

Innovación tecnológica en la informática

Carlos María Correa*

Primera parte

Características de la innovación tecnológica

La innovación tecnológica —concepto que debe diferenciarse del de investigación y desarrollo (ID)—¹ ha sido la clave de la evolución del sector informático desde sus orígenes hasta la actualidad. Ella determina el ritmo y las modalidades de

difusión de esa tecnología en las más diversas actividades. Por tanto, la comprensión de los rasgos que caracterizan la innovación tecnológica es esencial para definir políticas y explicar las estrategias que siguen los gobiernos y las empresas de los países industrializados y en desarrollo. En seguida se analizan tres de las cinco características del proceso innovativo en informática: la rapidez y la convergencia del cambio tecnológico; la elevada in-

ca supone la aplicación productiva concreta de nuevos conocimientos. La ID muchas veces no se traduce en innovación y viceversa; en ocasiones esta última —como ha sucedido conforme al patrón de industrialización latinoamericano— se basa fundamentalmente en la incorporación de tecnologías del exterior, y no en un esfuerzo endógeno de ID. Véase Subsecretaría de Informática y Desarrollo, *Guía sobre contratos y vinculación tecnológica entre centros de investigación y empresas*, SID, núm. 6, Buenos Aires, 1986, p. 14.

1. La ID comprende las actividades de investigación básica y aplicada y el desarrollo de nuevos procesos y productos. La innovación tecnológi-

* Subsecretario de Informática y Desarrollo de la República Argentina.

versión en investigación y desarrollo, y el papel del Estado. En la segunda entrega se estudiarán el papel de la ciencia, por un lado, y la lucha competitiva y la apropiabilidad de los conocimientos, por otro. Además, se hará un breve examen de las consecuencias de la innovación tecnológica en el campo de la informática en los países en desarrollo.

Rapidez y convergencia del cambio tecnológico

La rapidez del cambio tecnológico es uno de los rasgos más viables —con frecuencia deslumbrante— de la informática. Desde sus comienzos en la década de los cuarenta, la tecnología informática ha sufrido una evolución vertiginosa, especialmente debido a los avances de la microelectrónica. La sustitución de los bulbos por los transistores, y de éstos por circuitos integrados marca las grandes fases (las llamadas generaciones) de la informática (véase el cuadro 1). Desde la aparición de los circuitos integrados, la creciente incorporación de transistores en diminutas pastillas de silicio (*chips*) ha permitido mejorar el funcionamiento y reducir el tamaño y el precio de los equipos. En el período 1960-1965 los circuitos de baja integración (LSI: *low-scale integration*) admitían de 2 a 64 transistores en diseños de 20-35 micrones. A partir de 1978, con un diseño reducido en el nivel del micrón, las pastillas de silicio pueden incorporar hasta dos millones de transistores (circuitos de alta integración, VLSI: *very large-scale integration*). Mayores avances se obtendrán aún en los circuitos de integración muy alta (ULSI: *ultra large-scale integration*). Como resultado de estas mejoras el costo por unidad lógica de las memorias RAM (*random access memory*, memoria de acceso aleatorio) declinó, por ejemplo, más de 35% anualmente desde 1970.² En el curso de los primeros 25 años de la industria de las computadoras, la relación rendimiento-costo se multiplicó en el orden de 100 000 veces.³ (Véase la gráfica 1.)

El progreso técnico expresado en cambios de productos y procesos desempeña un papel fundamental en la determinación de las modalidades de competencia del sector informático. Una intensa diferenciación de productos, combinada con una fuerte competencia de precios, genera un extraordinario acortamiento en el ciclo de vida de los productos. Más de la mitad de los productos del sector que están en el mercado tienen probablemente menos de cinco años de antigüedad.⁴ Una proporción igual de los productos que se venderán en el próximo lustro no existen hoy. Las estrategias de administración del ritmo del cambio técnico basadas en una explotación máxima de las ventajas de cada innovación, por períodos planificados de "obsolescencia tecnológica" han cedido su lugar a un modelo competitivo sustentado en la innovación y la imitación rápidas y continuas. La clave de la supervivencia y la expansión en el mercado se basa no sólo en responder a los cambios que se dan en él, sino en controlar la transformación misma del mercado. "Desde esta perspectiva —sostiene Mytelka— parecería que la ventaja competitiva en es-

tas industrias está determinada más por la tasa de aumento del conocimiento que por un incremento absoluto en el acervo de aquél. En estas condiciones, un proceso continuo de modificaciones menores, incluso de productos y procesos aparentemente maduros, como han tendido a hacer los japoneses, puede mejorar la influencia de las empresas en la forma y dirección de los mercados futuros."

En la base de las estrategias de cambio técnico de la industria electrónica e informática se encuentra un hecho singular: esta industria ha sido una de las primeras y más activas en incorporar los resultados de su propia creación. El empleo de sistemas de diseño y manufactura asistidos por computadora (CAD/CAM) y de sistemas de automatización flexible de la producción reducen el costo relativo de la innovación tecnológica y el período de las curvas de aprendizaje. Los sistemas CAD para diseño y circuitos integrados e impresos, los sistemas de instrumentación y control y la aplicación de robots en distintas fases productivas facilitan drásticamente el cambio tecnológico y la adaptación a los nuevos patrones de competencia. Algunas tareas de diseño —como el de circuitos integrados— son hoy indispensables sin el auxilio de herramientas de automatización. Ésta se extiende a las áreas de desarrollo de programas (*software*) mediante técnicas de ingeniería que mejoran la productividad y la calidad simultáneamente. El montaje de los circuitos impresos y otras partes de los equipos se realiza también con robots especializados que reducen significativamente la tasa de error de la tarea manual.

Si bien es todavía parcial, la automatización de las tareas de diseño y montaje evolucionará hacia una creciente integración de las tareas productivas de la empresa en los próximos 15 años e impondrá cambios radicales en los modos prevalecientes de diseño y manufactura de los semiconductores, las computadoras y los productos electrónicos de consumo.⁵

La introducción de la tecnología informática y sus diversas manifestaciones, particularmente las aplicadas en líneas de producción, tienen un claro sesgo hacia el uso más intenso del capital. En este aspecto, el cambio técnico en informática no se diferencia, sino que tiende a profundizar la tendencia histórica al aumento de la relación capital/trabajo. Según algunas observaciones, empero, la informática ahorra tanto trabajo como capital,⁶ lo que permitiría considerables mejoras de productividad.

Otro rasgo central de la tecnología informática es la *convergencia* de su desarrollo con el que se produce en otras áreas, especialmente en las telecomunicaciones. Así, la "telemática" sintetiza la combinación del tratamiento electrónico de datos y su transmisión mediante canales que tienden al manejo simultáneo de datos, textos e imágenes. Brinda las bases para la integración de sistemas de automatización de oficinas y de plantas fabriles (con comunicaciones de computadoras, robots, máquinas de control numérico, sistemas CAD, etc.) y para la distribución de la capacidad de cómputo en equipos más pequeños ligados a redes.

2. Véase L. Soete y G. Dosi, *Technology and Employment in the Electronics Industry*, Francis Printer, Londres, 1983.

3. Véase J.S. Birbaum, "Computers, a Survey of Trends and Limitations", en *Science*, febrero de 1982.

4. Véase Lynn Mytelka, "La gestion de la connaissance dans les entreprises multinationales", en *Revue du Ceipi*, La Documentation Française, 1985.

5. Véase Dieter Ernst, *Automation, Employment and the Third World. The Case of the Electronics Industry*, ISS-IDPAD, La Haya, 1985, p. 18.

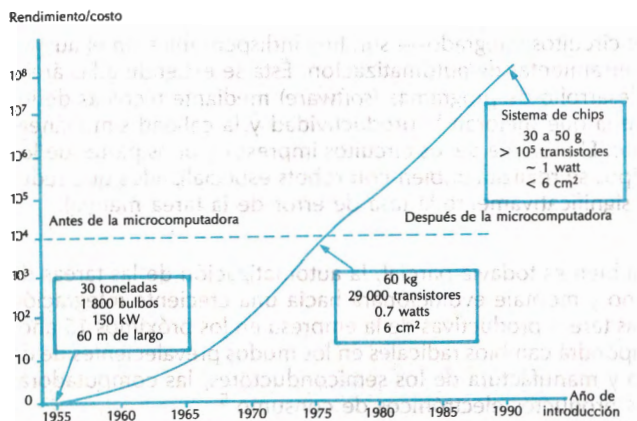
6. Véase M. Hobday, "Telecommunications and Information Technology in Latin America: Prospects and Possibilities for Managing the Technology Gap", ONUDI, ID/WG 440, abril de 1985.

En esta evolución confluye el avance logrado en la tecnología de los materiales, principalmente la fibra óptica.

La confluencia de diversas técnicas en torno de la adquisición, la producción, el almacenamiento, el tratamiento, la comunicación, el registro y la presentación de datos contenidos en señales de naturaleza acústica, óptica o electromagnética da origen a un núcleo tecnológico que tiende a denominarse "tecnologías de la información".⁷ Éste abarcaría las tecnologías físico-electrónicas

GRÁFICA 1

Mejora en la relación rendimiento / costo de equipo, 1955-1980



Fuente: J.-D. Musa (ed.). "Stimulating Software Engineering Progress". Software Engineering Technical Committee Newsletter, en M. Kopetz, *Guidelines for Software Production in Developing Countries*, ONUDI IS 440, 1984.

básicas —incluyendo la micro y la optoelectrónica—, de programas, de radiocomunicaciones, de arquitectura de computadoras, de equipos electrónicos y de automatización industrial.⁸

En la gráfica 2 se ilustra la convergencia de la tecnología de computación, la microelectrónica y las comunicaciones hacia sistemas integrados de transmisión de datos. En el área de la informática, entre la década de los setenta y la de los ochenta, ha ocurrido un cambio importante hacia la distribución de la capacidad de computación mediante el uso de microcomputadoras aisladas o en redes. Estos equipos constituyen sin duda la base de la informática del futuro, y han puesto fin al reinado de los *main-frames* y las estructuras informáticas basadas en la operación de grandes centros de cómputo. Por cerca de 5 000 dólares las microcom-

7. Véase Fundesco, *Formación de investigadores y técnicos en tecnologías de la información. Informe preliminar*, Madrid, 1986, p. 7.

8. *Ibidem*. En la literatura económica se emplea también la expresión complejo electrónico para aludir al sector industrial que produce com-

CUADRO 1

Generaciones de computadoras

Generación	Período	Características
0	Años cuarenta	Procesador de bulbos, sin capacidad de memoria de programas.
1	Principios de los cuarenta	Programas almacenados en la memoria. Programación en lenguaje de máquina. Procesador de bulbos.
2	Fin de los cincuenta	Lenguajes de programación de más alto nivel (COBOL). Unidades centrales en transistores discretos. Memoria magnética, impresoras, ingreso de datos con tarjetas perforadas.
3	Años sesenta	Circuitos integrados híbridos o de baja integración en la unidad central. Trabajo en tiempo compartido.
4	Fin de los sesenta hasta el presente	Circuitos de alta integración (VLSI), redes, aparición del microprocesador y de las microcomputadoras; almacenamiento en diskettes y discos ópticos; informática distribuida. Supercomputadoras.
5	Fin de los ochenta o años noventa	Programación en lenguaje natural. Reconocimiento de la voz, síntesis de la palabra. Circuitos integrados de arseniuro de fadio. Tratamiento de conocimientos, y no sólo de datos. Procesamiento paralelo.

Fuente: Office of Technology Assessment (OTA), Congress of the United States, *International Competitiveness in Electronics*, Washington, noviembre de 1983.

putadoras ofrecen hoy la capacidad computacional que algunos años atrás requería equipos de gran porte con un costo del orden de 900 000 dólares.⁹ La capacidad vendida actualmente en Estados Unidos en forma de microcomputadoras es mayor que la provista por los *main-frames*. En 1975 éstos representaban 80% de las ventas de computadoras; sólo darán cuenta, según distintas estimaciones, de 15% de aquéllas hacia fin de la década. La tasa de crecimiento de las ventas de los primeros rondará, se estima, el 12% anual hasta 1990, contra 3-4 por ciento en el caso de los segundos.¹⁰

putadoras y equipo de telecomunicaciones y electrónico de consumo o profesional. Ver, por ejemplo, Fabio Erber, "The Development of the 'Electronics Complex' and Development Policies in Brazil", en *World Development*, vol. 13, núm. 3, 1985. En adelante estas expresiones se utilizarán de acuerdo con la terminología empleada en la fuente de la información citada.

9. Véase "Zoom! Here Come the New Micros", en *Business Week*, 1 de diciembre de 1986.

10. *Ibid.*

Elevada inversión en ID

Dimensión del esfuerzo de ID

Se estima que en 1983 se invirtieron en el mundo más de 265 000 millones de dólares en investigación y desarrollo, en diversas áreas de la ciencia y la tecnología. De ese gasto, 72.7% correspondió a los países industrializados capitalistas, 24.2% a los países socialistas y apenas 3.1% a la totalidad de los países en desarrollo.¹¹ En los países industrializados, si bien con diferencias a veces significativas, el sector privado realiza una contribución importante al gasto en ID. Su aporte alcanza 62.3% en Japón, 48.9% en Estados Unidos y 48.3% en el Reino Unido.¹² Ello contrasta también con la situación prevaleciente en los países en desarrollo, donde los fondos privados representan una parte menor, a veces insignificante, de los presupuestos nacionales de ID. Las diferencias en la magnitud del gasto en ID y en su composición son una de las manifestaciones más claras y preocupantes de la asimetría que caracteriza la relación Norte-Sur.

El campo de la informática o, más ampliamente, el de las tecnologías de la información es responsable de una elevada porción del gasto en ID de los países industrializados, en particular en el Reino Unido y Francia, pero también en Estados Unidos, Alemania Federal y Japón (véase el cuadro 2). La concentración de recursos en esas áreas indica de manera contundente el carácter prioritario atribuido al dominio de la ciencia y la tecnología en ese sector. No obstante, sin perjuicio de ciertos rasgos comunes —como la intensidad del apoyo gubernamental (véase la sección “El papel del Estado”)—, las estrategias de ID se diferencian en distintos aspectos.

En Estados Unidos, el Gobierno destina enormes recursos y ejerce una gran influencia directa e indirecta en la orientación y los contenidos de la ID en tecnologías de la información. Los programas militares, a través de los fondos asignados por el Departamento de Defensa, constituyen el eje central de ese esfuerzo:

“La amenaza a que se enfrenta Estados Unidos presenta formidables requerimientos militares al sector de la defensa. Los sistemas de defensa deben tener penetración profunda y amplio alcance, alta confiabilidad, larga resistencia, rápida y fácil movilidad y gran letalidad. Dado que nuestros adversarios pueden ser numéricamente superiores, tecnológicamente avanzados y estar bien equipados, la superioridad tecnológica de Estados Unidos es clave para alcanzar esas capacidades. Estados Unidos debe proseguir sus esfuerzos con determinación para mantener el liderazgo en la medida en que sus adversarios avanzan en la alta tecnología.”¹³

La computación es un ingrediente principal de las armas “inteligentes”. Se aplica en sensores, sistemas de control e inteligencia, comunicaciones, navegación, vigilancia, y en servicios de

combate y apoyo. Los programas —en los que el Departamento de Defensa habría invertido alrededor de 11 000 millones de dólares en 1985— tienen un papel crítico en el arsenal bélico moderno: “. . . 80% de los sistemas de armas estadounidenses en desarrollo dependen significativamente de los programas. . . Éstos constituyen también el obstáculo más importante para el sistema antimisiles ‘Guerra de las Galaxias’ del presidente Reagan, oficialmente llamado Iniciativa de Defensa Estratégica (IDE). La programación para controlar armas, satélites y centros de comando dispersos constituiría el más grande y complejo proyecto de software jamás intentado. Podría requerir en cualquier parte de 10 a 35 millones de instrucciones de computadora . . . intrincadamente interrelacionadas. Pocos sistemas de programación tienen más de un millón de instrucciones.”¹⁴

Sin duda, los contratos concedidos por el Gobierno a empresas privadas en el marco de proyectos militares de ID, así como la migración de personal de éstos a programas civiles (como en el caso de los fundadores de la Hewlett Packard), han tenido un papel destacado en el desarrollo tecnológico del sector industrial estadounidense. Empero, el aumento de la participación del Pentágono en el presupuesto federal de ID (que con partidas de 44 000 millones de dólares pasó a 55% del presupuesto total en 1987, comparado con 24% en 1981) suscita críticas¹⁵ y dudas en torno al efecto del gasto militar en el área civil: “Aunque puede esperarse algún derrame de la investigación del Departamento de Defensa hacia el sector civil, su trabajo se focaliza predominantemente en requerimientos militares y no puede confiarse en él para satisfacer todas las necesidades civiles.”¹⁶

En Japón, en cambio, el Gobierno destina en forma directa comparativamente pocos recursos a la ID en el área de las tecnologías de la información, pero estimula y coordina el gasto del sector privado mediante acciones cooperativas de las empresas privadas. Así se estructuró el proyecto de los circuitos de alta integración (VLSI), que produjo en el orden de 100 tecnologías patentables, y el de las computadoras de la quinta generación, entre otros (véase el apartado “Programas multinacionales”). Asimismo, el gasto en ID vinculado con el área de defensa es bajo (5% del total).¹⁷

Finalmente, los gobiernos europeos destinan a la ID en el sector aquí considerado sumas importantes, significativamente superiores a las de Japón (véase el cuadro 2). Empero, la duplicación del gasto, la falta de coordinación entre los diversos países y la segmentación de los mercados parecen producir resultados inferiores a los que a juzgar por la dimensión de la inversión se podrían esperar, particularmente en cuanto a la competitividad de la industria informática europea. Una parte significativa del gasto en ID en el sector se realiza en el área de defensa (43% en el Reino Unido, 48% en Francia, 28% en Alemania Federal).¹⁸ Por

11. Véase UNCTAD, *Trade and Development Report-1987*, Nueva York, 1987, p. 77.

12. El promedio del aporte del sector privado a la ID en la CEE se ubica en 45%, un poco por debajo del británico. Véase Marcelo Evangelista, “El gap tecnológico europeo”, en *Informe Industrial*, núm. 81, mayo de 1985, p. 72.

13. Edith Martin, Office of the Secretary of Defense, “The Context of Stars”, en *Computer*, IEEE, noviembre de 1983, p. 14.

14. John P. Newport Jr., “A Growing Gap in Software”, en *Fortune*, 28 de junio de 1986, p. 102.

15. Véase *Business Week*, 27 de abril de 1987.

16. OTA, *Information Technology R & D. Critical Trends and Issues*, Washington, 1985, p. 6.

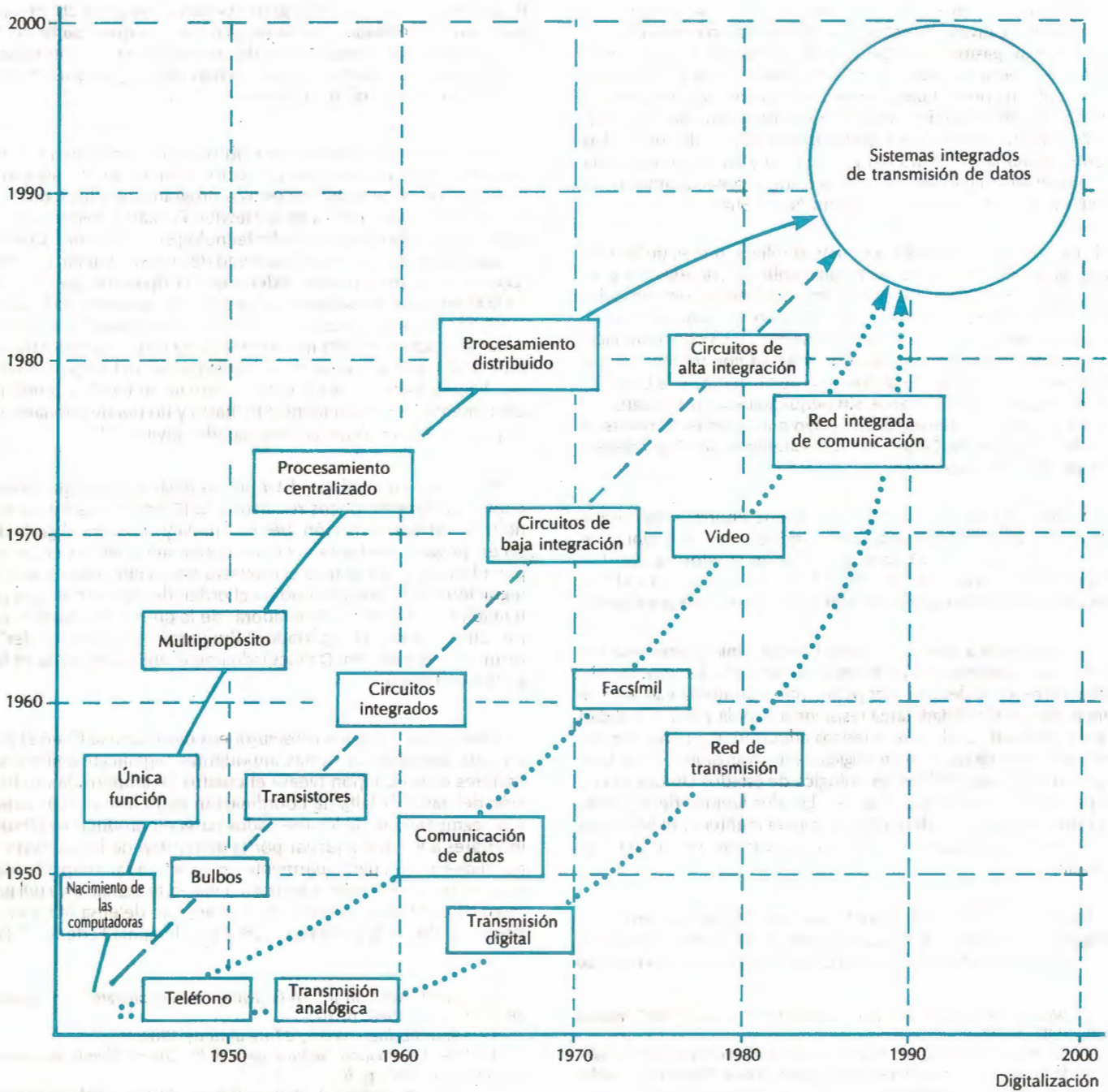
17. Véase M. English y A. Watson Brown, “National Policies in Information Technology: Challenges and Responses”, en *Oxford Surveys in Information Technology*, vol. 1, p. 92.

18. *Ibid.*

GRÁFICA 2

Convergencia tecnológica

Sistematización



- Tecnología de computación
- - - Microelectrónica
- Comunicaciones

otra parte, la estrategia de crear y sostener grandes empresas nacionales como "polos" del desarrollo del sector ha orientado parte considerable de los recursos hacia empresas que no han logrado hasta ahora una fuerza competitiva equiparable a la de las estadounidenses y japonesas.

CUADRO 2

Gasto gubernamental en ID en tecnologías de la información en países industrializados, 1981

Países	Millones de dólares	Participación en el gasto total de ID (%)
Estados Unidos	4 450	32
Alemania Federal	720	26
Francia	950	54
Reino Unido	1 145	70
Japón	600	16

Fuente: M. English y A. Watson Brown, "National Policies in Information Technology: Challenges and Responses", en *Oxford Surveys in Information Technology*, vol. 1, pp. 55-128, 1984, gráfica 7.

En suma, las estrategias de ID en tecnologías de la información en Estados Unidos y Europa tienen como elemento común la importancia de los gastos orientados a fines militares. En el primer país, en particular, ello ha impreso un sesgo a la ID que podría constituirse en una fuente de rezago relativo frente a la competencia extranjera. Por otro lado, los resultados exitosos de la ID en Japón parecen basarse más en la organización y las modalidades de cooperación del Gobierno y las empresas, y de éstas entre sí, que en la magnitud de la inversión realizada.

La ID empresarial

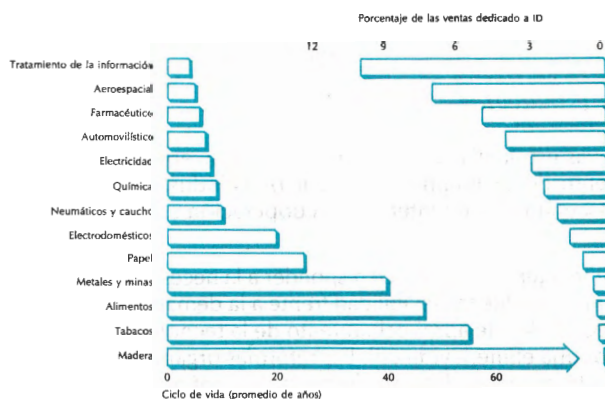
La industria informática y electrónica depende críticamente de la inversión en ID. Dos factores principales explican este hecho. Por un lado, "la mayor parte de las áreas vinculadas con la tecnología de la información —se sostiene en un informe de la Office of Technology Assessment (OTA)—, incluyendo microelectrónica, fibra óptica, inteligencia artificial, diseño de computadoras e ingeniería de programas, está todavía en una etapa temprana de desarrollo tecnológico. Faltan aún considerables mejoras, que dependerán tanto de la investigación básica como del desarrollo tecnológico. Por tanto, la ID será un factor importante para estimular una innovación continua".¹⁹

Por otro lado, el acortamiento del ciclo de vida del producto aludido en el punto anterior exige un esfuerzo inusual en ID. Cuanto menor es la duración de aquel ciclo, tanto mayor es el esfuerzo necesario para mantenerse en la frontera del cambio tecnológico. En la gráfica 3 se indica la relación entre la inversión en ID (como porcentaje de las ventas) y el ciclo de vida de los productos de algunos sectores tradicionales y de punta.

La relativa inmadurez tecnológica, las formas de competencia predominantes y el aumento de los costos de la ID han determinado una tendencia casi general al incremento de la inversión en esa materia, tanto en términos absolutos como en porcentaje de facturación. Algunas empresas estadounidenses productoras de equipo (*hardware*) registraron en el período 1981-1983 un crecimiento anual en ese rubro de 30% (Wang), y aun de 80% (Apple), según se aprecia en el cuadro 3. Un comportamiento semejante se observa en algunas empresas europeas como la Olivetti, que elevó sus gastos en ID de 1979 a 1982 a un ritmo medio dos veces superior al del aumento de su facturación.²⁰

GRÁFICA 3

Relación entre el ciclo de vida y la inversión en ID de algunos productos



Fuente: Canadian Council of Professional Engineers, *Brief on Research and Development in Canada*, Ottawa, CCPE, febrero de 1983, p. 8.

El gasto en ID en el área de los semiconductores ha ido también en continuo aumento, si bien en términos relativos la tasa de ID respecto de las ventas ha sido estable (7.8% en Estados Unidos; entre 12 y 13 por ciento en Japón). El alto costo del equipo necesario y de los científicos e ingenieros dedicados a esa tarea permite prever que tales costos aumentarán aún más en el futuro.²¹

En los segmentos más nuevos y de tecnología menos estabilizada como los de robótica y programación, la inversión en ID alcanza proporciones aún más grandes, superiores a 15% de las ventas.²²

20. Véase CPE, *Grappes technologiques et stratégies industrielles*, núm. 57, 1985, París, p. 193.

21. Véase Centro de Empresas Transnacionales, *Transnational Corporations in the International Semiconductor Industry*, Naciones Unidas, Nueva York, 1986, p. 126.

22. Véase U.S. Department of Commerce. *A Competitive Assessment of the U.S. Software Industry*, Washington, 1984, p. 15.

19. OTA, "Information Technology. . .", *op. cit.*, p. 5.

La inversión en ID también es de magnitud especial en los países en desarrollo que han ingresado al proceso de fabricación de bienes de alta tecnología, como Brasil, cuyas empresas de informática gastan cerca de 6% de su facturación en ID.²³

La ID no sólo es necesaria para disputar posiciones en la frontera tecnológica internacional; también es indispensable si se aspira —como en el caso de Brasil y otros países en desarrollo— a seguir estrategias innovativas de tipo “imitativo”, es decir, las que no buscan el liderazgo técnico absoluto, sino más bien la posibilidad de seguir el desplazamiento de la frontera tecnológica internacional, mejorando los productos existentes o adaptándolos a condiciones distintas.²⁴ Si el contenido de los proyectos y la magnitud del esfuerzo diferirán del requerido por las empresas líderes para establecer y mantener una industria informática innovativa, capaz de seguir el cambio técnico, no se puede prescindir de un esfuerzo propio de ID. Es más, dado el papel limitado que desempeña la transferencia internacional de tecnología en el sector, cualquier avance industrial en el mismo parece inconcebible, y condenado al fracaso, sin un esfuerzo en tal sentido.²⁵

Nuevas estrategias

Dos nuevas estrategias en el área de ID se advierten en el comportamiento de las grandes organizaciones industriales del sector: la descentralización interna y la cooperación entre empresas.

La primera tendencia parece responder a la necesidad creciente de actuar con rapidez y flexibilidad frente a la demanda, y de multiplicar los modos de aprovechamiento de la tecnología, caracterizada por una efímera vida útil. Las reformas organizativas en las empresas transnacionales van desde la descentralización de las actividades de ID en múltiples laboratorios (por ejemplo, la Hewlett Packard cuenta con 66 grupos en 14 entidades federativas de Estados Unidos), hasta el estímulo para la creación de empresas por los propios empleados con participación de la compañía madre (Control Data).²⁶ El proceso descentralizador, empero, se extiende básicamente dentro de las fronteras de los países industrializados: “Son remotas las posibilidades de que una empresa transnacional ubique instalaciones de ID en países en desarrollo, así como plantas de diseño de circuitos integrados.”²⁷ Por otro lado, la descentralización de las actividades de ID no significa que las unidades descentralizadas cuenten necesariamente con independencia operativa. En relación con la estrategia global de la IBM, por ejemplo, se ha observado que “la ID en un país como Francia se determinará en el cuadro de la organización mundial de

23. Véase Paulo Bastos Tigre, *Indústria brasileira de computadores*, Ed. Campus, Río de Janeiro, 1987, p. 94.

24. Véase C. Freeman, *The Economics of Industry Innovation*, Penguin, 1974.

25. Véase Comisión Nacional de Informática, *Informe*, Subsecretaría de Informática y Desarrollo, Buenos Aires, 1985, p. 33.

26. Véase Lynn Mytelka, *op. cit.*, pp. 4-5.

27. Véase Centro de Empresas Transnacionales, *Estrategias y políticas globales de las empresas transnacionales en la industria de la computación. Consecuencias para los países en desarrollo*, estudio preparado para la Subsecretaría de Informática y Desarrollo de la Argentina, Nueva York, 1984, p. 133.

la investigación del grupo . . . La articulación de las actividades de la empresa se establece en un nivel mundial; las filiales son talleres en el seno de una estructura cuyo modo de funcionamiento no puede considerarse sino en la globalidad del grupo.”²⁸

CUADRO 3

Inversión en ID de empresas estadounidenses fabricantes de equipos de computación (Millones de dólares y porcentajes con respecto a las ventas)

	1981		1982		1983	
	Valor	%	Valor	%	Valor	%
Amoxal	75.1	17.0	81.3	17.6		
Apple	21.0	6.3	38.0	6.5	71	6.5
Burroughs	176.0	5.3	220.6	5.4	248	5.6
CDC	201.9	6.5	220.5	5.1	270	5.9
Cray Research	16.3	16.0	28.3	20.1		
Data General	75.6	10.1	84.5	10.5		
DEC	251.2	7.9	349.8	9.0	544	11.2
Hewlett Packard	347.0	5.7	424.0	10.0	494	10.1
Honeywell	368.8	6.9	396.9	7.2	428	7.4
IBM	1 612.0	5.5	2 053.0	6.0	3 582	8.9
NCR	229.2	6.7	248.6	7.1	257	6.9
Prime	27.5	7.5	37.0	8.5		
Sperry	336.5	6.2	397.6	7.1	296	4.2
Storage Tech.	53.7	5.8	77.2	7.2		
Tandem	17.8	5.5	33.6	10.8		
Wang	66.9	7.8	86.9	7.5	117	6.5

Fuente: CPE, *Grappes technologiques et stratégies industrielles*, núm. 57, París, 1985, p. 192.

La segunda tendencia, de mayor importancia estratégica, apunta a compartir los crecientes costos en ID. Varios factores parecen estar detrás de esta corriente: la fuerte relación entre la ciencia y la tecnología, la escasez de personal muy calificado, la necesidad de reducir riesgos y los costos crecientes de la ID. En la industria electrónica no sólo deben considerarse los costos directos de ID, sino los de seguimiento y los indirectos, que pueden superar a los directos entre 12 y 24 veces.²⁹

En el caso de la industria estadounidense la “cooperación internacional (en ID) es vista como un medio para mantener la competitividad internacional”.³⁰ “Algunos líderes argumentan que la industria no tiene ni los recursos ni el tiempo para continuar con el modelo establecido de duplicación de todo tipo de ID. Esto no significa que las compañías de tecnología de información intenten relajar su trabajo en ID competitiva vis-à-vis tecnologías propietarias. En todo caso, se espera que los proyectos cooperativos

28. Véase Michael Delapierre y Jean Benoit Timmerman, *L'Informatique du Nord au Sud. Un complex industriel transnationalisé*, La Documentation Française, París, 1986, p. 55.

29. Véase Forst and Sullivan Inc., *Process Control Equipment: Technology and Markets*, Nueva York, 1978.

30. OTA, *Information Technology*, . . ., *op. cit.*, 1985, p. 172.

conducirán a más innovación y competencia en el nivel de las compañías participantes.³¹ De hecho, la National Cooperative Research Act de 1984 eliminó la penalidad triple para casos *anti-trust* que involucren acuerdos en materia de ID, siempre que se cumplan con los recaudos previstos por la ley, en especial la comunicación previa al Departamento de Justicia.

Los acuerdos de ID que abordan áreas de investigación pre-competitiva son neutros desde el punto de vista de las ventajas que una empresa particular puede obtener. Incluyen lo que se denomina "tecnología genérica", consistente en principios científicos y de ingeniería que conforman una base tecnológica neutral, y la "infratecnología", compuesta por conocimientos necesarios para instrumentar conceptos de diseño de productos y procesos.³²

La enérgica competencia japonesa ha sido uno de los catalizadores principales de las alianzas empresariales para encarar tareas de ID. Dichas alianzas articulan, en varios casos, los intereses de empresas estadounidenses, europeas y japonesas. Así, la Thompson de Francia y la Motorola de Estados Unidos acordaron investigaciones sobre nuevos circuitos integrados para telecomunicaciones y otros fines, la GEC de Gran Bretaña y la Hitachi de Japón para el desarrollo de robots, la ICL (Gran Bretaña), la Bull (Francia) y la Siemens (Alemania Federal) para investigaciones en sistemas avanzados de computación, y la Siemens y la Phillips (Holanda) para el desarrollo de circuitos de alta integración.

En el plano nacional, la cooperación entre empresas ha sido típica de la acción impulsada por el Ministry of International Trade and Industry (MITI) en Japón. En tal sentido, este país ha sido pionero en la estrategia que hoy se trata de seguir en otras partes del mundo. Desde los setenta las empresas japonesas del sector trabajaron asociadas por pares a efecto de impulsar determinadas áreas de tecnología (Fujitsu e Hitachi, NEC y Toshiba, etc.). Estos pares se modificaron en el curso del tiempo, pero afianzaron una tradición de investigación y desarrollo cooperativo, que se manifiesta en el Proyecto de la Quinta Generación y en otros en marcha en ese país.

En Estados Unidos hay dos iniciativas muy importantes desde principios de esta década: la Semiconductor Research Corporation y la Microelectronics and Computer Technology Corporation (MCC). En esta última se agrupan 20 empresas estadounidenses para realizar ID en tecnologías "de base"; desarrolladas éstas, cada empresa puede añadirles su valor agregado propio. Con un presupuesto del orden de 50-60 millones de dólares, la MCC ha encarado, desde su creación en 1983, programas de 6 a 10 años en cuatro áreas principales: a) empaque (*packaging*) de semiconductores, con atención especial a las tecnologías compatibles con ensamble automático, b) ingeniería de programas, orientada a desarrollar herramientas que mejoren la productividad en el desarrollo en uno o dos órdenes de magnitud, c) diseño y manufactura asistidos por computadora (CAD/CAM), en particular para circuitos de alta integración (VLSI), d) arquitecturas avanzadas de computadora, focalizadas en inteligencia artificial, administración de bases de datos, interfaz (*interface*) hombre-máquina y procesamiento paralelo. Los investigadores de la MCC (alrededor de 170)

son provistos en parte por las empresas agrupadas, pero principalmente por otras instituciones, en particular la Universidad de Texas y la Texas A & M University.³³

El papel del Estado

Apoyo a la ID

S i bien no puede atribuirse linealmente el desarrollo de la industria electrónica e informática al papel que desempeñó el Estado en la promoción de este sector en los países industrializados, su influencia ha sido sin duda decisiva: "El comportamiento del Estado y las relaciones entre éste y las empresas están en el centro de las leyes de desarrollo del complejo electrónico. . . En todos los países de industrialización avanzada el Estado ha destinado cuantiosos recursos (económicos e institucionales) para absorber los costos privados de investigación y desarrollo y para absorber el riesgo empresarial." Los instrumentos de promoción, protección, financiamiento público de ID, reservas explícitas o implícitas de mercado, planificación indicativa, participación directa en la inversión, garantías de compra por el Estado, y muchos otros, se han usado en todos esos países, aunque con intensidad diversa.³⁴

El papel del Estado ha sido históricamente importante en el desarrollo de los sectores electrónico e informático en Estados Unidos. En el origen de la industria de los circuitos integrados, por ejemplo, los contratos del Gobierno estadounidense representaban la totalidad de la demanda de aquéllos. "El Gobierno federal desempeña varios papeles clave en la ID en tecnología de la información. Como un *usuario* mayor de productos de tecnología de información (alrededor de 6% del mercado total de procesamiento automático de datos y la mayor parte del mercado de las supercomputadoras) sus requerimientos son de considerable interés para la industria. Como un *patrocinante* de investigación el Gobierno federal financia aproximadamente la mitad de la ID total realizada en Estados Unidos y cerca de dos quintos de la investigación en la industria de maquinaria eléctrica/comunicaciones (un componente clave del complejo de la tecnología de la información). Además, el Gobierno federal mismo realiza actividades de ID por cerca de 11 000 millones de dólares en sus laboratorios propios y contratados."³⁵ El Departamento de Defensa de Estados Unidos provee cerca de 80% de los fondos federales para ID en el área mencionada,³⁶ lo que constituye un claro indicador del sesgo impreso a esa actividad en dicho sector y explica en parte las restricciones impuestas a la transferencia de tecnología fuera de Estados Unidos.

La magnitud de los fondos asignados revela, asimismo, que no son exclusivamente las fuerzas del mercado las que sustentan las posiciones alcanzadas por las empresas transnacionales del sector. Los contratos del Departamento de Defensa "financiaron la investigación de empresas como la IBM en un 12%, la General Electric en 43%. . . Si la administración estadounidense se presenta como adalid del liberalismo y la desregulación, esto no im-

33. *Ibid.*, p. 193.

34. Hugo Nochteff, *Desindustrialización y proceso tecnológico en Argentina 1976-1982. La industria electrónica de consumo*, FLACSO, Buenos Aires, 1984, p. 14.

35. OTA, *Information Technology*. . . , *op. cit.*, p. 28.

36. *Ibid.*, p. 5.

31. *Ibid.*, p. 36.

32. *Ibid.*, p. 37.

pidió que los créditos militares de investigación hayan aumentado más de 60% de 1982 a 1984. Se estima que alrededor de la mitad de los gastos de ID de muy alto nivel de empresas como la Texas Instruments, la Intel, la Motorola o la American Micro Devices se cubre con los programas del Departamento de Defensa. A partir de 1982 se puso en vigor la Small Business Innovation Development Act a fin de permitir a las pequeñas empresas de alta tecnología el acceso a este maná gubernamental.³⁷ Más aún, English y Watson Brown sostienen que "dada la influencia abarcante del gasto del Gobierno estadounidense en investigación tanto en la industria como en la universidad, es extremadamente difícil tomar con seriedad las quejas de Estados Unidos de que sólo Europa y Japón son culpables de fijar objetivos estratégicos (*strategic targeting*) en tecnologías de la información. El economista estadounidense Robert R. Reich comenta que "muchos norteamericanos objetan los subsidios que los gobiernos extranjeros ofrecen a sus industrias emergentes, pero dejan de reconocer el papel seminal que los proyectos militares y aeroespacial tienen en el desarrollo de nuestras propias industrias emergentes . . . Nuestras míticas presunciones yacen detrás de nuestra realidad económica."³⁸

Programas nacionales

Ya a mediados de los sesenta varios países industrializados iniciaron programas sistemáticos de ID en microelectrónica, equipos y programas, ejecutados en parte directamente por laboratorios oficiales y en parte por empresas privadas con fuerte subsidio financiero. Esta acción se ha afirmado con los años, y hoy es responsable, como se ha visto, de inversiones masivas de dinero e inteligencia en una verdadera carrera por el dominio tecnológico en el área de la informática. En los puntos siguientes se describen algunos de los programas nacionales de Estados Unidos, Europa y Japón.

■ Estados Unidos

El Departamento de Defensa inició en la década de los setenta el proyecto VHSIC (*very high-speed integration circuits*, circuitos integrados de muy alta velocidad) destinado a desarrollar circuitos integrados con una velocidad 100 veces mayor que la disponible y con diseño de 1.25 micrones y aun por debajo de esta dimensión. No obstante sus fines militares (obtener componentes extremadamente pequeños, ultraconfiables y aptos para operar en ambientes militares severos) el proyecto apunta también a impulsar la competitividad de la industria microelectrónica estadounidense,³⁹ en especial frente al desafío de las empresas japonesas verticalmente integradas que de hecho invierten en ID de largo plazo mucho más que las privadas estadounidenses.⁴⁰

La vasta proliferación de lenguajes de programación y los costos crecientes de capacitación de personal y mantenimiento llevaron al Departamento de Defensa a establecer un programa ten-

diente a estandarizar esos lenguajes, elevar la productividad en la programación y reutilizar módulos de código estándar. Tras el desarrollo competitivo de cuatro lenguajes distintos y una extensa evaluación, el Pentágono escogió el lenguaje ADA, creado por la empresa francesa Cii Honeywell Bull. Uno de los propósitos centrales del lenguaje es ayudar a instrumentar grandes sistemas operados en tiempo real. La introducción del ADA, empero, encontró considerable resistencia. La Fuerza Aérea impulsó, por ejemplo, su propio cuasi estándar "Jovial". Una de las limitaciones del ADA es que sólo aborda el aspecto de la codificación (que representa 20% del esfuerzo total de creación de los programas) y no incluye facilidades para documentación automática.⁴¹ Nuevas disposiciones del Departamento de Defensa para hacer obligatorio el uso del ADA a los contratistas pueden acelerar su aplicación y catalizar un importante crecimiento de la oferta de programas de ese lenguaje (que representaba unos 700 millones de dólares en 1987). Algunas empresas han iniciado también la difusión del ADA para microcomputadoras, a fin de aprovechar las ventajas del lenguaje en cuanto a la calidad de los programas, el uso de módulos intercambiables y la reducción de costos de mantenimiento.⁴² Sobre la base de la experiencia del Departamento de Defensa en lenguajes, se articuló, asimismo, el programa STARS (Software Technology for Adaptable, Reliable Systems), cuyo propósito es mejorar las prácticas administrativas, las estrategias de adquisición y las tecnologías de programación y crear instrumentos más poderosos de desarrollo y mantenimiento, así como lograr avances en las metodologías y la teoría de programación.

En el área de supercomputadoras, diversos proyectos oficiales se orientan a hacer avances en relación con el procesamiento paralelo, la productividad de los programas y nuevos algoritmos. El logro de mayor velocidad de computación, según la opinión científica más generalizada, requerirá superar la arquitectura secuencial de Von Neumann, que ha dado sustento a las generaciones de computadoras conocidas hasta ahora, incluyendo las supercomputadoras tipo Cray 1 y Cyber 205. El procesamiento paralelo es la senda principal que se explora actualmente. La National Science Foundation estableció un plan para crear de 11 a 13 centros científicos de cómputo de gran escala, dotados de supercomputadoras e interconectados en red. El Departamento de Energía, el Super Computing Research Centre de la National Security Agency y la Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) son algunas de las dependencias que han encarado investigaciones en el área.

La intervención de la DARPA mediante el Programa de Computación Estratégica, anunciado en 1983, tiene especial importancia. Por sus características particulares, este programa —que exige una inversión de 600 millones de dólares de 1984 a 1989— ha sido calificado como algo extraordinario en la historia de la ciencia y la tecnología estadounidenses, y comparado con el proyecto Manhattan y la misión lunar.⁴³ Empero, en tanto estos últimos proyectos planteaban fundamentalmente problemas de ingeniería, el éxito del citado programa depende de los avances en el conocimiento científico básico, cuyo plazo y naturaleza no es posible predecir.

El Programa de Computación Estratégica representa un esfuerzo

37. CEP, *op. cit.*, p. 194.

38. M. English y A. Watson Brown, *op. cit.*, p. 71.

39. Las empresas contratistas de este proyecto incluyeron a la Honeywell, la Hughes, la Perkins-Elmer, la IBM, la Texas Instruments, la TRW, la Motorola, la Sperry, la Westinghouse, la National Semiconductor, la Harris y la Control Data.

40. OTA, *Microelectronics R&D Background Paper*, Washington, marzo de 1986, p. 26.

41. Véase OTA, "Information Technology. . . , *op. cit.*, 1985, p. 79.

42. Véase *Technology Business*, septiembre de 1987, p. 43.

43. Véase OTA, *Information Technology. . . , op. cit.*, 1985, p. 96.

importante en el área de la inteligencia artificial aplicada a fines militares y, en particular, a: vehículos autónomos (sin conducción humana); sistemas de ayuda para pilotos en combate, y sistemas para toma de decisiones en combate en condiciones de incertidumbre. La resolución de los problemas planteados requerirá, por ejemplo, el desarrollo de vehículos autómatas que sean capaces de operar con representación de conocimiento, recursos táctiles y visuales en escenarios bélicos severos y complejos. Ello exige crear una nueva generación de "tecnología de máquinas inteligentes".⁴⁴

■ Europa

Europa transita momentos de incertidumbre respecto de su papel en la "era informática". Las acciones se multiplican a fin de que el continente no quede atrapado sin capacidad propia de respuesta en la competencia por la supremacía tecnológica que libran Estados Unidos y Japón. Según el Informe Fast la nueva tecnología de la información (NTI) es "inevitable" para Europa: "La industria europea la necesita para ser competitiva en el ámbito internacional. . . las sociedades europeas la necesitan para combatir los importantes problemas sociales que tienen planteados. . . Europa la necesita para su seguridad."⁴⁵ Respecto de este último punto, se agrega en el estudio que "aunque la política de defensa militar cae fuera del campo de actuación de las instituciones de la CEE, su creciente dependencia de los muy complejos sistemas electrónicos hace poco realista ignorar la importancia que representa para la política industrial y de ID. En algún tiempo el precio de un avión estaba repartido al 50% entre el motor y la estructura; la electrónica aeronáutica representa hoy día un tercio y va en aumento. En cuanto a programas, componentes y sistemas, el sector de la defensa es la 'punta de lanza' y dentro de la ID en defensa (que representa 20% de los gastos totales en ID de los países miembros), la NTI es un sector esencial."⁴⁶

La brecha tecnológica en informática es, empero, más profunda que la que se advierte en sectores tales como la energía nuclear, la biotecnología, la industria aeroespacial y las telecomunicaciones. Europa es importadora neta de semiconductores,⁴⁷ y del equipo para producirlos y probarlos. Su dependencia en cuanto a supercomputadoras para grandes proyectos científicos y militares —que actualmente se intenta superar— ha sido una de las manifestaciones más dramáticas de su desventaja relativa: "La cólera del general De Gaulle frente al rechazo estadounidense a entregar las supercomputadoras necesarias para la puesta a punto de la bomba H, está todavía en la memoria: tecnología rima siempre con autonomía de decisión."⁴⁸

Si bien la posición competitiva de las empresas europeas parece haber mejorado en los años recientes, la presencia en el mercado mundial de computadoras grandes y medianas de ese origen es débil. Sólo en el campo de las microcomputadoras —con Olivetti— el perfil europeo aparece menos vulnerable. Existe con-

ciencia en el viejo continente de que para revertir esta situación se precisa una sostenida acción en ID y, sobre todo, evitar la duplicación de esfuerzos y la segmentación de mercados.

Varios países europeos iniciaron ya en los sesenta y en el siguiente decenio programas de ID en informática. Alemania Federal emprendió en 1967 su primer programa de entrenamiento e investigación en informática y electrónica. Entre ese año y 1979 destinó 4 400 millones de marcos y se estima que gastará otros 3 000 millones aproximadamente en el lapso 1984-1988; la mitad de esa suma se destinaría a componentes microelectrónicos y computadoras de gran rendimiento. A los subsidios de ID se agrega, como en otros países europeos y Japón, la política de "compre nacional".

De 1962 a 1982 hubo en Francia distintas fases del Plan Calcul, con fuerte apoyo, en la última etapa, a grandes empresas que debían convertirse en "polos" de desarrollo tecnológico e industrial. Actualmente, el programa de la *filiale électronique* supone un esfuerzo gubernamental de 140 000 millones de francos en cinco años, con atención especial a reforzar la industria de telecomunicaciones, la telemática y la electrónica profesional, así como el desarrollo de programas de computación. El proyecto, asimismo, procura vincular, por un lado, industria y laboratorios de ID y, por el otro, oferta y demanda mediante el desarrollo de aplicaciones. El programa Marisis (1983-1986) tiene por objeto realizar ID en equipo y programas de supercomputadoras, con una inversión de 15 millones de dólares del Gobierno francés.

Por último, en el Reino Unido, la intervención estatal ha incluido desde la creación de una empresa pública de microelectrónica (ICL), hasta la formulación de un programa de "quinta generación" (Comité Alvey), pasando por subsidios, preferencias en las compras públicas y aplicación masiva de las computadoras en las escuelas.

El Programa Alvey se inició en 1982 como reacción frente al Proyecto de Quinta Generación de Japón, que se describe más adelante. Con un presupuesto estimado de 525 millones de dólares para cinco años, el programa se basa en la acción cooperativa del gobierno, las industrias y las universidades, en torno de cuatro áreas de "tecnologías habilitadoras" (*enabling technologies*): i) circuitos integrados de silicio de alta integración (VLSI); ii) ingeniería de programas; iii) sistemas inteligentes basados en conocimientos, y iv) interfaz hombre-máquina.

Estos esfuerzos nacionales, empero, han resultado insuficientes para que Europa sea capaz de asegurar su independencia tecnológica y de competir, al menos en igualdad de condiciones, con Estados Unidos y Japón. Ello motivó la ejecución de un proyecto de cooperación en ID sin precedentes por su dimensión y alcances: el Programa Estratégico para Investigación y Desarrollo en Tecnología de la Información (ESPRIT). Este proyecto convoca a gobiernos y empresas para la ID en áreas precompetitivas seleccionadas, por un período de diez años.

A partir de 1985 y en respuesta a la Iniciativa de Defensa Estratégica estadounidense, Europa puso en marcha otro plan (el proyecto Eureka) para "el renacimiento tecnológico europeo".⁴⁹

49. Sobre los proyectos ESPRIT y Eureka véase la sección "Programas multinacionales".

44. OTA, *Supercomputers: Government Plans & Policies, Background Paper*, Washington, mayo del 1986, p. 16.

45. Comisión de las Comunidades Europeas, *Europa 1985. Nuevas tecnologías y cambio social. Informe Fast*, Fundesco, Madrid, 1986, p. 90.

46. *Ibid.*, p. 93.

47. OCDE, *The Semiconductor Industry. Trade Related Issues*, París, 1985, p. 22.

48. A. Yves Portnoff, Claude Vicent y Claude Geli, "Atouts et faiblesses de l'Europe", en *Le Monde Diplomatique*, París, agosto de 1985, p. 18.

“Para hacer frente a los desafíos tecnológicos del fin de este siglo, Europa debe dominar con rapidez el *know-how* que pronto estará en el corazón de la tercera revolución industrial. Esto es particularmente cierto en vista de los considerables esfuerzos que se emprenden en Estados Unidos y Japón. Las opciones que elijamos en el futuro cercano debilitarán el potencial de Europa en tecnologías avanzadas o traerán un renacimiento tecnológico. En este sentido, los tres lustros que van desde ahora hasta el año 2000 serán decisivos.”⁵⁰

■ Japón: Proyecto de Quinta Generación

El desarrollo tecnológico del Japón en electrónica e informática es resultado de una labor sistemática y planificada, fundada en la especialización y la búsqueda de competitividad. El carácter prioritario de la electrónica fue percibido ya en los cincuenta. En 1957 el Gobierno aprobó una ley especial mediante la que se establecían “medidas extraordinarias para la promoción de la industria electrónica”. Estas medidas han comprendido incentivos financieros y fiscales, la exigencia de especialización e ID conjunta entre grandes empresas, políticas arancelarias y de compras públicas y, en especial, grandes programas de desarrollo tecnológico.

Los fondos asignados por el Gobierno japonés a los programas de ID, bajo la iniciativa y supervisión del MITI, han sido comparativamente inferiores al nivel de gasto de los gobiernos europeos. Éste es uno de los aspectos más sorprendentes del éxito tecnológico e industrial de ese país. La mayor parte de esos fondos, según se ha visto, son aportados por las empresas.

Los grandes programas son elaborados por el MITI y propuestos a la acción cooperativa de las empresas. El Ministerio opera con cerca de 300 asociaciones en las que participan empresarios y Gobierno. Por ejemplo, la VLSI Development Association se integró para ejecutar el programa VLSI de 1976 a 1979 (con 190 millones de dólares de fondos privados y 132 públicos)⁵² con el MITI, la Nippon Telephon and Telegraph y las cinco mayores empresas de semiconductores del país. Otros programas de los setenta incluyeron reconocimiento de imágenes, periféricos y sistemas operativos.

En 1982 se inició el Proyecto de Quinta Generación, un esfuerzo importante en investigación básica tendiente a terminar con la dependencia tecnológica respecto de Estados Unidos y responder a nuevas necesidades de la sociedad en los años noventa. Si bien el proyecto fue recibido con escepticismo en los medios científicos estadounidenses, hoy se admite en general que aun cuando el MITI no obtenga todos los resultados esperados, los subproductos y la infraestructura que dejará permitirán a Japón colocarse en primera línea de la frontera tecnológica.

El proyecto, planeado para el período 1982-1991, con una inversión del MITI de 450 millones de dólares, procura superar las actuales limitaciones de computación mediante ID en arquitectura de equipos (especialmente máquinas de inferencia y de bases de conocimiento), ingeniería de programas e inteligencia ar-

tificial. Las funciones básicas de una computadora de quinta generación serían las siguientes:

i) *Solución de problemas e inferencia*: sistemas capaces de una rigurosa inferencia deductiva e inductiva, incluyendo conjeturas basadas en conocimiento incompleto.

ii) *Administración de bases de conocimiento*: para procesamiento de inferencias se requerirá un sistema capaz de adquirir, almacenar y utilizar conocimientos.

iii) *Interfaz (interface) inteligente*: una interrelación hombre-máquina flexible con capacidad para usar lenguaje natural (escrito y hablado), gráficas, imágenes y otros tipos de datos.

iv) *Programación inteligente*: los problemas de aplicación se convertirán automáticamente en programas de computación.⁵²

El procesamiento de conocimientos —en lugar de datos— y la posibilidad de comunicación directa hombre-máquina son tal vez dos de las características más atrayentes del proyecto, que le dieron notoriedad mundial.

Otros proyectos del MITI incluyen circuitos integrados optoelectrónicos y sistemas científicos de computación de muy alta velocidad (supercomputadoras). Este último, planeado para 1981-1988, supone una inversión del Ministerio citado de 200 millones de dólares.

■ Países socialistas

Los países socialistas no han quedado al margen de la competencia por la supremacía tecnológica de finales de este siglo.

La política definida por el Gobierno soviético para el presupuesto 1986-1990, y hasta el año 2000, atribuye un papel central a la ciencia y la tecnología. La aceleración del progreso en estas áreas se concibe como elemento clave de la estrategia de crecimiento. Se persigue, según los lineamientos de las autoridades soviéticas, no tanto un aumento de las tasas de crecimiento, sino un desarrollo “intensivo” basado en el aumento de la productividad del trabajo, el ahorro de energía y de materiales y la mejora de la calidad de la producción. Para ello se reclama la aplicación de las más modernas tecnologías en un contexto de mayor autonomía de las unidades de producción y de una vinculación más estrecha entre remuneraciones del trabajo y productividad.

Las metas fijadas son ambiciosas. Se espera duplicar la renta nacional de aquí a fin de siglo, fundamentalmente sobre la base de un aumento de alrededor de 2.5 veces de la productividad del trabajo. Un tercio de este incremento deberá provenir, según los planificadores, del aporte de la ciencia y la técnica. De cumplirse aquel objetivo, la renta per cápita aumentaría cerca de 1.8 veces en este período. También se daría más importancia a la satisfacción de la demanda de consumo, hasta ahora relativamente postergada.

La URSS tiene un potencial científico importante con alrededor de 1.4 millones de científicos y un gasto de investigación y desarrollo cercano a 5% de la renta nacional. No obstante, se ad-

52. Véase Institute for New Generation Computer Technology (ICOT), *Outline of the Fifth Generation Project*, 1984, p. 5.

50. República Francesa, *Eureka. The Technological Renaissance of Europe*, junio de 1985, p. 1.

51. Se trata de fondos “a riesgo perdido”, es decir, recuperables sólo cuando los proyectos se vuelvan rentables.

mite la existencia de trabas y dilaciones en la transferencia de las innovaciones al sector productivo.⁵³

En la transformación técnico-científica que impulsa el nuevo plan, cabe un papel protagónico a la informática y la automatización industrial. Gorbachov sostuvo ante el XXVII Congreso del Partido Comunista Soviético que la informatización generalizada y la automatización integrada de la producción ejercerán un "efecto colosal" en los ritmos de la renovación técnica. El presidente del Consejo de Ministros, N. Ryjkov, por su parte, señaló que aquellas son las "técnicas del futuro".

El Gobierno se propone extender de 1.2 a 1.5 veces la aplicación de las tecnologías de punta. En el caso de las computadoras, su producción se incrementaría 2.3 veces en cinco años. Las principales líneas actuales de acción incluyen la universalización de la computación, como herramienta de gestión y del diseño y la manufactura asistidas por computadora.

En el marco del CAME se lanzó un ambicioso programa que prevé el avance de las tecnologías de quinta generación, incluyendo arquitecturas paralelas de multiprocesamiento, diseño de sistemas operativos y expertos, VLSI e interfaz hombre-máquina. La inversión requerida por este proyecto se situaría en el orden de 100 millones de dólares en cinco años.

■ Países en desarrollo

No existen en los países en desarrollo programas de ID en tecnologías de la información de la envergadura de los referidos en los puntos anteriores. Éste es uno de los signos más impresionantes de la profunda disparidad Norte-Sur. Por cierto, los recursos financieros y humanos disponibles en el Tercer Mundo están lejos de ser comparables a los de los países avanzados. En algunos países —como Corea del Sur, la India, Brasil, y Argentina— la ID en informática y otras tecnologías de la información comienza a recibir una atención especial, aunque todavía insuficiente. En Brasil, por ejemplo, se ha observado que el desarrollo industrial en informática no tuvo correlación con el apoyo prestado por los órganos financieros de investigación y formación de recursos humanos. Las becas de investigación para informática en el período 1980-1985 fueron menos de 1% del total concedido por el Consejo Nacional de Pesquisas (NCPq) y las becas de doctorado representaron 2.9% de las 3 579 otorgadas en 1985.⁵⁴

En el caso de Corea del Sur, uno de los países en desarrollo que han tenido éxito en desafiar, en años recientes, el control casi absoluto del mercado informático ejercido por los países industrializados, el KAIST —centro de investigación y de posgraduación de científicos financiado por el Gobierno y la industria— ha emprendido programas en áreas de materiales de semiconductores, CAD/CAM y robótica. Empero, la escasez de personal calificado de ID —ocho por cada 10 000 empleados— es una limitación crítica, que se espera superar hacia el año 2000, cuando se alcan-

zaría la misma proporción de los países desarrollados (30 por cada 10 000).⁵⁵

Programas multinacionales

■ ESPRIT

Frente al reto tecnológico que plantea la informática, Europa se ha movilizado para dar respuestas que apelan a sus logros pasados en materia de cooperación e integración económica. El programa aeroespacial Airbus y el de investigación nuclear, entre otros, demostraron la decisión y capacidad de los países europeos para trabajar por objetivos comunes en áreas de alta tecnología.

En el área informática, las iniciativas se remontan a 1974, cuando el Congreso de las Comunidades Europeas presentó una política comunitaria en la materia. En 1979 la CEE estableció un Programa Plurianual en el Dominio de la Informática (1979-1983), destinado a abordar distintos problemas vinculados con el área. El programa dio lugar a diversos estudios y recomendaciones relativas a políticas de normalización, mercados públicos, colaboración en ID, efectos de la informática sobre el empleo y la sociedad, seguridad de los datos personales y protección legal de los programas y los sistemas auxiliares, así como sobre medidas de promoción de éstos, de sistemas de información transnacionales y de aplicaciones de la informática.⁵⁶ En 1981, el Consejo adoptó un reglamento sobre las actividades comunitarias en microelectrónica. Ellas se orientaron hacia dos líneas principales: diseño asistido por computadora (CAD) para VLSI y equipos para fabricación y ensayos de circuitos, con el fin de contribuir a superar la dependencia europea en estos rubros.⁵⁷

La principal iniciativa en el área fue adoptada en 1984, con el Programa Estratégico Europeo de Investigación y Desarrollo en Tecnologías de la Información. De acuerdo con un documento de la CEE:

"Para la Comunidad, el ESPRIT representa una importante inversión en tecnologías esenciales para la prosperidad y la independencia futuras de Europa. El ESPRIT ofrece a la industria europea de las tecnologías de la información la dimensión continental indispensable para seguir siendo competitiva en los mercados mundiales."⁵⁸

El ESPRIT es un programa común de investigación para diez años (1984-1993), cofinanciado por la Comunidad Europea y organizado en estrecha colaboración con la industria, los gobiernos nacionales y la comunidad científica. Está destinado a ayudar a la industria europea de las tecnologías de la información (TI) a desarrollar los componentes clave necesarios para competir en los mercados mundiales durante la próxima década.

53. Jeffrey Bairstow, "South Korea: Grants Drive Development", en *High Technology*, noviembre de 1986, p. 22.

54. Véase Comisión de las Comunidades Europeas, *Rapport de la Commission au Conseil sur le programme pluriannuel dans le domaine de l'informatique (1979-1983)*, COM (85) 473 final, septiembre de 1985.

55. Véase Comisión de las Comunidades Europeas, *Trabajos comunitarios de tecnología microelectrónica*, COM (87) 22 final, febrero de 1987, p. 3.

56. Comisión de las Comunidades Europeas, *ESPRIT*, Luxemburgo, sin fecha, p. 7.

53. La inversión de ID de la URSS en 1983, de 26 000 millones de rublos, equivalió a 70% de la inversión de los 12 países de la CEE. Véase Comisión de las Comunidades Europeas, *The Science and Technology Community*, COM (86) 129 final, Bruselas, 1986, p. 7.

54. Véase Paulo Bastos Tigre, "Relação pesquisa-indústria na informática no Brasil", Seminario Jorge Sabato de Política Científica e Tecnológica, Taller de Lisboa, 3-5 noviembre de 1987, p. 8.

El ESPRIT se ubica en la fase "precompetitiva" de generación de la tecnología. Su característica esencial estriba en que "las empresas que participan en el programa comparten los gastos y los resultados de la investigación y compiten luego con los productos que cada una crea. Para facilitar el acceso al programa, éste se ha concebido de tal forma que se adapta a la estructura actual de la investigación y desarrollo en Europa (encomendando su realización a diferentes combinaciones de empresas y laboratorios) y sigue el ciclo anual que corresponde a la planificación industrial corriente. . ." Los participantes del ESPRIT tienen que escoger a un asociado en otro país de la Comunidad. Los contratos se conceden a equipos de investigación, los cuales comprenden generalmente por lo menos dos empresas no vinculadas entre sí provenientes de estados miembros diferentes. De esta forma se garantiza el compromiso de la industria y la transferencia de la tecnología allende una frontera nacional por lo menos.

El programa se estructura sobre la base de un ciclo anual que incluye la definición de un plan de trabajo, la convocatoria de propuestas y su selección. El procedimiento se describe a continuación.

El plan de trabajo es elaborado por unos 250 expertos, sin que éstos constituyan un grupo fijo, consultándolo con la industria y los gobiernos, habida cuenta del desarrollo de las tecnologías de la información en el mundo.

Cada año se procede a valorar los trabajos realizados en el marco de los proyectos del ESPRIT en curso. Se establece un proyecto de plan de trabajo después de largas consultas, especialmente con los representantes de los estados miembros que constituyen el Comité de Gestión del ESPRIT (EMC) y los representantes de la comunidad profesional de las TI, a los cuales se invita personalmente a las reuniones del Comité Consultivo del ESPRIT (EAB). Por otra parte, se reúnen otras informaciones en mesas redondas de expertos invitados a la Semana Técnica Anual del ESPRIT.

La Comisión adopta el proyecto final aprobado por los comités de Gestión y Consultivo y lo envía al Consejo para que lo apruebe. Conforme al plan de trabajo, se hace una nueva convocatoria de propuestas al comienzo del año siguiente en forma de concurso público que se difunde en el *Boletín Oficial de las Comunidades Europeas*. Después de haber constituido sus asociaciones, los contratantes potenciales del ESPRIT presentan sus proyectos respetando los principios técnicos generales que se definen en el plan de trabajo. Generalmente, todos los proyectos presentados se valoran con los criterios siguientes:

- i) Justificación técnica.
- ii) Contribución a la estrategia industrial a la luz de los objetivos del ESPRIT.
- iii) Dimensión comunitaria.
- iv) Capacidades técnicas, científicas y administrativas que permiten ejecutar el programa de trabajo propuesto.
- v) Medidas previstas para facilitar la explotación de los resultados.

Las propuestas pueden ser de dos tipos. Los proyectos de tipo A son "grandes proyectos" que entrañan la creación de equipos importantes para lograr objetivos tecnológicos específicos que constituyen el esqueleto del ESPRIT. Los proyectos de tipo B son "proyectos con riesgo" que tienen una infraestructura flexible que deja mayor margen a la iniciativa individual. Estos últimos proyectos no se detallan en el plan de trabajo, donde sólo se sugieren los temas generales.

La gestión diaria corre por cuenta del grupo de trabajo Tecnología de la Información y de las Telecomunicaciones, el cual se halla directamente subordinado al miembro de la Comisión encargado de los asuntos industriales. Para fortalecer dicho grupo se ha autorizado a lo largo de todo el programa la contratación de personal eventual de los medios industriales y de los sectores de investigación y desarrollo.⁵⁹

El presupuesto del ESPRIT se calculó en 1 500 millones de UCE para los cinco primeros años, 50% de los cuales proviene de la Comunidad. Su ejecución involucra varios cientos de especialistas, con un contingente estimado de 2 000 hombres por año a partir de 1986.⁶⁰ La primera solicitud de propuestas, en 1984, motivó la presentación de 44 proyectos, cada uno de los cuales incluía al menos dos empresas independientes de estados miembros distintos. El financiamiento de cada proyecto corresponde, por partes iguales, a la Comunidad y a las empresas participantes.

Las áreas que comprende el ESPRIT son las siguientes:

- Microelectrónica (VLSI de diseño menor a 1 micrón, nuevos materiales semiconductores, CAD/CAM, etc.)
- Programación y sistemas auxiliares (ingeniería de programas, interfaces, etc.)
- Tratamiento avanzado de la información (arquitecturas paralelas, máquinas de inferencia, sistemas expertos, etc.)
- Aplicaciones: ofimática, producción integrada mediante computadora.

De acuerdo con las bases del programa, los conocimientos adquiridos durante la ejecución de los proyectos y las patentes que se obtengan pertenecen a los contratantes respectivos.

Todos los contratantes de un proyecto tienen acceso gratuito a las informaciones adquiridas que estimen oportunas para los trabajos que realicen dentro del marco del proyecto. Los demás participantes del ESPRIT también tienen acceso a estas informaciones en condiciones razonables si las necesitan para sus propios trabajos dentro del programa.

El ESPRIT también incluye un sistema de intercambio de informaciones (SII). Es un sistema general de comunicación de datos utilizado para los intercambios de informaciones, entre los participantes de los proyectos geográficamente dispersos, sobre sus propias direcciones y organismos políticos, la Comunidad y las dependencias nacionales que colaboran en la gestión del programa y de los proyectos. A fin de lograr las mejores comunicaciones entre computadoras, y dentro del marco del modelo de referencia ISO previsto para la interconexión de sistemas abiertos (OSI: *open systems interconnection*), se ha establecido el acceso a las computadoras a distancia, el correo electrónico y el intercambio de mensajes; la organización de conferencias con la ayuda de computadoras (tanto abiertas como cerradas), y el intercambio de ficheros informatizados, de programas de base y de aplicación, de gráficas, etc. El sistema permite preparar y editar en común

59. *Ibid.*, pp. 7 y 8.

60. En 1987 el ESPRIT comprendía a 2 900 investigadores. Véase Pablo Doudchitzky, "Inglaterra hace peligrar el programa informático ESPRIT", en *El Cronista Comercial*, Buenos Aires, 21/7/87.

textos e informes administrativos o técnicos, y almacenar, buscar y difundir informaciones documentales o estadísticas.⁶¹

El ESPRIT se encuentra al inicio de su segunda fase quinquenal. Se ha sugerido que en esta etapa se incluyan temas sobre electrónica de consumo y equipos periféricos para computadoras, a fin de establecer normas europeas y encontrar nuevas oportunidades, tanto en el caso de nuevos productos, como de optoelectrónica. Muchos consideran esta última "de mayor importancia estratégica para el futuro, no sólo por sus efectos en las telecomunicaciones sino también por su potencial para el procesamiento ultrarrápido de datos por medio de computación óptica".⁶² De la evolución de los resultados alcanzados se desprende "un acuerdo unánime de los participantes de todos los estados miembros en cuanto a que el ESPRIT ha sido muy exitoso en promover la cooperación transeuropea entre grandes y pequeñas organizaciones, y entre la industria, las universidades y los institutos de investigación".⁶³ Según dicha evaluación las principales ventajas derivadas de la ejecución del programa incluyen: la fijación de objetivos más ambiciosos; la concentración de las capacidades europeas en áreas estratégicamente importantes; la aceleración de proyectos individuales, la interacción de empresas, el intercambio de *know-how* y una mayor cohesión de la industria; la posibilidad abierta a pequeñas empresas y entidades académicas, y la mayor motivación y confianza de investigadores, trabajadores, industriales y organizaciones; la ruptura del aislamiento de ciertas instituciones, y, finalmente mejores vínculos entre universidades y empresas. Uno de los mayores beneficios provienen de las actividades de normalización, en especial en sistemas de oficina y manufactura integrada por computador (CIM: *computer integrated manufacture*).⁶⁴ Entre las dificultades encontradas figura la limitada disponibilidad de científicos e ingenieros de alta calificación, particularmente en inteligencia artificial; los problemas que las empresas de programación y servicios auxiliares enfrentan para participar en el programa (debido a la naturaleza intensiva en personal de su actividad) y el número muy elevado (5.5 en promedio) de participantes en cada proyecto.⁶⁵

Por último, en el área de telecomunicaciones la Comunidad inició en 1985 el programa Research and Development in Advanced Communication Technology for Europe (RACE), uno de cuyos objetivos es promover la ID ligada a la creación de redes y servicios integrados de banda ancha.

Otros proyectos comunitarios se refieren a investigación en tecnología industrial de base de industrias tradicionales (Basic Research for Industrial Technology in Europe, BRITE), en biotecnología y en el área nuclear. En vista del resultado de estas actividades conjuntas y de la necesidad de lograr mayor sinergia de los esfuerzos y capacidades europeas, la Comisión ha elaborado pautas para definir una estrategia de ID "en escala continental" con miras a establecer una comunidad europea de ciencia y tecnología.⁶⁶

61. Comisión de las Comunidades Europeas, ESPRIT, *op. cit.*, p. 23.

62. Comisión de las Comunidades Europeas, *Communication from the Commission to the Council and the Parliament Concerning a Review to Assess the Initial Results of the Programme ESPRIT*, COM (85) 616 final, noviembre de 1985, p. 30.

63. *Ibid.*, p. 19.

64. *Ibid.*, pp. 12 y 13.

65. *Ibid.*, pp. 63 y 64.

66. Véase Comisión de las Comunidades Europeas, *The Science and Technology Community*, COM (86) 126 final, Bruselas, mayo de 1986.

■ Eureka

Por lo general se considera el proyecto Eureka como una respuesta europea a la Iniciativa de Defensa Estratégica ("Guerra de las Galaxias") de Reagan. El programa procura abarcar las áreas "clave para el futuro tecnológico de Europa":⁶⁷ tecnologías de la información, de la producción, y avances en ciencias de la vida. "En estas tres áreas debemos desarrollar los conocimientos y competencias para abrir las puertas al siglo XXI e ir más allá de él."⁶⁸

La originalidad del Eureka radica en que no creó una nueva maquinaria burocrática, y en que convoca a los industriales para desarrollar productos que pueden ingresar directamente al mercado, pero para cuya realización no bastan los recursos disponibles dentro de las fronteras nacionales.⁶⁹ Las tres principales diferencias con el ESPRIT son: la búsqueda de finalidades industriales inmediatas,⁷⁰ la concentración en un grupo menor de temas de investigación, y la participación de países no comunitarios.

Las áreas del Eureka en las tecnologías de la información comprenden:

■ **Euromática:** supercomputadoras, arquitecturas paralelas, inteligencia artificial y sistemas expertos, silicio rápido, arseniuro de galio.

■ **Eurobot:** robots de seguridad civil, agrícolas, fábricas automatizadas, rayo láser.

■ **Eurocom:** redes informáticas para la investigación, equipos de conmutación para redes de banda ancha.

En el marco del proyecto se han negociado diversos acuerdos: Eureka Matra (Francia) con la Norsk-hydro (Noruega) para computadoras de gran potencia, y con la SGS (Italia) para circuitos integrados; la Bell (Francia) con la Siemens (Alemania Federal) para supercomputadoras; la Phillips (Países Bajos) con la Siemens para circuitos integrados, y esta última con la Thomson (Francia) para microprocesadores y comunicaciones.

Si a primera vista Eureka parece desprovisto de los fines militares de la Iniciativa de Defensa Estratégica a la que responde, "una lectura transversal de los módulos encarados muestra que las posibilidades de aplicaciones militares están inscritas en filigrana."⁷¹ Tal es el caso de los robots (para fines de combate), la inteligencia artificial, los componentes electrónicos rápidos y el rayo láser. Todos ellos son susceptibles de aplicaciones militares críticas. Asimismo, "las grandes computadoras devienen indispensables para el cálculo de las estructuras en electrónica aeronáutica, sea civil o militar . . . [y] talleres al menos parcialmente robotizados existen en la industria de armamentos".⁷² □

67. República Francesa, *op. cit.*, p. II.

68. *Ibidem*.

69. Véase Claude Julien, "De la guerre des étoiles a 'Eureka'. Un regard brisé", en *Le Monde Diplomatique*, agosto de 1985.

70. En la mayor parte de los proyectos del ESPRIT se estima que, después de terminados, se necesitarán aún de 3 a 5 años de desarrollo para poner en explotación las respectivas tecnologías. Véase Comisión de las Comunidades Europeas, COM (85), final, *op. cit.*, p. 59.

71. Michel Rudnianski y Christos Passadeos, "Une mince frontière entre recherches civiles et potentialités militaires", en *Le Monde Diplomatique*, agosto de 1985, p. 20.

72. *Ibid.*