

2. La era de la computación electrónica . . . . .	191
3. El papel del software . . . . .	210

fundamentales de las computadoras modernas: la representación binaria de los números y el control programado por medio de cinta perforada.<sup>7</sup>

La serie Mark desarrollada por Aiken alcanzó su cuarta edición. El modelo más avanzado de computadora del tipo electromecánico que se construyó jamás, la Mark IV, fue desmontada a principios de la década de los años sesenta. La tecnología electromecánica, como en su tiempo la tecnología de tipo netamente mecánica, había sido superada. Al ser desmontada la Mark IV, una época terminaba, las máquinas electromecánicas se desvanecían ante una nueva tecnología que entraba en su etapa de consolidación: la electrónica.

## 2. LA ERA DE LA COMPUTACIÓN ELECTRÓNICA

### A. *La primera generación de computadoras*

La tecnología electromagnética había permitido la construcción de los primeros equipos capaces de realizar el cálculo automático. Sin embargo, la velocidad de cálculo, que al principio parecía pasmosa, resultaba cada vez más insatisfactoria, especialmente en la realización de cálculos complejos. Aunado a esto, la dificultad de la construcción de estos equipos parecía insuperable. Cuando la arquitectura se hacía compleja, la parte mecánica de estas máquinas resultaba el aspecto más débil.<sup>8</sup>

De una manera casi simultánea al proyecto de la Universidad de Harvard, la Universidad de Pennsylvania propone, en 1943, al Ejército de los Estados Unidos de América, la realización de una máquina de cálculo similar en cuanto a sus funciones. La diferencia fundamental del proyecto de Pennsylvania era la aplicación de una tecnología radicalmente distinta.

La ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Calculator), nombre con que el se conoció esta máquina, se basaba en un nuevo y revolucionario dispositivo desarrollado pocos años antes: la válvula termiónica o bulbo.

7 El ingenio de Zuse y la situación de austeridad durante la guerra lo llevó a soluciones realmente ingeniosas. Por ejemplo, usó película fotográfica vieja de 35 mm para alimentar datos a sus máquinas. Aprovechaba que esta película tenía la consistencia suficiente y perforaciones en los bordes que hacían posible moverla por medio de engranes.

8 "Los problemas científicos superan nuestra capacidad de solución no por causa de las dificultades teóricas, sino por las limitaciones del cálculo mecánico" (Howard H. Aiken).

En el bulbo se aprovechaba un efecto conocido como “Efecto Edison”,<sup>9</sup> en el que una placa metálica dispuesta alrededor de un filamento incandescente dentro de un tubo al vacío sufre la inducción de una corriente eléctrica. La corriente inducida puede ser regulada por medio de una rejilla polarizada colocada entre el filamento y la placa.

La tecnología de válvulas termoiónicas superó, desde sus primeras aplicaciones, a la tecnología de circuitos eléctricos compuestos de elementos pasivos, y produjo el inicio de la era de la electrónica. Un gran número de inventos surgieron entonces por la síntesis de desarrollos científicos a los que el bulbo sirve en ese momento de catalizador.

Los ingenieros que diseñaron y construyeron la ENIAC, J. Prosper Eckert, John W. Mauchly y Herman H. Goldstine, ponen en marcha la primera computadora electrónica en febrero de 1946. La máquina encontró sus primeras aplicaciones en la ejecución de cálculos balísticos para dispositivos de tiro. Sin embargo, pronto se utilizó para aplicaciones científicas que iban desde el estudio de rayos cósmicos hasta la investigación sobre energía atómica.

En la ENIAC se eliminaron los relevadores que constituían el núcleo de las máquinas de cálculo de aquel entonces; los contadores a rueda, los actuadores, etcétera, fueron reemplazados por circuitos de válvulas termoiónicas activadas mediante impulsos eléctricos. Con la eliminación de las partes mecánicas en movimiento, se logró, sobre todo, una velocidad de cálculo mucho mayor, ya que los impulsos eléctricos viajan a una velocidad infinitamente mayor de lo que puede desplazarse un dispositivo electromecánico.

La ENIAC, conocida también como el *Cerebro de Columbia*, era capaz de realizar más de trescientas multiplicaciones por segundo, velocidad muy superior a los calculadores electromecánicos más perfectos.

La primera computadora electrónica también era una máquina gigantesca. Empleaba dieciocho mil bulbos electrónicos y pesaba más de treinta toneladas, ocupando una superficie total de ciento ochenta metros cuadrados. La operación de la ENIAC, sin embargo, resultaba poco confiable, tenía un promedio de fallas de una cada siete minutos aproximadamente. Además, su consumo eléctrico era sumamente elevado. Cuando la ENIAC era puesta en marcha el descenso en el nivel

9 Un efecto descubierto por Tomás Alva Edison durante el proceso que lo lleva a la invención del foco de filamento incandescente. Ésta es, de hecho, la única aportación netamente científica del llamado Mago de Menlow Park.

de voltaje de la energía eléctrica era sentido en toda la Universidad de Pennsylvania.<sup>10</sup>

Para programar la ENIAC, con el objeto de resolver un problema diferente, era necesario modificar manualmente la posición de un sinnúmero de interruptores y de conexiones de cables eléctricos. La ENIAC, a semejanza de las máquinas de registro unitario, se programaba para su funcionamiento a través de un panel. La programación de la computadora de Pennsylvania requería del trabajo de muchos especialistas durante varios días.

Un científico de origen húngaro, el profesor John von Neumann, al cual se debe también el desarrollo de la llamada *teoría de juegos*, que trabajaba para el Instituto de Estudios Avanzados de la Universidad de Princeton en los Estados Unidos, concibe desde 1943 lo que actualmente se reconoce como el esquema estructural de los computadores modernos: la máquina de programa almacenado.

En una máquina de programa almacenado, la programación de la computadora no se hace por alambrados en un panel, o por movimiento de interruptores, sino que las instrucciones para un proceso son almacenadas en la memoria, al igual que los datos a procesar en forma de códigos.

De esta manera una computadora puede pasar de una forma de proceso a otra simplemente alimentando un nuevo programa en la memoria, programa que se encontraba en tarjetas perforadas.

Esta concepción de máquina, también llamada máquina de Von Neumann, se hizo realidad por primera vez en la EDVAC (Electronic Discrete Variable Automatic Computer), construida por la Universidad de Princeton y puesta a funcionar en el año de 1952. En el proyecto participan el propio Von Neumann como director del mismo, Julian H. Bigelow, Herman H. Goldstine y el director del instituto, Robert Oppenheimer.

La presencia de la tecnología electrónica y el esquema de máquina de programa almacenado anima la construcción de nuevos prototipos, tanto en la Unión Americana como en Europa; así aparecen la EDSAC, la MADM, la UNIVAC, la SEAC, la MANIAC, etcétera.

La flexibilidad operativa introducida por el programa almacenado de Von Neumann permitió el aprovechamiento de las computadoras electrónicas fuera del círculo selecto de matemáticos y científicos, y llevó

<sup>10</sup> Contrario a esto, la operación de la Mark I resultaba casi continua. Era el enfrentamiento de una tecnología en su apogeo, la electromecánica, contra una tecnología naciente. la electrónica.

su gran capacidad de proceso a su aplicación a problemas de orden administrativo, productivo y económico.

El nacimiento de este nuevo instrumento, cuyas posibilidades superaban en mucho a cuantos habían sido inventados hasta entonces, origina una verdadera revolución científica y cultural, tal como el motor de vapor había hecho posible la Revolución Industrial dos siglos antes en Inglaterra.

Al principio de la década de los años cincuenta, en el marco del mundo de la posguerra, el computador electrónico sale de los laboratorios científicos para ser aplicado a la industria y al comercio. De la fase netamente experimental, las computadoras de la llamada “Primera Generación” pasan a su explotación comercial e inician su difusión en todos los ámbitos de la actividad humana.

Cuando apareció el primer calculador electrónico, los expertos evaluaron que sólo cuatro o cinco grandes empresas en los Estados Unidos podrían encontrar aplicaciones para este tipo de máquinas. A pesar de estas previsiones, el primer computador construido en serie se introdujo en el mercado en 1951, y, contra los pronósticos originales, se empezaron a difundir muy rápidamente gracias a nuevas técnicas, nuevos dispositivos y mejores métodos de programación.

En 1953, el número de equipos instalados en todo el mundo era de un centenar de unidades. Para 1958 había sólo en los Estados Unidos cerca de tres mil unidades en operación. El mercado de la informática había iniciado ya la dinámica que lo caracteriza actualmente.

En México, la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), adquiere e instala el primer computador electrónico de América Latina, un IBM-650. Casi simultáneamente pone en marcha su propio equipo la Comisión Federal de Electricidad.

### B. *La segunda generación de computadoras*<sup>11</sup>

Mientras los periodistas descubrían y alababan las grandes computadoras de la primera generación y los llamaban “supercerebros electrónicos”, éstas ya empezaban a hacerse obsoletas por la aparición de nuevos avances en materia de tecnología electrónica.

En 1947, tres brillantes científicos de los Laboratorios Bell (J. Bardeen, W. M. Brattain, W. Shockley) concibieron y desarrollaron, a partir de las propiedades de los materiales semiconductores, un ingenioso y

11 Golden, Frederic, citado, *supra*, nota 5.

revolucionario dispositivo electrónico al que llamaron transistor (contracción de *transfer resistor*). Por este desarrollo les sería otorgado, pocos años más tarde, el premio Nobel de Física.

La simpleza del diseño del transistor resultaba de lo más asombrosa. El transistor no era sino una especie de “emparedado” de materiales que tenían la propiedad física de conducir una corriente eléctrica en una sola dirección, comportándose como aislante en la dirección contraria. En la elaboración de los primeros transistores se emplearon principalmente cristales de germanio. Sin embargo, el silicio se haría común en esta aplicación pocos años más tarde, con la ventaja de que éste es uno de los elementos más abundantes en nuestro planeta.

Los cristales semiconductores simplemente eran dispuestos en tres capas de forma que una pequeña corriente aplicada en la capa central podía controlar una corriente mayor que atravesara las tres capas. De esta manera, un transistor podía ser usado como amplificador de señales, o bien como una compuerta electrónica que controlara el paso de una corriente eléctrica a un circuito.

Aun los primeros transistores contruidos resultaban mucho más pequeños que un bulbo, operaban con mayor velocidad, tenían una frecuencia de fallas mucho menor y su tamaño físico era mucho más reducido. Los nuevos dispositivos generaban una cantidad de calor tan reducida que podían ser colocados, a diferencia de los bulbos, muy próximos uno del otro, ocupando espacios muy reducidos. Con ello se posibilitaba la construcción de aparatos de dimensiones mínimas y potencia considerable.

Especialmente debe considerarse un detalle de enorme importancia. Los transistores resultaban sumamente baratos en su producción y, de nuevo, a diferencia de los bulbos, podían ser contruidos por una máquina-herramienta.

A pocos años de inventado el transistor, los genios de los Laboratorios Bell construyeron la primera computadora totalmente transistorizada (o de *estado sólido*), una máquina llamada Leprechaun.

La compañía Bell, perseguida en aquel entonces por la división *antitrust* de los Estados Unidos de América, adoptó la política de vender licencias a bajo precio (sólo veinticinco mil dólares) a todo aquel que deseara fabricar transistores, lo cual ocasionó una verdadera revolución entre las empresas que presentaban los grandes beneficios que resultarían de la comercialización de dispositivos de transistores.

Un gran número de nuevas compañías se formaron entonces a partir de la construcción de dispositivos electrónicos de estado sólido. William Shockley, uno de los inventores del transistor, abandonó la Bell, para

fundar su propia compañía en su pueblo natal, Palo Alto, California, que es el centro de lo que actualmente se conoce como el Valle del Silicio, donde están hoy en día establecidos la mayor parte de los fabricantes de equipos electrónicos. En Dallas, por otra parte, una compañía joven y agresiva, fabricante de equipo para la industria del petróleo, había contratado a otro de los genios de la Bell, Gordon Teal, e iniciaba su operación en la fabricación de transistores. Esta empresa era la Texas Instruments, actualmente uno de los líderes en la elaboración de circuitos electrónicos.

Políticas más conservadoras eran aplicadas por los antiguos fabricantes de bulbos como la RCA, la Sylvania, la General Electric y la Raytheon. Una parte importante del financiamiento en materia de innovación tecnológica de que disfrutaban estas compañías provenía del presupuesto de defensa del Pentágono. Sin embargo, éste había encontrado el transistor como un dispositivo ideal para la elaboración de equipo para una tarea muy especial: el control de misiles.

Las primeras computadoras, incluyendo las primeras construidas a base de transistores, eran ensambladas manualmente de forma similar a los antiguos radios, usando intrincadas madejas de alambres que conectaban los componentes entre sí. Cuanto más complejo el aparato construido, mayor la cantidad de alambres de interconexión necesarios y grande la complejidad de la madeja de cables utilizados.

Sin embargo, algunos ingeniosos fabricantes de equipo electrónico se dieron cuenta de que el alambrado podía ser sustituido por pistas de material conductor dispuestos adecuadamente sobre la tableta de ensamble, como si la interconexión de los componentes viniera impresa sobre dicho material. De esta forma, sólo restaría ensamblar los componentes en los sitios previamente dispuestos para ello, eliminando así la mayor parte del alambrado manual y reduciendo de manera importante los costos de mano de obra, ya que la tarjeta de ensamble podía ser elaborada en serie. Esto dio origen al que conocemos hoy como *circuito impreso* y que tiene en la actualidad una gran difusión entre los fabricantes de aparatos electrónicos.

### *C. El circuito integrado y la tercera generación*

La sustitución en los diseños electrónicos de la válvula de vacío se dio con gran rapidez en todos los terrenos. El advenimiento, casi simultáneo, de la computadora digital de programa almacenado le abrió al nuevo dispositivo electrónico un gran mercado potencial.

La conjunción de un nuevo componente y una nueva aplicación generó un crecimiento explosivo de ambos. La computadora se constituyó en un mercado ideal para el transistor y, más adelante, para los circuitos integrados de estado sólido que el mismo trajo como consecuencia. Este mercado resultó mucho más fecundo que el que había encontrado en las aplicaciones tradicionales de la electrónica al campo de las comunicaciones.

En gran medida lo anterior se debe a que los sistemas digitales precisan gran número de circuitos activos, en contraste con los sistemas dotados de amplificación analógica, como la radio. En la electrónica digital, un elemento determinado se halla en uno de dos estados: activado o inactivado, lo cual depende de la entrada. Por muchos elementos que se interconecten, la salida de los mismos continuará estando sencillamente activada o inactivada. La ganancia de la etapa individual es la unidad, de modo que, aunque se encadenen en cascada varias etapas, la ganancia seguirá siendo la unidad. Por el contrario, los circuitos analógicos requieren una amplificación de la entrada. Como la ganancia de cada amplificador suele ser típicamente de un factor de diez, sólo pueden conectarse en serie o cascada unas cuantas etapas antes de que se alcance el límite práctico de los niveles de tensión para elementos microelectrónicos. El sistema analógico no maneja, por tanto, gran cantidad de microcircuitos, mientras que el sistema digital sí los precisa; una calculadora de bolsillo contiene 100 veces más transistores que una radio o un receptor de televisión.

A pesar de la compatibilidad esencial entre la microelectrónica y la computadora, el hecho histórico es que los primeros esfuerzos encaminados a miniaturizar los componentes electrónicos no se debieron a los expertos en ingeniería de computación. El tremendo potencial de la computadora digital no se apreció de inmediato; los mismos creadores de la primera computadora creyeron que con unos cuatro equipos quedarían cumplidas las necesidades mundiales en lo referente al cálculo. Sin embargo, distintos proyectos de misiles y satélites requirieron instalar en sus equipos sistemas electrónicos complejos, en los cuales estuvieran muy restringidas las exigencias de tamaño, peso y potencia. Fue así como nacieron los esfuerzos de miniaturización, inducidos por oficinas militares y espaciales.

Al principio se pretendió miniaturizar los componentes convencionales. Entre los programas iniciales se contaba el "Proyecto Tinkertoy", de la National Bureau of Standards, cuyo objetivo era encapsular distintos componentes electrónicos en un modelo normalizado: una forma rectangular que pudiera empaquetarse de manera compacta, en vez de

la forma cilíndrica tradicional. En otra perspectiva se encontraba “la ingeniería molecular”. El ejemplo del transistor como sustituto de la válvula de vacío sugirió que podrían idearse sustituto similares: podrían descubrirse o desarrollarse nuevos materiales que, por su naturaleza de estado sólido, permitieran efectuar funciones electrónicas, distintas de la amplificación, dentro de un sólido monolítico. Estos intentos fracasaron, pero divulgaron la demanda de miniaturización y las recompensas potenciales que comportaría el éxito en el desarrollo de alguna forma de microelectrónica. Gran parte de la comunidad técnica se halló comprometida en la búsqueda de una solución al problema, ya que estaba claro que al afortunado inventor le esperaba un mercado dispuesto.

El circuito integrado de semiconductores proporcionó, finalmente, la solución. Se trataba de una serie de ideas que habían empezado a tomar forma a los pocos años de la invención del transistor. Varios investigadores observaron que se podían aprovechar las características de ciertos semiconductores, como el germanio y el silicio, que habían sido utilizados para fabricar el transistor. La resistencia propia del semiconductor y la capacidad de las uniones entre las regiones positiva ( $p$ ) y negativa ( $n$ ) que podían crearse en él, podían combinarse con transistores dentro del mismo material para realizar un circuito completo de resistencias, condensadores y amplificadores.

En 1953 Haewick Johnson, de la RCA, patentó un oscilador por desplazamiento de fase incorporado en una pieza de germanio mediante la técnica mencionada. G. W. A. Dummer, del Royal Radar Establishment (Inglaterra); Jack S. Kilby, de Texas Instruments Incorporated, y Jay W. Lathrop, de Diamond Ordnance Fuze Laboratories, generalizaron la idea.

Se precisaron, no obstante, varios avances clave antes de que pudiera comprobarse el apasionante potencial de los circuitos integrados. A mediados de los años 50, los ingenieros aprendieron a definir la configuración superficial de los transistores por medio de la fotografía, y desarrollaron el método de la difusión del estado sólido para inyectar las impurezas que crean las regiones  $p$  y  $n$ . El procesamiento en bloque de muchos transistores sobre una delgada “oblea”, seccionada a partir de un cristal grande de germanio o silicio, comenzó a desplazar la técnica pionera del procesamiento individual de los transistores. Los cientos de miles de transistores registrados con precisión que podían fabricarse sobre una sola oblea, tenían aún que ser separados físicamente, ensamblados individualmente con cables finos en el interior de una cápsula protectora y, posteriormente, incorporados en circuitos electrónicos.

El circuito integrado, tal como se concibió y desarrolló en Fairchild Semiconductor en 1959, consigue la separación e interconexión de los transistores y demás elementos del circuito en forma eléctrica en vez de físicamente. La separación se obtiene introduciendo diodos *pn*, o rectificadores que permiten que la corriente fluya en una sola dirección. Kurt Lehovec, de la Sprague Electric Company, patentó la técnica. Los elementos del circuito se interconectan mediante una película conductora de metal evaporado, que se fotografaba para conseguir la apropiada red de conexiones. Se precisa una capa aislante para separar el semiconductor subyacente de la película de metal, excepto allí donde se desee que estén en contacto. El proceso que efectúa ese aislamiento fue desarrollado por Jean Hoerni, en Fairchild, en 1958, año en que él inventó el transistor planar: sobre la superficie de la oblea se forma una delgada capa de dióxido de silicio, uno de los mejores aislantes conocidos, tras haber sido tratada y antes de que el metal conductor se evapore.

A partir de entonces se han ideado técnicas adicionales que brindan mayor flexibilidad al diseñador de circuitos, pero los métodos básicos estaban disponibles ya en 1960; se había inaugurado la era del circuito integrado.

En 1964, advirtiendo que, desde la producción del transistor planar en 1959, el número de elementos de los circuitos integrado avanzados se había ido duplicando anualmente, Gordon E. Moore, que era por entonces director de investigación en Fairchild, fue el primero en prever el progreso futuro del circuito integrado. Sugirió que cada año continuaría duplicándose su complejidad. Hoy no se ha detectado todavía ninguna desviación significativa de la ley de Moore. Ni hay señal de que el proceso se vaya a hacer más lento, aunque, en definitiva, resulta inevitable una desviación del crecimiento exponencial. La tecnología se halla lejos de los límites fundamentales que le imponen las leyes de la física: una mayor miniaturización parece estar menos condicionada por las leyes físicas que por las económicas.

El crecimiento de la industria microelectrónica ilustra hasta qué punto las inversiones en el campo de la investigación pueden resultar en la creación de oportunidades empresariales, puestos de trabajo y mercados de exportación. Después de la introducción del circuito integrado a principios de los años 60, el consumo mundial total de circuitos integrados creció rápidamente, alcanzando un valor de casi mil millones de dólares en 1970. En 1976 el consumo mundial superó la triplicación de la cifra con los 3,500 millones de dólares. De este total, las compañías estadounidenses produjeron más de 2,500 millones (alrededor del 70 por cien-

to), del cual mil millones se exportaron a clientes extranjeros. Pero el impacto registrado en la industria electrónica trasciende el marco escueto de esos números. En los equipos electrónicos menos del 10 por ciento del valor se debe a los propios circuitos integrados.

La sustitución de componentes discretos por dispositivos microelectrónicos reduce los costos, y ello, no sólo debido a que los dispositivos en sí sean más baratos, sino por muchas otras razones. Primero, el circuito integrado contiene muchas de las interconexiones que anteriormente eran necesarias, y, por tanto, ahorra trabajo y materiales. Las interconexiones de los circuitos integrados son mucho más fiables que las soldaduras y los conectores, lo cual se traduce en ahorro de mantenimiento. Como los circuitos integrados son mucho más pequeños y consumen bastante menos potencia que los componentes que han desplazado, permiten ahorrar en estructura de soporte (cabinas y bastidores), en transformadores de potencia y en dispositivos de ventilación. Durante la producción se necesitan menos comprobaciones intermedias, porque el comportamiento correcto de los complejos circuitos integrados está ya asegurado. Finalmente, el usuario economiza espacio, potencia de operación y refrigeración para el equipo. Todo esto es un modo de decir que, aun cuando los circuitos integrados sólo fueran equivalentes en el coste a los componentes que han desplazado, otras ventajas motivarían el uso de circuitos integrados más elaborados y en menor cantidad conforme estuvieran disponibles.

#### *D. El microprocesador y la cuarta generación*

##### *a) El nacimiento del microprocesador*

En la historia de la tecnología periódicamente aparecen inventos revolucionarios que se convierten en factores de cambio y producen las verdaderas revoluciones científico-económicas. Cuando aparece un implemento nuevo e innovador, se inicia un proceso imparable e irreversible (por ejemplo, el automóvil, el aeroplano o el microprocesador) y se convierte en el catalizador de enormes cambios tecnológicos y sociales.

Inventos como esos no provienen necesariamente de nuevos principios o desarrollos científicos, sino de la síntesis de principios ya existentes. La nueva tecnología expande a la anterior en formas nuevas y por vías predecibles e impredecibles a la vez. Por lo general, las consecuencias inesperadas resultan ser las más valiosas.

Estas invenciones frecuentemente nacen de la lucha de un reducido grupo de creyentes en contra de aquellos que se desenvuelven con éxito en una tecnología ya consolidada y que, generalmente, tienen mucho que perder con el cambio. De cualquier modo, debido a que estas innovaciones tienen una cierta inevitabilidad en sí mismos, la verdadera contribución consiste en hacerlas funcionales.

El microprocesador, el héroe de la revolución informática de hoy en día, hizo posible la difusión de equipos con enorme poder de cálculo y, sobre todo, permitió un cambio fundamental en la orientación de la informática: la computadora personal.

### b) El principio

En 1969, el Silicon Valley (Valle del Silicio) en el estado estadounidense de California, era el centro de la industria de semiconductores, e Intel, empresa que había sido creada hacía apenas un año, era una de las más prestigiadas filiales de la *Fairchild Semiconductor*. Intel y unas pocas compañías más habían calculado que la tecnología de las memorias de semiconductores tendría un gran éxito en el futuro y reemplazaría, tarde o temprano, a la tecnología de las memorias de núcleos magnéticos entonces ampliamente difundida.

En ese mismo año la empresa Busicmo, una joven y dinámica manufacturera japonesa de calculadoras, entró en contacto con Intel, buscando los servicios de manufactura de microcircuitos integrados (*chips*) bajo pedido. El proyecto comprendía la fabricación en serie de una decena de circuitos que constituían el corazón de una nueva calculadora de escritorio de bajo costo.

Intel no estaba en posibilidad de cumplir con la totalidad del contrato de manufactura; la compañía en aquel entonces no tenía la capacidad suficiente para realizar el diseño lógico necesario y hubiera tenido que contratar demasiados especialistas para realizarlo. Sin embargo, en el departamento de investigación aplicada de Intel, se pensó que había un modo mejor para realizar el desarrollo.

En esos días existía una controversia acerca del diseño e implementación de diversos dispositivos electrónicos, especialmente calculadoras: la estrategia del diseño estándar o genérico contra la que podríamos llamar de diseño “artesanal” o específica bajo pedido. En el primer caso se creaban microcircuitos de propósito general que eran programados para cumplir las especificaciones de diseño de la nueva calculadora. En el segundo caso, el diseño de una nueva calculadora llevaba apare-

jado el diseño y la construcción de un microcircuito especial para el nuevo implemento.

Los que proponían el diseño específico constituían la mayoría, quienes argumentaban que diseñar microcircuitos de propósito general para calculadoras no era efectivo en cuanto a costos; los *chips* estándar tendrían que incorporar demasiadas opciones, y resultarían así más complejos y, por lo tanto, más caros que los diseñados con un propósito específico.

Por su parte, los que sostenían la tesis del diseño estándar sostenían que si se diseñaba y estructuraba la calculadora de modo similar a una pequeña computadora programable, podría ser a la vez versátil y de bajo costo. La Fairchild ya había realizado trabajos pioneros en esta área desarrollando una arquitectura serial de un bit para la construcción de unidades CPU (Central Process Unit). Igualmente, en otra compañía, la Rockwell, se había diseñado un CPU sofisticado aplicando estrategias similares. La idea del “CPU en un solo *chip*” ya había estado rondando la mente de algunos diseñadores desde mediados de los años sesenta.

Desde la invención del circuito integrado en 1959, la industria de los semiconductores había duplicado su capacidad de integración de elementos en sólo encapsulado anualmente. Así, año con año el número de componentes integrados a un solo chip se convertía en el doble. En los inicios de la década de los años sesenta, la tecnología denominada “integración a pequeña escala” (Small-Scale Integration, SSI), permitió que por medio de unas cuantas decenas de componentes se formaran compuertas lógicas simples en un *chip*. Hacia la mitad de la década, la tecnología de “integración a mediana escala” (Medium Scale Integration, MSI), permitió la elaboración de circuitos integrados conteniendo centenas de componentes y que cumplieran funciones más complejas como contadores, sumadoras, multiplexores y otros. Para la época de que hablamos, estaban dadas las condiciones para la aparición de la tecnología de “integración a gran escala” (Large Scale Integration, LSI), en la que la capacidad de integración en un encapsulado simple crecía a miles de componentes.

Era ya común en aquellos días la sustitución de circuitos modestos constituidos por unos pocos transistores, diodos y resistencias por dispositivos de SSI. Algunos artefactos con circuitos elaborados con tecnología de MSI pasaron a reemplazar a los circuitos impresos, que ya contenían varias decenas de artefactos SSI. Era obvio que unos pocos dispositivos LSI podrían sustituir con ventaja en breve plazo a los circuitos impresos que contenían varias decenas de MSI.

Los ingenieros se preguntaban qué tipo de implementos de propósito general llegarían a necesitar este tipo de componentes. Una respuesta, al menos, era clara: memorias de semiconductores y CPUs para pequeñas computadoras. Esos CPUs, en aquel entonces, requerían de uno o más circuitos impresos atestados de componentes del tipo SSI y MSI. Hacia finales de la década, cuando finalmente fue posible la integración a gran escala, era sólo cuestión de tiempo el que apareciera el primer CPU contenido en un solo *chip*. Hoff vio en el pedido de la Busicom la oportunidad de crear y definir un grupo de componentes estándar diseñados alrededor del concepto del “CPU en un solo *chip*”.

Durante el otoño de 1969 los ingenieros de aplicaciones de la Intel definieron una arquitectura consistente en un CPU de 4 bits, una memoria de sólo lectura o ROM (Read Only Memory) para almacenar las instrucciones del programa, una memoria de acceso aleatorio RAM (Random Access Memory) para guardar datos y varios puertos de entrada y salida de datos para establecer interfaz con dispositivos del exterior, tales como teclas, impresora, pantalla alfanumérica, indicadores, etcétera. Igualmente, definieron y verificaron la programación de ese CPU para que actuara de la manera en que el diseño de la calculadora de Busicom requería. Para ello contaron con la ayuda de ingenieros de la propia Busicom.

### c) El primer desarrollo

La Fairchild había desarrollado en 1968 la tecnología del puente de silicón, un nuevo proceso tecnológico para fabricar circuitos integrados de alta densidad y alto rendimiento. Intel adoptó esta tecnología, que le permitiría construir, entre otras cosas, memorias de alto rendimiento.

Para la elaboración del microcircuito que respondía al diseño realizado para la Busicom primero hubo que terminar de resolver los problemas restantes, y después poner los cimientos del estilo de diseño que se usaría para el grupo de *chips*. Finalmente, se realizó el diseño lógico y de circuitos, y el plano de los cuatro chips. Fue necesario desarrollar una nueva metodología para el diseño de la lógica con tecnología de puente de silicón; no se había hecho nunca antes.

A ese grupo de *chips* se le llamó *familia 4000*. Consistía de cuatro dispositivos: el 4001 era un ROM de dos Kb con un puerto de comunicación de programable de 4 bits; el 4002 era un RAM de 320 bits con un puerto de salida de 4 bits; el 4003 era un registro de diez bits en serie hacia el interior y paralelo al exterior para ser

usado como un expansor de entrada y salida; y, finalmente, el 4004 era un procesador central de 4 bits.

El 4001 fue el primer chip diseñado y construido. La primera prueba se hizo en octubre de 1970, y el circuito funcionó perfectamente. En noviembre del mismo año el 4002 hizo acto de presencia y sólo presentó un error mínimo, y el 4003, también completo, funcionó correctamente. Finalmente, el 4004 arribó unos cuantos días antes del final de 1970. Sin embargo fue necesario reelaborarlo.

Por fin, en febrero de 1971, las máscaras del 4004 fueron corregidas. Casi al mismo tiempo, se recibieron los códigos de la programación en ROM por parte de Busicom.

Para mediados de marzo de 1971, la Intel embarcó equipos completos de componentes hacia Busicom, donde el equipo de diseño de la calculadora verificó que operaba correctamente. Cada equipo constaba de un 4004, dos 4002, cuatro 4001 y dos 4003.

Algunos de los ingenieros participantes en el grupo de desarrollo de la familia 4000 pensaron que el microcircuito incrementado podía ser utilizado para muchas otras aplicaciones. Sin embargo, la gerencia de la compañía no era de la misma idea, sino que sostenía que los *chips* de la familia 4000 se habían diseñado bajo un contrato de exclusividad, por lo que no podían ser ofrecidos o vendidos a nadie sino a Busicom.

Empero, y aprovechando que Busicom necesitaba lograr costos de producción más bajos para competir con efectividad en un mercado cada vez más complicado, la Intel negoció con Busicom la no exclusividad para la aplicación del 4004 en aplicaciones que no fueran calculadoras a cambio de ventajas en la manufactura de *chips*.

En noviembre de 1971, la familia 4000, bautizada como sistema de microcomputadora de 4 bits; [MCS-4 (Microcomputer System - 4 bits)], fue oficialmente introducida al mercado a través de un anuncio en las publicaciones de mayor venta. El mensaje principal era: “Anunciando una nueva era de la electrónica integrada”, una frase que resultaría bastante profética.

#### d) Un nuevo diseño

En 1960, la Computer Terminal Corporation (CTC) (actualmente Datapoint) acudió a Intel para la producción de algunos circuitos. Vic Poor, vicepresidente de investigación y desarrollo en CTC, quería integrar el procesador central (aproximadamente 100 componentes TTL) de la nueva terminal inteligente diseñada por la empresa, el Datapoint 2200,

en el menor número posible de circuitos integrados, reduciendo así el costo y las dimensiones físicas del equipo.

Los diseñadores analizaron la arquitectura, el conjunto de instrucciones y el diseño lógico de la CTC, y estimó que Intel podía integrar todo en un solo *chip*, de manera que ambas compañías firmaron un contrato para el diseño y desarrollo de ese microcircuito. El microcircuito del procesador de la Datapoint, internamente llamado 1201, era un aparato de 8 bits. Dirigido a aplicaciones en la construcción de terminales de computadora, resultaba más complejo que el 4004.

Mientras tanto, CTC también había contratado a Texas Instruments para realizar el mismo diseño del microcircuito como alternativa. A finales de 1970, Intel reasumió el proyecto 1201, que había abandonado durante algún tiempo.

A principios de junio de 1971, Texas Instruments puso un anuncio en la revista *Electronics* describiendo las capacidades de su MOS LSI. Un dibujo de un complejo circuito integrado con el texto “CPU en un *chip*”, acompañaba la descripción del circuito manufacturado por esa empresa para el Datapoint 2200. El anuncio continuaba: “TI lo desarrolló y está produciéndolo para CTC [...]”, y daba las estadísticas vitales del *chip*. Las dimensiones eran de 215 mm por 225 mm, un *chip* enorme aún para la tecnología de 1971, que resultaba casi tres veces más grande de lo estimado por Intel para el 1201.

De cualquier modo, el *chip* de Texas Instruments nunca salió al mercado, se desvaneció, y no se volvió a oír de él hasta las batallas legales que dio esa empresa y que continúan.

En 1990, la Oficina de Patentes de los Estados Unidos de América le concedió la patente a Gilbert Hyatt por el invento del *chip* de microcomputadora (aproximadamente 20 años después de su construcción). Las noticias de esta concesión tomaron a la industria por sorpresa, pues los procedimientos de la Oficina de Patentes son secretos y Hyatt no era muy conocido. Mientras se decía que Hyatt había construido una implementación prototipo piloto (usando componentes convencionales) de su arquitectura de microprocesador, no fue realizada ni una implementación del microcircuito. No se tiene noticia de que esta concepción haya sido alguna vez puesta en práctica.<sup>12</sup>

De cualquier manera, Intel construyó exitosamente el primer microprocesador operativo, a bajo costo y con un volumen alto de producción. Requirió visión, entusiasmo y mucho trabajo el sacar al mercado un

12 “Micro Micro: ¿quién hizo la micro?”. *Byte*, enero 1991.

producto que era diferente a todos los demás, un producto que requería de entrenamiento del cliente, soporte y trabajo de campo. Intel lo hizo, corriendo un gran riesgo cuando todavía era una empresa pequeña y no podía permitirse el cometer errores.

Tres tareas críticas tuvieron que llevarse a cabo antes de que la concepción del microprocesador se consolidara en la industria. Primero, la tecnología de esos tiempos tenía que implementar de manera económica una arquitectura útil. Segundo, alguien tenía que diseñar, desarrollar y llevar el *chip* a producción con un costo de manufactura lo suficientemente bajo. Y tercero, el microprocesador debía llegar hasta el mercado general. Esto último requería verdadera fe en el aparato y su capacidad para transformar el diseño de *hardware*.

Durante el verano de 1971, mientras el trabajo en el 1201 progresaba en buena forma, Datapoint decidió que ya no quería éste. La recesión económica de 1970 había llevado el precio de los dispositivos TTL a un nivel en donde el 1201 ya no resultaba atractivo. A pesar de esto, dado que la compañía Seiko de Japón había manifestado su interés en él, Intel decidió continuar con el proyecto. Datapoint accedió a permitir que Intel usara su diseño de la arquitectura, a cambio de cancelar los cargos por la cancelación de su desarrollo. Intel era libre para comercializar el 1201 como producto de su propiedad.

Diseñado después que el 4004, el 1201 no era un proyecto tan complejo. En términos de arquitectura, éste era muy similar a aquél —a pesar de que el 1201 era un CPU de 8 bits— y muchas de las soluciones de diseño usadas en el 4004 se podían aplicar al 1201.

Intel estaba lista para introducir el 1201, que más tarde fue rebautizado con el nombre que lo hizo popular: el 8008, cuando el grupo de pruebas de la compañía descubrió fallas intermitentes en el circuito. El grupo de diseñadores trabajó febrilmente durante una semana hasta localizar y resolver el problema.

Para diseñar una aplicación para microprocesador, primero se tenía que visualizar el problema como un programa de computadora, y después escribirlo, probarlo y depurarlo en algún tipo sistema de simulación de *hardware*, y más adelante grabar el programa en memorias de tipo ROM. Afortunadamente, Intel acababa de desarrollar el primer *chip* de memoria del tipo EPROM (Erasable Programmable Read Only Memory) que haría mucho más rápido y barato el proceso.

La información EPROM, conocida como 1701, era una memoria programable de dos KBytes de capacidad, con *hardware* especial y, sobre todo, susceptible de ser borrado su contenido usando luz ultravioleta. Diseñado seis meses antes que el 1201, el 1701 era una solución

a la búsqueda de un problema. Este circuito hizo posible la elaboración de una tabla que se podía utilizar en el desarrollo, ejecución y depuración del *software* del MCS-4.

Los microprocesadores requerían mucho más esfuerzo de mercadotecnia que los componentes convencionales. Un componente típico a lo sumo tendría una foja de datos de 6 a 10 páginas. El MCS-4 tenía el doble de páginas, un manual de programación, notas adicionales mostrando cómo usar los componentes y un ensamblador cruzado, es decir, un programa ejecutable en una microcomputadora que permitía la traducción de mnemónicos de instrucciones a lenguaje de máquina.

Toda esta parafernalia requería bastante más conocimiento y tenía una mayor complejidad y costos que el que la industria de los semiconductores estaba preparada para manejar. Además, los ingenieros tenían que cambiar fundamentalmente su visión de diseño del *hardware*. Con el microprocesador, se tienen que visualizar los problemas en términos de *software*. Curiosamente este era, en apariencia, el mayor obstáculo de todos.

En abril de 1972, Intel introdujo al mercado el 8008, con un grupo de microcircuitos adicionales de soporte, como una familia de productos llamada MCS-8. Los *chips* de soporte eran productos estándar de Intel con otro nombre; la familia MCS-8 se veía impresionante, y el interés en el mercado era alto, pero las ventas se producían lentamente.

Los clientes necesitaban más que las simples ayudas de diseño que ofrecía Intel; estaban urgidos de más herramientas de *software* y *hardware*, entrenamiento y ayuda para aplicaciones de lo que se había supuesto. Así que Intel los proveyó con una variedad de *software*, especialmente auxiliares para el diseño de *hardware*, y fomentó un programa masivo de entrenamiento a ingenieros llevado a cabo por consultores externos.

Entonces nació la idea de construir un sistema de desarrollo, y la gerencia de Intel decidió encaminar a la compañía en esa dirección. El sistema de desarrollo es una computadora que se simula a sí misma, especializada para desarrollar y depurar *software* para microprocesadores. Un año después de la introducción del microprocesador, Intel recibía más ingresos de los sistemas de desarrollo que de los *chips* de microprocesador.

### e) La gran difusión

A pesar de la buena acogida que el 8008 empezaba a tener, aparecieron algunas críticas acerca de la arquitectura y el rendimiento de los

microprocesadores. La razón de fondo de las críticas se hallaba en que, mientras los diseñadores de microprocesadores tenían en mente la elaboración de circuitos de propósito general destinado al desarrollo de instrumentación, los diseñadores de equipo electrónico anhelaban la aparición de microcircuitos orientados a su aplicación en computadoras. Algunas de las características más importantes que la industria quería ver en el circuito eran velocidad y facilidad de interconexión.

Usando un nuevo proceso de  $n$ -canales desarrollado para memorias de alta capacidad se encontró que sería posible mejorar la velocidad de proceso y la capacidad de interconexión. El grupo de diseño también deseaba hacer varias mejoras funcionales; una mejor estructura de manejo de interrupciones, más facilidad de acceso a la memoria y un conjunto de instrucciones más amplio. En el verano de 1972, después de evaluar la factibilidad del proyecto, Intel llegó a la decisión de poner en marcha la construcción del nuevo microprocesador.

Las pruebas de funcionamiento del nuevo microprocesador, bautizado para entonces como 8080, se iniciaron en diciembre de 1973. Una vez corregidos algunos pequeños errores, se introdujo el producto en el mercado en marzo de 1974. Tras eso, Intel se convirtió, claramente, en la empresa líder en la fabricación de microprocesadores, aunque otras compañías tenían ya productos muy competitivos.

En 1972, la Rockwell anunció el PPS-4, similar al MCS-4 pero con un encapsulado de cuarenta y dos pines. El PPS-4 usaba técnicas de diseño de cuatro fases y tecnología MOS (Metal-Oxide Semiconductor) de puente de metal, logrando acercarse a la velocidad del MCS-4, gracias a una mayor orientación a la operación de paralelo. Los ingenieros de la Rockwell lograron superar parcialmente las limitaciones de la tecnología MOS de puente de metal, pero el PPS-8, aparecido después que el 8080, no resultaba rival para éste.

La competencia más seria para Intel vino de la compañía Motorola. El microprocesador producido por ésta, el 6800, usaba tecnología MOS de puente de silicón y fue presentado aproximadamente seis meses después que el 8080. En muchas cosas el 6800 era un producto superior. A pesar de ello, la combinación de una mercadotecnia más agresiva, una disponibilidad de mejores herramientas de *software* y *hardware* aunados a la facilidad de construcción dieron una razonable delantera al 8080.

El 8080 y su generación fueron quienes realmente crearon el mercado del microprocesador. El 4004 y el 8008 lo sugirieron, pero el 8080 lo hizo real. Por primera vez, varias aplicaciones que no eran posibles con

anteriores microprocesadores se volvieron prácticas. El 8080 fue inmediatamente usado en cientos de diferentes productos.

### f) Los nuevos productos

En noviembre de 1974, un grupo de diseñadores de Intel se separó de la empresa y fundó una compañía nueva, la Zilog. A poco más de un año de creada la nueva empresa apareció su primer desarrollo; el microprocesador Z80, el primer miembro de la familia Z\*). La idea general para el diseño del Z80 surgió en diciembre de 1974. El conjunto de microcircuitos estaba concebido como una familia de componentes diseñada para trabajar en conjunto y ser capaz de crecer. Era totalmente compatible con el 8080 a nivel de conjunto de instrucciones de máquina e incorporaba muchas características novedosas, registros adicionales e instrucciones no existentes en el 8080.

A principios de 1976 el Z80 se convirtió, finalmente, en una realidad y se presentó en el mercado. El microprocesador Z80 fue bien recibido por el público, con lo que Zilog se convirtió en la mayor competidora de Intel.

El Z80 era un buen producto y, además, la oportunidad del momento de su introducción fue afortunado. La importancia del microprocesador se estaba haciendo evidente y crecía de manera vertiginosa. Grupos de usuarios de computadores surgían en todo el mundo y especialmente en Estados Unidos. El número de jóvenes entusiastas de las computadoras se incrementaba día tras día y con ellos llegaba una nueva generación que imprimiría una cantidad enorme de energía creativa, entusiasmo e imaginación. Ese fue el campo de cultivo de la computadora personal, el producto que popularizó al microprocesador.

La computadora personal es un claro ejemplo de las consecuencias inesperadas de una nueva tecnología. Desde luego, sabíamos en 1971 que se llegarían a elaborar computadoras de tamaño pequeño capaces de ser colocadas sobre un escritorio, pero es la computadora personal, como fenómeno socioeconómico, más que como logro de ingeniería, lo que resulta sorprendente.

Para 1977, los microprocesadores estaban consolidados en el mundo y se habían convertido en parte importante del universo tecnológico. De ahí en adelante la evolución de los microprocesadores se ha convertido en proceso de construcción de circuitos más rápidos, más poderosos y más baratos. Las compañías dedicadas a la producción de dispositivos electrónicos han establecido una sólida competencia para ganar espacios en un mercado cada vez más amplio. Alimentando este

proceso está la continua evolución de la tecnología de proceso de semiconductores, la fuente misma de la revolución microelectrónica.

### 3. EL PAPEL DEL SOFTWARE

#### A. *Los componentes de una computadora*

Un sistema de cómputo se compone genéricamente de dos tipos de elementos: los componentes físicos que, interrelacionados, configuran el equipo mismo, llamados elementos de *hardware*, y los elementos de programación que hacen que ese equipo actúe de una manera determinada, llamados elementos de *software*.

La expresión *hardware*<sup>13</sup> se utiliza para designar los componentes materiales del sistema de cómputo, es decir, al conjunto de dispositivos electrónicos que participan en el procesamiento de datos. Su diseño y construcción se dirige casi siempre a desarrollar implementos de aplicación general es decir equipo estándar.

#### B. *El software*

El *software*, conocido también en algunos países de habla hispana con el nombre de *logical* (del francés *logiciel*), es llamado así por oposición a la palabra *hardware*. Lo podemos definir como el conjunto de programas y rutinas que utiliza la computadora para permitir la operación de sus componentes en un proceso.

La computadora no es más que un sistema de elementos interconectados entre sí para formar un aparato de aplicación general. Para que pueda realizar un proceso determinado necesita disponer de una secuencia de instrucciones que le indiquen la forma de realizar los procesos que se desee. En consecuencia, un computador no sirve a ningún fin si no es alimentado por programas adecuados a los procesos que se desean realizar.

Si bien la computadora misma, y los elementos que la constituyen a nivel de *hardware*, son muy importantes, quizá lo son más los componentes de *software*, especialmente hoy en día.

<sup>13</sup> La traducción de la palabra *hardware* al español sería ferretería o quincallería, lo cual no sería convenientemente aplicable; algunos autores han propuesto el uso de palabras como "mecatrónica". Sin embargo, esto nos parece exagerado y barroco, por lo que hemos preferido usar los tecnicismos universalmente aceptados.

Un programa está constituido por la serie de instrucciones que son la expresión del *algoritmo*<sup>14</sup> que deseamos se ejecute por la computadora. Estas instrucciones se expresan por medio de lenguajes especiales de comunicación con la máquina llamados lenguajes de programación.

El nivel más primitivo de lenguaje de programación es el lenguaje de máquina, es decir, los códigos mismos de las instrucciones reconocibles por la computadora, expresados en forma numérica.

Este tipo de lenguajes resultan, desde luego, de difícil uso por el hombre, lo que hace de la programación a ese nivel una tarea compleja, delicada y críptica. Para facilitar la labor de programación se han creado infinidad de lenguajes, cada uno con características distintas y ventajas específicas.

Parte fundamental del *software* de una computadora es el *sistema operativo*, que es el conjunto de programas de proceso y programas de control que administran los recursos físicos del computador.

### C. El mercado del software

El *software* representa un componente cada vez más importante del costo de un sistema informático, especialmente en el caso de los sistemas medios y grandes. La tendencia surgida, desde la aparición de los primeros computadores comerciales al final de la década de los años 50, fue el incremento comparativo del costo del desarrollo de programas de computación contra el costo del proceso mismo en el *hardware* correspondiente. Hacia los años 70 se consideraba ya que el costo de adquisición o desarrollo del *software* en un proyecto de automatización había alcanzado en importancia al costo del *hardware*.

Un factor que incide de un modo muy especial en este efecto es la creciente brecha que separa el rendimiento de los equipos y la productividad en el desarrollo de los programas que dan vida a éstos. Mientras

14 Durante el siglo XIV aparecieron muchos trabajos dedicados a los numerales indoarábicos y sus usos. Uno de éstos, traducido al latín, es escrito por el matemático árabe al-Khuwarizmi en el siglo IX, e introduce indirectamente la palabra *algoritmo* al vocabulario de las matemáticas. En la traducción latina del libro de al-Khuwarizmi, encontramos la frase: "dicho ha Algoritmi [...]", donde el nombre del autor árabe se ha latinizado como Algoritmi, de donde se derivaron las palabras guarismo, algorismo y, más comúnmente, algoritmo. Hoy en día la palabra algoritmo significa, en general, método o procedimiento para efectuar una operación o cálculo. Un manuscrito anónimo del siglo XVI, que se encuentra en la actualidad en la biblioteca de la Universidad de Columbia y es conocido como "El Algoritmo de Columbia", contiene una discusión sobre los llamados algoritmos, incluyendo, además, problemas, de donde se muestra la aplicación de las matemáticas a los negocios, acertijos y recreaciones numéricas y sus soluciones completas. En 1498, Pacioli publica su *Summa*, en Italia, la mayor parte de la cual está dedicada a la definición de algoritmos para la realización de operaciones aritméticas.

la potencia de cálculo de los equipos de cómputo —según estimaciones— creció en un factor de un millón entre 1955 y 1985, la productividad en materia de desarrollo de *software* sólo aumentó en un factor ligeramente superior a 13 veces.

Esto es explicable si tomamos en cuenta que, si bien el concurso de ambos elementos (*software* y *hardware*) es imprescindible para el funcionamiento de un sistema automatizado, se ha tenido una amplia tendencia a la estandarización en materia de *hardware*. De modo especialmente evidente, desde el surgimiento de la microcomputadora en los años 80, se siguió la política de seguir diseños comunes en la construcción de equipos.<sup>15</sup>

Esta estandarización permite concentrar esfuerzos de investigación y desarrollo en la evolución de los modelos existentes, que se convierten en plataformas generalizadas para todo tipo de aplicaciones.

La especialización del sistema automatizado para una aplicación en particular viene dada por la aplicación del *software* adecuado. Sin embargo, la gran divergencia de aplicaciones posibles hace que sólo unas cuantas puedan ser manejadas exitosamente con *software* estándar.

Desde luego hay una cierta cantidad de aplicaciones que normalmente son procesadas por programas de aplicación general, como el procesamiento de textos, la contabilidad, etcétera. Sin embargo, lo común en un proyecto global de informatización corporativa es que se tenga que desarrollar un porcentaje sustancial del *software* utilizado.

Esta situación produjo lo que a mediados de los años 80 se consideró sería un punto de inflexión de la llamada *revolución informática*, ya que, de forma similar a lo que ocurría en los años 60 cuando sólo las grandes corporaciones eran capaces de financiar un equipo de cómputo, serían sólo estas mismas corporaciones quienes estarían capacitadas para enfrentar el costo de desarrollo de los sistemas que les permitiera un esquema de operación hipermoderno de alta eficiencia.

El desarrollo, por ejemplo, del proyecto de defensa estratégica estadounidense (conocido como “Guerra de las Galaxias”) requiere, para realizarse, el desarrollo de un poderosísimo *software* capaz de manipular decenas de millones de instrucciones interrelacionadas.

15 Recordemos cómo tras el espectacular éxito conseguido por el modelo II Plus de la Apple, un amplio número de fabricantes produjeron modelos similares, haciendo de aquél el estándar de la industria. Más recientemente, la IBM, en un esfuerzo gigantesco, del que sólo era capaz ésta, logró desplazar a la Apple del mercado y hacer de su modelo PC el nuevo estándar. De todos es conocido la enorme cantidad de fabricantes que producen los llamados *clones* de PC. Igualmente, aunque en tiempos más recientes, a nivel de minicomputadoras se ha venido generando una tendencia a la estandarización (vgr., computadoras RISC, Reduced Instruction Set Computers).

Esta incidencia de la llamada crisis del *software* explica el enorme esfuerzo de investigación y desarrollo que se realiza en los países industrializados en la materia. El Departamento de Defensa estadounidense habría gastado, en 1985 —según la revista *Fortune*—, once mil millones de dólares en *software*. En Japón, Francia, Gran Bretaña y la Comunidad Económica Europea existen fuertes inversiones en proyectos de investigación y desarrollo orientados a la creación de *software* para computadoras, y al avance de la ingeniería de *software*. Es de destacarse que la tendencia mundial, desde mediados de la década de los 80, en la empresas relacionadas al ramo de la informática, es destinar mayores recursos a la investigación y desarrollo de proyectos de *software* que a proyectos en *hardware*.

La ingeniería del *software*, particularmente la aplicación de técnicas para elevar la producción del mismo, como la del uso de herramientas (*software tools*), o la adopción de lenguajes de programación orientada a objetos (*object oriented programing*), es una de las vías más prometedoras. Japón alcanzó, a finales de la década de los 80, una ventaja comparativa en este campo aplicando una estrategia científica en la producción de *software*, que supera, al menos en cuanto a productividad, a la estrategia tradicional de desarrollo. Grandes corporaciones japonesas han establecido lo que podríamos llamar *fábricas de software*, en donde concentran su capacidad de diseño y producción de sistemas. Según datos del Departamento de Comercio de los Estados Unidos, la productividad de los programadores japoneses es seis veces mayor que la de sus colegas estadounidenses y su probabilidad de error es la décima parte de éstos.

En este contexto, el mercado del *software* es uno de los sectores más dinámicos e importantes en la actualidad, y reviste una importancia creciente que es actualmente superior a los 75 mil millones de dólares anuales.

## SEGUNDA PARTE

### LA INFORMÁTICA Y EL DERECHO

#### 1. LA INFORMÁTICA JURÍDICA

Como producto de la interacción de las tecnologías de la información y el derecho, debe mencionarse a la informática jurídica,<sup>16</sup> que puede

16 La bibliografía sobre la materia es ya muy amplia. Véase la bibliografía citada en Fierro. *op. cit.*, *supra*, nota 4, pp. 111-116. También pueden verse IJ/IRETU; *Diálogo sobre la*