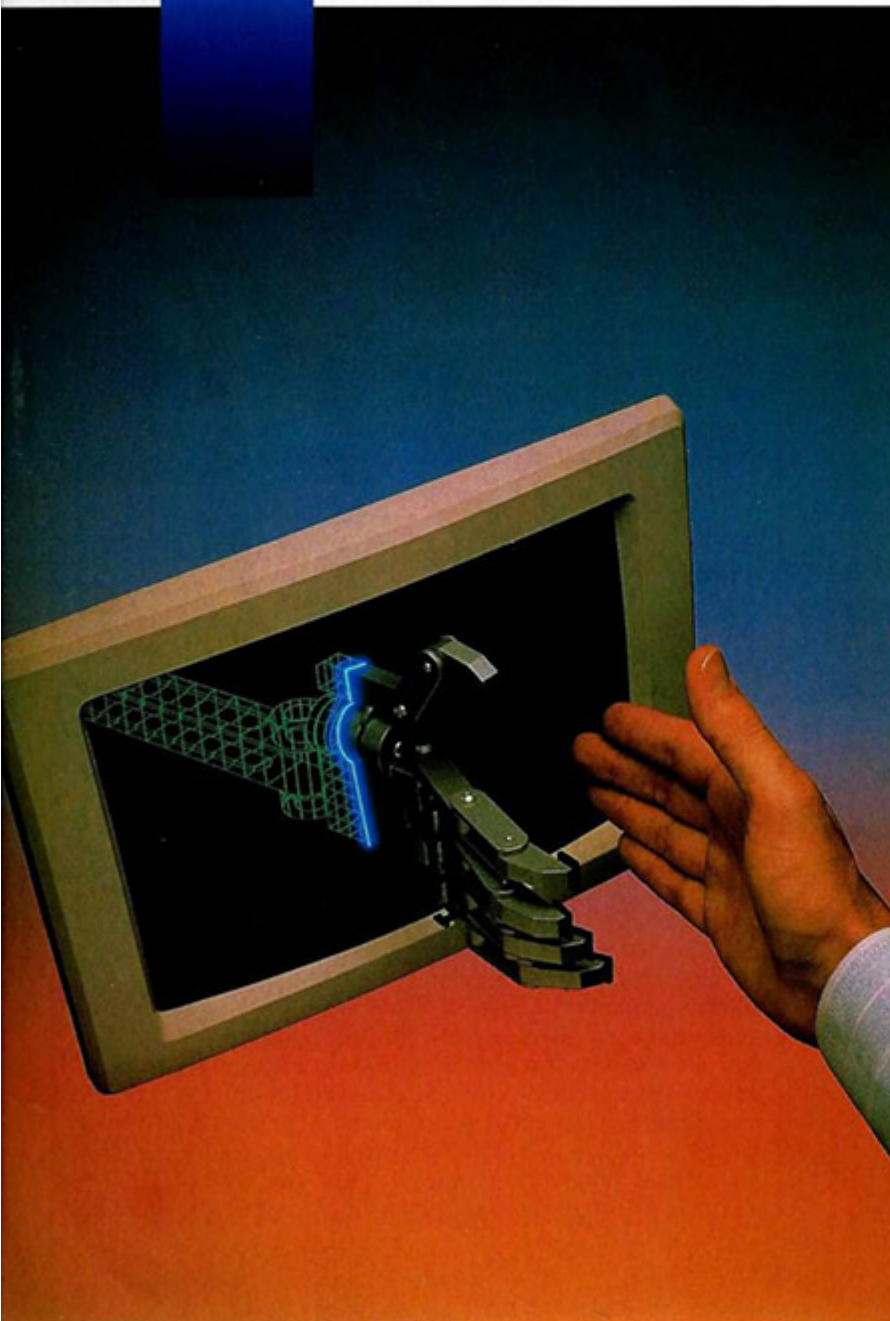
¿Dónde buscar los orígenes de los robots?

Sin lugar a dudas, los autores de ciencia ficción se encuentran en lugar privilegiado si nos interesamos en los creadores de los «robots».

Llevados a las pantallas, éstos están no sólo anclados en el imaginario popular, entre sentimientos compartidos de hostilidad y simpatía, sino, más aún, sus transformaciones sucesivas a través del tiempo han dado lugar a «entes reales o virtuales», llamados —a menudo en una exacerbada línea de modernismo milenario— a transformar nuestra vida de manera fundamental.

Éxitos cinematográficos como *La guerra de las galaxias* (1977) con sus protagonistas, los robots R2D2 y C3PO, compartiendo aventuras y sentimientos de amistad hacia los hombres «sus amos», y más recientemente todas las tentativas de los injertos robo-andropensantes de los «n-robocops», equipados con sensores sofisticados y procesadores de alto nivel que permiten su accionar, ilustran esta percepción.

En realidad es en la literatura donde encontramos el origen de la palabra robot, del checo *robota* (que significa el trabajo del siervo), introducida por primera vez en una



rea los robots...!

ots?)

pieza de teatro en 1920 escrita por Karel Čapek, intitulada *R.U.R. (Robots Universales de Rossum)*. Esta obra, que inspiró ampliamente a los primeros realizadores de películas y novelas de ficción, describe al industrial Rossum produciendo máquinas andróides con una gran capacidad de trabajo destinadas a la producción. Los robots se integran y se generalizan en las fábricas, y adquieren poco a poco tal perfección que llegan a «pensar» de manera autónoma. Finalmente terminan por rebelarse contra sus amos humanos y toman el poder. Cuando Radius, jefe de los robots en rebelión, dice: "tomando posesión de la fábrica somos los amos de todo... Un nuevo mundo ha nacido. Es la era del robot", marca el espíritu en que estas máquinas se integran en el sentimiento naciente de la época (prolongado aún en ciertos sectores): los robots están esencialmente en competición y confrontación con el hombre.

Fritz Lang, en su inolvidable filme *Metrópolis* de 1926, en el que el inventor Rotwang construye un doble mecánico maléfico de su virtuosa esposa María, es el primero en llevar al cine ese sentimiento catastrófico de un mundo caótico, sembrado de robots hostiles, seres electromecánicos perfeccionados.

El novelista Isaac Asimov imagina un universo de robots en armonía con los hombres, sin espíritu de dominación. En 1942, Asimov llega hasta a imaginar tres reglas básicas que tienden a impedir que los robots actúen contra los intereses de los humanos:

1. Un robot no debe herir a un ser humano.

2. Un robot debe obedecer siempre las órdenes de un humano, excepto cuando éstas estén en contradicción con la primera regla.

3. Un robot debe proteger su propia existencia, a condición de no violar las dos primeras reglas.

A partir de esta fértil imaginación artística, en la primera mitad de este siglo diversos inventores febriles intentan construir, con resultados limitados, ingeniosos andróides, abriendo así un pasaje entre el mundo libre y la realidad. Aparece, por ejemplo, *Eric* en 1928, quien inaugura la exposición de la Model Engineer Association en Inglaterra, «pronunciando» incluso algunas frases. En Londres se organiza incluso una exposición de «robots» capaces, por ejemplo, de saludar o leer un periódico; Westinghouse realiza una máquina del mismo estilo en los años 30, utilizada para fines publicitarios.

Ninguno de estos mecanismos, por más ingeniosos que fuesen en su concepción, presentaba la más mínima utilidad. Eran ante todo objetos de curiosidad y diversión, que no correspondían a la búsqueda de soluciones prácticas ligadas a la producción o a la colectividad.

En realidad, hasta los años 50 que vieron aparecer las primeras máquinas mecánicas automatizadas en la producción, los llamados «robots» son objetos técnicos cuasiunitarios, fuente de placer artístico y ontológico de sus inventores, desarrollados en filiación con los autómatas concebidos en las diversas épocas de la historia.

Las raíces del automatismo

Sin embargo, las raíces de estos «entes autónomos» y con ellos del automatismo son profundas y se pierden en las primeras realizaciones que van hasta la antigüedad.

La búsqueda de los testimonios más antiguos en la historia de las técnicas conduce casi siempre a dos elementos privilegiados: los dones de los dioses y la imitación de la naturaleza.

Remontando a los griegos, dos dioses se encuentran en el centro de referencia: Atenea, quien interviene como fuerza creadora

polivalente dotada de una gran habilidad manual y gran inteligencia. Atenea liga entre sí las diferentes artes, liga las técnicas unas con otras volviéndolas complementarias y transformándolas en fuerzas creadoras, y construye un sistema técnico completo que lega a los hombres.

Con ella está Hefestos, el dios técnico por excelencia, deidad complementaria de Atenea, a quien se atribuye la forja del metal por medio del fuego. Este dios se encuentra al origen de los primeros autómatas, quienes en la acepción primera del término (*automata*) fueron seres dotados de vida: los «trípodes», que por sí mismos iban a las asambleas de los dioses, las sirvientas de oro que ayudaban a los dioses estropeados a moverse, el robot guerrero Talos, hombre de bronce destinado por Minos a vigilar a Creta, con sus rondas a paso regular.

Inspirado en este tipo de leyendas, Arquitas de Tarento, amigo de Platón, construye uno de los primeros ejemplos conocidos de autómatas, una paloma volante en madera (año 380 a.C.).

Así, lo que era atribuido a los dioses, como mito, trasciende para convertirse en obra humana.

Aparece con esto la *Téchne*, término que cobija la idea de técnica, de un conocimiento aplicado, e igualmente la idea de un arte, de una invención, de una producción original. A través de esta idea se combinan la habilidad del médico, la destreza del zapatero, el saber del arquitecto, el arte del músico; todo lo que se traduce por una creación de orden material, creadora de ilusión para imitar a los seres vivos, deseo permanente del hombre a través de su existencia.

La *téchne* se posiciona así como fuerza en intersección con la naturaleza.

Los griegos dejaron numerosas descripciones de autómatas: el movimiento era producido por un sistema a base de pesos y de cuerdas y la gestión de éstos obtenida con levas.

La noción de programa es inherente desde ese entonces. Una serie de ruedas dentadas constituye el mecanismo que permite su realización. Este será el principio de las máquinas de calcular.

Los trabajos del alemán Schickhardt (1592-1635) para concebir la máquina manual de sumar, y sobre todo los trabajos de Pascal abrieron sin duda alguna la vía de la

robótica moderna, con la «máquina aritmética» concebida entre 1640 y 1642. Así mismo, las investigaciones de Leibniz con su máquina de cuatro operaciones (1673-1710) jalanan esta historia.

Sin embargo, es el excéntrico matemático británico Charles Babbage quien, entre 1830 y 1840, en su magistral obra *Analytical Engine*, muestra que un programa puede aplicarse a las operaciones intelectuales, estableciendo los conceptos básicos de un calculador automático: entradas y salidas, memoria, programa, lógica. De esta manera se establecía un vínculo entre los órganos mecánicos utilizados y las operaciones lógicas abstractas.

A pesar de que la máquina propuesta por Babbage no fue nunca reali-

zada completamente, su «motor analítico» es el precursor de los computadores de hoy. Las unidades imaginadas por Babbage aparecen como tales en las calculadoras electrónicas concebidas en los años 40.

La herencia de los autómatas de siglo XVIII

Los mecanismos musicales y los autómatas de representación humana capaces de reproducir gestos como dibujar o tocar un instrumento de música, en los que brillaron en la segunda mitad del siglo XVIII el francés Vaucanson y los hermanos Droz en Suiza, presentaron con gran éxito personajes o sistemas automatizados hábilmente a base de levas, con algunas posibilidades de programación.

► El matemático británico Charles Babbage muestra que un programa puede aplicarse a las operaciones intelectuales, estableciendo los conceptos básicos de un calculador automático.

Fue famoso, entre otros, el autómatas *El escriba* de Pierre Jaque Droz, el cual podía ser programado para escribir un texto determinado inferior a 40 caracteres.

Éstos popularizaron la idea del autómatas androide de gran perfección, presentado en ferias y cortes como objeto de curiosidad y diversión, cuya imagen trasciende más allá del siglo XVIII y se proyecta en la imagen popular de los robots del siglo XX.

El delicioso texto de Edgar Allan Poe *El ajedrecista de Maelzel*, en las *Historias grotescas y serias*, describe esta breve historia de los autómatas, objeto de curiosidad "para todas las personas que piensan", y discute acerca del famoso autómatas ajedrecista de una gran perfección en su realización (de talla humana, vestido como un turco), fabricado en el siglo XVIII por el barón alemán W.V. Kempelen, cuya sospecha de ser en realidad accionado por un enano desde su interior nunca fue elucidada.

La comparación en este texto del *ajedrecista de Maelzel*, con autómatas tales como el pato de Vaucanson, la carroza de Camus (construida para divertir a Luis XIV niño), el mago de Maillardet y la máquina de calcular de Babbage, ilustran el sentimiento de perplejidad con respecto a la posibilidad de concebir entes autónomos reactivos: ¿cómo el ajedrecista autómatas puede replicar (aparentemente) a cualquier situación imprevista? ¿Cómo concebir una situación de esta naturaleza con respecto a la máquina de calcular de Babbage, en la medida en que ésta representa un modelo analítico de elementos programables?

La aparición de los cartones perforados en 1728 (Bouchon, Jacquard), permitió una programación básica, indispensable para una automatización más desarrollada (el motor analítico de Babbage funcionaba con cartas perforadas).

La integración de la electromecánica con el cálculo se concretiza con Hollerith, quien crea la carta perforada y la máquina para estadísticas en 1890.

Aparecen así las máquinas-herramientas, aunque ya al final del siglo XVIII se había dado un paso importante en su propagación. Sin embargo, es a partir de 1840 que las máquinas-herramientas comienzan a ser automáticas. La aparición del motor eléctrico favorece la expansión del automatismo.

Se trata de un motor que aporta el trabajo necesario por medio de comandos mecánicos, engranajes, cremalleras, árboles y otros mecanismos. A partir de este

momento el maquinismo industrial adquiría una fuerza considerable y se propagaba en la industria.

La máquina virtual de Von Neumann reúne la tradición lógica (Boole y su álgebra, Shannon y la teoría de la información), la tradición aritmética (Turing y su máquina de algoritmos imaginaria, modelo matemático de un computador) y el programa registrado (Hollerith). Su teoría de los autómatas de 1948, conjugada con la aparición de la electrónica, permite el advenimiento de los computadores y con éstos su entrada en servicio en el mundo industrial, que se produce inicialmente en las industrias siderúrgicas y químicas y se extiende con rapidez a la industria manufacturera.

La era de la robótica industrial

La introducción de los computadores en la producción comienza principalmente por el control de movimientos de las máquinas-herramientas. La capacidad de programación les permite, en consecuencia, cierta adaptación y flexibilidad.

La diversificación de la producción de productos similares en gran escala y la aparición de la producción en pequeñas series, exigen frecuentes adaptaciones específicas y reprogramaciones de los equipos en la producción. A partir de esta convergencia entre los progresos de las tecnologías de la producción y la computación, nacen los primeros robots industriales.

Georges Devol deposita en 1954 una patente de un método programable de desplazamiento de objetos entre diferentes sectores de la fábrica. Su encuentro con Joseph Engelberger en 1956 produce el concepto de «automatización universal» (universal automation). Los dos fundan la primera empresa de robótica del mundo, Unimation, y con ella aparece el primer robot industrial del mismo nombre, "destinado a ayudar al operador humano en la industria como una máquina de escribir al empleado".

Este robot es instalado en 1961 en la fábrica de General Motors y con él comienza la era de la robótica industrial, liderada hasta los años 80 por Unimation.

El robot industrial patentado por Devol presenta tres partes principales: un brazo mecánico con articulaciones y un órgano terminal, una fuente de energía y un mecanismo de comando. Éstas constituyen aún la base de los robots industriales de hoy.

Disculpe, ¿dijo robot?

Un gran abuso de lenguaje ha producido una marcada ambigüedad léxica cuando hablamos de robots.

Así, los conceptos de «automaticidad» y de «versatilidad» permiten distinguir los robots de otros sistemas automatizados: la «automaticidad» significa el nivel en el cual la tarea es desarrollada sin el concurso del operador humano; la «versatilidad» se caracteriza, de una parte, por el nivel de adaptabilidad (capacidad del sistema para ejecutar la tarea en un medio variable, parcial o totalmente desconocido al origen) y, de otra parte, por la polivalencia (capacidad del sistema para ejecutar tareas diferentes guardando la misma estructura, modificando su programación y eventualmente el órgano terminal).

Sólo las arquitecturas de tipo robot combinan en un nivel elevado las propiedades de automaticidad y de versatilidad.

Una candente polémica ha ocupado siempre a las diversas asociaciones de robótica en el mundo en torno a la definición de robot, en la medida en que se orientan de acuerdo con criterios de clasificación y estadísticas bastante diferentes.

Podemos acoger en esta presentación la definición de la ISO (Organización Internacional de Normalización), que hoy en día es generalmente aceptada:

"El robot industrial es un manipulador multifuncional, programable, cuya posición es controlada automáticamente. Posee varios grados de libertad (número de ejes alrededor de los cuales las partes del robot pueden girar) y es capaz de tomar materiales, piezas, herramientas o aparatos especializados para efectuar con ellos las operaciones programadas".

Este artefacto está compuesto por lo general de seis elementos:

- Una arquitectura o estructura (portador).
- Un órgano terminal (con la herramienta de trabajo).
- Un conjunto sensorial propioceptivo (informaciones internas) y, a veces, exteroceptivo (informaciones externas).
- Un conjunto de actuadores (generadores de movimiento).
- Un sistema de control (que permite el tratamiento de las informaciones y el pilotaje).
- Una fuente de potencia (que provee la energía necesaria).

Tipos de robots: series - paralelos

La mayor parte de los robots industriales desarrollados en la actualidad hacen parte del tipo denominado «arquitecturas serie», a diferencia de las arquitecturas avanzadas recientemente concebidas, conocidas como «arquitecturas paralelas».

Robots serie

Estos robots se caracterizan por poseer una sola cadena cinemática entre la parte fija (base) y el órgano terminal. Esta cadena cinemática está compuesta por segmentos ligados entre sí por «asociaciones» de tipo prismático (que permiten una traslación entre los segmentos asociados) o de tipo rotoide (que permiten una rotación entre los segmentos).

Una constante de los robots de tipo serie es la presencia de un brazo (o portador) formado por varios segmentos, el último de los cuales posee en general dos o tres grados de libertad. Este brazo asegura la función de posicionamiento del órgano terminal en el espacio.

Los grados de libertad pueden obtenerse a partir de un gran número de combinaciones de segmentos ligados por rotaciones o traslaciones. Su escogencia depende de la aplicación.

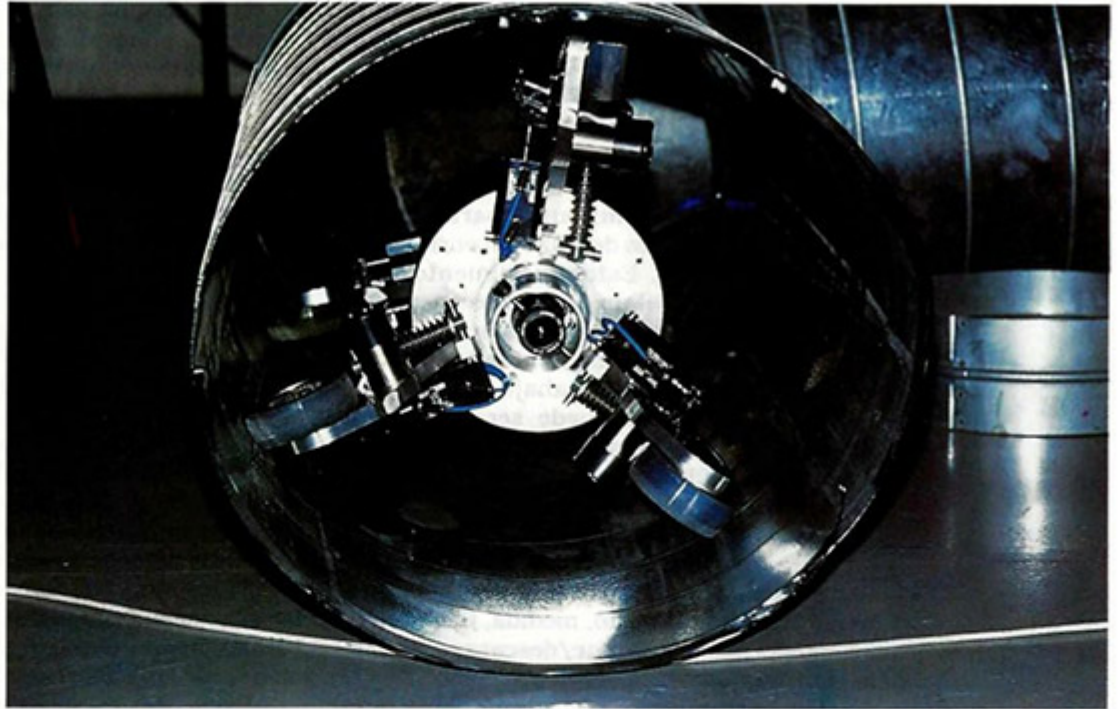
Asociada al brazo (portador) se encuentra, al final de la cadena, una mecánica destinada a la orientación del órgano terminal (puño).

Configuraciones

Los robots de tipo serie se clasifican en función de la arquitectura del portador. Ésta se designa por tres letras correspondientes a los tipos de asociaciones que la componen partiendo de la base: rotoide (R) y prismático (T por traslación o P).

Cartesiana (o rectangular): El brazo se desplaza siguiendo los tres ejes de traslación x, y, z, es decir, de izquierda a derecha, de atrás hacia adelante, de arriba abajo (tres «asociaciones» prismáticas de las cuales una es vertical y dos horizontales, TTT).

Cilíndrica: El brazo gira alrededor del eje z (articulación rotoide a eje vertical) y dos traslaciones de las cuales una es vertical (RTT) o (TRT) según el orden de las articulaciones, trabajando así en una zona cilíndrica.



Robot Cerma de intervención en conductos y canalizaciones.

Esférica (o polar): Utiliza sucesivamente una rotación de eje vertical, una rotación de eje horizontal y una traslación (RRT). La zona de trabajo es una porción de esfera.

Revolución (o articulada): Constituida por tres rotaciones (RRR); la primera es el eje vertical y las otras dos son rotaciones del eje horizontal. Sus articulaciones se presentan en analogía con el brazo humano. El brazo está articulado en la «espalda», el «codo» y el «puño», permitiendo un movimiento en los diferentes planos.

Scara (selective compliance assembly robot arm): Todas las articulaciones están en el plano horizontal, asociando una traslación a dos rotaciones, todas las tres del eje vertical (TRR). Esta configuración proporciona una importante rigidez para el robot en el eje vertical, y asegura una elasticidad en el plano horizontal. Esto lo hace ideal para muchas tareas de ensamblaje.

Robots paralelos

Estos robots están constituidos por un conjunto de cadenas cinemáticas ligadas, una de sus extremidades a un sólido de referencia (o base) y la otra a la parte móvil (u órgano terminal).

Un robot es estrictamente paralelo si cada cadena cinemática comporta máximo

dos segmentos articulados, la articulación entre estos dos segmentos comportando un solo grado de libertad.

Las «tensiones» de la carga se reparten en cada cadena, lo que permite disminuir la potencia de los actuadores, la dimensión de los segmentos y por tanto la masa de la estructura. Así las deformaciones debidas a las flexiones en los diferentes segmentos son reducidas y se evita una fuerte repercusión del error.

Gracias a su arquitectura los robots paralelos son más ligeros que los robots serie. Hay un mejor rendimiento entre la carga útil y la masa del robot y poseen una mejor precisión.

A pesar de que algunos aspectos de los trabajos teóricos sobre las estructuras paralelas se remontan a Cauchy en 1813 y Bruccard en 1897, los trabajos de investigación se retomaron hace menos de 10 años, cuando los investigadores se vieron confrontados a las dificultades de realización de tareas de ensamblaje con los robots serie.

Después de haber sido utilizadas principalmente en los simuladores de vuelo y en salas de cine animadas para producir sensaciones vertiginosas (las aceleraciones son restituidas gracias a la buena dinámica del sistema), estas nuevas arquitecturas comienzan a ser utilizadas en el ensamblaje. Las estructuras paralelas constituyen un eje de

investigación bastante prometedor, uno de los más abiertos en robótica junto con la robótica móvil.

Órgano terminal

El posicionamiento preciso de la zona de trabajo del robot en un punto particular es realizado por los ejes de rotación correspondientes al «puño». Estos movimientos son descritos por el «balanceo», «cabeceo» y «vaivén», que constituyen los «ejes secundarios del movimiento». En la extremidad del «puño» se encuentra el útil de trabajo.

Este mecanismo puede ser desde una simple pinza hasta mecanismos complejos como dedos múltiples, pistoletas, palas, jeringas u otros, pasando por ventosas, electroimanes, etc., según convengan a la operación para la cual está destinado el robot: soldadura, pintura, corte, manipulación, montaje, moldeo, mantenimiento, medida, inspección, asistencia médica, cargue/descargue, limpieza, entre otras.

Las herramientas son adaptables y pueden ser cambiadas automáticamente en el curso del trabajo.

Al desplazarse, el órgano terminal efectúa la tarea prevista para el robot.

Para obtener la representación geométrica de la posición del órgano terminal se le asocian, como a todo sólido libre en el espacio, 6 parámetros: 3 coordenadas de uno de sus puntos representativos (centro de gravedad, centro de compliancia, centro de simetría, por ejemplo), que definen la posición de éste, y 3 coordenadas independientes (angulares, por ejemplo), que representan su orientación.

El espacio de todas las posiciones del órgano terminal es llamado «espacio operacional» o «espacio de trabajo»; las coordenadas de un punto de este espacio se denominan «coordenadas operacionales».

Modelización

De manera general, cuando la arquitectura del robot ha sido definida, es necesario describir los modelos que permiten controlar sus movimientos. Una primera etapa consiste en describir la posición del robot, es decir, describir geoméricamente la posición en el espacio de cada sólido que lo constituye.

Viene después una segunda etapa: los actuadores permiten colocar en movimiento ciertos segmentos respecto a otros; son los movimientos «articulares».

Si el robot posee n asociaciones articulares motorizadas, su conjunto corresponde al «espacio articular de posiciones» o «espacio de articulaciones». Un punto en este espacio es representado por un vector de n coordenadas, cada una de las cuales representa el estado de una asociación motorizada.

Los segmentos forman así una cadena articulada (en los robots serie) o varias cadenas articuladas (en los robots paralelos), en la extremidad de las cuales el órgano terminal permite efectuar la tarea deseada. Varios órganos terminales pueden ser colocados y efectuar tareas diferentes o trabajar sobre la misma si los comandos son coordinados.

Como el robot es compacto, la amplitud de los movimientos es limitada entre los segmentos; así, las coordenadas de comando son llamadas «coordenadas articulares de estado» o «coordenadas generalizadas».

En esta segunda etapa se trata de encontrar las relaciones geométricas entre los movimientos del órgano terminal y los de las «asociaciones» de las cuales aquéllos dependen.

Estas son establecidas por los modelos geométricos para las relaciones entre las posiciones y por los modelos cinemáticos para las relaciones entre las velocidades.

La modelización geométrica consiste en encontrar una correspondencia entre el «espacio de comandos» y el «espacio operacional».

La modelización cinemática expresa las velocidades cartesianas y angulares del órgano terminal en función de las derivadas de las coordenadas generalizadas.

Se puede igualmente desear comandar los esfuerzos ejercidos por el órgano terminal y controlar así la interacción entre éste y su entorno. Este control se efectúa gracias al modelo de esfuerzos estáticos cuando el robot está cuasiinmóvil y por el modelo de esfuerzo dinámico cuando el robot está en movimiento.

Se trata, con el modelo dinámico, de ligar en el robot las fuerzas articulares y las aceleraciones.

Todos estos modelos utilizan herramientas matemáticas de complejidad diferente y son procesados por el sistema de control del robot.

Control y programación

Esto se logra con base en uno o varios procesadores programables. Éstos pueden incluirse en un computador clásico al cual se le han integrado los elementos de interfaz para comandar el robot o puede estar cons-

► La robótica es fundamentalmente una rama del conocimiento, ciencia y técnica, de carácter pluridisciplinario.

tituido por un pupitre de comando especializado.

Las acciones del robot se obtienen a partir de servomotores (actuadores capaces de producir movimientos precisos). A estos servomotores están asociadas diferentes formas de retroalimentación (feedback) que permiten controlar el error entre el movimiento deseado (consigna) y el movimiento real (observado).

A partir del sistema de control, el robot es programado para ejecutar el trabajo previsto (inicialización, trayectoria general, trayectoria

fina de aproximación, acción, retorno).

Existen seis métodos básicos para lograr este objetivo:

1. *Manual*: los desplazamientos responden a señales eléctricas provenientes de un puesto de control simple. En ciertos casos esto implica un regreso de los esfuerzos hacia el operador, como sucede a menudo en los manipuladores de teleoperación.

2. *Manual asistido sobre el brazo con memorización de ciclo*: un dispositivo de guía (a la imagen de la palanca de pilotaje de un avión) permite el aprendizaje de la trayectoria.

3. *Dispositivo de mando con memoria de tipo «teaching»*: externo al robot, permite efectuar el conjunto de operaciones e incluye el aprendizaje y restitución de las trayectorias.

4. *Programación por lenguaje*: a partir de un terminal, utilizando un lenguaje de programación de alto nivel y/o una interfaz hombre-máquina especializada. Entre estos podemos citar V+ (prolongación del lenguaje de robótica VAL desarrollado en 1976 en Stanford para los primeros robots Unimate), KAREL, AML, LM, etc.

5. *Por simulación*: la programación se hace sobre una pantalla gráfica gracias a un sistema de CAD (Computer Aided Design) modelando la tarea y el robot. RobCad, de reputación mundial, es uno de estos.

6. *Autoadaptativo*: este hace intervenir sensores evolucionados para la modificación de las trayectorias. El caso extremo es la ausencia total de trayectorias previamente aprendidas y por ende el autodescubrimiento completo de su universo, como es el caso en la robótica móvil y de exploración. En los otros casos se trata de una adaptación local dinámica.

Los robots (y la robótica): objetos de conocimiento pluridisciplinario

Como podemos ver, los robots son ante todo plataformas de trabajo donde convergen la mecánica, la electrónica, la electrotecnia, el tratamiento de señales, los sistemas de computación en tiempo real, la automática combinatoria y la modelización matemática.

La robótica, por tanto, es fundamentalmente una rama del conocimiento, ciencia y técnica, de carácter pluridisciplinario.

Su objetivo esencial es la concepción de sistemas artificiales en estrecha interacción con el entorno, con el fin de satisfacer un conjunto de tareas específicas.

En el marco de las aplicaciones ligadas a la producción de bienes de consumo o de capital, la robótica se integra y se funde en la noción de la productiva.

Es así como, gracias a la presencia de robots (y en general de manipuladores avanzados), elementos por definición flexibles y versátiles, se llega a la noción de células y talleres flexibles.

Por esta razón, la idea que integra estas disciplinas en un concepto común corresponde más precisamente a la noción de automática avanzada (llamada mecatrónica por algunas escuelas), que a la de robótica (mucho más restrictiva y fundamentalista).

El nuevo paradigma: la integración comunicante

El universo predictivo de los especialistas iba en los últimos 30 años hacia una producción sin hombres, fuertemente automatizada, con fábricas autocontroladas y sistemas autónomos de regulación.

En realidad, hoy estamos muy lejos de esta previsión. Se han seguido otros caminos. La crisis industrial, la internacionalización de la economía, los criterios de rentabilidad económica y de calidad del conjunto de la producción han tomado el paso de las respuestas tecnológicas puntuales, con énfasis en la robotización.

Durante años el sueño de muchos se forjó alrededor de la fábrica sin hombres. Hoy, más que nunca, se trata de la integración del hombre en una estructura coherente de producción.

Los años noventa ven forjarse otro paradigma: «El hombre, el regreso». Del concepto

de CIM (Computer Integrated Manufacturing) pasamos al concepto CIM (Communication Integrated Management) y más recientemente al de CHIM (Computer and Human Integrated Manufacturing).

De esta manera, la integración se ha convertido en el elemento básico de la arquitectura de los sistemas automatizados en una estrategia horizontal de articulación de subsistemas. En paralelo, asistimos a una banalización de ciertas tecnologías y dentro de estas tenemos los robots industriales.

Hoy en día el robot no es más que un elemento entre otros, utilizado en las aplicaciones industriales. A menudo es adquirido como cualquier otro componente de una estructura de producción y sus características son consultables a partir de cualquier catálogo cuasiestándar.

La articulación de las necesidades básicas

Por esto, la prioridad fundamental es hacer converger las diferentes evoluciones tecnológicas alrededor de un hilo conductor: integración, flexibilidad, fiabilidad.

La integración de la robótica con las técnicas de CAD/CAM (Computer Aided Manufacturing), las redes locales e industriales en interconexión, los sistemas basados en conocimiento (sistemas de ayuda a la decisión y sistemas expertos), los sistemas de tiempo real, la instrumentación, son una necesidad para obtener una coherencia temática global.

Esta confluencia sólo será posible en la medida en que seamos capaces de dar respuesta a un desafío capital constituido por la articulación eficaz y coherente de cuatro necesidades vitales:

- Una formación pluridisciplinaria de calidad.
- La investigación fundamental basada en criterios de frontera de conocimiento, con un programa de desarrollo estratégico a largo plazo.
- La investigación tecnológica, que permita su aplicación y avance a corto plazo.
- La modernización industrial basada en la innovación.

Un Polo de Excelencia en Automática Avanzada: un desafío creador

Para lograr este objetivo es necesario apropiarse de los medios humanos, mate-

riales, científicos y tecnológicos que permitan hacer converger coherentemente las diferentes temáticas tratadas, los equipos ya existentes, los diferentes recursos tanto internos como externos, los industriales deseosos de innovar y los dirigentes de la administración científica alrededor de un Polo de Excelencia en Automática Avanzada, elemento motor de una dinámica de consolidación de masa crítica.

Para que pueda prosperar, esta idea debe ir más allá de las ciencias duras e integrar una visión estratégica de largo plazo con el objetivo de crear conocimiento en el contexto de una realidad social, cultural y económica precisa.

¡He aquí un desafío para concretar en los años venideros!

Bibliografía

1. *Châtelet F: Une histoire de la raison. Seuil, Paris, 1992.*
2. *Commissariat du Xème Plan: L'Usine du futur: l'entreprise communicante et intégrée. Rapport du groupe de prospective. La doc. française, Paris, 1992.*
3. *Douady D: Contribution à la modélisation des robots parallèles. Université Paris VI, Paris, 1991.*
4. *Engelberger J: Robotics in practice. 1980.*
5. *Gille B: Histoires des techniques. Encyclopedie de la Pléiade, Gallimard, Paris, 1978.*
6. *Lallemend JP: Robotique: Aspects fondamentaux. Modélisation mécanique CAO robotique - commande. Masson, Paris, 1994.*
7. *Marsh P: Le temps des robots. Encyclopedie visuelle, Bordas, Paris, 1986.*
8. *Merle JP: Les robots parallèles. Hermès, Paris, 1990.*
9. *Perrin D: Les débuts de la théorie des automates. En: RAIRO: Technique et science informatique. Hermès-AFCET, Vol. 14, No. 4, 1995, Paris.*
10. *Poe EA: Le joueur d'échecs de Maelzel. En: Histoires grotesques et sérieuses. Encyclopedie de la Pléiade, Gallimard, Paris, 1978. [Título original: Maelzel's chess-Player. En: The Southern Literary Messenger, 1836].*



La robótica

Álvaro Villa Gálviz
AVG, Inc.

Durante años la robótica ha fascinado al mundo técnico con sus adelantos y tecnología. La robótica también ha sido motivo de preocupación para muchos, pues temen ser desplazados de sus trabajos por máquinas humanoídes que no aman, que no tienen vicios, que no comen ni se cansan, ni necesitan compensación alguna.

Para estas personas, yo, como fabricante de robots por más de 25 años, les puedo decir segura y enfáticamente lo siguiente: la mente humana tiene un nivel de perfección difícil de igualar, y la creatividad humana y la rapidez que tenemos para adaptarnos a cambios en nuestro entorno nos hacen imposibles de igualar por ninguna máquina robotizada.

El otro factor importante es el técnico-económico. Las máquinas robóticas sofisticadas son costosas y requieren operarios altamente calificados que de por sí son costosos.

Solamente en los últimos 30 años la robótica ha logrado avanzar más allá de las aplicaciones industriales y penetrar en el mundo del entretenimiento, devolviéndole vida a criaturas desaparecidas hace cientos, miles o hasta millones de años; como ejemplo principal están los dinosaurios y otros animales antediluvianos. Lo mismo ha ocurrido con personajes históricos desaparecidos, o de ciencia ficción, o de fábulas, o con árboles, plantas, flores, insectos y hasta objetos inanimados.

Lo más impresionante del uso de la tecnología robótica es cuando la utilizamos en seres humanos. Construir en robótica una figura humana conocida es un proceso fascinante donde se combinan la tecnología y varias disciplinas. Todas tienen que trabajar con mucha precisión y armonía.

Hay cuatro áreas de trabajo involucradas en la fabricación de una figura robótica. La primera es la parte cosmética y de plásticos. Esta porción abarca la elaboración de la escultura de la figura a su imagen y semejanza, el proceso de moldes que se sacan de la escultura, la fabricación de partes plásticas y pieles flexibles, el vestuario adaptado a la época y, por último, el maquillaje.

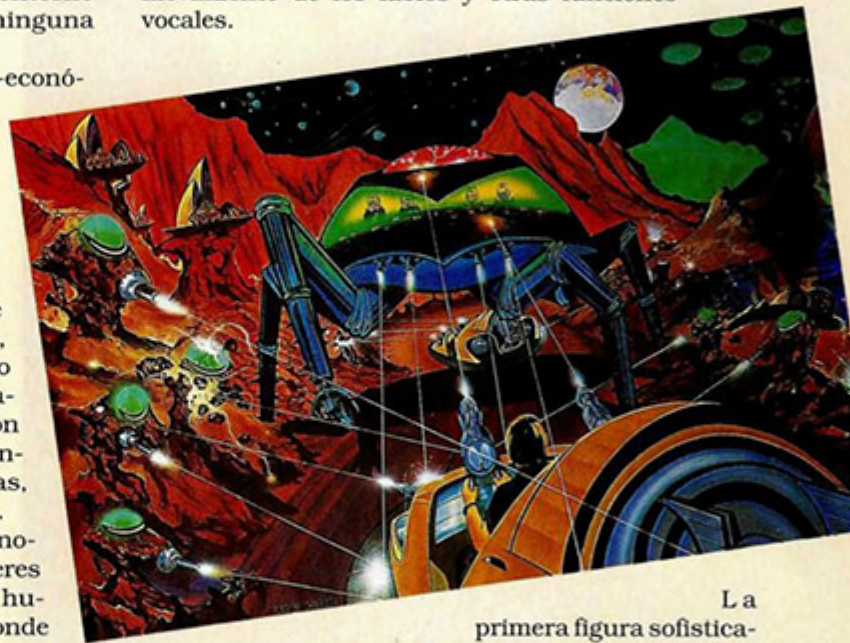
La segunda área es la mecánica: ésta tiene que ver con el diseño del esqueleto mecánico que sostendrá las cargas variables que soportará la figura al imitar los movimientos humanos.

La tercera parte es la motriz, que puede ser hidráulica, neumática o eléctrica. Las más utilizadas por la industria robótica son la hidráulica y la neumática; estas consisten en pistones de movi-

miento lineal o rotatorio que remplazan los efectos de los músculos de la figura humana, pudiendo trabajar en sistema servo para controlar velocidad y posición.

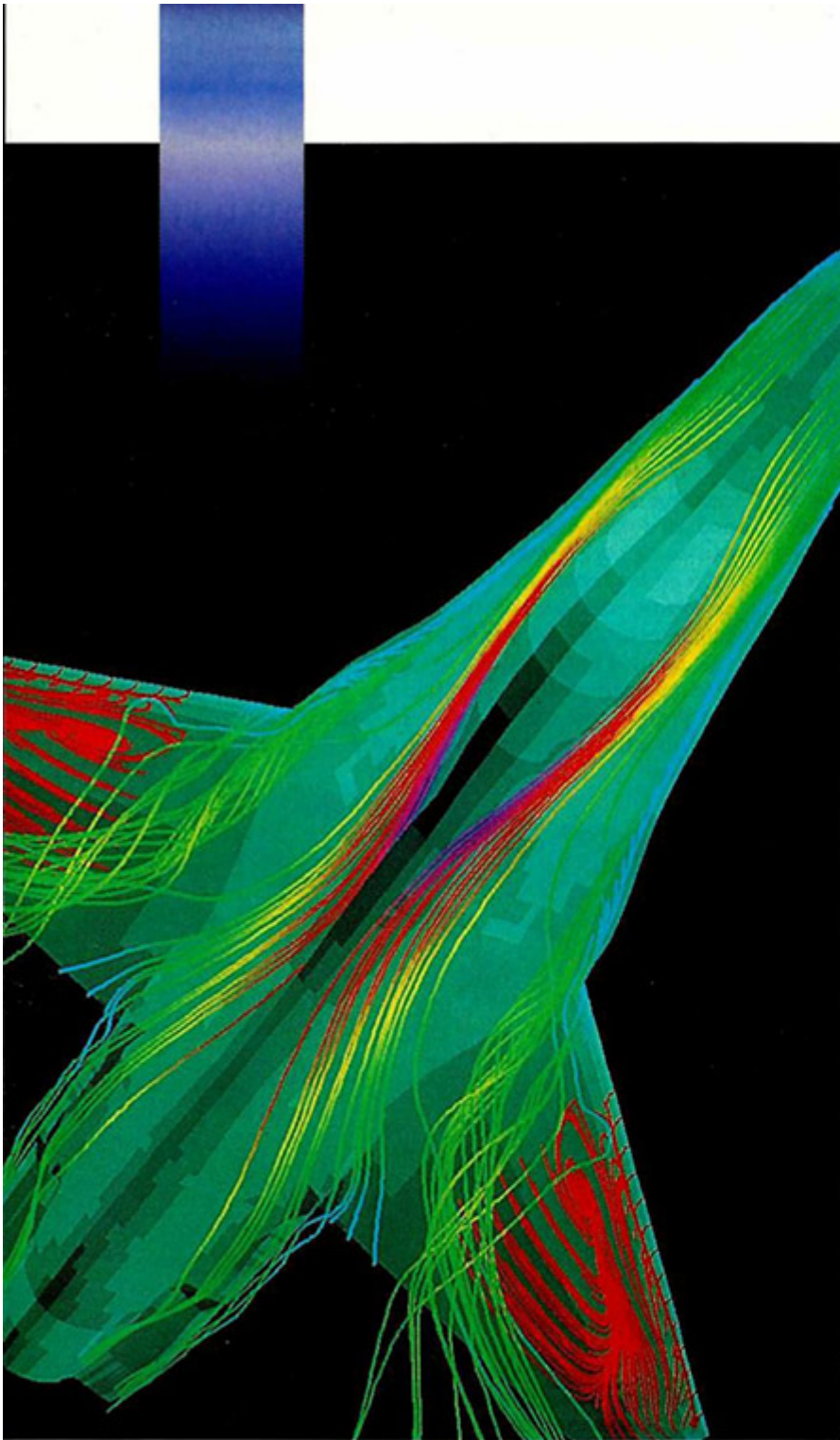
La cuarta es el sistema de control, el cual es el cerebro de la figura. Los hay con distintos grados de sofisticación, desde el más primario hasta llegar al punto de poder predecir la aceleración y desaceleración de los movimientos en el momento en que están pasando, para evitar vibración de las funciones complejas combinadas y fatiga del esqueleto mecánico.

La otra parte del sistema de control es el sonido, que generalmente está grabado en chips (estado sólido) y que tiene que mantenerse sincronizado con el movimiento de los labios y otras funciones vocales.



La primera figura sofisticada de robótica animada de tamaño natural fue la de Abraham Lincoln, el 13o. presidente de los Estados Unidos. Esta figura fue diseñada y fabricada por la empresa Walt Disney después de tres años de investigación y desarrollo, y debutó en 1964 en la Feria Mundial de Nueva York. Más tarde pasó a Disneyland en Anaheim, California, donde permanece entreteniéndolo a millones de personas que lo siguen visitando.

He tenido la fortuna de ser parte de este mundo durante los últimos 25 años, donde aplicamos alta tecnología al mundo del entretenimiento, manteniendo mi mente juvenil y alegre al saber que los frutos de mi trabajo son y seguirán siendo la razón del entretenimiento de muchísimas personas. La verdad sea dicha, me bastaría con ver una sola sonrisa de un niño al mirar una de mis figuras en acción.



Gerardo Cisneros S.
Gerente de Servicios Técnicos
Cray Research de México, S.A. de C.V.

El término computadores de alto rendimiento describe la categoría de sistemas de computación que en un momento dado poseen la más alta capacidad de procesamiento, tanto por la velocidad con la que pueden realizar operaciones como por la magnitud de los problemas que pueden resolver.

Entre las características principales de estos computadores, las siguientes son indispensables:

- Alta velocidad de procesamiento (en la actualidad, miles de millones de operaciones de punto flotante).
- Gran capacidad de memoria (cientos o miles de megabytes).
- Gran capacidad de almacenamiento secundario (decenas a miles de gigabytes).
- Extraordinario ancho de banda entre procesadores y memoria, y entre éstos y el almacén secundario (del orden de gigabytes por segundo, por procesador).

La última es especialmente importante para alcanzar altas velocidades de procesamiento sostenidas, pues sin un ancho de banda adecuado no es posible mantener ocupados a los procesadores, por muy rápidos que éstos sean, salvo durante lapsos cortos.

Tradicionalmente los sistemas clasificados como supercomputadores o computadores de alto rendimiento han sido máquinas de pocos procesadores y de arquitectura vectorial, pero recientemente han surgido sistemas contruidos a base de números grandes de

Cortesía de Cray Research Inc.

Computadores de alto rendimiento y competitividad científica y tecnológica

► El término **computador de alto rendimiento** describe sistemas de computación con la más alta capacidad de procesamiento.

microprocesadores, que pueden clasificarse como sistemas de supercomputación.

Hasta hace relativamente poco el mercado de este tipo de computadores estaba limitado a laboratorios de investigación relacionados con tecnologías militares, centros de modelado del clima y grandes compañías petroleras. No obstante, en muchas otras áreas hay problemas para los que un modelo matemático razonablemente apegado a la realidad requiere la solución numérica de grandes sistemas de ecuaciones, en otras palabras, muchísimas operaciones sobre gran cantidad de variables. Es así como en

años recientes se ha extendido el uso de los computadores de alto rendimiento a nuevas áreas industriales, al entorno académico e incluso a empresas financieras.

Competitividad científica

Hay una variedad de problemas en las ciencias básicas que por su magnitud requieren computadores de alto rendimiento para su solución. Entre los problemas de interés científico cuya solución requiere sistemas de cómputo de alto rendimiento podemos mencionar los siguientes:

- Simulaciones de fenómenos astrofísicos (mecánica celestial, formación de estrellas, estructura de galaxias, hidrodinámica de atmósferas estelares).
- Procesamiento digital de imágenes (por ejemplo, observaciones astronómicas, imágenes biomédicas, imágenes de la superficie terrestre).
- Dinámica de fluidos computacional (con aplicaciones en diversos campos, como astrofísica, hidrología, aerodinámica, modelado del clima, etc.).
- Química computacional (determinación de estructura electrónica de átomos y moléculas, dinámica molecular, etc.).

Competitividad en la industria

Para hacernos una idea de las ventajas competitivas que pueden brindar los compu-

tadores de alto rendimiento en la industria, podemos examinar tres industrias: el petróleo, los automóviles y los productos químicos.

Petróleo

Son muchas las áreas de la industria del petróleo donde se encuentran problemas cuya solución requiere computadores de alto rendimiento:

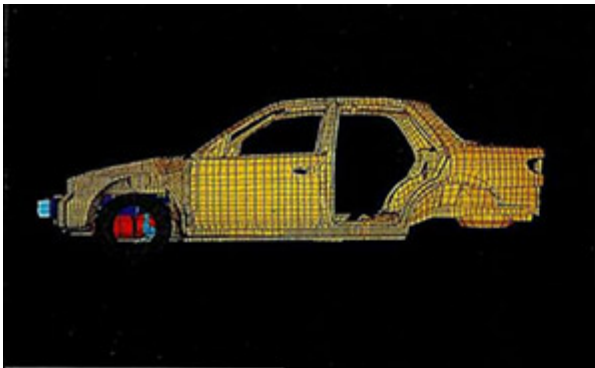
- Exploración: procesamiento de datos sísmicos
- Producción: simulación de yacimientos
- Refinación: modelado de reactores
- Asuntos ambientales: modelado de emisiones
- Comercialización/estrategia: optimización
- Petroquímica: modelado molecular detallado de catalizadores

Dos problemas fundamentales y específicos de la industria del petróleo, cuyo modelado matemático requiere grandes cantidades de datos y operaciones, son la migración sísmica y la simulación de yacimientos.

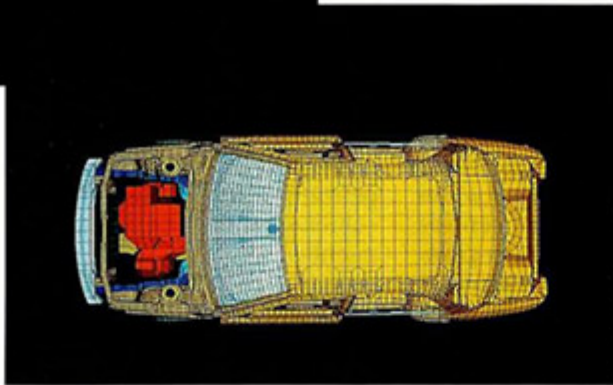
La migración sísmica consiste en la reconstrucción de la estructura del subsuelo a partir de los registros de las oscilaciones y ecos provocados por series de detonaciones, recolectados en arreglos de detectores. Se trata de un problema de desconvolución, y mientras mayor el número de registros, más precisa la determinación de las estructuras geológicas de interés en volúmenes más grandes. La complejidad del cálculo depende de varios factores: análisis bi o tridimensional, migración en profundidad y/o en tiempo, pre o postapilado, número de disparos, número de detectores, duración del registro, dimensiones de la malla utilizada en el cálculo.

Por ejemplo, una migración sísmica tridimensional postapilado de profundidad, con una malla de 512 por 512 registros por 1000 muestras de profundidad, y 7 segundos de datos sísmicos, requiere una memoria de 2 a 4 gigabytes y más de 9 horas de tiempo de proceso, suponiendo una velocidad sostenida de 1 GFlops¹.

Por otra parte, la simulación de un yacimiento es un problema complejo de dinámica de fluidos. Una simulación sobre una malla de 729.000 celdas de 25 m x 25 m x 25 m requiere 11 horas de procesador a 1 GFlops para 1000 pasos de simulación, de las cuales entre el 60% y el 80% se ocupan en resolver sistemas de ecuaciones lineales¹.



Estudio aerodinámico de automóviles.



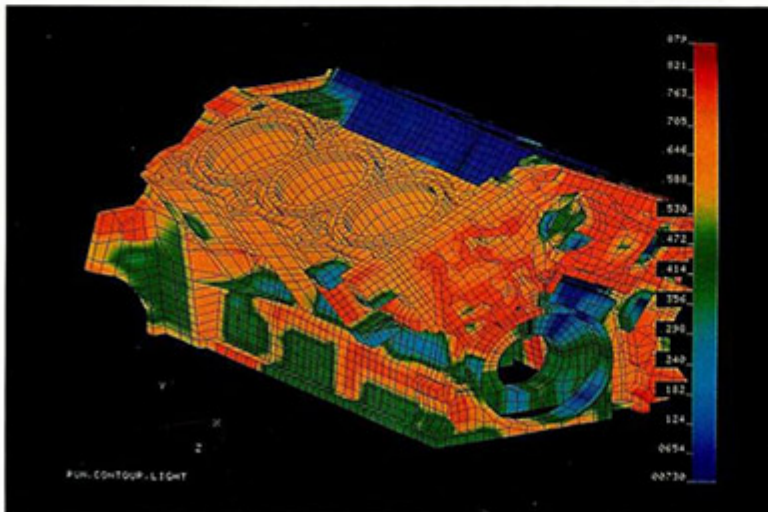
La migración sísmica es una herramienta para la exploración; su uso adecuado conduce a ahorros significativos en la perforación de pozos. La simulación de yacimientos es una herramienta para la producción; el uso de modelos apropiados lleva a mayores eficiencias en la explotación de pozos en producción.

Automóviles

Dos áreas fundamentales en el diseño de vehículos automotores son el análisis estructural y el modelado de la ignición y la combustión en motores.

Los principales fabricantes de automóviles usan ya computadores de alto rendimiento para simular colisiones. Aunque es muy complejo el problema de simular un choque de manera que las deformaciones producidas por los esfuerzos inducidos en una colisión se calculen con la aproximación debida, resulta más económica la inversión en un computador de alto rendimiento para simular «choques

Estudio en modelado de motores.



virtuales» que el costo en dinero y tiempo de preparar, llevar a cabo y analizar los resultados de un número similar de experimentos físicos en los que se hacen chocar automóviles contra diversos objetos como postes o paredes. La simulación permite comparar económicamente el comportamiento de estructuras de diversos diseños, para mejorar la resistencia a los impactos y la seguridad de la cabina de pasajeros. Una ventaja adicional de la simulación numérica es que proporciona resultados difíciles o imposibles de medir, por ejemplo, la distribución de la energía absorbida localmente, que constituyen información importante para la comprensión de los fenómenos que ocurren durante la colisión².

El modelado de la ignición y combustión en motores tiene un propósito similar: reducir el número de experimentos y prototipos que se necesita construir físicamente, analizando numéricamente las propiedades de cámaras de combustión de diversos diseños. En última instancia, el computador de alto rendimiento no elimina la necesidad de realizar experimentos físicos, pero reduce su número al proporcionar resultados que le indican al diseñador cuáles experimentos son los que vale la pena llevar a cabo. El resultado final es un motor más eficiente en su consumo, más confiable en su operación y menos contaminante, diseñado en un lapso de tiempo menor³.

Industria química

Dos problemas representativos de la industria química son el diseño de nuevos compuestos y la simulación de procesos.

El cálculo de propiedades moleculares requiere resolver la ecuación de Schrödinger para el movimiento de los electrones en una molécula. Con más de dos partículas, la ecuación de Schrödinger no tiene soluciones analíticas y es necesario recurrir a cálculos numéricos.

Dependiendo de las aproximaciones que se introducen en los métodos de solución, éstos pueden ser semiempíricos (en los que se introducen como parámetros propiedades moleculares medidas experimentalmente) o *ab initio* (de primeros principios). Los segundos son más complejos y sólo permiten el análisis de moléculas de pocos átomos (algunas decenas, dependiendo de la memoria de que se dispone y de la velocidad de los procesadores).

Un ejemplo industrial reciente es el diseño de compuestos que reemplacen a los CFC (compuestos fluorocarbonados): se estimó que el

Desafíos de la informática ■

Grandes desafíos

Una lista de problemas que se consideran «grandes desafíos» en las ciencias computacionales ha sido citada con cierta frecuencia. Esta lista suele incluir los siguientes problemas⁶:

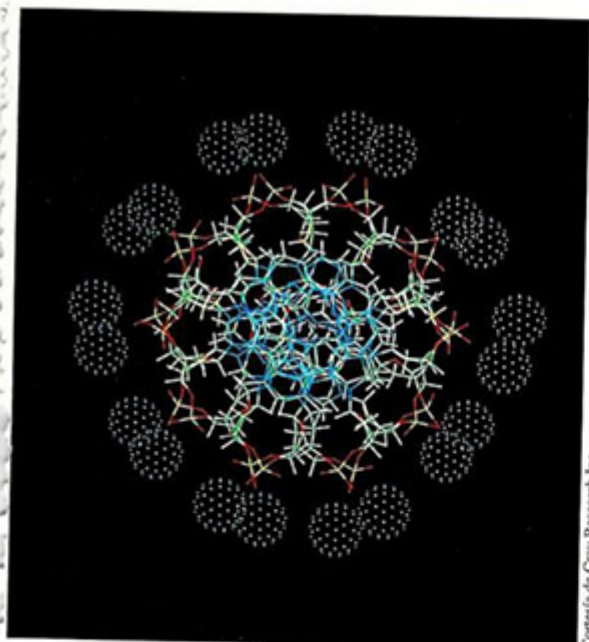
- Predicción del clima con alta resolución
- Estudios de contaminación atmosférica con interacciones entre contaminantes
- Modelado global atmósfera-océano-biosfera
- Secuenciamiento genético
- Diseño de fármacos
- Diseño de materiales nuevos con características específicas
- Diseño aerodinámico de vehículos aeroespaciales
- Modelado de la ignición y la combustión en el diseño de motores
- Diseño microelectrónico

Todos estos son problemas cuya solución, aparte de los frutos científicos, tiene un impacto económico importante. Sin embargo, la experiencia ha demostrado que el computador de alto rendimiento es una herramienta que justifica su costo cuando se aplica a problemas correctos.

Desde el punto de vista de las instituciones de educación superior e investigación científica y tecnológica, el problema inicial, una vez que se cuenta con el equipo, es crear una cultura del supercómputo y motivar a sus comunidades de investigación científica y desarrollo tecnológico a «pensar en grande».

Referencias

1. **Jorge Pita:** *High Performance Computing at Mobil. Presentación al Instituto Mexicano del Petróleo, julio de 1999.*
2. **Thomas Frank and Karl Gruber:** *Numerical simulation of frontal impact and frontal offset collisions. Cray Channels, Winter 1992, p. 2.*
3. **Reza Taghavi:** *CRI/TurboKiva delivers the power of insight. Cray Channels, Winter 1992, p. 26.*
4. **David A. Dixon, Kerwin D. Dobbs and Scott C. Walker:** *Computational chemical design for CFC alternatives at DuPont. Cray Channels 16, No. 1, p. 7, 1994.*
5. **Ludger Brüll, Lothar Lang, Robert Zeller and Stephen Zitzler:** *Bayer AG and Cray Research collaborate on plantwide dynamic process simulations. Cray Channels 16, No. 1, p. 2, 1994.*
6. *Computational Science and Grand Challenges - An interview with Kenneth G. Wilson. Cray Channels, Summer 1992, p. 4.*



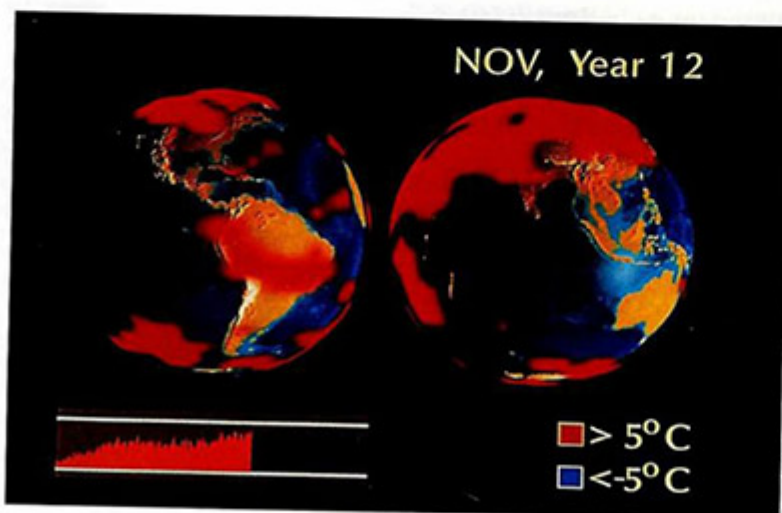
Contenido de Cray Research Inc.

Diseño de nuevos compuestos por computador.

La simulación dinámica de procesos es otra área donde el modelado tiene gran complejidad numérica, pero la disponibilidad de resultados puede conducir a grandes ventajas económicas. Por ejemplo, para la simulación de un sistema de destilación con calor integrado de toda una planta, el modelo dinámico del proceso de más de cinco columnas de destilación acopladas requirió la resolución repetida de un sistema de más de 75.000 ecuaciones diferenciales y algebraicas⁵. El propósito de la simulación fue analizar fenómenos transitorios en los procesos, para desarrollar estrategias de control de la planta. Numéricamente se diseñaron y probaron nuevos controladores y se determinaron los mejores parámetros de operación.

De nuevo, el cálculo numérico permite hacer experimentos sin hacer modificaciones costosas a la planta física existente; las que finalmente se ponen en práctica son aquellas que han demostrado su efectividad en la simulación.

Estudios de predicción del clima con alta resolución.



Contenido de Cray Research Inc.

La odisea de la vida artificial

Con la publicación de su libro *La evolución de las especies por la vía de la selección natural*, Charles Darwin causó uno de los más fabulosos sismos que haya conocido la ciencia. Desde entonces, los avances de la biología y de la genética han revelado los principios y mecanismos que gobiernan la vida.

Un siglo y medio más tarde, la informática ha presentado una nueva hipótesis: es posible a priori crear nuevas categorías de organismos inspirándose en la evolución de la vida que comenzó hace 3500 millones de años. Esos «seres» serán artificiales en cuanto que nacen de la mano del hombre, pero se reproducirán y evolucionarán a la imagen de las plantas y los animales. Si la ciencia consigue ese resultado, ¿se podrá hablar de seres vivos? En otras palabras, ¿es posible que la vida exista fuera de la materia orgánica? ¿Se puede concebir una máquina viva dotada de autonomía y de capacidad de adaptación?

Es aún demasiado pronto para responder a esta pregunta. La odisea de la vida artificial está apenas comenzando ya que tiene menos de veinte años. Sus métodos y teorías provienen de la informática, las matemáticas, la física y la biología. Es a la vez modesta y muy ambiciosa. Modesta, porque tiende a imitar los principios evolutivos que caracterizan a los organismos vivos. Ambiciosa, porque la vida artificial va más allá de la simple simulación. Como afirma Pierre-Yves Frei en un reportaje realizado en el Santa Fe Institute en Estados Unidos, una forma de vida nace de programas informáticos en últimas bastante rudimentarios. En la pantalla de un computador ordinario nacen poblaciones de seres virtuales que cooperan entre sí y terminan por construir un verdadero ecosistema.

Otros trabajos, llevados a cabo por ejemplo en la Escuela Politécnica Federal de Lausanne (EPFL) en Suiza, tienen por objetivo crear robots autónomos, capaces de aprender a evolucionar en su medio ambiente sin ayuda. Esos autómatas, nacidos por cruce, mutación y selección, se parecen curiosamente a las hormigas. Solos, son de una triste estupidez. Juntos realizan hazañas. Es el reino de cada uno para todos, el nacimiento de la inteligencia colectiva. En Lausanne, la EPFL, en colaboración con el Centro Suizo de Electrónica y

Microtécnica, ha desarrollado una pastilla electrónica revolucionaria: al igual que las células de nuestro organismo, posee un patrimonio genético que le permite adaptarse a otras tareas, evolucionar y aun repararse en caso de daño. Equipada con ese tipo de circuito, la electrónica de un avión alcanzaría una gran confiabilidad.

Si bien es cierto que las aplicaciones concretas de esas técnicas son aún escasas, no cabe duda de que nos encontramos al comienzo de un acontecimiento histórico, tan considerable como el nacimiento del computador. Los Estados Unidos, cuna de la informática, son los primeros en haber tomado conciencia de ello. A tal punto que hoy las investigaciones sobre los virus informáticos, «seres» capaces de reproducirse, mutar y protegerse contra cualquier tentativa de erradicarlos, son tan importantes que han sido puestas bajo el control del Pentágono.

Más fundamentalmente, la vida artificial constituye —aunque sea a veces criticada— una formidable herramienta de investigación científica. Ella abre una nueva puerta sobre el estudio de fenómenos impredecibles cuya aparición escapa al análisis matemático clásico. No existen fórmulas para predecir la evolución del mercado bursátil, sometido a demasiadas variables e influencias diversas. Paciente, la vida artificial trata de imitarlo, liberando, en un universo informático, pequeños corredores virtuales muy simples, cuya interacción revelará, tal vez, algunos principios ocultos. Esta aproximación inédita contrasta con la que ha privilegiado la inteligencia artificial hasta ahora, que busca modelizar los fenómenos complejos de la manera más exhaustiva posible. En vez de querer controlarlo todo, la vida artificial deja hacer, contando un poco con el azar para revelar las verdades.

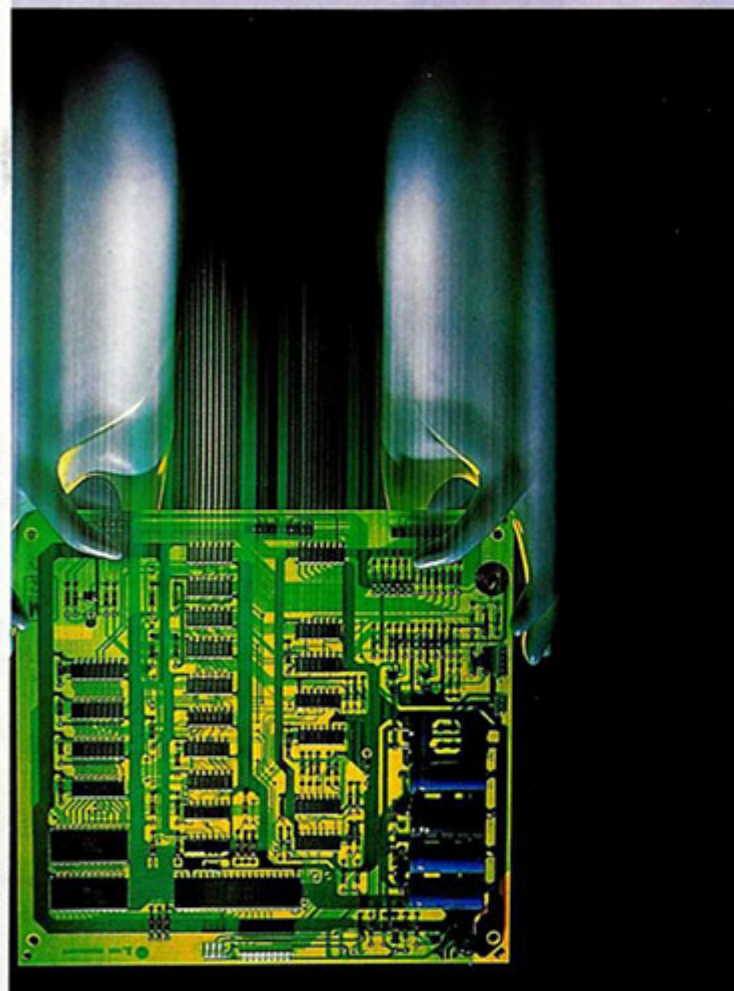
La vida artificial no sólo cambia de manera radical el enfoque del ingeniero, sino que se

► La vida artificial abre una nueva puerta sobre el estudio de fenómenos impredecibles cuya aparición escapa al análisis matemático clásico.

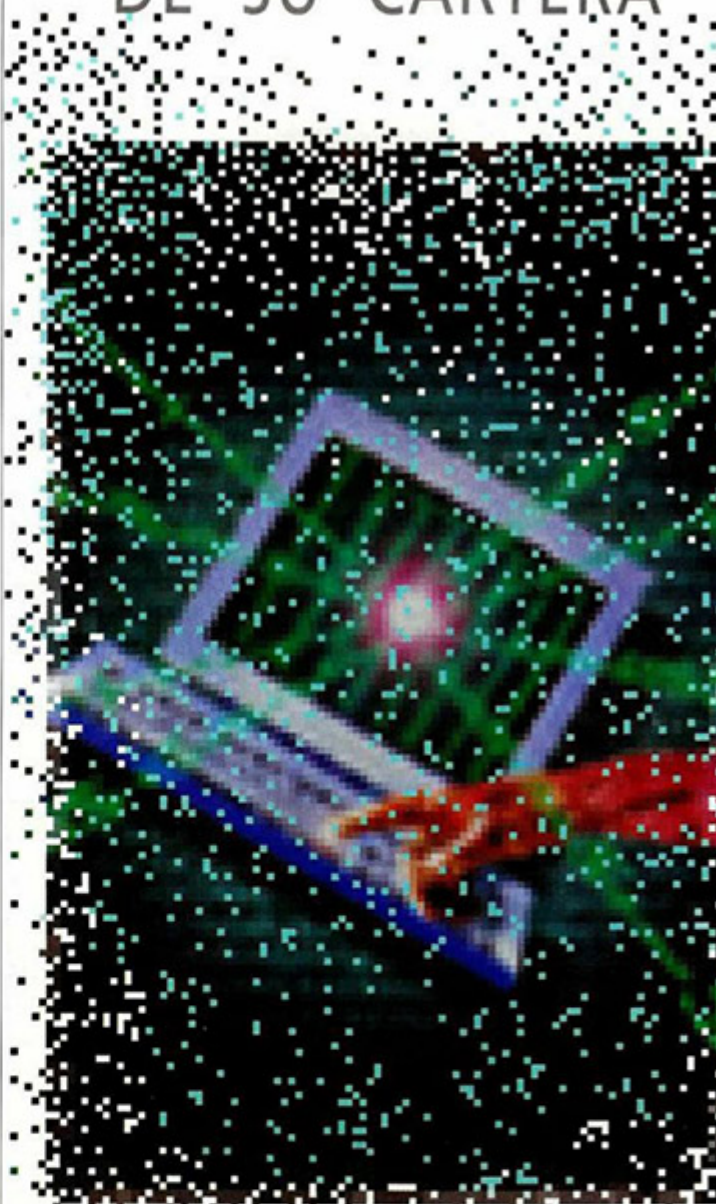
al

nutre en las fuentes de una informática en perpetua revolución. Cada diez años, la potencia de cálculo de los computadores se multiplica por un factor cercano a mil. Como nos lo recuerda Jean-Claude Heudin, "si nuestros automóviles hubieran conocido el mismo ritmo de desarrollo, hoy no pesarían sino cinco kilos, viajarían a 5000 kilómetros por hora y no costarían sino cinco francos".

*Tomado, con autorización, de la revista L'Hebdo,
4 de enero de 1996, pp. 28-29.*



TECNOLOGIA AL SERVICIO DE SU CARTERA



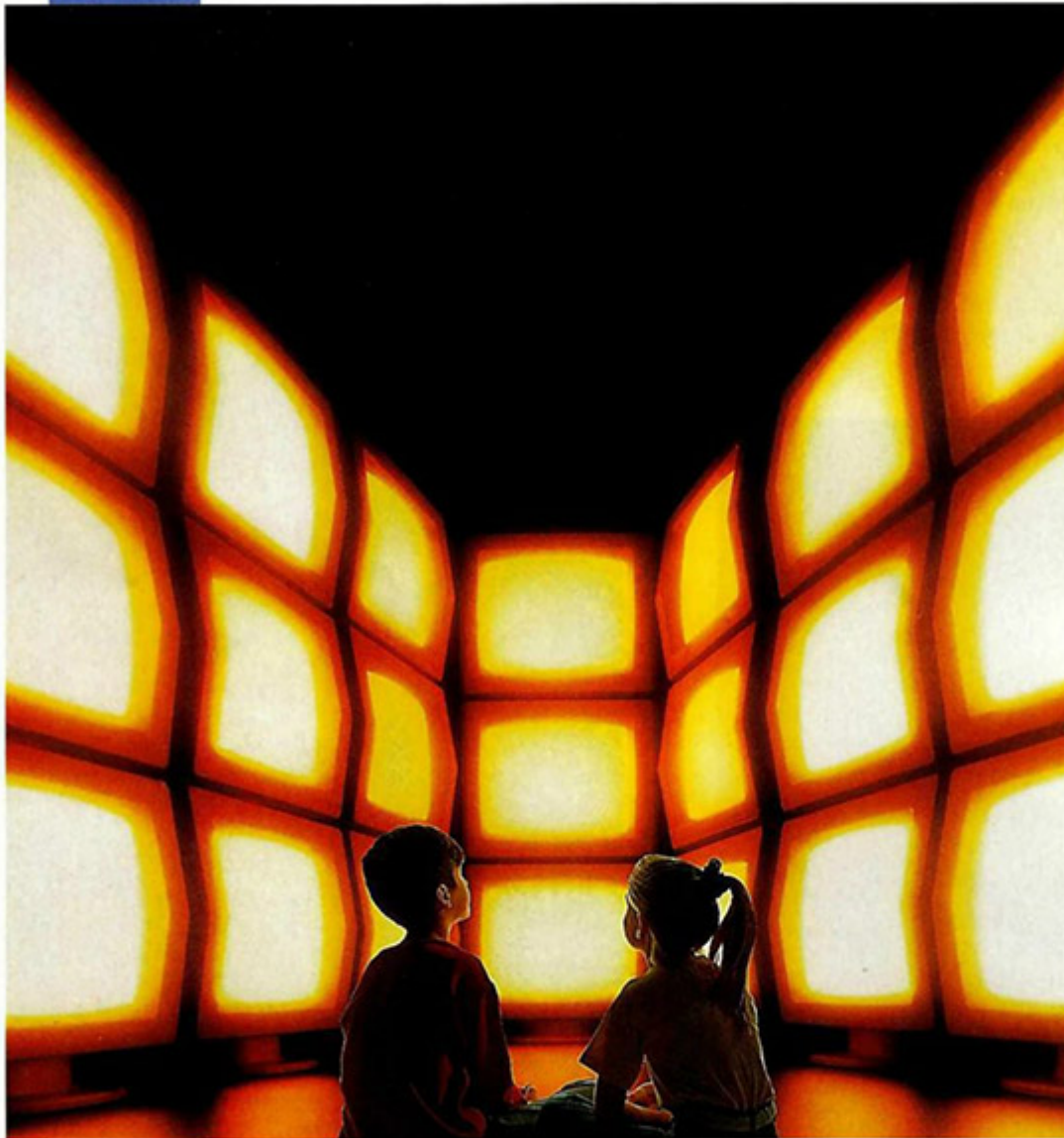
Con una completa infraestructura tecnológica y un equipo altamente profesional, **COVINOC - COBRANZAS INTEGRALES** le ofrece un portafolio de servicios que le garantiza:

- Recuperación oportuna de su cartera.
- Información y retroalimentación del proceso en línea.
- Resultados de recaudos e informes operativos de gestión sistematizados.

COVINOC[®]
COBRANZAS INTEGRALES

EDIFICIO COVINOC Calle 19 No. 7-48 Piso 8
Conmutador 342 0011 Fax: (91) 286 2239 Santafé de Bogotá, D.C.

Informática en el te



**Del jardín
de infantes,
las aulas
sin fronteras
a los sistemas
basados
en inteligencia**

Alfonso Pérez Gama
Profesor Titular
Universidad Nacional
Presidente
de la Asociación
Colombiana de
Informática - ACCIO

Introducción

Tradicionalmente la informática ha aparecido en la esfera de la producción económica en los sectores más avanzados como la banca y el comercio, y prácticamente es desconocida en la esfera de la producción social. Paradójicamente, se ha reconocido al computador como el cambio tecnológico más

importante del siglo que termina y mucho se ha escrito sobre su poder intrínseco, vaticinando a priori cambios muy importantes en las condiciones de vida y en el progreso social y económico.

Así por ejemplo, reflexionar sobre las consecuencias sociales del tractor daría para escribir unas cuantas páginas; tampoco tendría mucho que hablarse sobre las ciencias del tractor. Sin embargo, las *ciencias de la computación* han trazado su propia vertien-

rcer milenio

te de conocimientos y hoy en día ocupan un importante espacio en todos los saberes disciplinarios, por lo que se hace indispensable estudiar el fenómeno del computador no sólo como medio masivo de comunicación social sino como algo indispensable en la cotidianidad. Esto ha dado lugar a que instituciones como la Unesco lleven a cabo importantes reuniones mundiales sobre el tema. ¿Genera desempleo? ¿Es peligroso en la educación infantil? ¿Cuáles son las implicaciones sociales y culturales en los individuos, en la sociedad y en el gobierno? Y, sobre todo, ¿qué tan preparado está el país y quién va a ser el arquitecto del cambio sociotécnico?

Todo esto tiene consecuencias en sectores tales como cultura, educación, salud, justicia, trabajo, recreación y además en el mismo proceso de investigación, en el que sus mismos contenidos y métodos son redefinidos. Lo anterior es intuitivamente obvio en la medida en que se conocen dos grandes tendencias en cuanto a las aplicaciones de la informática: horizontal y vertical. La primera fertiliza los diferentes compartimentos disciplinarios, donde la ubicuidad de los sistemas hace imprescindible el computador. El desarrollo vertical se refiere al vertiginoso avance, en el cual los países del tercer y cuarto mundos no alcanzamos a conocer completamente una tecnología cuando ya cumple su ciclo de obsolescencia planeado por los países generadores de conocimientos. Lo anterior genera tremendas incertidumbres en la sociedad y en especial en la gestión gerencial de las empresas.

Premisas fundamentales

El tema de la inteligencia ha preocupado al hombre desde su misma existencia. Hoy, al cabo de registrar cinco generaciones de la informática, se han puesto en evidencia varias cosas:

- Que el hombre perdió su exclusividad como ser pensante, con las nuevas tecnologías de la inteligencia artificial y de la ingeniería de conocimientos, que han alcanzado gran madurez en países avanzados. Mediante estas tecnologías el hombre

incorpora artificialmente en el computador habilidades cognitivas como el razonamiento, el pensamiento, la visión, el aprendizaje, la resolución de problemas y la toma de decisiones, con cierto grado de autonomía.

- El nuevo rol del computador le permite abandonar sus tradicionales oficios de calculadora, depósito de datos y máquina de escribir, para asumir nuevas funciones como herramienta cognitiva, espejo mental y asistente intelectual. Algo que impresiona es la posibilidad real de construir sistemas con aprendizaje dual hombre y máquina.

- Se da el nuevo espacio para la producción de sistemas inteligentes, con autonomía en sus decisiones: **mentefactos**.

Implicaciones culturales

Para nadie es un secreto que la informática hace parte ya de la cultura básica del individuo, que a un joven que quiera ingresar en la fuerza de trabajo le es cada vez más difícil hacerlo sin un aprestamiento computacional mínimo o recalcificación laboral. Esta cultura implica necesariamente una iniciación temprana, desde el jardín infantil, donde el niño visualice el computador como un elemento que le permite nuevas formas de comunicación y expresión, un escenario para la creatividad y que su uso no sólo es para asuntos técnicos y científicos sino también para posibilitar el conocimiento estético; así mismo, se espera que el niño comience a adoptar criterios éticos respecto de los usos de la informática, de tal suerte que pueda diferenciar lo socialmente deseable de lo que no lo es.

En el ámbito de la empresa, la cultura informática puede explicar en muchos casos el éxito o fracaso de un sistema de información, lo cual no quiere decir simplemente conocer algunos instrumentos sino que se refiere a las actitudes y filosofía en la comunicación diaria en todo sentido.

Uno de los más trascendentales aportes de la investigación de Louis Pasteur fue sobre el conocimiento de la bacteria en el contexto de los organismos vivos, lo cual indudablemente enriqueció el concepto de vida. De la misma manera, podríamos esta-



blecer una analogía con los estudios sobre el computador y su metáfora con el cerebro, lo cual ha permitido fertilizar el conocimiento mutuo, tal como lo ha señalado el eminente investigador colombiano Rodolfo Llinás¹.

Con el apoyo de la Unesco, varios investigadores y educadores establecieron hace más de tres lustros la necesidad de educar la inteligencia, a partir de actividades esencialmente educativas. El Celadi² inició la cátedra de desarrollo de la inteligencia en Iberoamérica, lo cual tuvo repercusiones importantes, y fue así como a comienzos de la década anterior promulgó una declaración de principios donde se consagró el **derecho a la inteligencia**, con base en numerosas investigaciones científicas que pusieron en evidencia que el nivel de la inteligencia no es fijo en la persona y en consecuencia puede mejorarse y estimularse a cualquier edad. *Tenemos el derecho y el deber de ser inteligentes*, sin distinciones de raza, nivel socio-económico o condición social, ni que sea el privilegio de elites excluyentes: **la democratización de la inteligencia**.

Lo anterior destaca la importancia de la informática inteligente y la construcción de **mentefactos educativos** para la socialización del conocimiento, no sólo por imperativos teórico-prácticos sino por razones éticas y morales, dado que "la dignidad del hombre reside en su inteligencia, creadora de la

libertad, integrada en las restantes condiciones humanas, especialmente la afectividad y los valores morales"³.

La modificabilidad de la cognición no se pone en duda; sin embargo, hacerlo considerando únicamente factores genéticos y hereditarios no tendría mucho espacio. Hacerlo con base en acciones educativas e informáticas tiene grandes posibilidades. En este sentido, varios años atrás el científico R. Thinkomorov había señalado al computador como el *amplificador de la inteligencia humana*.

Educación

Los investigadores han demostrado que el computador no es un elemento neutral en educación, es decir, no es una simple herramienta; que en este nuevo escenario se están dando nuevos aprendizajes sin teorías válidas que expliquen satisfactoriamente cómo se da el desarrollo de habilidades cognitivas y cómo flexibilizar la rápida promoción de habilidades mentales superiores para cualquier sujeto. Se ha propuesto para ello un neologismo: *la matemática computacional*, liderado por John Self⁴, que invita a los investigadores informáticos a aportar y sistematizar las experiencias hacia la contextualización y reubicación del problema del aprendizaje.

Las investigaciones de los últimos tres lustros se han centrado en la construcción de sistemas que promuevan el aprendizaje con autonomía personal, respetando el estilo cognitivo del sujeto y sus propios intereses. Lo anterior implica el puente del jardín de infantes a las aulas sin fronteras, donde los beneficios de la informática pueden extenderse a las comunidades aisladas, los indígenas y municipios rezagados de la modernidad: *tele-mática educativa*. Los proyectos de alquilar canales en el satélite mexicano Morelos y usar espacios en el español Hispasat, son muy esperanzadores para el sector educativo colombiano.

Lo anterior se fortalece con el fenómeno del flujo de datos transfrontera, sin intervenciones estatales, lo cual señala una globalización de la información hacia la deseable socialización del conocimiento: las nuevas autopistas de conocimientos. Hace varios años se lanzó en este mismo contexto la UW, la Universidad del Mundo, en La Jolla, California, Estados Unidos, de la cual es presidente el doctor J. Miller (el representante de Colombia es el doctor Gabriel Betancourt Mejía). El objetivo es claro: llegar a los sitios más recónditos de la tierra y ofrecer paquetes educativos, desde alfabetización hasta postgrado.

Por otra parte, la tercera edad también debe verse favorecida con actividades apoyadas por la moderna informática y, por qué no afirmarlo, se le debe posibilitar el reciclaje educativo, la readaptación y recalificación laboral para su incorporación social en el entorno, y sobre todo brindarle un nuevo espacio para el aprovechamiento creativo y recreativo no compulsivo de su tiempo libre.

Lo anterior puede aplicarse a los marginados sociales como los drogadictos y en general los desadaptados sociales, aprovechando la motivación intrínseca que produce el computador. Conocimos el caso de los programas de la Escuela Universitaria de Informática de la Universidad Politécnica de Madrid, bajo la dirección del profesor José Zato, con excelentes resultados.

Los niños y jóvenes pueden encontrar en el uso no compulsivo de la informática muy buenas posibilidades para la utilización del tiempo libre, como se ha evidenciado en la práctica⁵.

La educación gerencial en la sociedad abierta

Cuando el país escogió su modelo de desarrollo, siguiendo lo inevitable de la internacionalización de la economía, se advertía a los industriales sobre la necesidad de estudiar la información sobre indicadores, producción, precios, calidades, etc., puesto que el problema necesariamente transbordaba el espacio de la competencia⁶.

La educación actual exige romper con los cánones tradicionales. El ejecutivo debe adquirir en muy corto plazo destreza en manejar y absorber grandes cantidades de información y, mejor aún, tener el conocimiento para apoyarse en sistemas de información que le permitan no sólo desarrollar una adecuada gestión tecnológica sino también enfrentar la turbulencia empresarial, partiendo de un medio ambiente saturado de violencia, cambios inesperados e incertidumbre.

Lo anterior también plantea *pari passu* el imperativo de redesarrollar y reingenierizar los sistemas de información, incorporando capas de conocimientos y mentefactos para apoyar las respuestas rápidas, dado que la empresa no permanece resuelta y en consecuencia el sistema de información debe abandonar también su oficio de generador de datos antiguos y constituirse en un espacio natural para la solución de problemas de la empresa moderna. En este sentido, la hibridación procesamiento (humano y computacional) de la dupla dato-conocimiento genera espacios inteligentes donde el hombre queda *ad portas* de desarrollar coyunturalmente nuevas habilidades mentales superiores y la máquina puede también aprender.

Hace más de tres décadas ya se construían programas para aprender, como es el

► **T**enemos el derecho y el deber de ser inteligentes, sin distinciones de raza, nivel socioeconómico o condición social, ni que sea el privilegio de elites excluyentes.

caso de Arthur Samuel⁷, en Estados Unidos, para jugar damas, en que el computador derrotó a su creador...

En la reciente guerra del Golfo Pérsico, los aviones norteamericanos contaron con computadores que en fracciones de segundo hacían reconocimiento del plan del «enemigo» y le construían al guerrero aéreo un plan objetivo, recogiendo información de los movimientos de su contrario, recursos y logística. Además, las bombas que se disparaban poseían la «inteligencia» o mejor la capacidad autónoma de decisión sobre curso, objetivo y alcance.

Esto último plantea serios interrogantes éticos y morales. ¿Qué pasa si un material bélico inteligente, que lleva incorporado un mentefacto, «fracasa» y el objetivo militar genera consecuencias devastadoras en la población civil? En términos de responsabilidad moral ¿quién debería asumir las consecuencias? ¿El analista, el diseñador o el

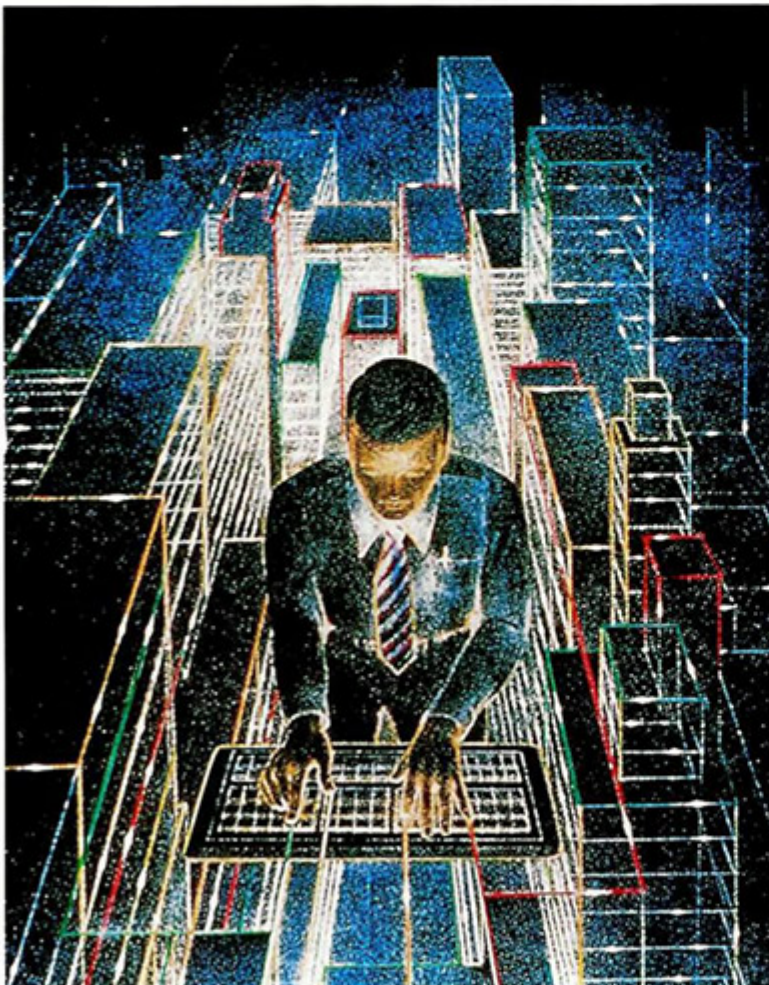
constructor del sistema bélico experto? ¿El responsable de la operación militar a bordo? ¿El país en guerra?

Por otra parte, si adquirimos un robot o un programa inteligente para elaborar diseños en un tema específico, los derechos de autor por la obra generada ¿pertenecen al dueño del robot?, ¿a su creador?, ¿al ingeniero de conocimientos?

Pensamiento lógico vs. pensamiento creativo

En los últimos tiempos se ha producido una acerba crítica hacia los movimientos racionalistas respecto del uso casi irreflexivo, descontextualizado y acritico de los modelos y métodos analíticos, casi siempre divorciados de la realidad social, que cada vez explican menos los fenómenos socioeconómicos y menos aún pueden predecir el comportamiento de las variables trascendentales. La informática educativa (IE) no podía sustraerse a este rampante racionalismo, puesto que desde un principio se afirmó que el uso del computador en los niños tenía como fin primordial y casi exclusivo el desarrollo del pensamiento lógico. De hecho, la IE creció sin definir sus contenidos y con metodologías prestadas; se ha observado que muchos productos poco tienen que ver con el aprendizaje o con la enseñanza y que la tendencia es simplemente a atender algunas necesidades educativas bajo el culto mítico de la potencia del computador⁸; se trata como una aplicación más del amplio espectro de las aplicaciones computacionales. Se cuestiona cada vez más si los avances en IE se deben más a los aportes de los investigadores o sólo es la proyección del avance tecnológico total.

Hoy se empieza a dar marcha atrás de esta deleznable unidireccionalidad, en un intento por rescatar el desarrollo del pensamiento creativo, lo cual ha sido reconocido por importantes investigadores como S. Papert en foros internacionales. Además, el tema de la creatividad constituye una prioridad nacional en muchos países avanzados como el Japón. En Colombia lamentablemente no existen planes explícitos sobre este tema. A nivel superior, un estudio que realizamos y presentamos en un congreso internacional⁹ nos permitió concluir que la educación de la creatividad era casi nula en los ingenieros de sistemas; resultaba muy paradójico que las restricciones económicas no eran las principales, por lo que no constituían un cuello de botella para la adquisi-



► La informática educativa debe reorientar sus contenidos y métodos hacia el desarrollo del pensamiento creativo.

ción de herramientas informáticas; sin embargo, las soluciones a los problemas de la empresa permanecían en el mismo status: acartonadas, poco creativas y, lo peor, con muy poca utilización del potencial del parque informático en el país.

Salud y trabajo

Un aspecto en el que la informática ha mostrado indudables resultados es en salud preventiva, rehabilitadora y reparativa. Para nadie es un secreto la aplicación que se hace en países avanza-

dos de la planeación inteligente para enfrentar contingencias; la provisión de información medioambiental, la racionalización de recursos hospitalarios y la educación preventiva.

Si un robot es capaz de aprender a realizar tareas complejas, ¿cuáles serían las razones para que esas mismas técnicas mejoradas no se puedan aplicar a un sistema de información en la empresa para preservar una memoria institucional?¹⁰ ¿Por qué, si un robot puede desplazarse con ayuda de visión artificial, estas tecnologías no pueden aplicarse a limitados visuales? ¿Qué obstáculos se presentarían para construir periféricos (e.g., simuladores de teclados, sintetizadores y analizadores de voz), para incorporar social y laboralmente a limitados auditivos, motrices y mentales? Estos desarrollos investigativos se denominan tecnologías de doble aplicación.

Lunares en la informática profesional en Colombia

Las metodologías se requieren para establecer el puente entre el conocimiento informático y la herramienta en sí, para poder viabilizar la solución de problemas; también deben posibilitar la asimilación del conocimiento involucrado para poder explotar las potencialidades del instrumento en pro de la solución válida, rápida, confiable y oportuna.

Evidentemente, hay una dicotomía en términos metodológicos que se resuelve en favor de los proveedores. Los contratos vie-

nen atados con las metodologías incorporadas de la herramienta. En el país se observa que domina la segunda. Por esto no es de extrañar que el mercado exija «requerimos analista-programador o técnico o tecnólogo o ingeniero de sistemas para el *producto acme*», independientemente de si la universidad ha preparado un ingeniero con ciertas habilidades cognitivas y cierto perfil. Es evidente que se plantea un bache entre lo que produce la academia y la demanda coyuntural del mercado, puesto que el empresario parece satisfacer primero la necesidad del «chofer informata» que conduzca la *máquina acme* antes que contar con un ingeniero problematizador. ¿Imposición o dependencia? ¿Contumacia de las empresas? ¿Dureza con el instrumento y debilidad frente al problema?

Lo anterior se agrava al observar las empresas líderes en Colombia, desde el punto de vista de las nuevas tecnologías. Causa mucha preocupación el muy bajo número de proyectos informáticos apoyados por la inteligencia artificial, al contrario de lo que ocurre en países avanzados. El país parece haberse estancado en la tercera y cuarta generaciones de la informática, en un matrimonio a todas luces indeseable que promueve más la dependencia y el colonialismo tecnológico y cultural, al parecer con la complicidad de las autoridades gubernamentales. Uno de los casos más preocupantes lo representa el pasado Censo de Población¹¹, ya que después de varios años el país no conoce los resultados. Se trata de un sistema dominado por el conocimiento informático común, que contó con el más grande presupuesto en la historia censal, pero al parecer con tecnologías de manejo de información arcaicas y descontextualizadas, sin que nadie responda por este desastre gerencial. Paradójicamente, si se hizo gran despliegue con costosa propaganda en TV ofreciendo la información censal en CDs que aún no se tenía, y todavía no se sabe cuándo se tendrán resultados; incluso se anunció su próxima disponibilidad en Internet (?).

Un problema asociado que es otro lunar lo constituye la creación incontrolable de carreras de ingeniería de sistemas y afines. Un funcionario del Icfes nos informaba que en los últimos tres años 9 de cada 10 nuevas instituciones educativas nacían ofreciendo sistemas, donde los aspectos de calidad y de investigación se dejan para después. Es la ilusión del fin del reino de la necesidad,

como lo denominaron Jancot y Furgot. De esta forma, el costo de la democratización de la educación informática se traducirá en un desmejoramiento y pauperización de esta profesión y peor aún de los sistemas informáticos que produzca el país. De hecho, hay un vacío gerencial de la nueva informática y el mismo proceso de la informatización de la sociedad sigue las iniciativas y voluntad de las elites transnacionales de computadores porque el gobierno no ha hecho presencia.

¿Políticas de informática?

Solamente en dos gobiernos (administraciones Betancur y Barco) se redactaron en el plan de desarrollo unas líneas sobre las políticas de informática. Los demás han desconocido la importancia estratégica de este novel sector, que en los países avanzados explicará el desarrollo futuro postindustrial. En el plan del actual gobierno, «Salto Social», solamente se menciona lo relacionado con las redes de información; se revela una crasa ignorancia de las posibilidades sociales de la informática o simplemente se dejó de lado. Es decir, que las autoridades colombianas, con su tradicional pasividad, sólo quisieran reflejar en su comportamiento que sus políticas de facto se centraran en la compra de computadores y equipos relacionados como lo único trascendente.

En términos de empleo se ha especulado mucho. Se habló, a finales de los 60, en el informe de Nora-Minc al presidente francés¹², sobre el desempleo que iba a causar en el gobierno. Lo que se ha evidenciado en el transcurso del tiempo es que evidentemente se ha generado mucho desempleo no calificado pero al mismo tiempo la informática ha generado numerosos puestos de trabajo con perfiles que no tienen nada que ver con lo tradicional. Esto explica parcialmente el auge en la creación de muchas carreras e institutos que pretenden dar cabida a la oferta que cada vez crece más; sin embargo, cuestionamos que satisfagan los nuevos requerimientos de la sociedad del conocimiento.

No es un secreto las indudables ventajas de la informática en los sectores sociales. Lo que pasa es que el país y el alto gobierno sólo conocen su aplicación en los sectores modernos: finanzas, banca, comercio, administración. A pesar del importante parque computacional que existe en el país, según puede colegirse de las encuestas de ACUC y de ACCIO, los resultados en términos de sistemas-solución dejan mucho que desear. Si bien la ACIS realizó un estudio¹³, no fue posible descubrir qué clase de ingeniería de sistemas se hacía en el país ni se exploraron las consecuencias sociales en Colombia, tampoco se indagó sobre proyectos empresariales de quinta generación. Causó mucha frustración el informe de la Misión de Ciencia y Tecnología¹⁴ en cuanto a las consideraciones sociales que le solicitaron a un improvisado consultor. Lo anterior explica que el país no haya contado con un estudio lo suficientemente serio que ausculte las posibilidades sociales de la informática.

Conclusiones

Muchos autores coinciden en señalar que cada vez habrá más productos inteligentes¹⁵, negocios y sistemas que educan. El perfil que se señala para un ejecutivo es que será más un administrador de habilidades gerenciales, a la manera de un *decano* de una facultad, y nuevos trabajadores de conocimientos liderarán el escenario informático, como los ingenieros y analistas de conocimientos.

Lamentablemente, no hay un espacio de discusión donde estos temas se debatan con la altura y propiedad que demanda el entorno. En materia de políticas de informática educativa el gobierno local y nacional ha dejado estos destinos en manos del fallido plan de apertura educativa. Es así como no se ha posibilitado la inclusión de la opinión de los educadores de establecimientos públicos, privilegiando sólo puntos de vista parciales y acrílicos socialmente.

En lo relacionado con políticas nacionales de informática hay grandes vacíos, como lo hemos señalado en varios de nuestros escritos¹⁶. ¿Qué le quedó al país en términos de conocimientos, por ejemplo, de la generación de los computadores /360? ¿Por qué razón al cabo de más de cuatro décadas no existen los mínimos estándares para los sistemas de información del sector público? ¿Por qué no se exige la matrícula profesional en informática

► Son muy grandes las posibilidades de la informática para enfrentar problemas sociales, por lo cual se debe desarrollar un software social de dominio público.

para quienes tienen grandes responsabilidades en este tipo de proyectos en el país? ¿Por qué los sectores sociales siguen rezagados de los beneficios de la informática? ¿Por qué no hay un decidido apoyo a la formación de núcleos de investigación en informática?

Son muy grandes las posibilidades de la informática para enfrentar problemas sociales, por lo cual nuevamente planteamos la necesidad de desarrollar un espacio en el sector gubernamental, dentro de la teoría de los bienes públicos que puede no sonar bien dentro de la política neoliberal: la construcción de **software social de dominio público**, en la misma forma como el gobierno construye parques, avenidas y demás, para sectores que lo requieren con urgencia como el de la educación, donde la demanda crece en forma más que proporcional y se podría llegar a los rincones marginados de la patria. El satélite colombiano tendría mucho sentido para que el Estado haga presencia cultural desde San

Andrés hasta la selva amazónica. La producción del software de carácter social se podría encomendar a las universidades o crear un instituto de investigación, experimentación y desarrollo de informática social, que además ofrezca servicios de asesoría informática para que la comunidad obtenga respuestas diferentes de las que ofrecen los vendedores.

En síntesis, la informática ofrece grandes posibilidades, pero si no hay un rumbo informático determinado ningún viento es favorable a la nave que nos quiere sacar de la dependencia cultural y tecnológica, y de las deleznablez imposiciones de quienes generan el conocimiento de punta.



Notas

1. Véase *El Tiempo*, marzo 28 1995; igualmente revista *Semana*, mayo 28-abril 4 1995.
2. Centro Latinoamericano para el Desarrollo de la Inteligencia - Unesco. Montevideo, Uruguay.
3. Según la profesora Alicia Gago de Papablanco, del Celadi. Montevideo, agosto 25 1980.
4. John Self: *Computational Mathematics: The missing link Intelligent Tutoring Systems Research*. In: *New directions for ITS*. Ed. E. Costa, NATO Series, 1992.
5. Una reciente experiencia impresionante fue la convocatoria que hicimos al evento *Exposición Juvenil - Arte infantil por computador*, donde participaron más de 200 niños y jóvenes.
6. Al cabo de muy pocos años se observa en nuestro medio que los sistemas de información empresariales siguieron en lo mismo, sin incorporar subsistemas transnacionales de información. Los industriales claman venganza por el modelo salvaje que arruinó la industria local, como es el caso de los textiles del sudeste asiático, cuyo precio se puede adquirir por una fracción del costo de la producción nacional. La diferencia no sólo es mano de obra, es la utilización de manufactura apoyada por conocimiento experto (e.g. robótica), donde el desperdicio de material es cero y la producción puede atender pedidos en el volumen, la cantidad y la variedad que se quiera.
7. Véase A.L. Samuel: *Some studies in machine learning using the game checkers*. Publicado en el libro *Computers and thought*, ed. E.A. Feigenbaum & J. Feldman. McGraw-Hill, 1963.
8. Véase Víctor Manuel Gómez: *Informática y sociedad. II Congreso Iberoamericano de Informática y Educación - RIBIE*. Santo Domingo, República Dominicana, 1993. En la Universidad Nacional, el profesor Carlos Cortés Amador dicta una cátedra de Contexto sobre informática y sociedad y ha publicado numerosos ensayos sobre el tema.
9. A. Pérez Gama, Víctor H. Medina, Alcira Fernández, J.M. Sarmiento: *Aprendizaje de la ingeniería de software y la creatividad. II Congreso Iberoamericano de Informática y Educación. RIBIE CYTED-D*. Lisboa, Portugal, octubre 1994.
10. Véase UN-SEEGSI. *Un sistema inteligente de información gerencial para aprendizaje dual hombre-máquina*. Revista *Ingeniería e Investigación*, No. 30. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia.
11. Implicó aportes del presupuesto nacional por más de 30 mil millones de pesos entre 1991 y 1995, según publicaciones del Diario Oficial y las Memorias del Congreso 1994. En esta cifra no se incluyen los aportes departamentales y locales y el de las Naciones Unidas. Hasta el presente el fracaso se ha explicado por el procesamiento de la información.
12. Véase Simon Nora y Alain Minc: *Informatización de la sociedad*. Fondo de Cultura Económica, México, 1981.
13. Véase revista *Sistemas de la Asociación Colombiana de Ingenieros de Sistemas*, No. 46, 1991.
14. *Conformación de las comunidades científicas en Colombia. Tomo II, Vol. 3: Inserción social de la informática y la ingeniería electrónica*. MEN - DNP Fonade, 1990.
15. S. Davis y J. Botkim - Universidad de Harvard: *Llegaron los inteligentes*. Revista *Clase Empresarial*, Bogotá, mayo 1995.
16. Véase A. Pérez Gama: *La informática necesita más que un diagnóstico*. Revista *Ingeniería e Investigación*, No. 28, Universidad Nacional de Colombia.

Autoría de aplicaciones en

Realidad virtual...

Luis Carlos Vargas Ph.D.
(c) Computer Science
Director de Investigaciones
Científicas y Tecnológicas - FUSTER
Universidad Nacional
Santafé de Bogotá
(e-mail: fuster@hemeroteca.icfes.gov.co)

Carl Eugene Loeffler y Tim Anderson se refieren al realismo virtual como "ambientes simulados en tres dimensiones, generados en computador, que son presentados en tiempo real de acuerdo con la conducta del usuario".

Analizando esta definición:

Una dimensión podemos identificarla como una línea de comando prompt en DOS, UNIX u otros sistemas iniciales, dos dimensiones fueron popularizadas por Macintosh y Windows en su interfaz gráfica plana, y la tercera dimensión es cuando podemos visualizar las gráficas en términos de volumen: alto, largo y ancho.

El ambiente generado en el computador que responde al usuario, lo podemos relacionar con los simuladores de vuelo y videojuegos, pero obteniendo interactividad, velocidad y ocurrencia controlables, que son los elementos centrales que hacen los simuladores incorporados en los computadores de RV.

La simulación puede representar un ambiente real o puramente imaginario, puede incorporar o ignorar leyes físicas, puede llenarse con detalles reales o abstractos, pero la complejidad y multidimensionalidad que crea en los sentidos del usuario, le hace vivir su propia presencia en este ambiente simulado.

Mientras en una interfaz gráfica el usuario manipula un icono, como normalmente sucede en las aplicaciones de Windows, en una interfaz de realismo virtual el usuario es como un cursor que navega dentro de la aplicación y su presencia se manifiesta en tiempo real de acuerdo con la conducta del usuario.

Un ambiente virtual no consiste en un conjunto de puntos de vista predeterminados como lo es una película o un video, ni

es una creación estética, como lo es una gráfica de computador; es la presentación del ambiente respondiendo a las acciones del usuario, quien puede moverse dentro de la simulación adelante o atrás, a izquierda o derecha, arriba o abajo simultáneamente, viajando alrededor del mundo virtual, y la simulación es creada por el computador de acuerdo con los movimientos que desee realizar el usuario.

Tres aspectos importantes del ambiente virtual lo constituyen la **inmersión**, la **navegación** y la **interacción**.

La **inmersión** es la sensación de estar rodeado del mundo artificial en cambio de estar viéndolo en una pantalla. En ambientes computacionales el grado de inmersión puede variar significativamente, dependiendo de los periféricos disponibles e incorporados en el sistema. Unos son los simuladores básicos, con joy stick (palanca de comandos de juego), con las pantallas grandes y parlantes que permiten oír el sonido de la aplicación, y hay otros más desarrollados como el modelo de inmersión que se puede identificar como clásico, compuesto básicamente por casco y guantes, donde se puede representar un ambiente típico de alta inmersión para los usuarios practicantes del RV. El casco permite la visualización estereotipada para tercera dimensión de imágenes a color en alta resolución y un sistema de audio digital de gran nitidez, unido a un dispositivo para navegación que se realiza a través del mouse, esto es, que el usuario cuando mueve la cabeza a la izquierda, navega hacia esa dirección, lo mismo a la derecha, arriba o abajo, con una visualización de 360 grados con el solo movimiento de la cabeza. El sistema avanzado de inmersión en RV está constituido por trajes completos que están conectados con sensores, plataformas hidráulicas, elementos de locomoción antigravitacionales y otros que se coloca el usuario.

El segundo aspecto es el de la **navegación**, que significa que puede elegir su punto de vista, moverse a voluntad a través del mundo virtual en lugar de sólo ver el punto de vista del autor, como sucede en los programas tradicionales o en las películas.

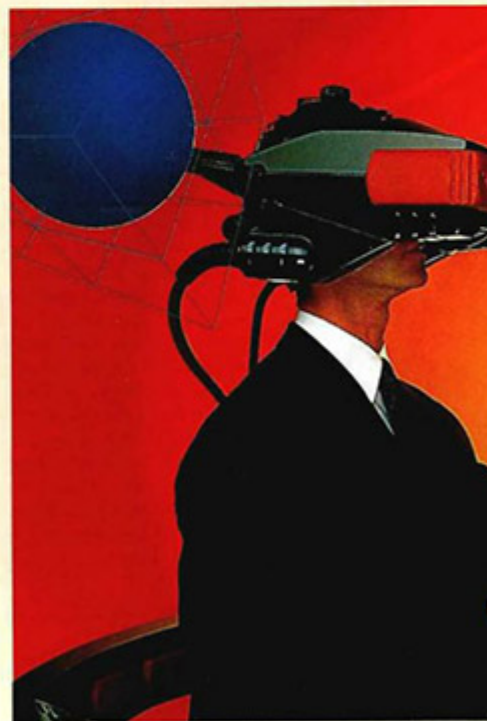
El otro aspecto de RV es la **interactividad**, que consiste en la capacidad que tiene el usuario de manipular los objetos

que se encuentran en el escenario en el que está inmerso.

A continuación podemos mirar algunas aplicaciones que se han desarrollado en sistemas computacionales y así visualizar un entorno de integración tecnológica que podemos, aquí en Colombia, proyectar hacia usos de aplicaciones propias.

Desde la década de los ochenta, un juego interactivo llamado *The Surgeon* para equipos Amiga, ha permitido interactuar al usuario con un paciente en una operación simulada. El usuario se convierte en el médico cirujano y el computador es el paciente. En la pantalla del computador se presenta el instrumental quirúrgico, los instrumentos de control, tales como medidores de presión arterial, cantidad de sangre, medicinas disponibles que se pueden utilizar en la intervención, etc., y la parte del paciente que se ha escogido para operar. Con el mouse se toman y asignan los instrumentos que se van utilizando en

un reto i



la operación; el usuario comienza realizando los movimientos de los instrumentos con el mouse, y el computador, según los procedimientos que realiza el usuario, va informando sobre el estado del paciente y cómo va la operación. Cuando el usuario no procede bien en la operación, por ejemplo, corta accidentalmente una arteria o corta un órgano vital, la pantalla del computador se tiñe de rojo indicando que el paciente fallece. Con las bases de esta aplicación se ha diseñado actualmente la simulación en RV utilizando elementos volumétricos generados en el computador así como la instrumentación y el paciente tridimensional, con el objeto de preparar personal médico en cirugías de alto riesgo.

A finales de esta misma década hubo un gran desarrollo en el procesamiento de imágenes, en la compresión y manipulación de las mismas, que junto al desarrollo de herramientas de animación en tercera dimensión, permiten la realización de objetos casi reales en las nuevas aplicaciones de RV.

Las técnicas desarrolladas en compresión y aceleración de vídeo abren nuevas posibilidades para las aplicaciones de RV, ya que permiten integrar el vídeo interactivo facilitando la realización de desarrollos de inmersión e interacción en diferentes áreas como entretenimiento, educación y entrenamiento, medicina y aplicaciones de investigación y ciencia, entre otras.

A finales de los ochenta una aplicación de telerrobótica desarrollada en los Estados Unidos en la fábrica de robots AVG Productions Inc., ha permitido manipular a control remoto los movimientos de todos y cada uno de los instrumentos de un robot espejo que está conectado con un equipo equivalente de control instalado en el usuario. Los instrumentos le permiten manipular en el robot espejo los movimientos de sus brazos, dedos, cabeza, ojos (cámaras con circuito cerrado de TV), oídos (micrófonos y comunicación incorporados), movimientos de pies a través de desplazamientos, etc.

Con este sistema de telerrobótica se están desarrollando aplicaciones de telepresencia, telecontrol basado en sensores remotos que al incorporarse con aplicaciones de RV abren grandes posibilidades para la investigación, el estudio y el desarrollo de nuevas maneras de producción y trabajo. Podría identificarse la telerrobótica como una realidad a distancia, en cuanto a inmersión e interacción se refiere.

Una aplicación que se hizo popular hace unos cuatro años, fue la de Mad Dog McCree, un juego de vídeo interactivo para computadores personales que presenta una película de acción a color en tiempo real, la cual se desarrolla en la pantalla del computador, presentando una serie de secuencias de película de vaqueros, en las que el usuario hace parte de la trama con un objetivo concreto que es dar captura al jefe de la banda de los vaqueros. Al comienzo del juego un informador le da instrucciones al usuario sobre las características de la historia a la que va a entrar a jugar. El usuario debe evitar que al informador lo maten los vaqueros. En la pantalla del computador se generan hiperbotones sobre la imagen de los vaqueros, los cuales deben ser accionados durante un tiempo determinado por el arma de fuego asignada al mouse. Si no son activados el informador muere impidiendo que el usuario obtenga información importante para el desarrollo del juego. Una vez pasada esta secuencia se presentan nuevas opciones interactivas de la misma película, que han de ser activadas sobre hiperbotones.

Para que esta aplicación pueda llevarse a realismo virtual deben incorporarse dispositivos de inmersión que pueden ser una arma de fuego simulada, o un traje en el cual si le disparan al usuario sienta a través de sensores dónde fue herido, a la vez que navega dentro de la película escogiendo sus propios escenarios.

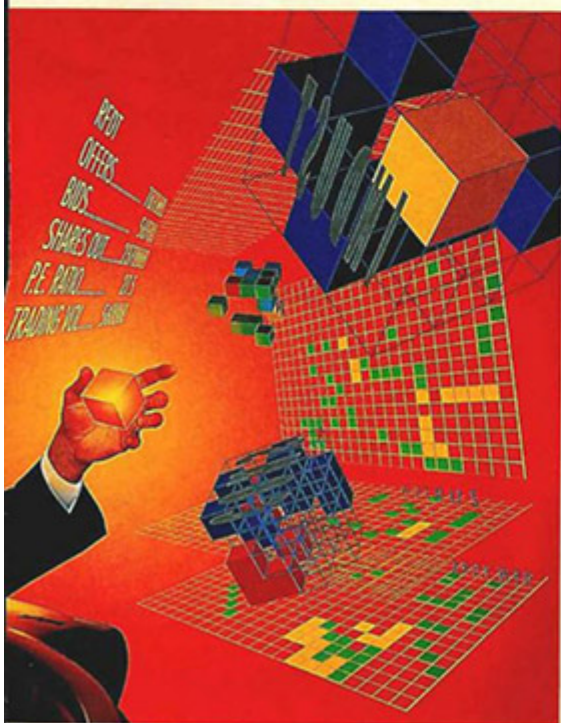
Una aplicación que se está desarrollando en la actualidad es la de RV para discapacitados. Esta tecnología, diseñada para personas que pueden mover solamente algunos músculos, puede darles herramientas para que puedan

explorar lugares y sitios de habitación virtual que les permitan interactuar en un mundo en el que ellos pueden manipular, navegar y desarrollarse como personas útiles a la sociedad y comunicarse fácilmente con el mundo que los rodea. Vemos cómo, al conectar las señales biológicas de los órganos del discapacitado, que él puede manejar, tales como ojos, cerebro, músculos, etc., con electrodos y sensores del sistema RV, éste le permite generar movimientos controlados a su voluntad y así obtener habilidades de comunicación con un mundo nuevo que debe aprender a interpretar, permitiendo que se sienta mejor consigo mismo y abriendo toda una nueva vida para ellos.

El pasado mes de noviembre de 1995, en el marco de COMDEX en la ciudad de Las Vegas (Estados Unidos), se produjo el lanzamiento de un sistema hardware-software por parte de la compañía Creative Labs, una de las promotoras de kits de multimedia más importantes del mundo, el llamado Blaster 3D. Esta nueva generación de juegos permiten interacción directa con el computador en navegación en tercera dimensión, y está basada en: programas, un joy stick (o palanca de control de juego) y una tarjeta aceleradora de gráficas a color de alta resolución, que se instalan en un computador personal (486 o mayor). El sistema Blaster 3D permite interactuar en el juego, navegando de frente en el monitor en tres dimensiones, con muy buena definición y calidad de gráficas (estas gráficas animadas son generadas en programas como 3D Studio, Topas Pro, TrueSpace2, Alias, etc.). Teniendo como comandos los controles del joy stick, puede operarse el sistema a diferentes velocidades (según la aplicación). La utilización de estos nuevos juegos acerca más al usuario al uso de sistemas interactivos, de navegación y visualización fácilmente adaptables a sistemas de inmersión, condiciones requeridas para las aplicaciones de RV.

FUSTER (Fundación para el Desarrollo de la Salud y la Ciencia) ha incurrido en las tecnologías de autoría RV, vídeo interactivo, multimedia y comunicaciones, en sus dos proyectos fundamentales: **telemedicina y teleducación**. Tomando como respaldo aquí en Colombia la ley 29 de 1990 de ciencia y tecnología, está promoviendo realizar, con instituciones de salud, educación e investigación, convenios especiales de cooperación a través de los cuales se aporte el conocimiento, la transferencia de tecnología y la investigación con el fin de producir conjuntamente material didáctico, asesorías y servicios de alta tecnología aplicados a estas áreas.

teresante



Revolución de la información y armonía mundial



ación



Marcelo Alonso
Florida Institute of Technology

Introducción

Es responsabilidad de académicos, líderes religiosos y dirigentes políticos buscar formas de contribuir al logro de la armonía mundial; para ello deben poseer una clara comprensión de los desafíos que afrontan las sociedades contemporáneas, entre otros la revolución de la información. El término **armonía** tiene diversas connotaciones; en este caso lo empleo en el sentido de concertación y acuerdo —en las acciones, creencias, ideas y valores— que conduzcan a relaciones amigables, entendimiento mutuo y tolerancia entre los pueblos, sin perjuicio de sus diferencias culturales. Por **cultura** entiendo formas de vida inculcadas en los individuos desde su nacimiento, y transmitidas de una generación a otra, que se manifiestan en comportamientos, tradiciones, arte y religión.

La diversidad cultural hace al mundo interesante, aunque muchas veces puede constituirse en fuente de conflicto o desacuerdo. Una comunidad más o menos aislada puede preservar su cultura y mantener cierto nivel de armonía entre sus miembros (quizá una de las razones por las cuales muchos gobernantes han tratado de mantener a su gente libre de influencias externas). Sin embargo, es bien sabido que cuando una comunidad se abre a la influencia de otras, especialmente si tiene que compartir el espacio, o trata de imponer su cultura, pueden surgir conflictos a menudo difíciles de resolver, como lo demuestra la historia incluso hasta nuestros días. Esto se debe en parte a que muchos aspectos de una cultura, como ideología, valores y religión, son difíciles de modificar o ajustar en aras de la coexistencia. Cuando este hecho se combina con la intolerancia se convierte en un severo impedimento para la armonía entre pueblos y culturas.

Desde el comienzo de la civilización la interacción entre pueblos y comunidades se ha llevado a cabo a través de la comunicación

entre personas. Durante el tiempo en que los medios de comunicación fueron básicamente orales y visuales la interacción entre culturas fue limitada, lenta y restringida a ámbitos locales. El rápido aumento de medios de comunicación ocurrido en los últimos cien años ha incrementado notablemente las interacciones culturales en todo el mundo, convirtiéndose en un fenómeno global que recibe considerable atención. Una cuestión de relevancia para el mundo actual es la de si, pese a que los viajes y las comunicaciones veloces son comunes, se hace cada vez más difícil lograr la armonía entre culturas. Me propongo examinar esta situación, explorando la influencia de los medios de comunicación en las relaciones culturales y los desafíos que éstos plantean, tanto a los individuos como a las sociedades. Cualquier cosa que facilite la comunicación libre y abierta entre los pueblos contribuye a la armonía de culturas, es decir, a la armonía mundial. De ahí el gran potencial de la revolución de la información, aunque existe la posibilidad de que muchos pueblos no puedan participar en ella o la usen de manera inadecuada, con consecuencias negativas para el planeta. Por ello, la revolución de la información no es simplemente tecnológica, sino también social y ética.

Conocimiento, información y comunicación

Las civilizaciones y sus respectivas culturas surgen y evolucionan como resultado de la adquisición gradual de **conocimiento** del ambiente físico y sus individuos. Parte de este conocimiento se adquiere en forma natural, básicamente a través de la experiencia diaria personal, y parte de fuentes externas, en la mayoría de los casos mediante la educación, la observación y la investigación. A medida que aumenta el conocimiento las civilizaciones evolucionan y cambian, emergen nuevas y las culturas se ven profundamente afectadas e incluso remplazadas. Para que el conocimiento sea efectivo y útil debe ser transferido, divulgado y, cuando sea pertinente, aplicado al mejoramiento de la calidad de vida mediante un proceso de innovación tecnológica (producción de bienes, artefactos y servicios) que afecta a su vez a la cultura y plantea dilemas morales y retos económicos e incluso promueve crisis personales y sociales; en otras palabras, el conocimiento es factor primordial de cambio social y cultural.

► La revolución de la información no es simplemente tecnológica, sino también social y ética.

Por **comunicación** entendemos el proceso de transferencia de conocimiento entre individuos. La manera más efectiva de comunicar conocimiento es expresarlo en forma codificada. Por **información** entendemos conocimiento codificado (los genes contienen instrucciones pero no información). Solamente los seres humanos parecen capaces de codificar conocimiento y expresarlo de

manera tal que pueda ser intercambiado, almacenado, recuperado y transmitido a otras personas y a generaciones futuras. Obviamente, para que la información sea útil, emisor y receptor deben emplear métodos comunes de codificación y decodificación. La información difiere del simple conocimiento en cuanto que permite organizarlo, recolectarlo, procesarlo y movilizarlo, confiriéndole un valor adicional. Algunos autores sostienen incluso que la información puede ser cuantificada¹, pero su definición es más restringida que la utilizada en este artículo.

La forma más simple de conocimiento codificado es el **lenguaje**, el cual implica palabras —unidades escogidas arbitrariamente— y una sintaxis para combinarlas de manera que tengan significado. La invención del lenguaje constituyó un primer paso en la evolución de la información, con consecuencias de largo alcance y significativo impacto cultural. El lenguaje escrito representó un enorme avance en el campo de la información, ya que hizo posible la transferencia de conocimiento codificado sin que los interlocutores tuviesen que verse y facilitó el almacenamiento de información y su transmisión a generaciones futuras. Por tal razón el profundo impacto cultural del lenguaje escrito es incuestionable. El estadio escrito del proceso de evolución de la información se consolidó en el siglo XV con la invención de la imprenta de caracteres móviles, primera innovación tecnológica en el campo de la información. La imprenta no cambió la forma de codificar el conocimiento, pero sí facilitó la difusión de información escrita en el tiempo y el espacio, haciendo de la lectura una importante herramienta de vida. Aunque la información impresa constituyó un paso crucial para la interacción cultural, siguió siendo un medio lento y limitado de difusión e intercambio. No obstante, contribuyó al surgimiento de sociedades modernas y a la armonía entre culturas.

La siguiente etapa crucial para la evolución de la información, que yo llamo **etapa electromagnética**, se inició en la segunda mitad del siglo XIX, como resultado de una mejor comprensión de los fenómenos electromagnéticos en general y del comportamiento de los electrones en los metales, en particular. La invención del telégrafo (1830) fue una importante innovación tecnológica que

permitió la transmisión de mensajes a gran velocidad, utilizando un nuevo código, el alfabeto Morse, que en cierto sentido puede considerarse el precursor del sistema digital moderno. Sin embargo, el telégrafo no tuvo un impacto cultural significativo, a causa de la limitación del tipo y la cantidad de información transmitida y de su acceso restringido. Un paso más importante en la evolución electromagnética de la información, con impacto cultural real, fue la invención de los **tubos de electrones o válvulas** (diodos, triodos, etc.), basados en la emisión de electrones por calentamiento de alambres metálicos (1885). Combinados con circuitos especiales, estos tubos facilitaban la emisión y absorción de ondas electromagnéticas —descubiertas en la segunda mitad del siglo XIX—, abriendo paso al uso de señales electromagnéticas para la transmisión y recepción casi instantánea de información por teléfono, radio y televisión. La tecnología electrónica cambió radicalmente la forma de comunicación, interacción y aprendizaje de los individuos, y amplió las posibilidades de intercambio cultural. Yo diría que este fue el comienzo de la **aldea global**, término acuñado por M. McLuhan².

¿Contribuyó el estadio electromagnético de la evolución de la información a la armonía entre culturas? Sí y no: ha sido un importante factor de armonía cultural y conocimiento mutuo, ya que facilita, con algunas limitaciones, el acceso a la información en todos los niveles y el intercambio de ideas. Por otra parte, existe el riesgo de manipulación, influencia inadecuada e incluso control del pensamiento y el comportamiento por parte de grupos de intereses particulares y regímenes dictatoriales. Las nuevas tecnologías de información plantean además un serio reto para los sistemas democráticos, cuyos gobiernos pueden sentirse tentados a regular e intervenir la información para asegurarse de que sea «verdadera», «objetiva» y «exacta».

► La tecnología electrónica cuántica ha hecho posible amplificar el poder del cerebro humano.

Electrónica cuántica y tecnología de la información

En las últimas dos décadas la tecnología de la información, o **infotec**, ha entrado en una nueva etapa, adquiriendo proporciones revolucionarias. Yo la llamo **etapa electrónica cuántica** porque, aunque se trata de una combinación extraordinaria de tecnologías conocidas y nuevas, depende críticamente del comportamiento cuántico de electrones y fotones en ciertos materiales:

semiconductores, fibras ópticas y láseres. Esta tecnología ha hecho posible amplificar el poder del cerebro humano, tal como los motores de vapor y combustión interna multiplicaron el poder de los músculos.

La mayoría de los artefactos utilizados en la nueva etapa se basan en las propiedades electrónicas del silicio (aunque también se han usado otros elementos químicos), elemento abundante y poco costoso (la arena es óxido de silicio). Los átomos de silicio son similares a los del carbono pero tienen algunas diferencias (un nivel completo de 8 electrones adicional) que alteran las propiedades eléctricas. El gradiente eléctrico en el último nivel de electrones del silicio es pequeño (aproximadamente 1.14 eV) comparado con el del carbono (5 eV), lo cual hace de él un semiconductor. Los *semiconductores* son sustancias cuya conductividad eléctrica aumenta con la temperatura, a diferencia de lo que sucede con los metales. Dos tipos de semiconductores, **n** y **p**, pueden obtenerse al introducir impurezas cuyos átomos contienen más o menos electrones.

Los *transistores*, descubiertos en 1949 por Bardeen y Brattain, son combinaciones de conductores **n** y **p** que realizan las funciones de los tubos de electrones, con menor consumo de energía, tamaño inferior y mayor confiabilidad. Los *chips* son combinaciones de transistores, en ocasiones millones, dispuestos en circuitos especiales en el corazón de computadores y sistemas de control. En los transistores los electrones se comportan en forma bastante diferente a la observada en alambres metálicos o tubos de electrones. La mecánica cuántica, teoría desarrollada hacia 1925 para explicar las propiedades fundamentales de la

materia (átomos, moléculas, sólidos, etc.), describe dicho comportamiento. Por esta razón la ciencia que trata de las propiedades electrónicas de los materiales, en particular de semiconductores y transistores, se denomina **electrónica cuántica**.

Los *rayos láser* (amplificación de luz por emisión de radiación de luz estimulada), que encontramos en los CD, LD y CD-ROM y otras aplicaciones, son tecnologías relacionadas con la electrónica cuántica, básicas para la infotec. Los láseres son artefactos que dependen del comportamiento cuántico de los electrones en ciertos átomos, moléculas y sólidos cuando interactúan con fotones o con radiaciones electromagnéticas (microondas, infrarrojos, luz). Otra tecnología electrónica cuántica clave para los sistemas modernos de información es la de las *fibras ópticas*, desarrolladas en los años 50. Son filamentos largos y delgados (del orden de los micrómetros) de cristal de sílice extremadamente puro (también se usan otros materiales), que transmiten señales electromagnéticas con muy poca atenuación y distorsión, gran compresión y amplitud de espectro. Las fibras ópticas transmiten información en forma de rayos modulados de fotones, remplazando en muchos casos la transmisión por cables metálicos o por ondas electromagnéticas. El estudio de la interacción fotones-materia se denomina **fotónica** y combinado con la electrónica cuántica constituye una nueva rama de la física llamada **optoelectrónica**. El almacenamiento magnético de la información (cintas de audio y video, disquetes, etc.), basado en las propiedades subatómicas de las partículas, es fundamental en el manejo de la información. Otras tecnologías de la información, como la comunicación vía satélite y las pantallas de cristal líquido, se basan también en las propiedades eléctricas y magnéticas de la materia³.

La **digitalización**, es decir, la codificación de la información en forma digital, utilizando el sistema numérico binario o bits (dígitos binarios) en cambio del análogo, es posible gracias a una propiedad de los transistores, llamada *electron gates*, que permite la transmisión de señales (abierto: 1) o su interrupción (cerrado: 0). Con el sistema binario cualquier número, letra o símbolo puede ser codificado en forma única mediante una secuencia de ocho bits que constituye un byte. La ventaja de la codificación digital radica en que cada unidad de información es expresada en forma única y precisa; la reducción de ruido y errores permite optimizar los procesos de manipulación, transmisión, almacenamiento y recuperación de información³.

Revolución de la información y armonía mundial

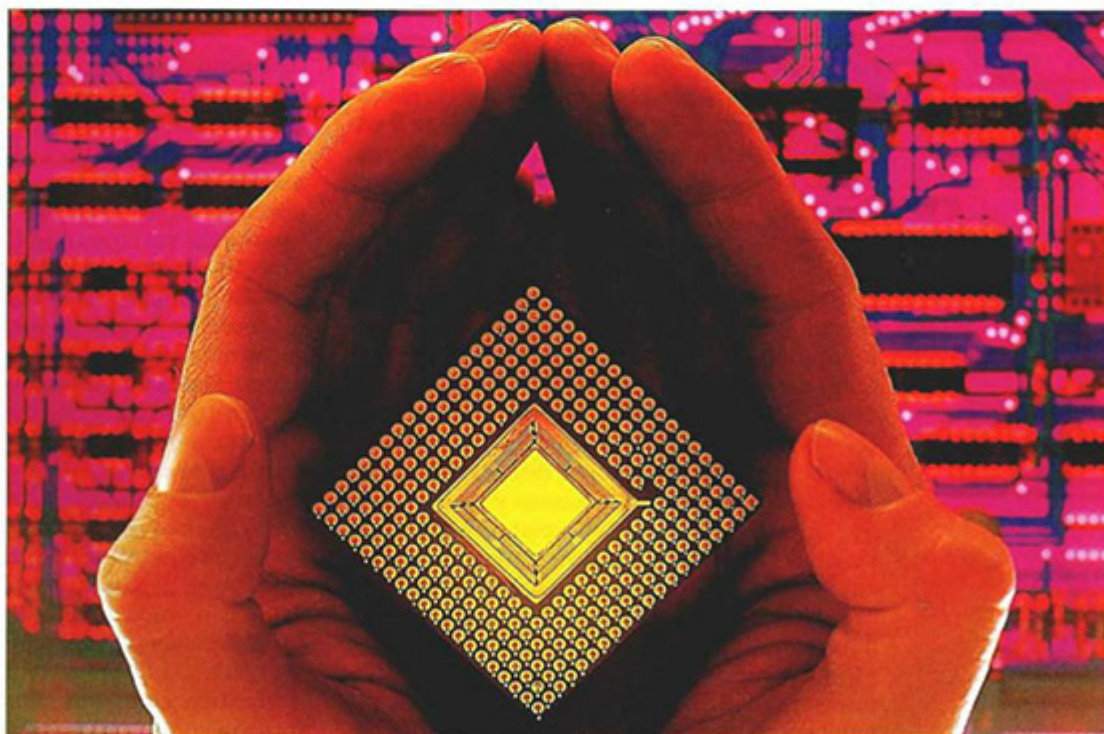
Esta perspectiva de algunos desarrollos científicos, que han tenido lugar en un corto período de tiempo, muestra cómo se hizo posible la revolución tecnológica que ha permitido la manipulación rápida y precisa de grandes cantidades de información, facilitando la comunicación entre individuos de todo el mundo y cambiando su forma de vivir, trabajar, aprender, funcionar e incluso pensar.

La tercera cultura

Desde mediados del siglo XIX, la investigación científica y la innovación tecnológica han adquirido mayor sofisticación y complejidad a un ritmo acelerado. Después de la II Guerra Mundial, con el surgimiento de sociedades postindustriales dedicadas a la producción sistemática de conocimiento científico y aplicaciones tecnológicas, la comunidad científica se convirtió en un grupo importante, pero en cierta manera aislado de los demás componentes de la sociedad y menos reconocido que, por ejemplo, artistas y escritores. Una posible explicación radica en que los científicos tienen una forma de codificar el conocimiento (conceptos, terminología, ecuaciones, símbolos, etc.) difícil de comprender para la población general.

Partiendo de este hecho, C.P. Snow⁴ introdujo la idea de la existencia de dos culturas globales, que trascienden etnias y tradiciones: la **científico-técnica**, que, si bien influye con sus ideas, investigación y acciones, tiene una comunicación con el público muy limitada; y la **humanístico-literaria** (escritores, abogados, filósofos, líderes religiosos), de mayor contacto directo con la población y dependencia cultural. La diferencia de sus lenguajes y paradigmas conceptuales reduce la posibilidad de comunicación entre las dos culturas. En mi opinión, esta situación ha dificultado la armonía intercultural.

El desarrollo acelerado y permanente, en diversidad e importancia, de la investigación científica y las innovaciones tecnológicas, afecta actualmente muchas áreas de interés público y obliga a los responsables de la toma de decisiones y al público general a tratar de entender, o por lo menos tomar conciencia de cuestiones científicas y tecnológicas (genética, ambiente, energía, exploración espacial, etc.). Como resultado de ello ha surgido una **tercera cultura**, aunque no en el sentido visualizado por C.P. Snow en 1963, cuando predijo que la brecha entre las dos culturas se cerraría eventualmente, o en el sentido más limitado sugerido por J. Brockman⁵ de lograr una comunicación directa entre científicos y público en general. Personal-



mente concibo la tercera cultura como un nuevo ambiente intelectual global que reúne los aspectos más relevantes para las sociedades tecnológicas y en el cual participan todos los ciudadanos, independientemente de su trayectoria individual. En otras palabras, lo que tradicionalmente ha sido llamado «ciencia» se ha integrado a la cultura pública. Manejar problemas científicos se ha convertido en práctica cotidiana, dentro de las limitaciones profesionales inherentes, para todos los medios de comunicación, como también se ha hecho popular el que los científicos difundan sus ideas en libros, artículos, programas de televisión, etc.

El éxito de la tercera cultura depende de que ésta pueda cubrir una amplia audiencia y contribuir a la comprensión razonable del mundo en que vivimos y al desarrollo de un nuevo tipo de relación humana. Por desgracia, esta tarea está lejos de ser lograda. Una de las posibilidades de consolidación de la tercera cultura es la educación, la cual constituye también un proceso de información. Sin embargo, la mayoría de los sistemas educativos están aún lejos de incorporar la tercera cultura. De cualquier manera, estoy convencido de que una sólida tercera cultura global es esencial para alcanzar y mantener la armonía en el mundo.

La revolución infotec actual es uno de los aportes más significativos para la expansión de la tercera cultura, porque simplifica el proceso de intercambio de información y facilita la comunicación entre personas sin importar qué tan distantes se encuentren, así como por la variedad de información (científica y no científica, educativa y no educativa, relevante y trivial) que puede intercambiarse, a gran velocidad y con mucha precisión. Una tercera razón es que las personas son inducidas a utilizar innovaciones tecnológicas (fax, teléfono celular, computadores) y, lo quieran o no, están expuestas a conceptos técnicos y algoritmos nunca antes escuchados, aunque su significado no sea totalmente entendido por la mayoría. Como resultado emerge un nuevo vocabulario *universal* desarrollado por aquellos que participan en la revolución de la información. Los individuos no solamente tienen conciencia de la existencia de átomos, electrones, transistores y láseres, sino que además deben trabajar con terabits, gigabytes, RAM, DRAM, ROM, megahertz, modems, etc. Supongo que esta circunstancia contribuirá a la armonía entre culturas, aunque debemos admitir que la tercera cultura requiere mayores niveles de educación y responsabilidad por parte de todos los pueblos del mundo, independientemente de sus tradiciones. No obs-

tante, debemos ser conscientes de un efecto potencialmente negativo: los pueblos que no están involucrados en la tercera cultura y en la revolución infotec pueden ser dejados atrás, convirtiéndose en una nueva clase de analfabetas de la información, lo cual podría ponerlos en condiciones de inferioridad relativa. Otra cuestión que aún no ha sido totalmente explorada por psicólogos y sociólogos es la de si el hecho de compartir y utilizar información en el interior de un grupo social, es decir, **información grupal**, lo hace más armónico o más «inteligente». Dos preguntas relacionadas serían las relativas a las implicaciones sociales: la manipulación grupal de la información en beneficio propio y la manipulación de otros por parte de un grupo.

El computador y la revolución de la información

Uno de los componentes de la revolución de la información, que ha hecho posible que ésta alcance proporciones globales, es el **computador personal (PC)**. El omnipresente computador, combinación única de transistores (hardware) e instrucciones lógicas (software), ha penetrado en oficinas, laboratorios, hospitales, empresas, industrias, colegios y hogares, aprovechando el hecho de que los seres humanos procesan la información visual bastante bien. Como lo fueran previamente los libros, los computadores con modem se han convertido en una forma de vida, una extensión de la inteligencia humana, una especie de simbiosis individuo-computador que obliga a las personas a adquirir nuevas destrezas en la misma forma en que los niños tienen que aprender a leer y escribir. Es difícil imaginarse un mundo sin computadores, aun para personas que, como yo, crecieron sin ellos. Aún no pueden competir con el pensamiento racional del cerebro humano, pero son millones de veces más poderosos en el campo de las operaciones lógicas y matemáticas.

En 1947 Norbert Wiener⁶ inició una nueva línea de investigación, la **cibernética**, para estudiar el campo de la teoría y el control de sistemas de comunicación, tanto en animales como en máquinas, y su posible aplicación en sistemas electrónicos que simulen redes neurales, área de gran importancia para el diseño de mecanismos de retroalimentación y robots, programados por un computador. Sin embargo, con los años se ha comprobado la dificultad de simular completamente sistemas neurales usando computadores, particularmente en lo

Revolución de la información y armonía mundial

► La CMC global se ha hecho relativamente simple y accesible para un gran número de usuarios en todo el mundo, lo cual comporta significativas implicaciones culturales.

que respecta al pensamiento racional, percepción y movimiento.

Por sí mismo, un computador, no importa qué tan poderoso sea, no es suficiente para producir una revolución informática. Lo que la ha hecho posible es el vínculo bidireccional de los computadores que les permite intercambiar información. Un enlace de varios computadores constituye una **red de computadores**. Existen varias formas de establecer enlaces de comunicación; la más simple y ampliamente utilizada emplea líneas telefónicas mediante el llamado modem (modulador-demodulador). El intercambio de información a través de computadores en red se denomina **comunicación mediada por computador**

(CMC). Cuando las redes de computadores se combinan con las tecnologías más tradicionales de teléfono, radio y televisión, incorporando datos, sonido y video, el resultado es lo que llamamos **sistemas multimedia de información**, los cuales han aportado una nueva dimensión a la comunicación.

Por varios años, las redes de computador internas cerradas se utilizaron para propósitos específicos, como por ejemplo la comunicación entre oficinas de una misma empresa y sistemas de reserva de tiquetes en aerolíneas y transporte férreo; más recientemente, la CMC ha evolucionado para cubrir un espectro mucho más amplio que incluye teleconferencias, correo electrónico, boletines electrónicos, ventas, etc., en redes abiertas. Estas aplicaciones, considerablemente expandidas, de la CMC se han facilitado con el **internet** (o simplemente net), red de varios miles de redes de millones de computadores interconectados aleatoriamente y redes de telecomunicación permanentes. Entrar a internet es fácil usando software especial, como el Mosaic, programa que permite acceder al **World Wide Web**, conjunto de unos cuantos miles de computadores independientes distribuidos en todo el mundo, que ofrece gran diversidad de datos, o mediante servicios de línea comerciales (CompuServe, Prodigy, America Online, etc.).

Internet surgió hace unos 20 años como proyecto militar (ARPAnet); en 1984 se extendió su uso a la población civil, con la NSFnet como columna vertebral, y desde entonces ha crecido rápidamente. En la actualidad más de 50 millones de personas en todo el mundo tienen alguna vía de acceso a internet, lo que le convierte en un auténtico sistema de comunicación global, pese a que en muchos países y regiones aún no existe la conexión a internet o no está muy extendida. Recientemente han aparecido otras redes para propósitos especializados o comerciales, como compras, operaciones bancarias, publicidad o investigación científica. La NSFnet, por ejemplo, conectó algunos centros de cómputo y laboratorios de los Estados Unidos, proporcionando un servicio usado por casi todos los científicos del país (en abril de 1995 la NSFnet se privatizó y se establecieron nuevos enlaces de investigación). No es necesario entrar a considerar aquí las múltiples avenidas de información disponibles dentro y fuera de internet. El punto importante para nuestro propósito es reconocer que la CMC global se ha hecho relativamente simple y accesible para un gran número de usuarios en todo el mundo, lo cual comporta significativas implicaciones culturales.

Antes del advenimiento de la CMC, la comunicación entre individuos era personalizada y geográficamente localizada (uno a uno) o impersonal y controlada por unos pocos, como la proporcionada por las redes de medios masivos de comunicación (uno a muchos). Internet ha cambiado esta situación. En primer lugar, la comunicación se ha transformado en «muchos a muchos», en el sentido de que cualquier persona con acceso a la red puede usar la información disponible o comunicarse con otros; puede, además, publicar información en la red, sin restricciones o limitaciones, lo cual involucra ciertos riesgos, por ofrecer un canal que puede ser utilizado para difundir información inadecuada o incluso desinformar. En tercer lugar, la CMC de internet se ha hecho cada vez más cognitiva e impersonal. No importa con quién nos comunicamos, qué clase de persona es o dónde está; lo que cuenta es la calidad y naturaleza de la información transmitida y la capacidad de los interlocutores para mantener un intercambio significativo. Las personas pueden permanecer comunicadas y disfrutar de relaciones electrónicas prolongadas sin siquiera conocerse ni expresar sus emociones. Para compensar esta situación se han diseñado iconos, llamados *emoticons*, que comunican expresiones faciales (lo cual no es

suficiente para revelar emociones auténticas); sin embargo, no puede decirse que la CMC esté siempre desprovista de emoción: cuando alguien publica algo inadecuado en internet, puede provocar furiosos comentarios, reacción conocida como «llamear» (flaming).

Podemos decir que la CMC ha dado lugar a una especie de democracia, o ágora, electrónica, transcultural, inexpresiva, sin diferencias de clase, que quizá va en contra de la naturaleza humana o, tal vez, está creando una diferente. La necesidad de comunicación cara a cara está tan integrada a la naturaleza humana que, a menudo, quienes sostienen una relación a través de la CMC sienten la urgencia de encontrarse y en muchos casos se han enamorado e incluso contraído matrimonio.

En un nivel más extenso observamos la aparición de comunidades virtuales⁸. Una sociedad implica, en general, un grupo de personas que comparten cultura y espacio vital; los lugares donde interactúan las personas de un grupo social (sitio de residencia, trabajo, etc.) son esenciales para la convivencia. La CMC ha cambiado esta imagen con la aparición de comunidades virtuales; grupos de personas dispersas geográficamente que comparten algunos intereses comunes utilizan la CMC para interactuar, comunicarse y establecer relaciones. Las comunidades virtuales trascienden las fronteras nacionales y las barreras culturales, no tienen sitios convencionales de reunión y se mantienen unidas gracias a intereses e ideas comunes. Por tanto, es válido preguntarse si las comunidades virtuales pueden ayudar a los ciudadanos a revitalizar la democracia y promover relaciones transculturales genuinas, o si existe el peligro de que atraigan a las personas hacia sucedáneos del discurso democrático y la relación humana auténtica. En otras palabras, ¿son las comunidades virtuales un paso hacia adelante en el proceso de armonización cultural? En principio yo diría que sí, pero debemos ser muy cuidadosos si queremos evitar una deshumanización de las relaciones.

La variedad y riqueza de la información existente en las redes de computadores, que puede ser recuperada, transmitida e intercambiada, no reside en un lugar o espacio físico, como sucede con los libros de una biblioteca, sino en el llamado *ciberespacio*, término introducido por W. Gibson⁹ en su novela de ciencia ficción *Neuromancer* publicada en 1984, antes de que la revolución de la información estuviese en pleno desarrollo. Se entiende por ciberespacio un espacio conceptual en el cual las personas interactúan utilizando la CMC para



intercambiar palabras, datos, fotos, ideas, establecer relaciones, incluso ejercer poder. El término ha llegado a ser tan popular que ha dado lugar, a su vez, a otros términos relativos a usuarios específicos de la CMC (cibernautas, cibernoops y ciberdevians) y actividades específicas (ciberdinero, cibersoftware, ciberoficina, ciberarte, ciberjuegos, incluso cibersexo). De hecho, el término y sus diversas variaciones se han convertido en parte de nuestro lenguaje común, constituyendo quizá otra contribución a la tercera cultura.

Una institución que puede ser sacudida hasta sus mismas raíces por la revolución de la información y la emergencia de comunidades virtuales es la universidad. Tradicionalmente, la universidad tiene tres funciones: generación, preservación y transmisión de conocimiento. Con la nueva tecnología de la información, la forma de desempeñar estas funciones está cambiando rápidamente, aprovechando las redes de computadores. La proximidad física ya no es necesaria para intercambiar ideas, tampoco lo es ir a la biblioteca para obtener información ni estar en el salón de clase para transmitir conocimiento. Todas es-

Revolución de la información y armonía mundial



tas funciones pueden realizarse en el ciberespacio, con un ahorro notable de tiempo y dinero. En cierto sentido, estamos presenciando el surgimiento de una red universitaria global, una auténtica comunidad virtual de académicos, aunque no una «universidad virtual» (o ciberuniversidad) estrictamente hablando, porque las universidades continuarán existiendo como institución. Será, en cierta forma, la concreción moderna del proverbio chino: «Un escolástico puede aprenderlo todo sin siquiera salir de su hogar»; sin embargo, no tendrán que cubrir todos los campos, y se harán más pequeñas y altamente especializadas, sin que ello implique una pérdida académica o una limitación de sus funciones. Este previsible abandono de la idea tradicional de universidad plantea un serio desafío para la comunidad académica y quienes la apoyan.

En un nivel más alto de sofisticación, muy por encima de la CMC, se encuentra en proceso de desarrollo una nueva posibilidad llamada **realidad virtual**¹⁰, que utiliza el ciberespacio en forma más elaborada. Los sistemas de realidad virtual consisten en una representación tridimensional, generada por computador, de

un espacio real en el cual el usuario se «sumerge» totalmente utilizando diferentes transductores sensoriales. Los sistemas de realidad virtual son muy complejos y hasta la fecha no tienen muchas aplicaciones (una de ellas es el entrenamiento de pilotos de avión); personalmente no preveo que tengan un impacto cultural inmediato. Sin embargo, una versión limitada de realidad virtual se encuentra disponible en programas que permiten al usuario construir objetos virtuales y manipularlos navegando a través de cibermundos diseñados por él¹¹. Estos programas de realidad virtual limitada no cuentan con la inmersión sensorial característica de la auténtica realidad virtual; semejan más bien una mirada al mundo exterior a través de una ventana, la pantalla del computador, sensación distinta de la experimentada al estar «fuera», haciendo parte del mundo. Aun así, son lo suficientemente «realistas» para tener múltiples aplicaciones de importancia en investigación, educación, arquitectura, medicina, ingeniería, diseño industrial, arte, entretenimiento, etc. Algunos permiten, por ejemplo, visitar cualquier museo del mundo sin salir de casa y, utilizando internet, intercambiar la experiencia, algo que tiene ciertamente valor cultural.

En su versión más elaborada los sistemas de realidad virtual limitada constituyen una fusión de tecnología de computador, animación, simulación, robótica, comunicaciones de fibra óptica y artefactos de alta tecnología. Quizá las aplicaciones más impactantes de realidad virtual son las utilizadas para entrenamiento, diagnóstico y tratamiento médicos¹². La *telemedicina* permite a un especialista de un gran hospital urbano examinar directamente a un paciente distante, que puede encontrarse en un centro de salud rural, y revisar su historia clínica; la *telecirugía* hace posible que un cirujano opere a un paciente que se encuentra en otro país.

Es claro que el acceso a la infotec no es simplemente cuestión de preferencia o interés, sino de necesidad real, puesto que es crucial para el funcionamiento de una sociedad moderna. ¿Existe, entonces, para aquellas que sí tienen acceso, algún tipo de obligación moral de ayudar a las que no lo poseen? No se me ocurre en qué forma podría cumplirse con dicha obligación, como no sea donando computadores y millas de fibra óptica o concediendo préstamos blandos que permitan mejorar los sistemas de comunicación de los países menos desarrollados. Muchos de ellos, que ya cuentan con ese tipo de créditos, recurren a «atajos tecnológicos», decidiendo, por ejemplo, instalar microon-

das y sistemas de comunicación digital celular, y optan por aprovechar las redes inalámbricas en cambio de mejorar sus deficientes redes telefónicas porque, en general, es menos costoso, aunque pueda no ser así para el usuario individual y no beneficie a todos.

La infotec tiene, además, un impacto en la vida familiar. Tradicionalmente la relación y la cohesión familiares se fortalecían compartiendo intereses y espacios comunes: comidas, deportes, reuniones, televisión. Con la entrada de computadores y sistemas multimedia en los hogares existe el peligro de que disminuya la unidad familiar. Cada miembro de la familia quiere tener su propio sistema y jugar con él, como sucedió en el pasado con la radio y la televisión. Los más jóvenes se están convirtiendo en adictos al computador, mientras que sus mayores tienen aún algo de dificultad para usarlos y disfrutarlos. Buscando remediar esta situación, muchas comunidades estadounidenses ofrecen cursos especiales para adultos, con resultados muy positivos, especialmente en el caso de personas que ya no disfrutaban las actividades al aire libre o tienen algún tipo de impedimento para movilizarse. Senior Net, servicio especializado para personas de

edad, les permite conversar, conocer personas de distintas partes del mundo, intercambiar ideas y solicitar consejos y servicios. Cuando los adultos pueden compartir el placer que experimentan los jóvenes al utilizar el computador, surge un nuevo tipo de unión familiar.

Existe, por otra parte, la posibilidad de que los jóvenes accedan a información inapropiada, establezcan ciberrelaciones indeseables (por ejemplo, con ciberdepredadores pedófilos) o se conviertan en adictos a la contracultura (cibercultura) que está surgiendo en internet; sus miembros, llamados *ciberpunks*, son básicamente jóvenes que cultivan la música rap, la psicodelia, los estimulantes y actitudes similares a las de la cultura pop subterránea y anárquica de los rebeldes o hippies de los 60; con el agravante de que, gracias a la infotec, la cibercultura es más accesible para los jóvenes de todo el mundo y su impacto social potencial mucho mayor. Quizá lo que se requiere es proporcionar a los usuarios de internet más información de entretenimiento que contribu-

ya a reforzar valores individuales, familiares y sociales¹⁴.

La educación es un campo en el cual la infotec, utilizada de manera adecuada, está llamada a producir innovaciones significativas, cambiando los procedimientos de enseñanza-aprendizaje y la relación profesor-alumno. Los computadores no reemplazan a profesores y libros, pero, con software apropiado (como el CD-ROM), pueden complementarlos, ofreciendo a los estudiantes más flexibilidad en el aprendizaje y la posibilidad de explorar mundos a los que no pueden acceder directamente, realizar experimentos virtuales que no

podrían llevar a cabo en su laboratorio, desarrollar ideas, adquirir nuevas destrezas mentales e interactuar con estudiantes de otros colegios y países. Sin embargo, es necesario cuidar de que los alumnos expuestos a la educación asistida por computador no se conviertan en adictos que oprimen botones y navegan en el ciberespacio sin prestar atención a contenidos y esencia y evitando el trabajo del mundo real, indispensable para la adquisición de destrezas básicas como leer, escribir y hacer cálculos aritméticos y algebraicos. Además, puesto que

► La educación es un campo en el cual la infotec está llamada a producir innovaciones significativas.

no todos los colegios pueden ser apropiadamente dotados con computadores, existe el peligro de crear dos sistemas paralelos de educación, según tengan o no acceso a la infotec. Un área aún insuficientemente explotada es la de la *edudiversión*, combinación de aprendizaje y entretenimiento que, si bien puede ser muy atractiva, conlleva el riesgo de trivializar la información.

Los sectores económico y empresarial también se han visto afectados por la infotec. Aunque el crecimiento económico depende de la producción de bienes y servicios, las empresas necesitan cada vez más los sistemas de telecomunicación para mejorar su productividad y procesos de mercadeo. El uso de robots dirigidos por computador en la fabricación de productos va en aumento creciente, por cuanto facilita prácticamente cualquier procedimiento, con un costo mínimo. El mercadeo puede hacerse con relativa facilidad a través de redes de computadores y de internet. Las oficinas utilizan cada vez menos papel y las personas no

Revolución de la información y armonía mundial

necesitan estar físicamente presentes para hacer su trabajo, situación llamada *teletrabajo*. Gracias a la infotec, las relaciones humanas, las líneas de mando y los canales de comunicación están cambiando en la mayoría de las empresas. La reingeniería, que aprovecha la infotec y reduce el número de empleados, está a la orden del día y, como consecuencia, la estructura laboral se ha modificado aceleradamente, con resultados preocupantes. Muchos empleos, en especial aquellos que no requieren trabajadores calificados, están desapareciendo y crece el número de ocupaciones mejor remuneradas que exigen grados más altos de educación y capacitación. Puesto que la sociedad no se adapta tan rápidamente a nuevas condiciones económicas y laborales, muchas personas desplazadas tienen dificultad para encontrar un nuevo empleo, fenómeno que se presentará inevitablemente en todo el mundo.

Un aspecto que preocupa sobre todo a los países menos desarrollados es que en las economías orientadas por la infotec las industrias de ocupación intensiva son cada vez menos relevantes. Esto tiene especial importancia para aquellos cuyas poblaciones tienen altas tasas de crecimiento; sin embargo, la situación hasta aquí analizada no significa que deban mantenerse al margen de la revolución de la información. La pregunta es si están o no preparados para hacer uso de la infotec, y en caso negativo qué alternativa tienen. Este reto ha sido analizado en diversos foros. Syed A.H. Abadi¹⁵ declaró en el encuentro del PWPA (Kenia) que puesto que "la comunicación es el motor del crecimiento y la transformación socioeconómica..., África debe adoptar una tecnología de la información que le permita estar al tanto de los avances en otros lugares del planeta". En forma similar, durante un encuentro realizado por la Universidad de las Naciones Unidas (UNU) en 1992 en Japón, se aceptó que las tecnologías de información pueden ser consideradas instrumentos básicos de cooperación y que es necesario facilitar a los países menos desarrollados el acceso a dichas tecnologías¹⁶. La UNU estableció en Macao (1991) un Instituto Internacional para la Tecnología de Software (UNU/IIST), que se ocupa fundamentalmente de los requerimientos de software en los países en vía de desarrollo.

Gracias a la infotec está surgiendo una innovación que puede sacudir el sistema financiero mundial, consistente en la utilización de la CMC para llevar a cabo transacciones monetarias mediante internet u otros servicios en línea, usando el llamado *dinero electrónico*

(*e-money* o *ciberdinero*) para pagar bienes y servicios o transferir dinero de un lugar a otro, en cambio de efectivo, cheques o tarjetas de crédito. El dinero electrónico implica el establecimiento de un comercio y un sistema bancario diferentes, y crea un nuevo tipo de comunicación entre los pueblos del mundo; tiene, sin embargo, varias posibles consecuencias a nivel internacional que deben tenerse en cuenta antes de que el sistema pueda ponerse en marcha: establecimiento de un sistema monetario electrónico, normalización de su uso, determinación del papel de los bancos, revisión de normas impositivas, protección de la privacidad, mecanismos de seguridad contra lavadores de dinero, etc. Como en el caso de otras innovaciones introducidas por la infotec, existe el riesgo de que el dinero electrónico cree una brecha financiera entre aquellos que pueden usarlo y aquellos que no.

Otro aspecto de la infotec que puede tener un profundo impacto social y político es la potencial transformación del proceso democrático actual en uno de plebiscito instantáneo continuo, con libre intercambio de información pero carente de debate sustantivo; las llamadas reuniones de alcaldía electrónicas. Y una cuestión especialmente delicada, ya mencionada, es la de si debe reglamentarse la clase de información disponible en internet y otros canales en línea, y su utilización. También debe considerarse la protección de los derechos de autor, la confidencialidad de ciertos registros, como transacciones comerciales y bancarias; cómo restringir información, proteger datos y garantizar privacidad, evitando el peligro de una vigilancia e intrusión indebidas en la vida privada (*panopticon*) y el de la desinformación. No profundizaré en estas importantes cuestiones, para las cuales no existe aún una solución fácil, a menos que se viole la libertad de información esencial para una sociedad democrática y se establezca algún tipo de censura gubernamental igualmente inaceptable¹⁶.

Un fenómeno reciente que revela el valor económico y la importancia de la infotec lo constituye la aparición de nuevos tipos de delito, *delitos por computador*, que se hacen cada vez más atrevidos e imaginativos y desafían las leyes existentes. Los «computer hackers» y los «cibersnoops» descifran códigos y obtienen información restringida; los «computer pranksters» publican amenazas, fantasías violentas y cartas anónimas o falsas, con graves consecuencias potenciales. Bandas internacionales realizan negocios clandestinos multimillonarios (el bajo mundo digital), comparables

Revolución de la información y armonía mundial ■

a los de los carteles de la droga, duplicando ilegalmente programas y robando hardware (procesadores). De hecho, los chips de computadores son «mejores que el oro» para los ladrones. De esta forma, el establecimiento de un orden civil en el ciberespacio y la adopción de una legislación apropiada se convierten en un nuevo desafío social.

En conclusión, la revolución de la información esta modificando profundamente a la sociedad y planteando nuevos desafíos que deben ser comprendidos plenamente para garantizar que realmente contribuya al bienestar de todos los pueblos, a una mejor comprensión del mundo y a la armonía entre los individuos. No podemos esperar que en un ambiente democrático libre todo lo que la infotec implica sea positivo y satisfaga los más altos estándares cívicos y morales, pero debemos asegurar que los aspectos positivos, que son muchos, se fortalezcan. Por ello estoy firmemente convencido de que es esencial la comprensión de académicos, líderes religiosos, políticos, educadores, empresarios y sobre todo padres de familia; todos los individuos deben reconocer la necesidad de fortalecer los dos pilares bá-

cos de las sociedades democráticas: responsabilidad individual y una educación que inculque valores fundamentales.

Desde el punto de vista práctico, para encontrar la forma de enfrentar el desafío, puede ser conveniente: 1. analizar la historia de cómo los estados previos de la información (impresión, telégrafo, teléfono, radio y televisión) produjeron cambios culturales y sociales, a medida que aumentaban la velocidad de difusión de la información y la importancia del rol de los comunicadores¹⁷; 2. buscar estándares comunes para medir los efectos de la introducción de tecnologías de comunicación más veloces sobre la calidad de vida; 3. explorar el papel de gobiernos e instrumentos internacionales en la reglamentación y/o el control de las nuevas tecnologías de información; 4. formular hipótesis relativas a los efectos futuros de la revolución de la información¹⁸.



Referencias

1. C.E. Shannon: *A mathematical Theory of Communication*. Bell System Tech., J. 27, p. 379 and 623 (1948); E.J. Jaynes: *Information Theory and Statistical Mechanics*. Phys. Rev., 106, p. 620, 108, p. 171 (1957); L. Brillouin: *Science and Information Theory*. Academic Press (1962).
2. M. McLuhan: *Understanding Media: The Extension of Man*. Academic Press (1962).
3. C.H. Bennet: *Quantum Information and Computation*. Physics Today, 48, p. 24 (1995); D.P. Divicenzo: *Quantum Computation*. Science, 270, p. 255 (1995); S. Lloyd: *Quantum-Mechanical Computers*. Scientific American, 273, No. 4, p. 140 (1995).
4. C.P. Snow: *The Two Cultures*. Cambridge Univ. Press, 1st ed. (1959), 2nd ed. (1963).
5. John Brockman: *The Third Culture*. Simon & Schuster (1995).
6. Norbert Wiener: *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machines*. MIT Press, 1st ed. (1948), 2nd ed. (1961).
7. H. Moravic: *Robotics and Artificial Intelligence, in The World of 2044*. C. Sheffield, M. Alonso and M.A. Kaplan, eds. PWPA/Paragon House (1994); R.C. Schank and P. Childers: *The Cognitive Computer*. Addison-Wesley Pub. Co. (1984).
8. Howard Rheingold: *The Virtual Community*. Addison-Wesley Pub. Co. (1993).
9. W. Gibson: *Neuromancer*. Ace Books (1984).
10. Alonso: *Introduction*, and B. Bova: *O Brave New (Virtual) World*, in *The World of 2044*. PWPA/Paragon House, op. cit. (1994); H. Rheingold: *Virtual Reality*. Summit Books (1991).
11. Joseph Gradedki: *The Virtual Reality Construction Kit and Virtual Reality Programmer's Kit*. Wiley (1994).
12. Ernest G. Cravalho: *Medical Technologies, in The World of 2044*. op. cit. (1994).
13. *The Information Revolution*, special issue. Business Week (1994); *Welcome to Cyberspace*. TIME, special issue (1995); *The Computer in the 21st Century*. Scientific American, special issue (1995).
14. Carnegie Mellon University study *Marketing Pornography on the Information Highway*. Georgetown Law Journal, Vol. 83, No. 5, June (1995).
15. Syed A.H. Abidi: *Mass Communication in Africa, in The Second Scramble for Africa*. PWPA/Kenya (1992).
16. *Expanding Access to Science and Technology: The Role of Information Technologies*. Y. Wesley-Tanaskovic, et al., eds. United Nations University Press (1994).
17. Bellows: *It All Adds Up*. Ch. 3, p. 157 and 160, Penguin Books (1994).
18. A. Toffler: *The Third Wave*. Ch. 12, W. Morow & Co. (1980).

REVISTA Innovación Ciencia

Suscripción por 1 año (5 ejemplares),
a partir del Vol. ____ No. ____

SUSCRIPCION PERSONA NATURAL

Nombre _____ C.C./TI _____
Dirección _____ Tel.: _____
Ciudad _____ Depto. _____
Profesión _____ Especialidad _____
Entidad _____

SUSCRIPCION INSTITUCIONAL

Entidad _____
Nit _____
Representante _____
Dirección _____ Tel.: _____
Ciudad _____ Depto. _____

ASOCIACION COLOMBIANA PARA EL AVANCE DE LA CIENCIA
A.A. 92581 • Fax: 221 92 81 • Tels.: 221 67 69 - 221 73 48 - 221 33 13 • Bogotá, Colombia

LLENE
Y ENVIE
ESTE
CUPON

Firma
C.C. _____

SUSCRIBASE ¡YA!

Suscripción Regular \$25.000
Estudiantes \$18.000

Ejemplar atrasado \$3.000
Socio ACAC Gratuita

Fecha suscripción
D _____ M _____ A _____

Forma de pago:

Efectivo Cheque Crédito

Consignación: Asociación Colombiana
para el Avance de la Ciencia

Granahorrar 0632-100-79-5
Colmena 010-4500246931
Bco. Popular 160-203196

Tarjeta No. _____

Vence ____ / ____ / ____

Credencial Credibanco Diners

*Renovación automática:

El valor de la nueva suscripción puede ser cargado a mi tarjeta de crédito. En caso de no desear la renovación, me comprometo a notificar a la Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia dos (2) meses antes del vencimiento de la suscripción

Acepto: Sí No



REVISTA Innovación Ciencia

Suscripción por 1 año (5 ejemplares),
a partir del Vol. ____ No. ____

Si, deseo regalar una suscripción de la revista Innovación y Ciencia a:

Nombre _____
Dirección _____ Tel.: _____
Ciudad _____ Depto. _____
Profesión _____ Especialidad _____
Entidad _____

De:

Nombre _____
Ident.: C.C. _____ T.I. _____ Pasaporte _____
Dirección _____ Tel.: _____
Ciudad _____ Depto. _____

Nota: Durante un año, cada ejemplar incluye una tarjeta especial, recordando a la persona o entidad que es una atención suya.

ASOCIACION COLOMBIANA PARA EL AVANCE DE LA CIENCIA
A.A. 92581 • Fax: 221 92 81 • Tels.: 221 67 69 - 221 73 48 - 221 33 13 • Bogotá, Colombia

LLENE Y ENVIE
ESTE CUPON

CUPON REGALO

Suscripción Regular \$25.000
Estudiantes \$18.000

Ejemplar unidad \$5.200
Ejemplar atrasado \$3.000

Fecha suscripción
D _____ M _____ A _____

Forma de pago:

Efectivo Cheque Crédito

Consignación: Asociación Colombiana
para el Avance de la Ciencia

Granahorrar 0632-100-79-5
Colmena 010-4500246931
Bco. Popular 160-203196

Tarjeta No. _____

Vence ____ / ____ / ____

Credencial Credibanco Diners

*Renovación automática:

El valor de la nueva suscripción puede ser cargado a mi tarjeta de crédito. En caso de no desear la renovación, me comprometo a notificar a la Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia dos (2) meses antes del vencimiento de la suscripción.

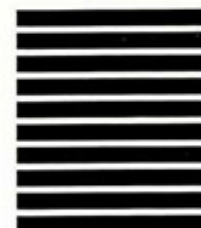
Acepto: Sí No

Firma
C.C. _____



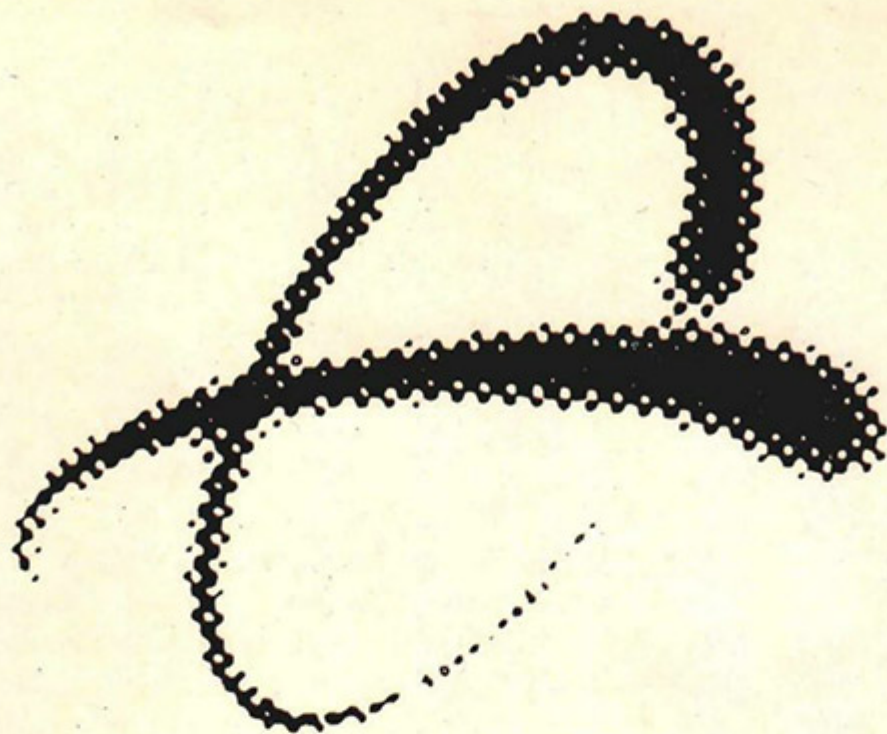
**ASOCIACIÓN COLOMBIANA
PARA EL AVANCE DE LA CIENCIA**

**A.A. 92581
SANTAFÉ DE BOGOTÁ, D.C., COLOMBIA**



**ASOCIACIÓN COLOMBIANA
PARA EL AVANCE DE LA CIENCIA**

**A.A. 92581
SANTAFÉ DE BOGOTÁ, D.C., COLOMBIA**



COLCIENCIAS

Esta publicación
ha sido realizada
con la colaboración
financiera de COLCIENCIAS,
entidad cuyo objetivo
es impulsar el desarrollo
científico y tecnológico
de Colombia.

Creciente Fortalecimiento en los Mercados de Capitales

Desde su decisión de diversificar sus fuentes de recursos, Granahorrar se ha convertido en un emisor respetado y consistente captando recursos en los distintos mercados, para ofrecer crédito hipotecario y de consumo.

Los inversionistas son traídos por la alta seguridad y calidad de sus emisiones. Granahorrar recibe también comentarios positivos por su responsabilidad en el desarrollo de mercados secundarios y por su generación de información permanente y relevante. Aún más Granahorrar ha mostrado su disposición a ser innovador, por ejemplo, en 1995 realizó su primera emisión de títulos con respaldo hipotecario, con parámetros internacionales de estructuración y actualmente adelanta la emisión de bonos ordinarios por 40 mil millones de pesos. Con activos totales de 1,5 billones de pesos, Granahorrar es una prominente corporación de ahorro y vivienda, que se concentra en la generación de crédito hipotecario para el crecimiento de las familias colombianas.

VIGILADO
SUPERINTENDENCIA
BANCARIA



Granahorrar
CORPORACION GRANCOLOMBIANA DE AHORRO Y VIVIENDA
Usted nos tiene a nosotros