La I+D en tecnologías de la información y las comunicaciones

Juan Mulet, Juan José Mangas, Mª Josefa Montejo

Arbor CLXVII, 658 (Octubre 2000), 371-403 pp.

1. Introducción

La actividad productiva del sector de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) es altamente innovadora y exigente en I+D, lo que ha motivado que, en todos los países, el sector de las TIC se haya dotado de un eficiente sistema de innovación, que destaca por su capacidad para traducir los resultados de la actividad de I+D en resultados económicos. En este sentido España no es una excepción, y los indicadores de recursos y de eficacia de la I+D de este sector están entre los mejores del país.

Pero aunque la posición relativa del sector en lo que respecta a I+D es excelente si se compara con la de otros sectores nacionales, no ocurre lo mismo cuando la comparación se hace con los sectores TIC de los países de nuestro entorno, como se verá más adelante. Para lograr que la distancia que nos separa de estos países disminuya, en vez de seguir aumentando, deberemos realizar un intenso esfuerzo, tanto en innovación como en aumento de la utilización de estas tecnologías.

El modelo de sistema de innovación

La traducción de los resultados de la actividad de I+D en resultados económicos es el verdadero objetode la innovación, actividad consistente en convertir ideas en productos, procesos o servicios nuevos o mejorados, que tienen éxito en el mercado. Estas novedades o mejoras pueden

(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas http://arbor.revistas.csic.es
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)

dar lugar a innovaciones en las áreas comercial, gerencial o tecnológica. Aunque todas ellas son tributarias del conocimiento generado por la I+D, la que depende más directamente de los trabajos de investigación y desarrollo es la innovación tecnológica. Muchos estudios empíricos han demostrado que el cambio tecnológico es la mayor fuente de innovaciones, y el que ha tenido mayores repercusiones económicas. Además, muchas de las innovaciones comerciales y gerenciales solamente son posibles cuando se recurre intensivamente a la tecnología.

Desde hace algunos años, se viene utilizando el modelo del sistema nacional de innovación tecnológica para analizar y comparar los procesos innovadores— de todo un país o de un sector industrial concreto —y sus consecuencias económicas y sociales. Según este modelo, la innovación tiene lugar en un sistema, cuyos elementos o subsistemas interactúan entre sí, tanto a favor como en contra de su eficacia. El Libro Blanco de Cotec (Cotec, 1998) hace un análisis general del sistema español de innovación distinguiendo cinco subsistemas y describiendo las características de las relaciones que se establecen entre ellos. Este mismo ejercicio se ha repetido para el sector de las TIC, y los datos recopilados sobre la manera en que sus diversos agentes interactúan y desarrollan sus procesos innovadores se recogen en el informe sobre la Innovación en estas tecnologías (Cotec, 2000), cuyos análisis y conclusiones se resumen en el presente artículo.

Los subsistemas en que se basa el modelo de Cotec del sistema de innovación son cinco:

- Las empresas, elemento clave de todo el sistema, ya que el tejido productivo es el único capaz de llevar al mercado el resultado final de los procesos innovadores. Como se verá más adelante, en el caso de las TIC es también el más activo.
- El sistema público de I+D, que en España está formado por la universidad y los OPIS (organismos públicos de investigación).
- Las infraestructuras de soporte a la innovación, que son un conjunto, más variado e importante cuanto más desarrollado es el sistema de innovación, de entes creados para facilitar los procesos empresariales de innovación.
- Las administraciones —locales, regionales, nacionales y comunitarias—, en cuanto distribuidoras de recursos económicos y generadoras de normativa, componen el cuarto subsistema.
- Por último, un amplio abanico de instituciones no creadas para la innovación pero sin las cuales ésta no tendría lugar, forman lo que en este modelo se denomina «entorno». Son ejemplos de

(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas http://arbor.revistas.csic.es
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)

ellas, el sistema educativo, el sistema financiero, el sistema de mercado, etc.

El proceso de innovación

La innovación tecnológica es un proceso complejo en el que intervienen actividades de muy diversa naturaleza. El Manual de Oslo (OCDE, 1997) las clasifica en tres grandes categorías: generación y adquisición de conocimiento, preparación para la producción y preparación para la comercialización. La I+D, la adquisición de inmovilizado inmaterial y la adquisición de inmovilizado material, constituyen la primera categoría. La preparación para la producción exige el diseño y la ingeniería de producto, la ingeniería de proceso y las fabricaciones piloto, mientras que, la preparación para la comercialización incluye un variado conjunto de actividades que pretenden reducir el riesgo comercial asociado a la introducción en el mercado del resultado de la innovación. La I+D es simplemente una de las múltiples actividades que hacen posible la conversión de conocimiento en riqueza, pero para la empresa es, sin duda, la que potencialmente aporta mayor valor añadido. Se atribuye normalmente mayor calidad a aquellas innovaciones que recurren intensivamente a la I+D y, de hecho, los sectores en los que descansan las economías más desarrolladas y, por lo tanto, más generadoras de valor añadido, son los que más esfuerzo hacen en investigación y desarrollo. Estos sectores se denominan genéricamente de alta tecnología, siendo uno de los más significativos el de las TIC.

El problema de los datos

La relativa novedad de estas tecnologías resulta un problema a la hora de recopilar datos estadísticos sobre la actividad económica e innovadora del sector, ya que el criterio seguido por los Institutos de Estadística en la organización de los datos publicados sobre el tejido productivo se sustenta con frecuencia en clases tradicionales de actividad económica (CNAE / NACE) y no proporciona una desagregación suficiente, por lo que a menudo resulta imposible distinguir la aportación de la producción estrictamente electrónica en las rúbricas que se refieren a productos cuya funcionalidad puede ser conseguida alternativamente recurriendo a la mecánica o a la óptica, por citar sólo unos ejemplos.

Al utilizar los datos proporcionados por otras fuentes especializadas aparece un problema distinto: la diferente interpretación de lo que

(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas http://arbor.revistas.csic.es
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)

son las TIC, que hace que dichos datos varíen significativamente de una fuente a otra. Así, por ejemplo, mientras el European Information Technology Observatory (EITO) entiende por TIC sólo Informática y Telecomunicaciones, la Asociación Nacional de Industrias Electrónicas y de Telecomunicaciones (ANIEL) incluye también a la Electrónica, por considerar que es la técnica que hace posible la existencia de los equipos de telecomunicación y de informática. Posteriormente, han sido estas dos tecnologías de aplicación las que han permitido el espectacular desarrollo de la Electrónica, traducido por una parte en potencia, velocidad y miniaturización de los dispositivos y, por otra, en la sorprendente evolución de las técnicas de tratamiento de las señales. Actualmente, Electrónica, Telecomunicaciones e Informática son inseparables y el mejor testimonio de ello es la existencia y las expectativas de desarrollo de la Red de Redes, Internet. En consecuencia, el criterio adoptado en este estudio es el de incluir a la Electrónica dentro de las TIC.

Pero la sinergia entre las tres tecnologías mencionadas no ha disminuido y la más reciente extensión del campo de las TIC ha sido hacia lo que se denominan Contenidos, informaciones debidamente preparadas para poder ser tratadas por los medios electrónicos de proceso, almacenamiento y comunicación. En esta nueva parcela coexisten las habilidades tecnológicas y las artísticas, y se abren novísimos negocios, cuyas leyes están todavía por descubrir y sobre los cuales los datos son todavía más imprecisos, razón por la cual no se incluye esta área en el estudio.

2. Los agentes de la I+D en TIC

Los últimos datos publicados sobre gastos de I+D interna ejecutados por las empresas y por el sistema público en el sector TIC en España, correspondientes a 1998, indican que sobrepasaron los cien mil millones de pesetas, lo que supuso casi el catorce por ciento de los gastos totales en I+D del país y un incremento próximo al veinte por ciento sobre los del año anterior. Contrariamente a lo que es habitual en España, las empresas fueron las responsables de la mayor parte del gasto, con una aportación del 86%, mientras que en el total del sistema español su gasto solamente representa el 53%. Lo cual es un claro indicador de que el esfuerzo de I+D de este sector repercute muy directamente en su actividad productiva.

El número de personas empleadas en I+D en TIC se aproximó en ese año a nueve mil (en EDPs), es decir, algo más del diez por ciento

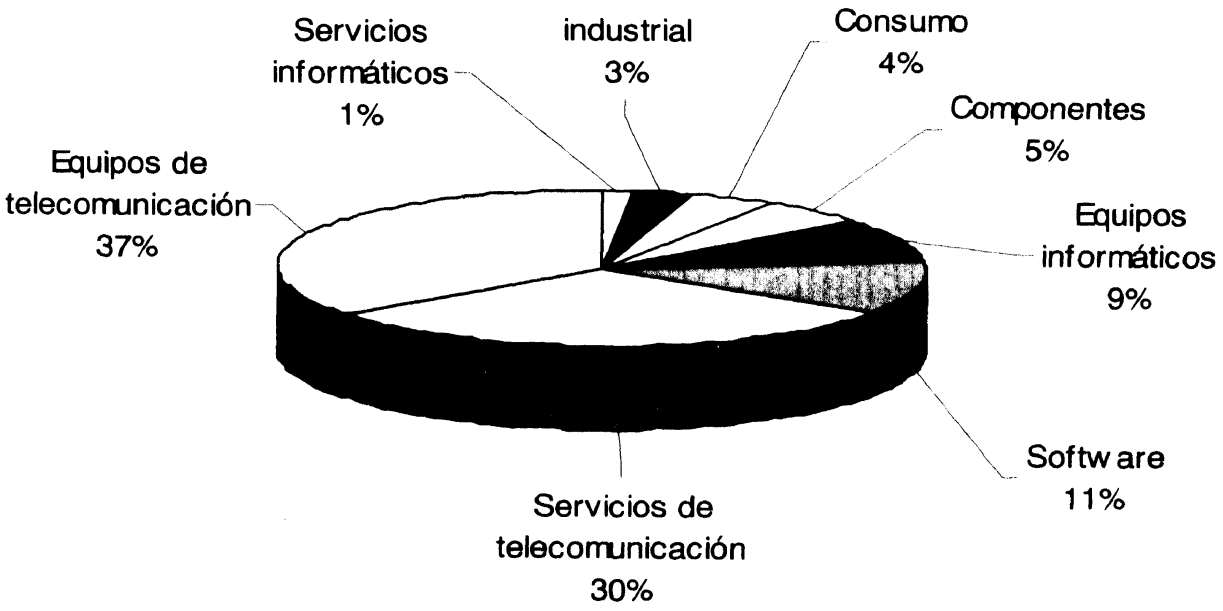
(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas http://arbor.revistas.csic.es
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)

de todo el personal español de I+D. De ellas, más de la mitad eran investigadores. Las empresas emplearon a más de las tres cuartas partes del personal, en consonancia con el reparto de gastos ya citado.

Las empresas

Las empresas gastaron en I+D interna en 1998 más de noventa mil millones de pesetas, lo que representa el 22% del gasto empresarial en estas actividades. Su distribución por subsectores muestra que el subsector de equipos de telecomunicación fue responsable de la tercera parte del gasto. Si se añaden los gastos del subsector de servicios de telecomunicación, el conjunto representa las tres quintas partes de toda la I+D interna del sector (Figura 1).

FIGURA 1. Distribución del gasto en I+D por subsectores de TIC



Fuente: Elaboración propia a propia del INE, 2000

Las empresas industriales dedicadas a tecnologías de la información y comunicaciones contratan proporcionalmente menos *I+D externa* que la media del país. Se estima que sólo el dos por ciento de su gasto corresponde a contratos externos de I+D, alrededor de la décima parte de lo que es habitual en el país. Sin embargo, las empresas de servicios de telecomunicación subcontratan I+D por encima de la media nacional, estimándose que cerca del cuarenta por ciento de sus gastos de I+D

(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://arbor.revistas.csic.es

son externos. En 1998 estas empresas contrataron dentro del propio sector unos dieciocho mil millones de pesetas.

El porcentaje de la cifra de facturación que representan los gastos de I+D es un indicador llamado *intensidad de I+D*, que da una buena idea de la actividad investigadora de un sector. Para las empresas fabricantes de equipos de telecomunicación este parámetro tiene un valor de 6,8%, trece veces el de la media de la industria española, y el mayor del sector. Este indicador no difiere grandemente del de otras empresas internacionales, como refleja la tabla 1.

TABLA 1. Gastos en I+D de los fabricantes de equipos de telecomunicación, 1997

Fabricantes de equipos de telecomunicación	Gasto en I+D (millones $ USA)	Gasto en I+D como porcentaje de ventas
Siemens	4.690	7,6
Futjitsu	3.199	7,8
Ericsson	3.175	14,5
Lucent Technologies	3.023	11,5
NEC	2.880	7,0
Alcatel	2.844	8,9
Motorola	2.748	9,2
Nortel	2.147	13,9

Fuente: OCDE, 1999

Las empresas de servicios de telecomunicación tienen intensidades de I+D más bajas que las de los sectores de fabricación de TIC. El valor para el conjunto del subsector en España fue 1,02 en 1998. En la tabla 2 se incluyen los gastos de I+D, en 1997, de algunos operadores de servicios de telecomunicación y su intensidad de I+D.

Otro parámetro relativo es el que mide la proporción que representan los gastos de I+D en los gastos totales de innovación, medida en términos de porcentaje y que se conoce como *intensidad tecnológica* y expresa la calidad de la innovación, por cuanto incide directamente en la generación de tecnología propia. Su valor para el sector TIC no difiere sensiblemente del de la media de la industria, aunque sí se aprecian diferencias en el análisis subsectorial. La práctica totalidad de los

(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas http://arbor.revistas.csic.es
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)

TABLA 2. Gastos en I+D de los operadores de telecomunicación, 1997

Operadores de Telecomunicación	Gasto en I+D (millones $ USA)	Gasto en I+D como porcentaje de ventas
NTT	2.388	3,1
France Telecom	918	3,4
AT&T	829	1,6
Deutsche Telekom	692	1,8
BT	502	2,0
Telia	202	3,3
KPN Telecom	60	0,8
Telefónica de España*	135	1,3

* datos de la memoria de Telefónica correspondiente a 1997.
Fuente: OCDE, 1999

gastos de innovación de las empresas de equipos informáticos son gastos de I+D, mientras que para las de servicios de telecomunicación sólo lo son la tercera parte, unos trece puntos por debajo de la media de la industria. Las empresas de este último subsector dedican casi la mitad de sus gastos en innovación a adquisición de equipos y cerca de una quinta parte a la compra de know-how y licencias y patentes.

Finalmente, es habitual referirse al gasto medio en I+D por empresa. Este gasto medio puede calcularse, según convenga, teniendo en cuenta todas las empresas, únicamente las innovadoras, o, en el caso más restrictivo, sólo las que realizan actividades de I+D de forma sistemática. En la tabla 3 se presentan estos valores para algunos subsectores de TIC y para el total de la industria española.

Si se contabilizan todas las empresas, los gastos medios de todos los subsectores de TIC incluidos en la tabla son muy superiores a los de la media industrial. La conclusión es diferente cuando se comparan los datos para las empresas con I+D sistemática de Electrónica, seguramente debido a que en estos subsectores abundan las empresas pequeñas que tienen una actividad regular de I+D.

(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://arbor.revistas.csic.es

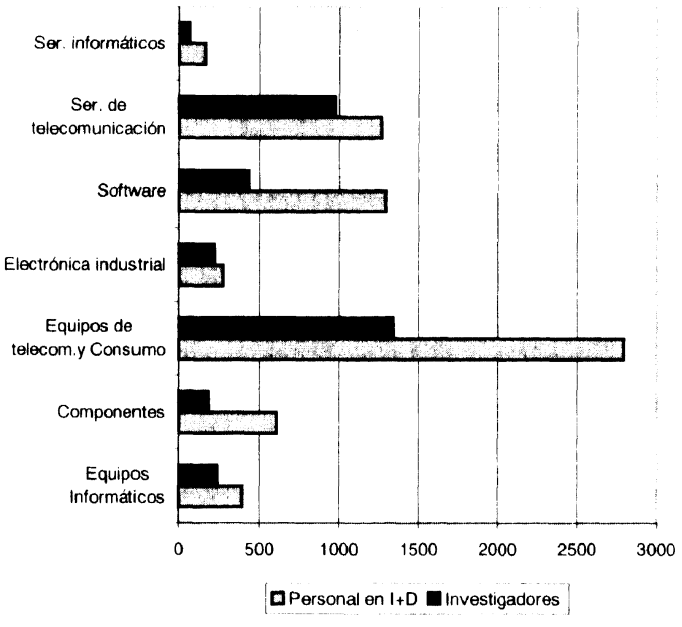
TABLA 3. Gasto medio en I+D de algunos subsectores de TIC en 1998 (millones de pesetas)

TIC	De todas las empresas	De empresas innovadoras	De empresas con I+D sistemática
Equipos informáticos	57	241	559
Componentes	11	34	92
Equipos de telecomunicación	306	666	813
Electrónica de consumo	34	80	128
Electrónica industrial	22	73	74
Servicios de telecomunicación	83	483	2.062
Total industria	3	27	168

Fuente: Elaboración propia a partir de INE, 1999

En cuanto a personas empleadas en I+D en las empresas del sector de TIC, en 1998 su número en EDPs se aproximaba a siete mil, aunque sólo la mitad eran investigadores. El reparto por subsectores es el que se muestra en la figura 2.

FIGURA 2. Perfil de los recursos humanos en I+D (EDP) de los subsectores de TIC



Fuente: Elaboración propia a partir de INE (2000)

(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://arbor.revistas.csic.es

En servicios de telecomunicación, electrónica industrial y equipos informáticos, la mayor parte del personal en I+D son investigadores, mientras que en los subsectores de software, electrónica de consumo, servicios informáticos y componentes, la proporción de técnicos es mayor que la de investigadores entre su personal de I+D.

En conjunto, el personal dedicado a la I+D en el sector TIC es casi la quinta parte del que realiza estas actividades en el total de la industria nacional. Sin embargo, según se advirtió en la Introducción de este trabajo, las cifras españolas están lejos de las habituales en los países de nuestro entorno, como puede verse en la tabla 4, donde se ha reflejado el número de investigadores dedicados en 1995 sólo a los subsectores de equipos informáticos y equipos de telecomunicación, para los que se tiene una segura comparación internacional.

TABLA 4. Personal de I+D (en EDP por millón de habitantes) en subsectores de TIC en países de la OCDE en 1995

	Canadá	Francia	Italia	Japón	UK	USA	España
Equipos informáticos	84	56	26	301	87	220	7
Equipos de telecomunicación	381	285	136	586	209	382	68

Fuente: Elaboración propia a partir de OCDE (1999) e INE (2000)

Las cifras para España relativas a 1998, en EDPs por millón de habitantes fueron de 10 en el sector de equipos informáticos y de 71 para equipos de telecomunicación. A pesar del apreciable crecimiento, sobre todo en el subsector de equipos informáticos, la distancia con el resto de los países sigue siendo enorme, y continuará siéndolo a menos que se redoblen los esfuerzos en este sentido.

Desde el punto de vista cualitativo, las empresas de los diferentes subsectores de TIC enfocan su esfuerzo innovador, y en particular el de I+D, al logro de objetivos diferenciados que caracterizan sus modos de innovación y se reflejan en su estrategia de mercado.

Así la innovación de las empresas dedicadas a *electrónica industrial* depende en buena medida de su propia I+D, pero resalta el bajo porcentaje de las ventas de estas empresas respecto a las ventas totales del subsector, a pesar de su alta inversión en recursos tecnológicos. Es de destacar, así mismo, que este esfuerzo se traduce, principalmente, en productos mejorados, no en nuevo, y que la novedad para el mercado

(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://arbor.revistas.csic.es

es importante. Todo ello puede explicarse por la existencia, dentro de este colectivo, de empresas de alta tecnología que venden diseños y prototipos, como es el caso de los contratos de la administración o de las instalaciones únicas «llave en mano». Sus estrategias son fundamentalmente seguidoras y para la ampliación de su gama de productos que no tienen que ser nuevos, sino competitivos, utilizan la I+D para adquirir esta capacidad.

Una cuarta parte de las empresas del subsector de *consumo* realizan actividades de I+D, aunque su intensidad de I+D es la más baja. Las ventas de las empresas con I+D interna representan las tres cuartas partes de las ventas totales. Esto supone la concentración de la I+D en las empresas mayores del subsector. Su estrategia es claramente de innovaciones incrementales, pero sus objetivos de negocio son introducir en el mercado productos conocidos más competitivos, probablemente, desde el punto de vista del precio, la calidad, el aspecto exterior, servicio posventa ,etc. A estas actividades deben estar dirigidas, principalmente, las tareas de I+D. Existe una clara estrategia de innovaciones incrementales, principalmente introducidas en los procesos de producción de productos existentes. Indica una alta especialización en producción competitiva, lo que permite a las empresas basar sus ventas en productos recientemente mejorados.

El subsector de *equipos de telecomunicación* presenta una estrategia empresarial de innovación más equilibrada. Sus productos tienen un porcentaje alto de novedad no sólo para sus empresas sino también para el mercado. Las ventas de las empresas que realizan I+D representan la práctica totalidad de las ventas del grupo, esto indica que son las más significativas en cuanto a tamaño y volumen de ventas.

Sólo un tercio de las empresas del subsector de *componentes* que son tecnológicamente innovadoras realizan sistemáticamente actividades de I+D, con una destacada orientación de su utilización a la creación de nuevos productos. Además, las empresas con I+D sistemática, que sólo representan algo más de la décima parte del total de industrias del subsector, suponen alrededor de los dos tercios de las ventas totales del subsector. El grupo está constituido por un número de empresas que se aproxima a quinientas, lo cual quiere decir que se trata de un grupo muy atomizado con muchas empresas muy pequeñas y las de mayor tamaño son las que acometen la estrategia arriba apuntada. Sin embargo, es de destacar que a pesar de la actitud innovadora en productos, ésta no se traduce en productos nuevos para el mercado, sino en nuevos productos para las compañías, lo cual puede indicar

(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas http://arbor.revistas.csic.es
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)

que las empresas tratan de ampliar su gama de productos para satisfacer mayores cuotas de mercados establecidos.

De todos los subsectores, el de *equipos informáticos* es el de porcentajes más bajos de empresas tecnológicamente innovadoras (una cuarta parte de todas las empresas) y de las que hacen I+D sistemáticamente (la décima parte). Así mismo, es el grupo donde las ventas de las empresas que realizan estas tareas son menos significativas frente a las de todo el subsector. Sin embargo, las empresas que basan su estrategia en I+D, son bastante eficaces en trasladar esta inversión en porcentajes muy altos de productos nuevos y mejorados. Dentro de este colectivo de empresas se detecta una estrategia de innovaciones incrementales, dado el alto porcentaje de productos mejorados en sus ventas. No obstante, a pesar de la alta incidencia de los productos mejorados, éstos se consideran como nuevos para el mercado. Estamos, pues, frente a una estrategia de introducción de mejoras en productos avanzados, de diseño originario probablemente exterior a la empresa en cuestión, y de utilización mayoritaria de la I+D para las adaptaciones de productos y, probablemente, de procesos de producción. En resumen, podemos señalar en este subsector la estrategia de innovación incremental sobre productos avanzados tanto en diseño como en aplicaciones y en sus procesos de producción. Por todo ello se puede concluir que se trata de una industria caracterizada por productos dotados de alto dinamismo tecnológico en la que se agrupan empresas que se orientan a mercados muy distintos y con diversos grados de contenido de TIC y de valor añadido local.

Las inversiones en innovación tecnológica del subsector de *servicios de telecomunicación* suponen más de las tres quintas partes de todas las del sector TIC. Sin embargo, sólo una de cada veinticinco de sus empresas realizan I+D de forma sistemática, coincidiendo con las de mayor volumen en ventas. El gasto en I+D representa una quinta parte del total de inversión en innovación del subsector, lo que indica que, en su globalidad, este grupo de empresas utiliza como mecanismo de innovación principal la compra de tecnologías incorporada en los productos que introducen en sus redes. La novedad de los productos innovados a través de las acciones de I+D, se traduce en ofertas mejoradas.

Hay que señalar que los operadores de telecomunicación europeos realizan I+D en colaboración en el contexto del Instituto Europeo para la Investigación y el Desarrollo en Comunicaciones, EURESCOM. Este instituto fue creado en el año 1991 y cuenta en la actualidad con veinticuatro socios, entre ellos Telefónica. Su presupuesto anual de

(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas http://arbor.revistas.csic.es
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)

proyectos de I+D es de unos veinticinco millones de euros, disponiendo adicionalmente de un pequeño presupuesto para gastos operacionales.

El objetivo principal de EURESCOM es realizar proyectos de I+D en colaboración para la identificación y el desarrollo de nuevos escenarios de telecomunicaciones, soluciones de red y servicios avanzados. Los proyectos se circunscriben a las áreas de estudios estratégicos, servicios y aplicaciones, «middleware» y gestión de redes y servicios, Internet y tecnología IP y, por último, redes. Su asamblea general aprueba anualmente el programa de trabajo de los proyectos a realizar, que son ejecutados por el personal de I+D de los operadores miembros del Instituto. Actualmente hay unos cuarenta proyectos en curso que cuentan con unos recursos de 2.750 hombres/mes. Todos los miembros son propietarios de los resultados que se generan en los proyectos que pueden ser de índole confidencial o de carácter abierto.

Gran parte de los proyectos del área de estudios estratégicos están relacionados con el análisis de las tendencias del mercado y la identificación de posibles hechos disruptivos, así como con el impacto de la convergencia tecnológica. Los proyectos del área de servicios y aplicaciones se refieren a desarrollos de interfaces de usuario, calidad de servicio, determinación de requisitos genéricos para nuevos terminales de cliente, etc., y tienen como objetivo fundamental el facilitar a los operadores la ampliación de sus mercados y la portabilidad de sus servicios. El programa de «middleware» incluye proyectos para la experimentación de nuevas tecnologías orientadas al soporte de la gestión de servicios y la interoperatividad de mantenimiento. Los proyectos de Internet y tecnología IP se centran en la migración de servicios a este tipo de redes así como, por ejemplo, en la experimentación de los servicios sin conexión versus los servicios orientados a conexión para la provisión de distintas calidades. Por último, en el área de redes se recogen proyectos asociados a nuevas arquitecturas, interfuncionamiento, planificación de redes y sistemas, identificación y preparación de pruebas piloto de nuevas configuraciones de sistemas, redes ópticas y convergencia fijo móvil, entre otros.

El sistema público de I+D

La estadística sobre las actividades de investigación científica y desarrollo tecnológico (INE 2000) sigue la metodología definida por el Manual de Frascati de la OCDE, por lo que su clasificación por campos de estudio o disciplinas científicas no incluye directamente el área de

(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas http://arbor.revistas.csic.es
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)

las tecnologías de la información y las comunicaciones. Resulta imposible, por tanto, a partir de esta fuente oficial, obtener de manera directa cuales son los recursos destinados por el sistema público de I+D al sector TIC. Ha sido pues necesario recurrir a una estimación de los datos a partir de la información del INE referente a campo o disciplina en la que se investiga y a objetivo socioeconómico de la investigación.

A partir de esta estimación, se puede decir que, en 1998, había en España unas cuarenta unidades del sistema público que realizaban I+D en tecnologías de la información y las telecomunicaciones. De éstas, las tres cuartas partes eran universidades y el resto centros públicos de investigación.

El sistema público ejecutó en I+D de TIC, en 1998, unos quince mil millones de pesetas, con un incremento sobre el año anterior de casi el diez por ciento. El personal empleado en I+D de estas tecnologías, en equivalentes a dedicación plena, fue de unos dos mil, lo que únicamente supone poco más del 3% del total de investigadores del sistema público. Más de las tres cuartas partes de la I+D estuvo realizada por los centros universitarios. Fuera de la universidad, la I+D pública en TIC tiene muy poca presencia. Sólo el CSIC dedicó recursos a estas tecnologías, a través de sus distintos institutos, y en particular del de microelectrónica. El resto de los Organismos Públicos de Investigación, salvando las actividades del INTA, en el área aeroespacial, se limitan prácticamente a la utilización del software para la realización de simulaciones en sus campos de actividad.

La I+D española en TIC tiene ya una cierta historia y sus contribuciones científicas y tecnológicas son relevantes en el ámbito mundial. Sin embargo, la evolución y grado de desarrollo no es uniforme en el amplio número de disciplinas que abarcan las tecnologías de la información y las comunicaciones. La capacidad científica española se analiza a continuación desagregada en las siguientes áreas: radiocomunicación, comunicaciones ópticas, procesado de señal, software, comunicaciones y microelectrónica.

El área de *radiocomunicaciones* gozó hace años de una importante dedicación, que tuvo consecuencias industriales relevantes. Sin embargo, desde la práctica desaparición de la demanda de aplicaciones para Defensa, salvando los programas propios del INTA, se ha vivido una lenta pero constante reconversión de conocimientos hacia las áreas de procesado de señal y comunicaciones más próximas y de más implantación en el sector civil. La reconversión supuso una pérdida grave de conocimientos en un área donde el sistema público de I+D estaba

(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas http://arbor.revistas.csic.es
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)

bien situado y en la que se habían realizado esfuerzos considerables en infraestructura. Además, la migración de actividad tampoco se realizó hacia sectores más o menos despoblados como comunicaciones ópticas, sino que se evolucionó hacia las áreas más competitivas. Más acorde con las necesidades fue la migración hacia subsistemas de navegación y a aplicaciones en el segmento de comunicaciones vía satélite.

En cualquier caso, la consecuencia de la reconfiguración de esta área ha sido una marcha paulatina y constante hacia el diseño software de un colectivo investigador, que llevaba a cabo la integración de subsistemas y front-ends. Es de destacar que se podría hacer un uso más eficiente de la infraestructura y conocimientos disponibles si se orientasen más las actividades hacia el desarrollo de tecnologías. Y aprovechar así a uno de los principales motores europeos del desarrollo tecnológico en subsistemas de radiofrecuencia, que son los programas científicos y tecnológicos de la Agencia Espacial Europea (ESA).

El área de *comunicaciones ópticas,* cuya actividad sustentó en gran parte el éxito del proyecto de banda ancha de la Dirección General de Telecomunicaciones, ha experimentado en los últimos años un crecimiento sostenido. El crecimiento se ha producido fundamentalmente en sensores y dispositivos y en integración de subsistemas y sistemas. Sin embargo, el número de investigadores del área es aún bastante reducido, probablemente debido al elevado coste de la infraestructura necesaria.

El área de *procesado de señal* se ha diversificado últimamente de manera significativa. La profusión de actividad en voz e imagen, orientada fundamentalmente a software, entraña uno de los fenómenos más espectaculares en la atracción de nuevos investigadores y ha contribuido en gran medida al incremento de la producción científico-técnica en TIC. Con todo, la I+D en voz parece agrupar más recursos de los que correspondería al tamaño de nuestro tejido investigador público y empresarial.

La diversidad de las actividades en imagen hace difícil el análisis de su situación, si bien se considera su nivel de excelencia elevado, en particular, en imágenes radio/radar, radio astronomía y tele detección que pueden considerarse como uno de los de mayor calidad de nuestro sistema de innovación. Por todo ello, es lógico esperar un crecimiento de actividad. Es de señalar, en este campo, la desproporción de los crecientes recursos destinados al tratamiento de imagen impulsado por la evolución de los estándares para comunicaciones, y los más congelados destinados a las tecnologías y tratamiento de imágenes radio. Sin duda ello es debido, en gran parte, a la diferencia de coste en la infraestructura necesaria.

(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas http://arbor.revistas.csic.es
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)

Lo más destacable del área de procesado de señal ha sido y sigue siendo su aplicación a las comunicaciones. Ejemplo de ello son, entre otras iniciativas de gran calado tecnológico, el proceso a bordo en satélite, la digitalización hasta la primera mezcla en receptores para comunicaciones móviles, el software radio, la degradacion-suave, el proceso simultáneo de diversidad en tiempo frecuencia y código. Tanto en el proceso principal como en el de control, el procesado digital se encuentra presente desde la interfaz aire hasta el procesador de banda base. La actividad en este campo continuará creciendo mientras el segmento terreno o de satélite no se vea saturado en demanda de servicios e infraestructuras. Se espera que su crecimiento sea el mayor de todas las áreas de TIC en los próximos años.

Sigue llamando la atención la escasa relevancia en número de investigadores y recursos de las actividades de procesado de señal en audio. La actividad del sistema público es escasa o casi nula, en el campo de las ondas de presión en sonar y audio así como en electrónica profesional y codificadores de audio, lo que puede poner en riesgo la posición alcanzada en el subsector de consumo.

De todas las actividades de la I+D pública en *software* (lenguajes y sistemas informáticos, arquitectura de ordenadores e inteligencia artificial), tan sólo las relativas a la inteligencia artificial se encuentran próximas a niveles de excelencia con resultados aplicables en las empresas. Sin embargo, la creciente demanda por parte de éstas no se ve correspondida con la debida dotación de recursos en el sistema público de I+D, que sería necesario aumentar. Del mismo modo, es necesario promover una mejor definición de sus objetivos de investigación más acordes con la diversidad de sus aplicaciones.

Salvando el caso de inteligencia artificial, prevalece la formación matemática frente a la tecnológica. Los investigadores públicos en software son más bien asimiladores de tecnología que impulsores del escaso tejido industrial. Los recursos humanos son de una preparación excelente pero la atención que han recibido por parte de los gestores de I+D y de las empresas es escasa.

El área de *comunicaciones* ha sido prácticamente absorbida por el procesado de señal, como ya se ha mencionado, lo que puede poner en peligro la capacidad de integración en sistemas y equipos que casi ha desaparecido del sistema público de I+D. El aspecto más destacable de esta área es la carencia de capacidad del sistema público en ingeniería de sistemas.

Por ultimo, en relación con la *microelectrónica* sería precisa una definición más clara de los objetivos de la I+D pública. Es de destacar

(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas http://arbor.revistas.csic.es
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)

el elevado nivel de excelencia de los investigadores, muy por delante de la demanda del sector empresarial.

Así pues el Sistema Público de I+D mantiene actividad en la mayor parte de las áreas de TIC. Sin embargo, el importe medio de los proyectos es bastante reducido, lo que puede indicar el escaso tamaño de los grupos públicos, un mal común a todas la áreas de investigación.

Los expertos denuncian otra dificultad con la que se enfrenta el sistema público de I+D en TIC y que tiene especial relevancia para las empresas, especialmente Pymes, que quieren colaborar con estos grupos. Se trata de la falta de infraestructuras necesarias para las pruebas de compatibilidad tecnológica y para los proyectos de demostración preoperativa, especialmente necesarias en el área de telecomunicaciones. Esta carencia limita el trabajo del sistema público a las etapas de I+D más alejadas de las aplicaciones.

Las administraciones públicas

Las administraciones públicas de los países desarrollados han considerado desde hace años al sector TIC como uno de los motores del desarrollo y en consecuencia le han dedicado atención preferente en sus planes de fomento a la I+D.

El Programa Marco es el instrumento principal de la Política de financiación a la Ciencia y la Innovación de la Unión Europea. Recientemente finalizó el IV Programa Marco (1994-1998) que contó con un presupuesto global de 13.100 millones de ecus, de los que aproximadamente un 27 % se destinó a los tres programas relacionados con TIC, que fueron Tecnologías Avanzadas de Comunicaciones (ACTS), Tecnologías de la Información (ESPRIT) y Aplicaciones y Servicios Telemáticos (Telematics). Los fondos asignados a estos programas fueron los que se indican en la Tabla 5.

TABLA 5. Presupuesto de los Programas TIC del IV Programa Marco

Presupuesto del IV Programa Marco de I+D en TIC	Millones de Ecus
ACTS	671
ESPRIT	2.057
Telematics	898
TOTAL TIC	3.646

Fuente: Datos proporcionados por CICYT

(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas http://arbor.revistas.csic.es
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)

Estos programas fueron los que concentraron mayor participación española en porcentaje de número de socios. Más de la tercera parte de los fondos del IV PM atribuidos a socios españoles fue a parar a empresas y centros públicos de TIC.

El *V Programa Marco,* actualmente en curso, cubre el período desde 1998 a 2002 y reúne en una área temática, denominada Sociedad de la Información, todos los objetivos relacionados con estas tecnologías, que anteriormente estaban distribuidas en las tres áreas mencionadas. El presupuesto global para el área de la Sociedad de la Información es de 3.600 millones de euros, el 24% del presupuesto comunitario, estando previsto aplicar en el año 2000 unos mil millones de euros.

Su objetivo global persigue facilitar la difusión en Europa de los avances de la nueva Sociedad de la Información, promoviendo desarrollos cuyos resultados permitan a los individuos y a las empresas beneficiarse del uso de las TIC en todos sus ámbitos de actividad. Para ello se han instrumentado cuatro acciones clave en torno a objetivos diferenciados, actividades de *I+D de carácter genérico y otras de apoyo a las infraestructuras de investigación.*

La primera de las acciones clave se refiere a los *Sistemas y Servicios para el Ciudadano* y tiene un presupuesto de 646 millones de euros. Pretende la generación de nuevos servicios, con aplicación especial a la salud, la atención de personas con necesidades especiales (discapacitados, ancianos, etc.), las administraciones públicas, el medio ambiente y el transporte y el turismo. Así fomentará, por ejemplo, el desarrollo de la telemedicina y de sistemas inteligentes para permitir a los individuos un mejor control de su salud, la I+D en interfaces y sistemas asistidos para paliar los problemas derivados de la falta de capacidad física o intelectual, la generación de aplicaciones interactivas entre los ciudadanos y la administración, la búsqueda de soluciones para prevenir riesgos y hacer frente a emergencias y el desarrollo de sistemas telemáticos para vehículos.

La segunda acción clave se titula *Nuevos Métodos de Trabajo y Comercio Electrónico* y tiene un presupuesto de 547 millones de euros. Su objetivo persigue el aumento de la competitividad de las PYME europeas por medio de desarrollos relacionados con las TIC, en particular nuevos medios electrónicos de pago, tarjetas inteligentes, sistemas móviles, modelos software de procesos de negocio, etc. Esta acción fomenta la I+D en métodos y herramientas de trabajo flexibles, móviles y remotas, en sistemas de gestión para suministradores y consumidores y en la mejora de la garantía para la integridad de la información transmitida por las redes.

(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas http://arbor.revistas.csic.es
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)

Contenidos y Herramientas Multimedia es otra de las acciones del programa, con una dotación de 564 millones de euros. Entre sus objetivos están la preservación de la riqueza lingüística y de la diversidad cultural europeas, habida cuenta de que en este subsector industrial, nueve de cada diez empresas son norteamericanas, la mejora de la educación y los sistemas de aprendizaje, el desarrollo de tecnologías del habla y de tratamiento de textos multilingües y la mejora del acceso a la información y su gestión.

La cuarta acción se refiere a *Tecnologías e Infraestructuras Esenciales* que son imprescindibles para el desarrollo de la Sociedad de la Información. Promueve los trabajos relacionados con el proceso y la gestión de la información, las comunicaciones y las redes, las tecnologías software, las tecnologías de simulación en gran escala, las comunicaciones multimedia móviles y personales, las interfaces multimodales, los periféricos inteligentes y la microelectrónica. Su dotación presupuestaria es de 1363 millones de euros.

Las *actividades genéricas de I+D* cuentan con unos fondos de 319 millones de euros, tienen un período de ejecución más largo que las enmarcadas en las acciones clave y se refieren a tecnologías emergentes no contempladas en estas. Cada iniciativa se articula en varios proyectos autónomos coordinados entre sí.

Las *acciones de apoyo a las infraestructuras de investigación* tienen un presupuesto de 161 millones de euros y se orientan a facilitar la interconexión en banda ancha de las redes nacionales de investigación, así como al fomento del uso de bancos de prueba avanzados para la experimentación a escala europea de las futuras tecnologías de las comunicaciones.

Por lo que respecta a la política de Ciencia y Tecnología de nuestro país, la Ley de la Ciencia (Ley 13/1986) definió *el Plan Nacional de I+D* como instrumento de coordinación. Desde sus comienzos, el Plan Nacional de I+D incluyó entre sus programas, uno dedicado específicamente a las tecnologías susceptibles de ser aplicadas a sistemas de información y de comunicaciones. Sus grandes áreas eran radiofrecuencia, procesado de señal y comunicaciones ópticas, microelectrónica y software. El programa experimentó un crecimiento espectacular en la demanda de proyectos, lo que complicó su gestión y evaluación. Por esta razón y emulando al modelo europeo, en 1993, se segregó del programa TIC todo lo concerniente a telemática, dando lugar a un nuevo programa independiente para ella. El Plan se ha desarrollado en tres fases desde su creación hasta finales de1999.

(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas http://arbor.revistas.csic.es
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)

En el análisis realizado a partir de la memoria de la CICYT correspondiente a las actividades del Plan en 1997 se han contabilizado proyectos relativos a TIC en casi todos los programas, según se refleja en la tabla 6.

TABLA 6. Proyectos del Plan Nacional de I+D relacionados con las TIC, en 1997

Programas Nacionales	Proyectos de Investigación	
	N° de proyectos	Importe concedido (millones de ptas.)
Tecnol. de la Inf. y las Comunicaciones	140	1.235
Aplicaciones Telemáticas	39	341
Investigación espacial	17	892
Otros programas	125	1.069
Total TIC	321	3.537
	Concertados	
	N° de proyectos	Aportación Plan Nacional (millones de ptas.)
Tecnol. avanzadas de la producción	7	349
Investigación espacial	3	126
Tecnol. de la Inf. y las Comunicaciones	7	246
Aplicaciones Telemáticas	3	142
Total TIC	20	863
	Petri	
	N° de proyectos	Subvención concedida (millones de ptas.)
Medio ambiente	1	9
Ciencia y Tecnologías Marinas	1	4
Tecnol. de la Inf. y las Comunicaciones	6	35
Total TIC	8	48

Fuente: Elaboración propia a partir de OCYT (1999b)

De un total de algo más de mil proyectos de investigación aprobados en 1997, casi una tercera parte, que también dispusieron de la tercera parte de los fondos, estaban relacionados con las TIC.

(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://arbor.revistas.csic.es

Los 20 proyectos concertados y cooperativos relacionados con TIC recibieron, en 1997, unos 863 millones de pesetas del Plan. Estos recursos eran concedidos a las empresas en forma de préstamos sin interés, siempre y cuando la empresa subcontratase investigación a unidades del sistema público de I+D. En la práctica, cerca de la tercera parte de esos fondos financiaron en último término a los investigadores públicos. Estos fondos del Plan Nacional movilizaron fondos privados por una cantidad similar. Este instrumento de política tecnológica tuvo cierto interés en los momentos de alto precio del dinero, pero actualmente es considerado muy poco atractivo. Las convocatorias han estado abiertas a consorcios, pero ha sido escasa cuando no nula la presencia de más de una empresa en los proyectos, lo que ha llevado a proyectos puntuales y de bajo nivel de integración de tecnologías.

Las subvenciones concedidas a Proyectos PETRI se dirigen a los centros públicos para compensar el trabajo que dedican a las etapas de investigación más próximas al mercado. Los proyectos Petri para TIC fueron poco significativos. Se puede interpretar que en este sector existe una mayor cooperación de los grupos del sistema público y las empresas y que son menos frecuentes las investigaciones emprendidas por iniciativa de los investigadores públicos.

A la financiación concedida por el Plan Nacional de I+D, hay que añadir las ayudas otorgadas a las empresas por el Ministerio de Industria y Energía, que también incluyó en sus programas de fomento a la I+D, planes para las tecnologías TIC, como el *Plan Electrónico e Informático Nacional* (PEIN) y la *Iniciativa de Apoyo a la Tecnología, a la Seguridad y la Calidad Industrial* (ATYCA). Estas ayudas se distribuyeron en forma de subvenciones a fondo perdido. Los fondos de ATYCA destinados a las TIC supusieron en 1997 y 1998 la cuarta parte del total de esa iniciativa. Estas tecnologías absorbieron, asimismo, un porcentaje similar de las ayudas del CDTI a proyectos de desarrollo e innovación tecnológica. Por otra parte, el Ministerio de Fomento también ha impulsado algunas iniciativas como la de *Promoción e Identificación de Servicios Emergentes de Telecomunicación* (PISTA) que tiene una dotación de 1500 millones de pesetas y cubre el período comprendido entre los años 1996 y 2001. Su objetivo es la puesta en marcha de proyectos piloto, que hagan uso de comunicaciones de banda ancha en entornos reales.

En noviembre de 1999 fue aprobado por el Consejo de Ministros el Plan Nacional de I+D+I 2000-2003 que integra en una estrategia común todas las actuaciones que deben llevar a cabo los diferentes departamentos ministeriales de la Administración General del Estado,

(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas http://arbor.revistas.csic.es
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)

para el desarrollo de la política científica y tecnológica. El nuevo plan incluye un *área científico-tecnológica* de TIC, *una acción estratégica* sobre Tecnologías y Servicios experimentales sobre Redes de Cable y un área sectorial dedicada a la Sociedad de la Información. El presupuesto del año 2000 para ellas es de unos cincuenta mil millones de pesetas, incluidas las subvenciones y también los créditos reembolsables.

Los cinco objetivos científico-tecnológicos del área *científico-tecnológica* de TIC son los que se citan a continuación junto a sus prioridades temáticas. *Mayor movilidad en las comunicaciones* es el primero de ellos, con una orientación hacia la mejora del desequilibrio entre redes fijas y móviles, el aumento de la conectividad global personal y la mayor accesibilidad a servicios de banda ancha vía radio. Para lo cual se priorizan temas como arquitectura de redes, codificación de canal, planificación y gestión del espectro, tecnologías de acceso, sistemas de comunicaciones móviles multimedia, tratamiento de señal, interconexión de redes, convergencia con Internet, software para aplicaciones móviles, sistemas de alimentación para terminales móviles, componentes y subsistemas de radiofrecuencia, sistemas radiantes, terminales inteligentes y control de tráfico.

Otro de los objetivos es el *mayor ancho de banda* que será demandado por las nuevas aplicaciones que requerirán considerables flujos de información. Sus prioridades están ligadas por una parte a las redes fijas terrestres y por otra a las redes de radio. Entre las primeras se pueden citar algunas como arquitectura de redes de banda ancha, plataformas abiertas de gestión de redes y servicios, mecanismos de protección de las comunicaciones, protocolos, componentes y subsistemas fotónicos y conversión optoelectrónica. Entre los temas preferentes de redes de radio se encuentran las técnicas de procesado digital, los sistemas para TV y radio terrena digital, TV digital vía satélite y servicios multimedia interactivos y sistemas punto-multipunto en bandas milimétricas.

El tercer objetivo es la *mejora del acceso a la información en la red y su gestión*, lo que requerirá desarrollos en muy variadas líneas de actividad, como por ejemplo en técnicas para la mejora de la calidad de servicio, la seguridad y la confidencialidad, agentes inteligentes, interfaces amigables, nuevos estándares, plataformas software, codificación, tratamiento y reconocimiento de la señal, herramientas software, trabajo cooperativo, tratamiento masivo de datos y tecnologías del habla.

Mayor funcionalidad y flexibilidad de los sistemas software es un objetivo que potenciará la I +D+I en temas como nuevos lenguajes

(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas http://arbor.revistas.csic.es
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)

de programación y sistemas operativos, metodologías de diseño de sistemas software, herramientas de desarrollo de aplicaciones distribuidas, modelización y simulación, entornos virtuales, sistemas de tiempo real, computación de altas prestaciones, gestión de sistemas distribuidos, herramientas de gestión, arquitecturas abiertas, sistemas flexibles, tolerancia a fallos, escalabilidad y sistemas de gestión del conocimiento.

Finalmente, la promoción del *desarrollo de subconjuntos funcionales,* susceptibles de ser utilizados aisladamente o como módulos formando parte de conjuntos más complejos, es el último de los objetivos del área de TIC. Estos subconjuntos podrán ser componentes y dispositivos, tales como sensores y dispositivos integrados, circuitos y módulos de telecomunicación y comunicaciones de datos, sistemas reutilizables y técnicas de soporte para diseño de componentes, circuitos y sistemas.

La *acción estratégica* de Redes de Cable pretende facilitar el despliegue en España de este tipo de infraestructura para el soporte de servicios y aplicaciones que demanden gran ancho de banda. Como consecuencia de la fase exploratoria de la iniciativa PISTA (Programa de Identificación de Servicios emergentes de Telecomunicaciones Avanzadas) promovida por la Administración, se ha puesto de manifiesto la necesidad de complementar los proyectos piloto definidos con una serie de actividades de I+D+I en las siguientes áreas: dispositivos de acceso, redes inalámbricas, interconexión de redes, plataforma de desarrollo de servicios avanzados, sistemas de gestión y desarrollo de servicios especiales.

El *área sectorial* de Sociedad de la Información tiene por objetivo el desarrollo de aplicaciones y su validación mediante la realización de proyectos piloto. Sus acciones estratégicas prioritarias se refieren a *educación y patrimonio cultural*, que promoverá proyectos relativos a la teleeducación y la generación de contenidos educativos y culturales multimedia; *servicios públicos avanzados*, que impulsará el uso de medios telemáticos para los servicios de información y tramitación de las administraciones; *servicios de comercio electrónico para la empresa*, que fomentará el desarrollo de aplicaciones para servicios transnacionales entre empresas (B2B) y entre estas y los consumidores(B2C) y la realización de proyectos piloto demostradores de servicios; y finalmente telemedicina, que promoverá el desarrollo de aplicaciones innovadoras para mejorar los servicios relacionados con la salud y su experimentación.

Es notoria la coincidencia de los temas entre las acciones relativas a TIC contempladas en el Programa Marco y las del Plan Nacional de I+D+I, aunque las de este último se caracterizan por una mayor

(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas http://arbor.revistas.csic.es
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)

orientación práctica hacia la experimentación mientras que en el primero también tienen cabida proyectos tecnológicos a medio plazo. Sin duda, también el Plan Nacional enfatiza los aspectos más relevantes para el impulso económico y social de nuestro país.

4. Los resultados de la I+D

La eficiencia de las actividades de I+D sólo se puede realmente constatar mediante el aumento de la competitividad económica. Esto, que es cierto para el tejido productivo, también lo es globalmente para el conjunto de un país. Dicho de otra manera, los países que gozan de las mayores cotas de desarrollo suelen ser los que dedican a la I+D porcentajes más elevados de su Producto Interior Bruto.

Para analizar la situación de un sistema de innovación en lo que se refiere a los gastos en I+D o innovación se suele recurrir a establecer relaciones entre dichos gastos y otras magnitudes macroeconómicas, como por ejemplo el PIB. Pero no es fácil idear las métricas que establezcan este tipo de relaciones a la hora de analizar los resultados de la I+D. Para obviar esta dificultad se recurre a una serie de indicadores de uso muy generalizado internacionalmente para la evaluación de actividades de I+D, y de innovación tecnológica en general, como son el número de publicaciones, el número de patentes solicitadas y concedidas o, en el caso de las empresas, las ventas por nuevos productos. Estos indicadores, si bien no demuestran el grado de eficiencia de este tipo de actividades, sí dan idea de sus consecuencias.

Publicaciones

El número de publicaciones de autores españoles en el área de TIC, en revistas de difusión internacional, se acercó a las quinientas en el año 1998. Casi todos los artículos pertenecían a las áreas de Ingeniería Eléctrica y Electrónica y de Informática y sólo un porcentaje muy pequeño a Telecomunicaciones.

Por autores, la mayor producción correspondió a la universidad y en particular a las ETSI de Telecomunicación de Madrid y de Barcelona. El Consejo Superior de Investigaciones Científicas tuvo también una presencia importante en revistas internacionales con 145 publicaciones. Las empresas, por el contrario, apenas dedicaron esfuerzo a ello y su aportación relativa estuvo muy por debajo de la que es habitual en

(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas http://arbor.revistas.csic.es
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)

Europa. Sólo las empresas de mayor tamaño aportaron algunas publicaciones que, por lo general, realizaron en colaboración con el sector público español o con instituciones extranjeras. La colaboración no fue una característica exclusiva de los artículos de autores empresariales, sino también de las publicaciones del sistema público, ya que más de la mitad de ellas estaban firmadas por al menos dos centros de investigación, lo que demuestra la existencia de un cierto grado de colaboración entre las instituciones.

Por lo que se refiere a las publicaciones de TIC en revistas nacionales, en ese mismo año, su número fue de unas seiscientas, dedicadas en una gran mayoría a Informática y escritas en su mayor parte también por investigadores de la universidad. En las revistas nacionales, la publicación de artículos de autores provenientes de las empresas es mucho más frecuente que en las internacionales.

Patentes

La menor actividad que tiene proporcionalmente el sector público de I+D en TIC en comparación con el esfuerzo dedicado a otras áreas, que ya se vio al analizar el gasto en I+D, tiene también su reflejo en el segundo de los indicadores, las patentes. Tomando como referencia todas las solicitudes de patentes publicadas en el periodo 1996-1998, un 11,3% fueron originadas por el sistema público y un 46% por las empresas, mientras que considerando únicamente las relativas a TIC, los porcentajes fueron del 8,5% y del 57,9% respectivamente. La mayor preocupación que demuestran las empresas del sector TIC por la protección de sus tecnologías, se manifiesta también en las solicitudes de extensión de sus patentes al extranjero. La cuarta parte de las empresas españolas que patentan, extienden sus títulos fuera de España, mientras que las del sector TIC que lo hacen son más de la mitad. No obstante, la presencia de patentes españolas fuera de España es muy reducida en comparación con la de otros países europeos como Francia, Alemania o el Reino Unido, a pesar de que el crecimiento, experimentado por el número de extensiones españolas es mucho mayor, probablemente por el bajo nivel del que se parte. Lo cierto es que en nuestro país se concede menos importancia que en otros a la protección de los resultados de la I+D. El número total de solicitudes de patentes en España, en 1998, fue de 2.270, menos de la mitad que en el Reino Unido, la tercera parte de las de Francia y sólo el 13% de las de Alemania.

(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas http://arbor.revistas.csic.es
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)

Ya es sabido que pocas veces el software es protegible mediante una patente, a no ser que esté estrechamente ligado a un hardware. La legislación de la protección de la propiedad industrial no resulta idónea para esta tecnología, por lo que hay que acudir a su registro como propiedad intelectual. Sin embargo, la frecuencia con la que se registra el software como propiedad intelectual es en España, al igual que en el resto de países, relativamente escasa, dadas las debilidades legales y dificultades prácticas que presenta este tipo de protección y las alternativas a las que se puede optar, como es, por ejemplo, el registro notarial. Por ello, el número de registros oficiales de software es un indicador sólo parcial. A título indicativo, se puede citar que, en 1998, se registraron 778 desarrollos software en el Registro General de la Propiedad Intelectual.

La mayor parte de las patentes de las empresas están relacionadas con la Informática y las Telecomunicaciones y las del sistema público tienen mayor conexión con la Electrónica. Atendiendo a la Clasificación Internacional de Patentes (CLAI), el mayor número de solicitudes publicadas en el periodo de referencia correspondió a técnicas de comunicaciones eléctricas, según se observa en la tabla 7.

TABLA 7. Solicitudes de patentes del sector de Tecnologías de la información y las comunicaciones agrupadas según su CLAI, publicadas en los años 1996, 1997 y 1998

	Sistema público de I+D	Empresas
Sistemas de control	2	4
Reconocimiento y presentación de datos	11	17
Dispositivos de control	1	45
Registros de la información	2	2
Circuitos electrónicos básicos	1	5
Técnicas de las comunicaciones eléctricas	3	63

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Oficina Española de Patentes y Marcas

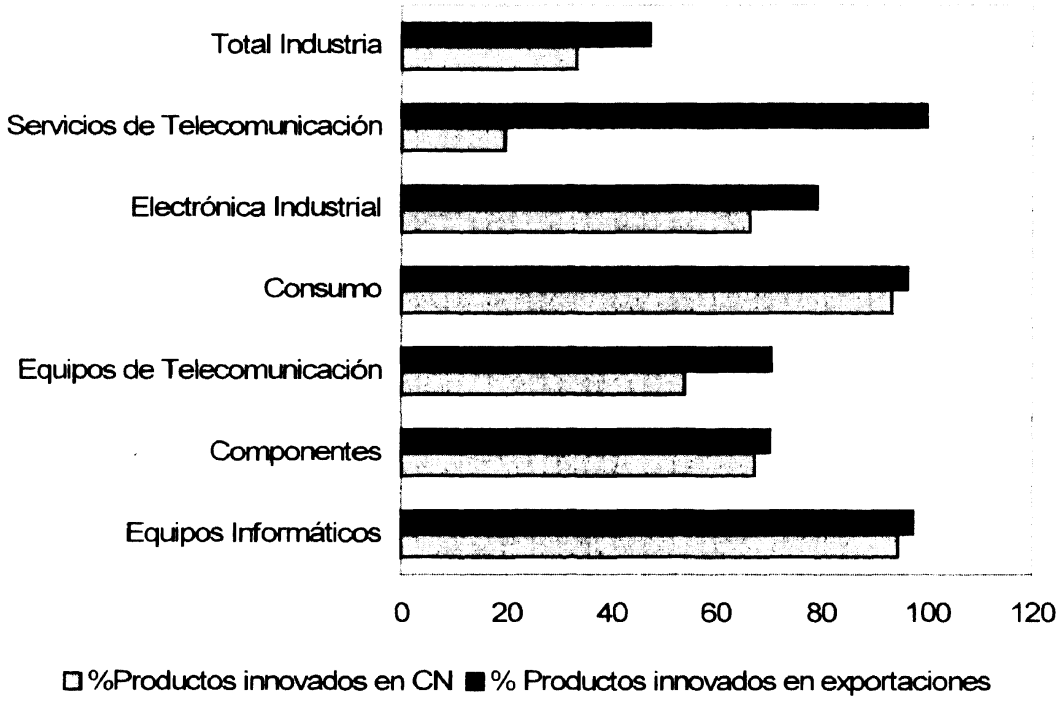
Ventas de productos innovados

El tercer indicador de resultados de las actividades de I+D, que se ha mencionado anteriormente, es el que se refiere a las ventas de

(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas http://arbor.revistas.csic.es
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)

productos nuevos y mejorados. La tercera parte de las ventas de las empresas industriales del sector TIC que hacen I+D sistemática, se debió a productos nuevos y las dos quintas partes a productos mejorados. Estas proporciones son muy superiores a las que corresponden a la media de la industria, para la que sólo la décima parte de sus ventas son productos nuevos y la quinta parte productos mejorados. El comportamiento de algunos subsectores de TIC se refleja en la figura 3, donde también se ha incluido el subsector de servicios de telecomunicación, que tiene un impacto económico menor por ventas de productos innovados, que el que tiene la media de la industria.

FIGURA 3. Impacto económico de los productos innovados en la cifra de negocio y las exportaciones de las empresas de TIC que hacen I+D sistemática, 1996-1998



Fuente: Elaboración propia a partir de INE, 1999

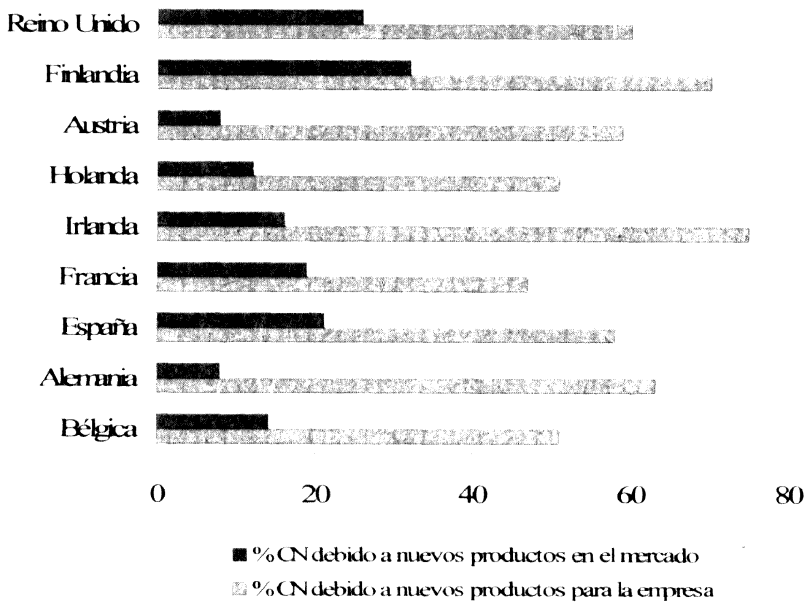
Los subsectores que tienen una mayor proporción en sus ventas de productos innovados son los de equipos informáticos y electrónica de consumo, pero mientras en el primero tres cuartas partes de las ventas son debidas a productos mejorados y sólo una quinta parte a productos nuevos, en componentes el peso en sus ventas de los productos mejorados es de sólo una cuarta parte y el de los nuevos casi la mitad, el más alto del sector.

(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://arbor.revistas.csic.es

En la figura 3 también se reflejan los porcentajes de exportaciones de productos innovados en el total de exportaciones. Todos los subsectores de TIC tienen proporciones superiores a la media de la industria cuyo valor es del 47%, correspondiendo un 17% a exportaciones de nuevos productos y el resto a mejoras. El que tiene un mayor impacto en sus exportaciones por productos nuevos es también el subsector de componentes. La totalidad de las exportaciones de servicios de telecomunicación son productos innovados, aunque todos se corresponden con mejoras, es decir probablemente servicios ya existentes que se adaptan a los nuevos mercados.

Hay que tener en cuenta que no todos los productos innovados son novedad para el mercado, sino que hay algunos que lo son sólo para la empresa que los vende. En este sentido, el sector en España no tiene un comportamiento distinto al de otros países según se puede ver en la figura 4.

FIGURA 4. Grado de novedad de las innovaciones de la industria de maquinaria eléctrica y electrónica en la UE. Año 1996.



Fuente: Elaboración propia a partir de Eurostat, Base de datos New Cronos

El comportamiento del sector en su conjunto es también similar al de la media de la industria española. Sin embargo, se observa que al considerar únicamente los subsectores industriales de TIC, sus empresas duplican el porcentaje de la media industrial en cuanto a proporción de ventas de productos que son novedad para el mercado en el total de sus ventas de productos innovados. Destaca el subsector

(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://arbor.revistas.csic.es

de equipos informáticos con un porcentaje del 85%. En el extremo opuesto se encuentra electrónica de consumo. En este último subsector la innovación de las empresas se basa en la diversificación de la producción y apenas generan nuevos productos para el mercado.

5. Las consecuencias sobre la I+D de los profundos cambios en el sector

Los años recientes han sido testigos de profundos cambios en el sector TIC. Hay pocas dudas que las grandes causas han sido la liberalización de las telecomunicaciones, la globalización de los mercados y la convergencia tecnológica.

El proceso de liberalización de las telecomunicaciones, iniciado hace ya dieciséis años en los Estados Unidos y en el Reino Unido, y que en Europa, se ha ido extendiendo y consolidando por medio de distintas directivas comunitarias, culminó en 1998 con la aprobación por la Organización Mundial de Comercio del acuerdo para la apertura del sector a la competencia del mercado. Este ha sido, sin duda, uno de los factores que más han contribuido a transformar a todo este sector. Las estrategias empresariales y entre ellas las tecnológicas y de I+D, e incluso, de algún modo, las políticas de Ciencia y Tecnología de las administraciones se han visto afectadas y reconducidas a causa de la generalización de la competencia.

No cabe duda que la orientación de las actividades de investigación y desarrollo tecnológico se está enfocando hacia un mayor respeto a las prácticas que garantizan su eficacia, y entre las cuales se cuentan las siguientes:

- La dedicación de la I+D interna a las tecnologías que constituyen el núcleo del negocio, dejando a la subcontratación la atención al resto de las necesidades.
- Mayor rigor económico en la aprobación del portafolio de proyectos de I+D.
- Búsqueda de beneficios a corto plazo:

Plazos de ejecución de los proyectos más cortos, para reducir el tiempo de puesta en el mercado. Estructuración de los mismos en fases sucesivas, de forma que se puedan ir explotando los resultados sin necesidad de esperar a la terminación de todo el proyecto.

Exigencia de aplicabilidad directa de los resultados. El enfoque de la I+D hacia el desarrollo de aplicaciones, que se hace notar incluso

(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas http://arbor.revistas.csic.es
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)

en los programas públicos, permite adelantar ofertas de mercado y en consecuencia la percepción de ingresos.

- Orientación al ahorro de costes y aprovechamiento de recursos:

«Calidad justa». Desarrollo de productos con distintos niveles de calidad en función del pretendido precio de salida al mercado.

Reutilización de tecnologías. Como es el caso de los componentes reutilizables de software para distintas aplicaciones.

- I+D orientada al aprovechamiento de recursos de red, en el caso de las comunicaciones. Como el que proporcionan los desarrollos de tecnologías XDSL que permiten incrementar la capacidad de transporte de las infraestructuras de telecomunicaciones (par de cobre).Otro ejemplo es la nueva técnica de transmisión y conmutación rápida de circuitos DTM (Dinamic synchronous Transfer Mode), que puede asignar flexiblemente el ancho de banda que cada circuito requiere en cada momento.

El segundo factor de cambio, la globalización de los mercados, que va tomando mayor fuerza a medida que se universaliza la liberalización, obliga a las empresas a acometer profundas reformas estructurales para ganar valor y tener presencia en los mercados internacionales. Las fusiones y las alianzas en el sector las TIC son objeto habitual de las primeras páginas de la prensa. La I+D también se está adaptando a esta nueva situación. Así, se pueden apreciar las siguientes tendencias:

- Mayor interacción de la I+D con las necesidades del cliente final:

Las unidades de I+D de las empresas establecen una fuerte relación con los responsables de márketing

Incorporación, cuando es posible, de los usuarios en las estrategias y proyectos de I+D. Los responsables empresariales de la I+D mantienen contactos periódicos con usuarios de los diferentes mercados para captar sus necesidades y presentar posibles soluciones de desarrollos tecnológicos. Los grandes programas públicos de I+D obligan, en algunas ocasiones, a incorporar a usuarios en los consorcios para que los proyectos puedan recibir subvenciones.

- Énfasis en los desarrollos destinados a facilitar la movilidad de los clientes y los servicios globales. Los negocios mundiales exigen abundantes desplazamientos y el acceso a la información

(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas http://arbor.revistas.csic.es
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)

residente en múltiples localizaciones y la atención personalizada. De ahí surge la necesidad de las actividades de I+D que faciliten la ventanilla única (Call centers) y la personalización de los servicios (Tarjetas personales)

- Búsqueda de soluciones eficientes para la interconexión de redes y compatibilidad de servicios. El desarrollo de estándares que faciliten la interconexión es objetivo preferente de los organismos internacionales de normalización y se traduce en las actividades de I+D de fabricantes y operadores. Gran parte de ellas se realizan en colaboración. Las tecnologías propietarias constituyen una barrera para la globalización por lo que, paralelamente a la producción de estándares, han surgido desarrollos de nuevas tecnologías capaces de gestionar recursos de red con distintos interfaces, como la JDS que posibilita la gestión de subredes de distintos fabricantes.
- Preocupación por la versatilidad y la modularidad de las soluciones ante la diversidad de los mercados. Lo que con frecuencia requiere soluciones basadas en «inteligencia» distribuida en la red, frente a la «inteligencia» o gestión centralizada, que parecía más apropiada hace unos años y continúa siéndolo para algunas aplicaciones.

La tercera causa de esta importante transformación en el sector es la convergencia de las tecnologías requeridas por muy diversas aplicaciones exigidas por la Sociedad de la Información. La digitalización de las señales ha permitido un tratamiento uniforme de la información independientemente de su formato original (voz, datos o imagen), y con resultados transparentes a los medios de transmisión (cobre, fibra óptica, radio terrestre y satélite) que ha causado una transformación en la orientación de la I+D, caracterizada por:

- Predominio del software, en razón a la versatilidad que confiere a las soluciones que lo utilizan. La convergencia de las Telecomunicaciones, la Informática y los Medios de Comunicación, ha puesto de manifiesto el importante papel del desarrollo de las aplicaciones software. Esta preponderancia del software sobre el hardware se viene manifestando ya desde hace años. Las tecnologías calificadas como orientadas a «objetos» y más recientemente las orientadas a «agentes» representan la base del diseño de aplicaciones, especialmente para la gestión de las redes.

(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas http://arbor.revistas.csic.es
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)

- Práctica exclusividad del proceso digital de las señales. La I+D en estas tecnologías es una puerta abierta al continuo aumento de la calidad del tratamiento de la señal,a la generación de soluciones de red más eficientes y rápidas y al desarrollo de nuevos servicios. La codificación digital de la fuente constituye el fundamento de la convergencia tecnológica (COM 97.
- Desarrollos de tecnologías de redes multiservicios, apropiadas para capturar, almacenar, procesar y transmitir información multimedia. La tecnología ATM y el protocolo IP son algunas de las respuestas a estos retos. Los nuevos desarrollos tendrán que solucionar los problemas de la escalabilidad (número de comunicaciones simultáneas y número de participantes en una misma comunicación), el de la calidad y el de la velocidad. Y esto desde las redes más pequeñas, redes de área local, hasta la propia Internet. Las más prestigiosas universidades de EE.UU, están investigando en la iniciativa promovida por su gobierno, Internet 2, que supuestamente permitirá disminuir las limitaciones que presenta la red actual en los aspectos mencionados.
- Orientación hacia la convergencia fijo-móvil, tanto a nivel de tecnologías de red como de servicios. Se potencia la investigación en arquitecturas de redes integradas, que permitan la gestión conjunta y sean capaces de soportar servicios tradicionalmente fijos y servicios ligados a la movilidad. La integración de la telefonía móvil e Internet está promoviendo, asimismo, importantes investigaciones y desarrollos de protocolos como el WAP (Wireless Application Protocol). Por otra parte, los sistemas móviles de tercera generación (UMTS), capaces de manejar gran cantidad de datos, están propiciando en torno suyo una gran actividad de I+D.
- Desarrollos encaminados a procurar soluciones para la pasarela residencial (residential gateway). Los usuarios domésticos requieren soluciones multimedia sencillas, flexibles y escalables que integren servicios informáticos, de telecontrol y de entretenimiento y se sustenten en infraestructuras y terminales comunes.
- Aumento de la colaboración en I+D entre agentes de origen informático y agentes de las telecomunicaciones. Los fabricantes de equipos informáticos están ofreciendo soluciones a los operadores de redes de telecomunicación, cuyos sumi-

(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas http://arbor.revistas.csic.es
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)

nistradores tradicionales con frecuencia no poseen. Las adquisiciones y fusiones entre empresas informáticas y fabricantes de equipos de telecomunicación son prueba de la necesidad de sinergias entre ambos. Una alternativa a ellas es la de acuerdos tecnológicos o de colaboración en I+D. Estas tendencias se extienden, asimismo, a los llamados acuerdos estratégicos en I+D entre fabricantes y operadores de red. En todas estas formas de colaboración cobra especial relevancia la regulación de los derechos de propiedad y de uso de las tecnologías conjuntamente desarrolladas, así como de aquellas que son aportadas como «background» a los proyectos, por los participantes en ellos.

Finalmente, cabe añadir al conjunto de tendencias hasta aquí expuestas, una última relacionada con los tres factores disruptivos mencionados. Los cambios generados han producido un aumento muy considerable de la cantidad de datos necesarios para gestionar eficientemente las empresas, que se ha multiplicado por varios órdenes de magnitud, por esta razón la I+D en tecnologías capaces de gestionar toda esa información y conocimiento, y extraer resultados valiosos para la toma de decisiones, está captando en la actualidad el interés de las empresas más avanzadas del sector.

6. Reflexiones finales

Las TIC, como tecnologías horizontales, tienen un gran potencial de penetración en toda la sociedad y, en particular, en los sectores productivos, aunque hasta el momento la utilización de estas tecnologías por parte de las empresas es mucho menor en nuestro país que en otros de nuestro entorno económico. La innovación en los subsectores de TIC, y la I+D en particular, no sólo permitirá aumentar la competitividad de sus empresas, sino que las mejoras por ellas promovidas transcenderán al resto de los ámbitos de actividad, en donde se constituirán a su vez en motor de innovación, produciendo un efecto multiplicador en el desarrollo económico.

Es cierto que las cifras de innovación de este sector se encuentran entre las más altas de la industria española, pero las comparaciones internacionales muestran que estamos aún lejos de las de otros países europeos, y muy lejos de las de Estados Unidos. El reto para ponernos a la altura de los demás no se conseguirá por tanto aumentando ra-

(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas http://arbor.revistas.csic.es
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)

zonablemente el esfuerzo de investigación en TIC, ya que, vislumbradas las perspectivas futuras de estas tecnologías, todos los países avanzados ya lo están haciendo. Nuestra apuesta ha de ser aún mayor, y no sólo en los aspectos cuantitativos, sino también en los cualitativos. Y los agentes privados, como se pone de manifiesto en el ya citado Informe de Cotec (Cotec 2000), deben ser los verdaderos protagonistas del cambio, alcanzando las cotas de innovación de sus empresas homólogas de otros países de nuestro entorno y buscando soluciones competitivas para el mercado internacional.

Uno de los problemas con los que nos enfrentamos es la composición del tejido industrial del sector. En su mayor parte, el sector está formado por grandes compañías multinacionales y una fragmentación de Pymes nacionales de tamaño excesivamente reducido. Las asociaciones empresariales, e instrumentos como el capital desarrollo, deberían ayudar a estas empresas a alcanzar por sí solas o apoyándose unas en otras, mediante acuerdos y fusiones, los recursos necesarios para poder ser realmente competitivas en un contexto mundial. A estos efectos, el Informe de Cotec señala que el potencial de innovación que supone la convergencia de las diferentes tecnologías que intervienen en las TIC hace recomendable el trabajo cooperativo entre empresas del sector, con las de otros sectores y con los centros públicos y tecnológicos.

Por otra parte, es necesario que el sistema público de I+D en TIC intensifique su esfuerzo de investigación para el medio y largo plazo, compromiso difícil de asumir o mantener por las empresas en el nuevo contexto de liberalización y globalización. Las políticas públicas nacionales no deberían olvidar la conveniencia de cubrir esa laguna, que parece estar más atendida por las políticas europeas.

Pero es toda la sociedad la que tienen que reaccionar desde el sistema educativo hasta el financiero, que de alguna forma, posibilitan cualquier proyecto. Por otra parte, es de esperar que el esfuerzo de la Administración Central y de las Administraciones Autonómicas se coordine para servir de catalizador hacia el resto del sistema nacional de innovación, en el uso y potenciación de la I+D de TIC, lo que, sin duda, permitirá que nuestro país se incorpore al grupo de países que antes disfrutarán de los potenciales beneficios de la Sociedad de la Información. Es necesario alcanzar en un breve plazo las cotas europeas que nos permitirán lograrlo.

(c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas http://arbor.revistas.csic.es
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)