

CAPÍTULO II

CIENCIAS, TECNOLOGÍAS, TÉCNICAS

5. Ciencias y tecnologías de la información y las comunicaciones 46

por *geysers* y volcanes; la energía proveniente de las mareas oceánicas; la biomasa; la fotosíntesis; la energía solar.

5. CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y LAS COMUNICACIONES

Información y comunicaciones se convierten, durante la Tercera Revolución Industrial, en un campo siempre creciente en tamaño, complejidad y dinamismo. Aquéllas integran una vasta constelación de *factores, componentes, procesos, implicaciones, consecuencias*; un racimo de ciencias y tecnologías y sus interrelaciones, sujetas a trascendentes y acelerados avances. Revolución por sí misma dentro de la Tercera Revolución, la Información en el sentido más amplio conjuga la prolongada preparación a través de la historia de los últimos milenios y una gran novedad.¹⁷

A. Ciencias de la Información y la Comunicación

La *Teoría de la Información* parte y se desarrolla a partir de la *Ingeniería de Control*, rama de la Ingeniería que trata del ajuste de aparatos y sistemas, con o sin un operador humano. Abarca por ello el tema de la *automación*, entendida como, primero, el control automático de la fabricación de un producto a través de una serie de fases sucesivas; y luego el control de máquinas por máquinas con reducción al mínimo de la intervención humana. Esta ingeniería se preocupa también por los sistemas de control de circuito cerrado. El descubrimiento de un error, y el uso de esta información para corregirlo, constituyen un *sistema de retroacción*, que incluye instrumentos de detección, amplificadores, unidades energéticas. La Ingeniería de Control comienza experimentalmente, pero se va desarrollando rápidamente como disciplina matemática, cuyos aspectos teóricos se vinculan estrechamente con los de la *Ciencia de la Información*, y con los de la *Computación*. La teoría matemática

17 Para una visión de conjunto y un análisis específico del desarrollo de la Ciencia y la Tecnología de la Información, me he apoyado y seguido muy de cerca el *Rapport sur l'état de la technique - La révolution de l'intelligence*, París, Centre de Prospective et d'Évaluation, Ministère du Redéploiement Industriel et du Commerce Extérieur/Ministère de la Recherche et de la Technologie, 1985. También, Simon Nora y Alain Minc, *L'informatisation de la société*, París, La Documentation Française/Seuil, 1978; J. L. Jolley, *Ciencia de la información*, Madrid, Ediciones Guadarrama, 1968.

a su vez se va extendiendo y desarrollando también como teoría socio-lógica y política.

Como teoría *matemática*, la Ciencia de la Información surge y se desarrolla para explicar y solucionar los aspectos y problemas en la transmisión de mensajes en distintas ramas y sectores de la economía y de la sociedad; las cuestiones atinentes a la reproducción en un punto, exacta o aproximativamente, de un mensaje seleccionado en otro punto. El hecho que un mensaje puede tener un *significado* es irrelevante para los problemas de ingeniería. Éstos se refieren a la capacidad de codificar, transmitir y decodificar un mensaje seleccionado dentro de un conjunto de mensajes posibles con el que el *sistema de comunicación* pretende tratar. En esta Teoría, *información* es la medida de la libertad de elección con la cual un mensaje es seleccionado entre un conjunto de todos los mensajes posibles. Numéricamente, la información es medida en *bits* (abreviatura de *binary digits*). Un *bit* equivale a la elección entre dos opciones igualmente posibles. Las situaciones varían, según que diferentes opciones sean o no igualmente posibles.

Toda información necesita un canal para su transmisión como mensaje desde la fuente al receptor. Cada canal acorta y transforma la noticia; tiene una capacidad o tasa limitativa de la información que puede llevar, que se puede especificar, expresada en *bits* por segundo. El éxito de la transmisión depende de la cantidad de información que debe ser procesada en una unidad de tiempo, medida contra la *capacidad de canal*, es decir la capacidad de los canales disponibles para manejarla. Raras veces se da la identidad de la noticia a la salida del emisor, y de la información en el momento de su percepción por el receptor. Debe calcularse una relación entre información y capacidad que baje al máximo posible la probabilidad de error en la transmisión.

El problema esencial surge por la presencia casi universal del *ruido* en los sistemas de comunicación. Generado por componentes defectuosos, errores de codificación o interferencias externas, el ruido es cualquier perturbación al azar superimpuesta en una señal. El ruido no puede ser eliminado, pero puede disminuirse en un cierto grado, reduciendo sus efectos corruptores por el uso de la *redundancia*.

En la Teoría de la Información, la redundancia es la representación de datos por hileras de símbolos más largas de lo necesario para distinguir todos los posibles elementos de datos en un contexto. La redundancia puede, negativamente, llevar a un gasto necesario en el almacenamiento o transmisión de representaciones de datos, y positivamente permitir la reconstitución de datos cuya representación ha sido accidentalmente corrompida. Contribución mayor de la Teoría de la

Información ha sido posibilitar el cálculo matemático de las relaciones entre señales y ruido en la comunicación redundante para reducir el riesgo de un error en la recepción del mensaje.

La expresión matemática del contenido de información se parece a la expresión de la *entropía* en Termodinámica, es decir la cantidad que especifica la dimensión del desorden o azar en un sistema portador de energía o información. En la Teoría de la Información, la entropía representa el “ruido” o los errores accidentales que ocurren en la transmisión de señales o mensajes. Cuanto mayor sea la información en un mensaje, más bajo es su azar o “ruidosidad”, y por ende más pequeña su entropía.

La teoría matemática de la información ha tenido notable éxito en definir las condiciones y limitaciones ingenieriles en los sistemas de comunicación, y en desarrollar instrumentos matemáticos para posibilitar la realización de mediciones y su comparación.

La información es objeto de las Ciencias Sociales, ante todo de la Sociología, como *Ciencia de la Comunicación*. Diferentes teorías intentan exponer los orígenes de los significados (especialmente los significados simbólicos) que constituyen la cultura humana; mapear los canales a través de los cuales estos significados son difundidos, y ubicar las consecuencias para los grupos sociales de su dependencia de tales significados y su capacidad para crearlos.

En la Ciencia de la Comunicación, *información* es toda unidad de conocimiento que puede ser transmitida, de manera determinada, hasta filtrada y canalizada, de modo que el receptor pueda reconocer o descifrar la noticia o el mensaje como información. Ésta puede significar el proceso de la transmisión, o el contenido. La información puede tener grados variables en cuanto al contenido de verdad, la autenticidad, la integridad, la selectividad. Cualquier signo, serie o grupo de símbolos puede convertirse en información. Se da información cuando emisor y receptor acuerdan una información y la esperan.

Todo sistema social necesita, para su existencia y funcionamiento, un canal suficiente de información, con retroacción o *feedback*, la información retroactiva que vuelve a través de un circuito. El funcionamiento del sistema es apoyado u obstaculizado por impulsos e informaciones que desde una periferia vuelven a los centros. La información puede llegar de modo selectivo a la periferia de un sistema, y también volver de modo selectivo a las áreas de dirección de aquél, provocando decisiones erróneas. El *feedback* positivo produce un efecto reforzado; el *feedback* negativo produce efectos que sobrepasan un valor previsto, requiriendo un freno, demora o debilitamiento.

La *Cibernética* (del griego *kybernetes*, timonel), palabra utilizada por Platón en su discusión del arte de gobernar, retomada en 1834 por Ampère en una clasificación de las ciencias, emerge durante la Segunda Guerra Mundial ante problemas técnicos que implican el uso de servomecanismos. Creada y bautizada como ciencia por Norbert Wiener y Arturo Rosenbluth en 1947, es definida como ciencia general de los sistemas independientes de la naturaleza física de los órganos que lo constituyen, y por lo tanto ciencia del control y la comunicación en el animal y en la máquina como sistemas que se regulan por sí mismos a través de la retroacción. Presupone la analogía profunda entre el comportamiento de las máquinas y el de los organismos biológicos, que permite un análisis lógico de las funciones de los seres superiores y de los procesos que permiten su reproducción artificial. Los órganos interrelacionados intercambian magnitudes físicas o mensajes.

Referida a un tema interdisciplinario, concebida por sus fundadores sobre todo como ciencia transdisciplinaria, de gran generalidad, definida más recientemente como ciencia de la organización efectiva, la Cibernética se liga estrechamente con la Ciencia de la Comunicación. No existe en cambio acuerdo sobre su generalidad en comparación con la Teoría General de los Sistemas, fundada hacia 1940 por Ludwig von Bertalanffy.¹⁸

B. *Tecnologías de la Información y la Comunicación*

Al desarrollo de las ciencias de la información y la comunicación corresponde el de las tecnologías de *procesamiento de datos o de información*. Ellas se refieren al conjunto de operaciones de manejo, fusión, selección y computación, realizadas de acuerdo con procedimientos estrictamente definidos. En el procesamiento automático de datos, las operaciones son cumplidas por una computadora. En el procesamiento de datos distribuidos, algunas o todas las instalaciones de computadoras están ubicadas en diferentes lugares y conectadas por lazos de telecomunicaciones.

Las *comunicaciones de datos* constituyen la aplicación de la tecnología de las telecomunicaciones al problema de la transmisión de datos, especialmente a, de o entre computadoras. *Modems* o máquinas facsimilares (FAX) son usadas para coordinar la computadora y el circuito

¹⁸ Norbert Wiener, *The Human Use of Human Beings*, London, Sphere Books, 1968; Abraham Moles, editor, *La communication et les mass media*, París, Les Dictionnaires Marabout Université, 1973; Louis Couffignal, *La cybernétique*, París, Presses Universitaires de France, 1963.

telefónico. Vinculaciones de datos a velocidad alta se construyen cuando el costo puede justificarse, *v. gr.* cables coaxiales para amplia frecuencia, microondas, sistemas de radio.

La Revolución Informática representa la superación de las trabas impuestas al trabajo intelectual, a las tareas de selección, control, montaje, por su delicadeza misma y por las barreras del tiempo. Implica una inversión de las relaciones hombre/máquina, que permite al primero no asumir una serie creciente de tareas materiales o intelectuales, ahora transferibles a la segunda.

Factor, componente y símbolo de esta mutación, la *computadora* es a la vez resultado de un largo proceso de preparación y de invención y novedad. En ella confluyen respuestas a viejas preocupaciones: traducción de razonamientos lógicos en lenguaje simbólico, adaptado a las matemáticas; álgebra adecuada a la notación binaria; facilitación de cálculos; programación.

La evolución reciente, cada vez más acelerada, pasa por la máquina programadora de Charles Babbage (Inglaterra, 1812), considerada la primera computadora moderna; la máquina estadística con carta perforada y técnica de relevos electromecánicos de Hollerith (Estados Unidos, 1885); el nacimiento y primera fase de desarrollo de la electrónica desde el comienzo del siglo XX. A la radio (Primera Guerra Mundial) sigue la televisión por primer tubo de cámara (1928) y primer tubo de receptor (Ophthicon, 1935). En 1930, Vannevar Bush diseña una computadora mecánica, a la que suceden otros modelos durante la década siguiente. La Harvard Mark I (o Automatic Sequence Controlled Calculator) es la primera computadora universal, plenamente automática, concebida por Howard Aiken y construida por IBM en 1941. La primera computadora electrónica digital de propósitos múltiples es la ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Calculator), de 1946, completada en ese año en la Universidad de Pennsylvania, que significa una ruptura tecnológica con el recurso a la electrónica (18,000 tubos al vacío).¹⁹

Se debe a von Neuman la idea de explotar la noción de programa registrado (1945). La electrónica nace realmente y comienza a generalizarse con las primeras computadoras de programa registrado que, sin intervención manual, pueden dirigir por sí mismas la ejecución de todo algoritmo (conjunto de símbolos y procedimientos usados en los cálcu-

19 Ver Sergio Matute y Héctor Fix Fierro, "Informática y derecho", en Marcos Kaplan (Coordinador), *Revolución tecnológica, Estado y derecho*, México, Instituto de Investigaciones Jurídicas, UNAM/Petróleos Mexicanos, tomo 3, 1993.

los) comunicado por el operador. Según estos principios funcionan la SSEC de la IBM (1948), la ENIAC modificada (1948).

La *primera generación* de computadoras fue suplantada por las computadoras transistorizadas de fines de los años 1950 y comienzos de la década de 1960, máquinas de una *segunda generación* que pueden cumplir un millón de operaciones por segundo.

Mutación técnica fundamental es la llegada y generalización de los semiconductores. Aparecido en 1949, el *transistor* suprime la necesidad de los tubos al vacío y permite la miniaturización de las computadoras. El transistor va exhibiendo sus ventajas de duración, compacticidad, resistencia a choques, precio; se comercializa e impone rápidamente, con las radios portátiles, los montajes eléctricos, los automatismos, las computadoras.

En 1951 surge la UNIVAC (Universal Automatic Computer), primera computadora de la segunda generación, completamente transistorizada, que maneja tanto datos numéricos como alfabéticos con igual facilidad.

En el mismo año 1951 las empresas Texas Instrument y Fairchild realizan el primer circuito integrado, que en 1969 alcanza el estadio comercial. Comienza a desarrollarse el Silicon Valley como base de una constelación de organizaciones empresariales, académicas y gubernamentales, y sus actividades vinculadas con la Informática. Muchas empresas comienzan a usar las computadoras para la contabilidad y los registros.

En la década de 1970, tiene lugar el cambio más significativo en la computación, con la perfección del *microchip* de silicón, capaz de incluir miles de circuitos miniaturizados, y que lleva a la invención de la *computadora personal*. La Apple II, diseñada por Steven Jobs y Stephen Wozniak, primera computadora ampliamente aceptada, entra al mercado en 1977, revoluciona la industria de la computación y los modos de uso individual. En menos de una década, la computadora personal se vuelve herramienta común en hogares, escuelas y oficinas.

Esta tercera era electrónica abarca una triple evolución: a) la carrera ininterrumpida a la integración de un número cada vez mayor de circuitos elementales en una misma superficie de silicio, y al aumento exponencial de las capacidades y velocidades de cálculo; b) el desarrollo de las comunicaciones entre computadoras, y entre éstas y otras máquinas, que dan origen a la Telemática, y c) el acercamiento entre la computadora y el hombre.

a) El número de transistores por superficie de silicio va aumentando, de unas decenas en 1965, a cien mil en 1980, y a cerca de un millón en 1985.

Con los avances crecientemente acelerados en *electrónica*, sobre todo en *microelectrónica* y en *miniaturización*, se duplica cada año el número de transistores por cada *chip*, y con ello simultáneamente aumentan los logros, mejoran los desempeños, y se reducen los costos.

El *chip* o *microprocesador*, también *central processing unit*, es un trozo pequeño de material semiconductor (usualmente silicio) en el cual se fija un circuito integrado, y se ubican así millones de componentes electrónicos. Se combina de este modo, en un pequeño *chip*, un conjunto de rasgos y funciones para la memoria y los procesos lógicos.

La producción masiva de *chips*, a bajo precio produce así una revolución en tamaño, velocidad, complejidad, confiabilidad, costo, con menor consumo de energía y menor requerimiento de espacio, y la consiguiente aptitud para asumir una gran variedad de complejas tareas en fábricas, oficinas, hogares, y para producir fuertes y decisivos efectos en un número creciente de actividades.

La velocidad de cálculo de las computadoras se multiplica por mil cada cinco años. El tamaño de las funciones lógicas se divide entre diez, como los precios. La miniaturización acorta las transmisiones y, por lo tanto, los tiempos de recorridos de las señales eléctricas.

Actualmente, el tiempo de cálculo oscila en promedio entre 300 y 500 nanosegundos (Nano: división del segundo entre mil millones; Pico: división entre un billón o un millón de millones).

El aumento de las velocidades operativas, generalizada desde la década de 1980, constituye un viraje decisivo y de incalculables consecuencias, un salto no sólo cuantitativo sino sobre todo cualitativo. Permite el funcionamiento en tiempo real, y con ello la extracción de lecciones operativas inmediatas respecto al funcionamiento de una unidad operativa, v. gr. automatizada; la recepción inmediata por el ingeniero del resultado de los cálculos; la corrección continua de brechas; la optimización del proceso; la auscultación (no la autopsia). El diseñador puede explorar en pantalla diversas formas. Se posibilita el diálogo del hombre con la máquina que funciona al ritmo del pensamiento humano.

El aumento exponencial de las capacidades de cálculo permite, en sistemas grandes y medianos, encarar modos evolucionados de tratamiento. El desarrollo de dispositivos de simulación de realidades complejas ayuda a la decisión, satisface necesidades potenciales, civiles y militares, cada vez más exigentes. A título de ejemplo: construcciones aeronáuticas y navales; meteorología; física fundamental; análisis sísmico; estudio de armamentos nucleares; control de centrales eléctricas; tratamiento de informaciones de radar; gestión de empresas en medio

ambiente económico cambiante; dominio militar; industria; la llamada *productiva* (ver *infra*).

b) La evolución de las computadoras se liga con el desarrollo de las *comunicaciones*, especialmente *entre máquinas*. Las computadoras son capaces de relacionarse entre sí y con otras máquinas. Ello va dando lugar al desarrollo de la *Telemática* (cfr. *infra*) y, en general, a la penetración de las sociedades por redes informáticas, en distancias crecientes y con costos menguantes. Con los progresos técnicos resultantes se produce el aumento de las velocidades y los volúmenes, es decir, la *miniaturización* de los componentes y las máquinas.

En efecto, la integración continua de los circuitos suscita simultáneamente, por una parte, la carrera a las máquinas gigantes, y por la otra, desde la década de 1970, el crecimiento paralelo de la mini-informática y, en los años de 1980, la explosión de la micro-informática.

La *miniaturización*, es decir, la mayor capacidad de tratamiento con menor tamaño, permite la creación y difusión de sistemas informáticos en la mayoría de los aspectos del trabajo humano.

El producto general de este proceso es entonces la *computadora*, máquina programable que responde a un conjunto específico de instrucciones de manera bien definida, y que puede ejecutar una lista preregistrada de instrucciones (programa). Las computadoras modernas son electrónicas y digitales, y combinan la máquina concreta (alambres, transistores, circuitos), llamada *hardware*, y las instrucciones y datos o *software*.

Las computadoras para todo propósito requieren los siguientes componentes de *hardware*: a) la *memoria* que permite a la computadora almacenar, por lo menos temporalmente, datos y programas; b) un dispositivo de *almacenamiento masivo*, que permite al computador retener permanentemente grandes cantidades de datos, con dispositivos de disco y de cinta; c) un *dispositivo de insumo*, como el tablero o el ratón, conducto a través del cual los datos e instrucciones entran a la computadora; d) un dispositivo de *producto*, como la pantalla de despliegue, la impresora, o cualquier otro dispositivo que deja ver lo que la computadora ha logrado, y e) la *unidad central de procesamiento*, corazón de la computadora, que ejecuta efectivamente las instrucciones.

Las computadoras pueden ser clasificadas por el *tamaño* y por la *capacidad*, como las siguientes:

1. La *computadora personal*, es pequeña, diseñada para un solo usuario, basada en un microprocesador que permite colocar toda una unidad central de procesamiento en un solo *chip*. Tiene un tablero para

la entrada de datos, un monitor para el despliegue de la información, y un dispositivo de almacenamiento para retener datos. En sus variedades más avanzadas, la distinción entre la computadora personal y las *workstations* tiende a borrarse.

2. La *workstation* es una computadora poderosa, de usuario único, con microprocesador más poderoso y monitor de más alta calidad que la computadora personal. En capacidad de computación, se ubica entre la computadora personal y la minicomputadora, con fronteras borrosas en ambos extremos. En la mayoría de los casos es computadora de un solo usuario, pero puede usarse como sistema separado, o ligarse entre sí para formar una red local. Es usada en aplicaciones de ingeniería, como CAD/CAM (diseño y fabricación asistidos por computadora), *desktop publishing* (sistemas de archivo gráfico para producción de documentos impresos de alta calidad), desarrollo de programas, y otros tipos de aplicaciones que requieren una capacidad moderada de computadora y una calidad relativamente alta de capacidades gráficas.

3. La *minicomputadora* es de tamaño y capacidad medios, y de usuarios múltiples, capaz de dar servicio de 10 a 200 usuarios simultáneamente.

4. La *mainframe* es una computadora de poder y costo altos y de usuarios múltiples, capaz de dar servicio simultáneo a varios centenares de usuarios.

5. La *supercomputadora* es extremadamente rápida, puede realizar cientos de millones de instrucciones por segundo; y resulta altamente costosa. Se la emplea para aplicaciones especializadas que requieren inmensas cantidades de cálculos matemáticos, v. gr. predicciones climáticas, gráficos animados, cálculos de dinámica de fluidos, investigación nuclear, exploración petrolera. La principal diferencia entre una supercomputadora y una *mainframe* es que la primera canaliza toda su capacidad para la ejecución de pocos programas tan rápido como sea posible, mientras que la *mainframe* usa su capacidad para ejecutar muchos programas concurrentemente.

Las *minicomputadoras* se van distinguiendo por su tamaño, capacidad, precio. Responden a las necesidades locales en oficinas, laboratorios, fábricas. Contribuyen simultáneamente a reducir el efecto centralizador de la información pesada, y a difundir sus aplicaciones. La Informática no cesa de aproximarse físicamente al usuario, al lugar de trabajo, a la fábrica y la oficina, al laboratorio y al hogar. Con la multiplicación de terminales alrededor de los grandes sistemas, el usuario puede trabajar cada vez más lejos de la computadora central que

sigue siendo sede de memorias y operaciones, pero con un creciente diálogo entre la máquina y el individuo.

La generalización de las microcomputadoras, paralelamente a la difusión de terminales conectadas con sistemas informáticos grandes y medianos, permite que los aparatos penetren en el mercado, para las oficinas, modificando el uso de la dactilografía y la escritura manual, y transformando la gestión de ficheros y la contabilidad.

Con ello, se da una mutación a la vez general y diversificada, en la explosión del uso informático, para millones de usuarios en actividades informatizables en gran escala. En muchas operaciones ya no son necesarias las grandes máquinas, reemplazables por minicomputadoras de poco volumen, precio reducido, implantables en el usuario final, terciario o industrial. Con más memoria, aumenta la capacidad de ejecución de grandes programas complejos, mediante pequeños programas aplicados simultáneamente por varios usuarios, o programas que requieren acceso a millones de datos elementales. Dado el aumento continuo de potencias, se comienza a hablar de *mega-mini-computadoras*.

La mutación técnica del *microprocesador* en 1971 acentúa más aún la descentralización de la inteligencia. Por primera vez la informática toca al gran público, la nueva clientela, más numerosa, de profesionales con conocimiento nulo ó mediocre de informática, requerida de materiales concebidos especialmente para ella, todo parte de una nueva industria.

Las micro-computadoras y sus usuarios se multiplican mucho más rápido que el número de personas capaces de programar. Se va pasando cada vez más, de los programas a medida, cuyo desarrollo requiere dos o tres años, a los programas de catálogo 10 a 100 veces menos caros, disponibles en pocos días para una aplicación, que hacen vender material porque solucionan necesidades precisas de los usuarios, cuyo mercado se desarrolla aceleradamente. La importancia estratégica de esta parte inmaterial se acrece por el hecho que la productividad de concepción de los programas crece menos rápido que las necesidades de los mismos, y que por ello se requieren grandes esfuerzos para compensar o superar este bloqueo. Indicador de ello es el hecho que en Estados Unidos y Japón existen fábricas de programas, y que ya se habla de una biblioteca central de programas reutilizables.

Se intensifica la competencia por la producción y diseminación de mini y micro-computadoras y de supercalculadoras ultrarrápidas; su inserción en medios y centros de cálculo, de análisis, de decisión. Cables (eléctricos u ópticos, nexos hertzianos), conectan elementos en dispersión, crean redes, permiten al usuario beneficiarse a la vez de la auto-

nomía individual y local y del acceso a capacidades alejadas de cálculo y memoria. Todo ello afecta fuerte y profundamente las condiciones y modalidades de la organización y el funcionamiento de la economía y la sociedad, del trabajo, de la vida cotidiana, del poder y la política.

c) Una tercera evolución de la informática es la del creciente acercamiento entre la computadora y el individuo, el establecimiento de relaciones más fáciles y flexibles entre una y otro, mediante el mayor grado posible de imitación electrónica del pensamiento humano. Más específicamente, los mandos táctiles, los programas integrados, la *visiónica*, el reconocimiento de la palabra, la comprensión del lenguaje natural por la máquina, los sistemas expertos, la exploración de posibilidades de inteligencia artificial, las futuras computadoras de quinta generación (capacidades de manipulación de datos, cifras o letras, conocimientos, razonamiento por deducción). En sus logros y en sus posibilidades y tendencias, la informática se identificaría con la construcción por la especie humana de prótesis que prolongan y diversifican sus sentidos, su memoria, sus capacidades intelectuales.

La Informática se va convirtiendo así en enorme y creciente campo, con especial gravitación dentro de ella de los acelerados y trascendentes avances en la *microelectrónica* y en la *miniaturización*. Los impactos se dan en todos los aspectos de la vida colectiva e individual; ante todo, en la transformación de los *modos* de producción, de empleo y trabajo: electrónica, informática, telemática, robótica, productiva, inteligencia artificial.²⁰

Con ello, se van reforzando el componente intelectual y el potencial creativo en la producción. La importancia relativa del capital intelectual invertido en *software* y sistemas va aumentando en relación al capital invertido en unidades e instalaciones físicas y en equipos. La vieja era industrial va siendo gradualmente reemplazada por la nueva era de la *sociedad informatizada*. Ello no implica el abandono o relegamiento de la agricultura y la industria que, por el contrario, en interacción con la informática, irán produciendo cada vez más bienes, para más población, con menos trabajo (pero también con menos empleo).

Así, la informática desarrolla la producción fabril de partes, su concepción, diseño y elaboración, a menor costo y en menos tiempo. Robots que oyen, ven, tocan se hacen cargo de rutinas complejas y tareas que requieren fuerza, peligrosas y aburridas. V. gr., la mi-

20 Ver W. Michael Blumenthal, "The World Economy and Technological Change", *Foreign Affairs*, New York, vol. 66, núm. 3, 1988.

crocomputadora controla todo lo que organiza y hace funcionar el automóvil.

Ello es tanto más así, cuanto la informática se entrelaza con grandes cambios en otras *nuevas tecnologías*. La conjunción de la informática con la comunicación y el transporte (aviación a chorro, lazos electrónicos mundiales instantáneos, televisión por satélites espaciales), la biotecnología, y los nuevos materiales (cerámica, fibras de vidrio), revolucionan todas las condiciones y aspectos de la vida, la dirección de los desplazamientos, las formas y contenidos de las actividades, los modos de producción.

Las técnicas de tratamiento de información aparecen en el sector de servicios, con referencia sobre todo a la organización de la circulación de productos, de dinero y de hombres, y a la estructuración y control de las actividades productivas en la industria.

Sobre todo en la *industria*, la concepción ayudada por computadora (CAC) reemplaza la tabla de dibujo de los despachos de estudio; permite trabajar sobre la pieza visualizada, e integrar instantáneamente en ella las modificaciones técnicas. La CAC es combinable con la fabricación, pero también puede integrar, con la *ingeniería asistida*, elementos técnicos y financieros que entren en la concepción de proyectos de gran dimensión.

La entrada de la Informática en la producción industrial desemboca en la emergencia de la *Prodúctica*. Esta resulta de una doble operación: por una parte, el desarrollo de hileras *prodúcticas* que asocian a usuarios y constructores de componentes constitutivos, de equipos y sistemas que concurren *solidariamente* a la satisfacción de las necesidades de automatización; y por la otra, de una poderosa industria de constituyentes de base de la automatización (robots, sistemas de mantenimiento, componentes, CAC, autómatas programables).

La *Prodúctica* multiplica sus impactos en todos los aspectos de la vida industrial: estructura de hileras, organización y financiamiento de empresas, productividad, competitividad, empleo, calificación, condiciones de trabajo, calidad, consumo de energía y de materias primas, emergencia de nuevos procedimientos de fabricación, conquista de nuevos mercados. Se vuelve por ello uno de los ejes mayores de una Política Industrial.

La *Prodúctica* representa un creciente grado de integración de la Informática en la producción material. Se concreta en el uso de máquinas herramientas que funcionan bajo mando y control informáticos. El conjunto de operaciones se integran en el robot que reproduce una serie compleja de acciones mecánicas dirigidas por una secuencia de progra-

mas. El *taller flexible* es un conjunto de autómatas cuya secuencia de programas es coordinada y regulada a partir de coacciones variables que pueden provenir *ex post* (servicio comercial), o *ex ante* (oficina de estudios).

Esta mutación tecnológica incide y modifica el significado y las formas de trabajo, de organización, y de funcionamiento.

En cuanto al significado y las formas del trabajo, las actividades ligadas a la información en sentido amplio ocupan una fracción creciente de trabajadores. La introducción de nuevas tecnologías tiene tres tipos de efectos sobre el trabajo.

En primer lugar, se generaliza la máquina en las actividades humanas, con su introducción masiva en sectores y actividades del terciario, y con la transformación de sus métodos y ritmos de trabajo; *v. gr.*, en administraciones, bancos, despachos profesionales, empresas.

A ello se agrega la *unificación de las formas de trabajo*, sus métodos y hábitos, en los servicios por la generalización de la máquina; en la *industria*, como generalización de intermediaciones informáticas para el pilotaje de máquinas de transformación y de producción de objetos materiales. Acciones y percepciones pueden en adelante transformarse en informaciones cifradas; en *datos* que la máquina puede tratar; en *órdenes* y *programas* que ella ejecuta directamente; en *señales* para la reacciones y decisiones del operador.

La generalización, permitida por la Informática, de los procesos integrados, da nueva importancia a la capacidad de tratamiento de la abstracción. El operador que pilota y controla un conjunto de fases, sólo conoce los elementos entrantes y los productos salientes, sin percibir etapas intermedias ni obrar directamente sobre ellas. Se reduce la importancia del cuerpo en la producción material, al reducirse el papel de la fuerza física, y uniformizarse la apariencia de los operadores en los tableros y pantallas (sean ellos obreros, empleados, técnicos).

La irrupción de la Informática en la producción y los servicios trae consigo las tendencias al *trastrueque de la organización jerárquica*, y en especial de la ubicación y peso en la misma de los conocimientos y aptitudes; con las consiguientes necesidades de transformación adaptativa. Ambos términos y su interrelación se explican por las características e implicaciones de las nuevas tecnologías. Éstas incluyen, de modo cada vez más frecuente y predominante, máquinas de tratamiento de información que integran, no gestos o procedimientos, sino saberes complejos y evolutivos (*v. gr.*, robot pintor de carrocerías). La sociedad en proceso de informatización privilegia el conocimiento de sistemas, la comprensión de los funcionamientos individuales y grupales, y de

los modos cómo pasan las cosas en su complejidad, sus interrelaciones; más que el análisis y la transformación aislada, las comunicaciones. Plantean requerimientos biológicos y psicosociológicos, como la concertación en las actividades humanas.

Las nuevas tecnologías replantean posiciones y competencias largo tiempo establecidas; presuponen y exigen así un aprendizaje o un reciclado virtualmente permanentes; requieren una fuerte implicación personal de los trabajadores, su entrega efectiva a un modo de trabajo para la automatización de procedimientos eficaces. Se requiere todo ello de parte de un personal con fuerte capacidad para la retención de información.

Las nuevas tendencias tecnológicas y las correspondientes modalidades de trabajo apuntan a la combinación e interdependencia de un más alto grado de participación y de iniciativa de los trabajadores, a la movilización de los saberes efectivos capitalizados por el personal, y a un encuadramiento más centrado en la escucha y la coordinación que en la jerarquía autoritario-vertical.

El despliegue de la *Primera Revolución de la Informática*, iniciada en la década de 1950, parece desde los años de 1980 anunciar una *Segunda Revolución*, sobre todo a partir del desarrollo de las investigaciones sobre *inteligencia artificial*, la automatización del razonamiento lógico, la producción de nuevos componentes y los logros concomitantes en costo de material y disponibilidad de instrumentos de programación. Todo ello presagia aplicaciones rápidas, incluso el desarrollo de nuevas computadoras, capaces de tratar, no sólo datos numéricos, sino conocimientos.

Aplicaciones ya en curso o prometidas a corto plazo tocan importantes dominios de la vida pública y privada, como: la traducción automática; el reconocimiento y la síntesis de palabras o imágenes; los sistemas de ayuda a la decisión para la industria, la gestión, la economía, la medicina, el tratamiento de textos, la formación ayudada por computadora, los robots “inteligentes”.

Inteligencia artificial es la rama de la Ciencia de la Computación que se ocupa en lograr que las computadoras actúen como seres humanos, y se usen para modelizar los aspectos conductuales del razonamiento y el aprendizaje humanos.

Usada la expresión por primera vez quizás en el Congreso de Chicago (1954), o en 1956 por John McCarthy en el Massachusetts Institute of Technology, el punto de partida de las investigaciones se encuentra sin embargo en un artículo del matemático británico Alan M. Turing (1950),

sobre máquinas capaces de pensar. Turing plantea el problema de la *simulación cognitiva*, en términos de comportamiento observable, y propone el *Turing test* para probar si una computadora es capaz de pensamiento humano. Una persona se sienta ante un teletipo aislado de dos corresponsales, otra persona y una computadora. Formulando preguntas mediante el teletipo, y estudiando las respuestas, el observador aislado trata de determinar cuál corresponsal es humano y cual es la computadora. Si ello resulta imposible, se acredita que la computadora ha pasado la prueba.

La exploración de este campo da varias líneas para buenos comienzos, seguidos luego de un cierto estancamiento. El dominio va evidenciando una complejidad insospechada; produce informaciones demasiado numerosas para el tamaño de la máquina. La “Inteligencia artificial”, los razonamientos automatizados, abarcan un número limitado de operaciones lógicas trasponibles a la máquina, y que no dan cuenta de la inteligencia humana.

El postulado de partida (una inteligencia humana que procede por hábil manejo de reglas, clasificaciones y seriaciones, y por la elaboración de descripciones formales), se ha demostrado inoperante, salvo en dominios ultra-especializados. Las pistas exploradas hasta la actualidad no han permitido producir una máquina inteligente, capaz de aprender, de comprender, de interpretar, su medio ambiente. Se ha dado en cambio, una segunda fase de investigaciones centradas en programas de aplicación de *soluciones pertinentes a problemas específicos*, con fracasos pero también con logros.

Las investigaciones transforman el problema, separan lo que en la actividad humana inteligente es trasponible a máquinas. Ciertos aspectos de la inteligencia humana, captables como conjunto de conocimientos, definiciones y reglas, son programables en computadora, a condición de disponerse de memorias gigantescas, y de capacidades de tratamiento muy rápidas. Hasta el momento actual ninguna computadora exhibe plena inteligencia artificial, capaz de simular la conducta humana.

La investigación se ha concentrado y los mayores avances se han dado en actividades intelectuales que son pequeña parte de la inteligencia, pero dan materia de trabajo. Se refieren a una media docena de *grandes sectores*: juegos; reconocimiento de formas; interpretación del lenguaje natural; resolución de problemas a través de sistemas expertos; redes neurales; robótica.