

REPORTS DE LA RECERCA A CATALUNYA
Tecnologies de la informació
i de les comunicacions



INSTITUT D'ESTUDIS CATALANS

REPORTS DE LA RECERCA A CATALUNYA
Tecnologies de la informació
i de les comunicacions

Report redactat sota la coordinació de Francesc Serra i Mestres,
amb la col·laboració de Jordi Aguiló i Llobet, Josep Amat i Girbau,
Núria Barniol i Beumala, Lluís Jofre i Antoni Olivé

BARCELONA, 1997

Biblioteca de Catalunya. Dades CIP:

Reports de la recerca a Catalunya. Tecnologies de la informació i de les comunicacions
ISBN 84-7283-382-8
I. Aguiló Llobet, Jordi II. Institut d'Estudis Catalans 1. Tecnologia de la informació
— Investigació — Catalunya — Informes 2. Telecomunicació, Sistemes de — Investigació
— Catalunya — Informes
681.3:001.891(467.1)

Aquest treball ha comptat amb el suport de la
Comissió Interdepartamental de Recerca i Innovació Tecnològica (CIRIT)
de la Generalitat de Catalunya

© 1997, Institut d'Estudis Catalans

Editat per l'Institut d'Estudis Catalans
Carrer del Carme, 47. 08001 Barcelona

Primera edició: gener de 1998
Tiratge: 2.000 exemplars

Compost per Víctor Igual, SL
Carrer de Còrsega, 255, 4t 2a. 08036 Barcelona

Imprès a Altés, SL
Carrer del Cobalt, 160. 08907 L'Hospitalet de Llobregat

ISBN: 84-7283-382-8
Dipòsit Legal: B. 1521-1998

Sumari

Pròleg	7
1. Introducció	9
2. Descripció de l'àmbit: subsectors	10
2.1. Subsectors coberts	10
2.2. Situació actual de la recerca de l'àmbit a escala mundial	12
3. Recursos i temes de recerca	17
3.1. Recursos humans: investigadors i grups	17
3.1.1. Personal investigador de centres universitaris i CSIC	17
3.1.2. Personal investigador d'empreses privades	18
3.1.3. Nombre de titulats i doctors dels darrers cinc anys	19
3.2. Àmbits coberts pels centres de recerca a Catalunya	20
3.3. Recursos econòmics	22
3.3.1. Finançament públic	22
3.3.2. Finançament privat	25
4. Resultats	26
4.1. Resultats: transferència de tecnologia	26
4.2. Resultats: publicacions i congressos	26
4.2.1. Publicacions en revistes científiques internacionals	27
4.2.2. Importància dels congressos dins de l'àmbit	29
5. Conclusions, suggeriments i comentaris	30
5.1. Recursos humans	30
5.2. Recursos econòmics	30
5.3. Resultats	31
5.4. Comentaris generals	32
6. Bibliografia	33
Annex 1: Publicacions científiques internacionals i índex d'impacte	34
Annex 2: Importància dels congressos en l'avaluació de la recerca a l'àmbit TIC	37



Pròleg

L'Institut d'Estudis Catalans, en compliment de les funcions derivades de la condició d'institució que té per objectiu l'alta investigació científica, que-li donen els seus Estatuts, duu a terme diverses activitats en els àmbits d'assessorament, coordinació, promoció, realització i difusió de la recerca. Els poders públics tenen la responsabilitat última en el procés de planificació de la recerca, però la natura d'aquesta activitat i els coneixements especialitzats que implica fan essencial l'existència d'un alt assessorament que tingui independència de criteri i autoritat científica en cadascun dels àmbits on la recerca es realitza.

L'Institut d'Estudis Catalans, per la seva tradició, estructura i composició, pot contribuir a exercir aquesta funció. De fet, el Decret 195/1991, del 16 de setembre, de la Generalitat de Catalunya, relatiu a la coordinació de la recerca i a la reorganització de la CIRIT, ha donat un primer pas en aquesta direcció en reconèixer a l'IEC un paper d'assessorament regular d'aquest organisme, i les directrius bàsiques del Pla de Recerca de Catalunya 1993-1996 van preveure ja la incorporació de membres de l'IEC en la Comissió d'Assessorament i Seguiment del Pla. D'altra banda, l'IEC té una llarga tradició en l'emissió d'informes i dictàmens i en l'elaboració d'estudis prospectius.

En aquest context, a la tardor de 1995 el Consell Permanent de l'Institut acordà endegar el projecte d'elaboració d'un estudi sobre l'estat de la recerca a Catalunya, en relació amb la comunitat científica internacional, a base d'una sèrie d'informes periòdics sobre cada una de les àrees en què es pot dividir l'activitat científica. El projecte, denominat *Reports de la recerca a Catalunya*, s'inicià el desembre de 1995, i els treballs es van dividir en vint-i-tres àrees temàtiques fonamentades en els àmbits i subàmbits de la CIRIT, amb la previsió d'elaborar vuit informes temàtics anuals. Cada informe ha de proporcionar informació global sobre l'estat de la recerca a Catalunya en l'àrea corresponent, i ha d'aportar reflexions sobre els objectius generals de la recerca, l'evolució, les tendències, la situació actual i una anàlisi prospectiva. Ha d'incloure també dades globals de finançament i d'índexs de productivitat del sistema de recerca català.

L'elaboració de l'informe és confiada a una persona de prestigi que actua de director i que rep l'ajuda d'un grup de col·laboradors experts en l'àrea. Per assolir la necessària coordinació i aconseguir una certa homogeneïtzació en informes d'àmbits temàtics allunyats, actua una comissió formada pel vicepresident i el secretari científic de l'Institut i per tots els directors.

Durant l'any 1996 s'han elaborat els informes en les àrees següents: física, geologia, biologia cel·lular, molecular i bioquímica, medicina, sociologia, ciències polítiques, antropologia i comunicació, economia, enginyeries de la informació i de la comunicació, i lingüística. Finalitzat el primer cicle de tres anys l'any 1998, es preveu una publicació conjunta dels vint-i-tres informes temàtics, que pot recollir aportacions complementàries.

Els *Reports de la recerca a Catalunya* s'elaboren amb el suport i la col·laboració de la CIRIT. S'ha comptat també amb la col·laboració de les universitats catalanes, de la Secretaria d'Estat i Investigació del Ministeri d'Educació i Cultura i de la Direcció General d'Investigació i Desenvolupament de la Comissió Interministerial de Ciència i Tecnologia, les quals han subministrat algunes de les dades utilitzades en l'elaboració dels informes. Agraïm a totes aquestes institucions la seva col·laboració.

Josep Carreras i Barnés
Vicepresident

Josep Enric Llebot
Secretari científic

1. Introducció

La recerca en un àmbit com és el de les tecnologies de la informació i de les comunicacions (TIC) presenta unes característiques específiques derivades d'un conjunt de circumstàncies produïdes pel mateix desenvolupament.

La recerca en aquest àmbit ha evolucionat d'una forma creixent en el decurs d'aquest segle —molt espectacularment en aquestes darreres dècades—, i no tan sols en els nuclis històrics com l'electrònica i les comunicacions. Aquesta acceleració ha fet aparèixer i ha consolidat, a partir de la Segona Guerra Mundial, nombrosos camps nous, com poden ser la informàtica, la telemàtica, la robòtica, etc., i molts d'altres que estan en una fase inicial del desenvolupament, però que, molt probablement, estaran plenament consolidats els propers anys. Un altre dels aspectes a tenir en compte és el canvi continu que experimenta la segmentació d'aquest sector. Especialment els darrers temps té lloc una convergència molt gran entre els tres sectors originals més representatius del sector: l'electrònica, les comunicacions i la informàtica, fet que comporta que aspectes que fa uns anys podien caure en un dels segments avui en dia els classifiquem en un de diferent. Com a conseqüència d'això, dins d'aquest entorn és difícil de determinar les matèries que constitueixen aquest àmbit. Aquesta tasca s'ha abordat al segon apartat d'aquest Report.

També cal destacar, com un fet que ha tingut una importància cabdal en la configuració de la recerca en aquest àmbit, el desenvolupament industrial, basat precisament en els resultats d'aquesta recerca. Un mercat mundial d'un bilió de dòlars per any és suficientment important per tenir una influència decisiva tant en la recerca acadèmica com en la de laboratoris industrials. El volum d'aquesta última és, en general, igual al de la recerca acadèmica i, per tant, s'ha de tenir molt en compte en el moment de confeccionar un report de recerca. Malauradament no hi ha gaires dades sobre el seus indicadors, i a vegades són poc fiables. A l'apartat tercer s'intenta fer un recull dels recursos humans i econòmics que Catalunya dedica a la investigació en aquest àmbit.

Un aspecte important que cal tenir molt en compte per avaluar els resultats de la recerca és el flux d'informació que hi ha d'haver entre la recerca científica i tecnològica de tipus acadèmic i el desenvolupament industrial. És un tema obert que genera discussions molt vives entre els diferents models que han adoptat els Estats Units, el Japó o Europa. D'altra banda, els indicadors emprats tradicionalment per avaluar la recerca acadèmica en aquest àmbit són gairebé els mateixos que els utilitzats en els àmbits científics, fet que provoca, moltes vegades, una certa distorsió en les conclusions obtingudes. A l'apartat quart s'aborden aquestes qüestions.

Finalment, a l'apartat cinquè, s'exposen les conclusions principals i es donen una sèrie de recomanacions i de suggeriments de caràcter general.

2. Descripció de l'àmbit: subsectors

En primer lloc cal establir quines són les àrees temàtiques que s'engloben dins de l'àmbit TIC i quines són les seves fronteres. Aquestes àrees temàtiques han d'incloure tant la recerca feta a la universitat i en altres centres de recerca (que podria seguir la classificació clàssica d'àrees de coneixement o bé els codis Unesco) com la recerca que es fa a la indústria (en què seria millor una classificació per àmbits de producció, com utilitza ANIEL¹). Evidentment, segons el criteri adoptat, la classificació de l'àmbit no serà única.

En el present treball s'ha intentat fer una classificació que englobés les diferents temàtiques que es tracten a la universitat (en la recerca i en la docència) i les classificacions usades per la indústria. D'aquesta manera es pot fer un estudi més correcte tant dels grups com del nombre d'investigadors que componen l'àmbit TIC. Tenint present aquest criteri es presenten a continuació la classificació i una sèrie de taules que intenten relacionar els subsectors adoptats amb les titulacions impartides a la universitat (taula 1), així com la classificació per àmbit de producció ANIEL (taula 2).

2.1. Subsectors coberts

Per delimitar l'àmbit s'han exclòs aquelles àrees que es podien incloure en altres àmbits, com podrien ser el d'enginyeria industrial o bé el de física. També s'han exclòs totes les temàtiques de recerca vinculades a enginyeries de mines, de l'espai i aeronàutica, d'agricultura, de la construcció, naval, etc.

Tenint en compte aquestes consideracions, la composició de l'àmbit TIC s'ha subdividit en tres subsectors. Aquests subsectors estan ordenats començant pel nivell d'abstracció més baix (l'aplicació és un objecte físic) fins a arribar al nivell d'abstracció més alt (on l'objecte d'aplicació no és material):

a) *Components i subsistemes*: microelectrònica; materials; processors i tecnologia; dispositius; disseny de circuits i subsistemes integrats; microsistemes, i optoelectrònica.

b) *Equips i sistemes*: sistemes de comunicació; arquitectura i tecnologia d'ordinadors; perifèrics; sistemes de control; sistemes de visualització i interfície; instrumentació; sistemes de potència, i tractament i condicionament de senyals.

c) *Programari i serveis*: algorísmica; llenguatges; enginyeria del programari; bases de dades; sistemes operatius; sistemes en temps real; intel·ligència artificial; enginyeria dels sistemes d'informació; serveis d'informació; tractament de la informació; seguretat; interacció persona-ordinador, i programari de xarxes.

A la taula 1 es mostra la relació entre les titulacions d'enginyeries de cicle llarg impartides a Catalunya i la classificació en subsectors que s'ha adoptat. La relació s'ha fet seguint les matèries troncales de les diferents titulacions. Els asteriscos indiquen el grau d'estudi a què se sotmet cada un dels subsectors a cada titulació.

TAULA 1

Relació entre la docència impartida a la universitat i la classificació anterior en subsectors (basada en les matèries troncal de segon cicle)

	<i>Components i subsistemes</i>	<i>Equips i sistemes</i>	<i>Programari i serveis</i>
E. automàtica i electrònica industrial	*	***	*
E. electrònica	***	***	*
E. informàtica	*	**	***
E. telecomunicació	**	***	**

La classificació de l'àmbit TIC seguida pel sector empresarial és l'adoptada per ANIEL (components electrònics, electrònica de consum, electrònica professional, telecomunicacions i informàtica). Per tant, cal establir una relació entre els subsectors definits a la nostra classificació i els adoptats pel sector empresarial (el subsector de serveis telemàtics s'inclou dins del sector empresarial, que no es té en compte en la classificació feta per ANIEL, ja que no és explícitament producció). La taula 2 mostra aquesta relació.

TAULA 2

Relació entre els àmbits de la producció (segons ANIEL, incloent-hi serveis) i la classificació adoptada en aquest Report

	<i>Components i subsistemes</i>	<i>Equips i sistemes</i>	<i>Programari i serveis</i>
Components electrònics	**		
Electrònica professional	*	**	
Electrònica de consum		**	
Equipaments telemàtics (telecomunicacions i informàtica)		**	*
Serveis telemàtics		*	**

Per acabar aquesta descripció de l'àmbit és interessant veure com està classificada la recerca segons la procedència dels recursos econòmics. Així, des del punt de vista del finançament públic de la recerca, l'àmbit correspondria a:

- a) En l'àmbit europeu, i dins el IV Programa marc europeu, els programes específics de R+D i demostració següents:
- ACTS (Tecnologies i serveis avançats de comunicació)
 - ESPRIT (Tecnologies de la informació)
 - BRITE-EURAM III (Tecnologies industrials i dels materials)
 - TELEMATICS 2C (Aplicacions telemàtiques)
 - TIDE (*Technology for the European Integration of Disabled and Elderly*).
- b) En l'àmbit europeu i dins el III Programa marc europeu, hem considerat els programes específics de R+D següents:
- TI (Tecnologies de la informació, ESPRIT)
 - STM (Sistemes telemàtics d'interès general)
 - TC (Tecnologies de les comunicacions)
 - TIM (Tecnologies industrials i dels materials, BRITE-EURAM).
- c) En l'àmbit estatal, i dins el II Pla nacional d'investigació científica i desenvolupament tecnològic, de la CICYT, els programes nacionals següents:
- TIC (Tecnologies de la informació i de les comunicacions)
 - TAP (Tecnologies avançades de la producció).
- d) En l'àmbit català i dins el Pla de recerca, per grups de recerca (CIRIT):
- Tecnologies industrials.

2.2. Situació actual de la recerca de l'àmbit a escala mundial

A continuació es fa un breu resum de quin és l'estat de la recerca (*State of Art*) de cada un dels subsectors de l'àmbit TIC a escala mundial [5].

a) Components i subsistemes

El subsector de components i subsistemes està a la base del desenvolupament de l'àmbit en les darreres dècades. L'espina dorsal d'aquest subsector ha estat l'evolució extraordinàriament ràpida dels circuits integrats de silici, iniciada als anys seixanta, que ha possibilitat el tractament digital de la informació amb la introducció de microprocessadors i memòries semi-conductores.

La capacitat de processament d'un xip microprocessador o la d'emmagatzematge d'un xip de memòria s'ha multiplicat per 10^4 respecte a l'any 1970 i el preu per bit ha disminuït 2×10^3 vegades respecte a l'any 1970. Els dos factors que hi han intervingut han estat la disminució progressiva de les dimensions dels transistors, que ha estat possible per la millora del processos tecnològics —fonamentalment la fotolitografia—, i l'augment de la dimensió del xip, gràcies a la introducció del concepte de *sales blanques* en la fabricació.

Actualment es fabriquen circuits operatius amb tecnologia de 0,25 μm amb fotolitografia que utilitza ultraviolat profund (245 nm). La nova generació de fotolitografia en desenvolupament (193 nm) permetrà tecnologies de 0,15 μm que faran possible memòries de 1Gb. Per a dimensions més petites s'està investigant en fotolitografia d'ultraviolat extrem, raigs X i feix d'electrons, que permetran construir dispositius clàssics de silici amb dimensions de porta de

50 nm, on sembla que es pot establir el límit. Més enllà entrem en el domini de la *nanoelectrònica*, amb dispositius basats en efectes quàntics i construïts amb silici o derivats. També s'investiga amb altres materials, encara que el seu futur sembla destinat a ser utilitzats en aplicacions específiques, però no a substituir el silici com a material de base per al processament massiu de la informació.

La introducció de processos de micromecanització del silici al costat dels processos clàssics de fabricació de circuits integrats, ha fet possible la construcció de sensors, actuadors i circuiteria electrònica en un mateix xip, que es comporta funcionalment com un *microsistema* i contribueix decisivament a l'extensió de la microelectrònica cap a camps d'aplicació nous (automòbil, medicina, domòtica, agroalimentació, etc.), on s'està investigant intensament.

Durant els últims vint anys, la necessitat de disposar de sistemes de comunicació d'alta capacitat de transmissió d'informació ha portat a un desenvolupament dràstic dels components òptics, especialment pel que respecta a fibres òptiques i làsers. Actualment, es disposa de fibres òptiques amb un esmorteïment menor de 0,2 dB/km i amb un amplada de banda que permet transmetre 2,5 Gb/s a distàncies de més de 500 quilòmetres sense necessitat de repetidors. La nova generació de comunicacions per fibra òptica fa ús del multiplexatge per longitud d'ona i transmissió coherent, que augmenta encara més la capacitat de transmissió.

Pel que fa als làsers, paral·lelament a nous desenvolupaments en aplicacions per comunicacions es fa un èmfasi especial en la recerca en làsers que operen a longituds d'ona petita (blau, al voltant del 500 nm) per augmentar la capacitat dels sistemes d'emmagatzematge òptic d'informació (CD-ROM). A més a més, augmenta la utilització de làsers i fibra òptica per a la fabricació de nous tipus de sensors.

b) Equips i sistemes

La recerca d'aquest subsector aplica els avenços tecnològics bàsics i els transforma en nous productes que faciliten l'aparició de noves aplicacions.

Els avenços en l'àmbit de l'electrònica de consum estan en part lligats al trinomi digitalització-veu-imatge. En el camp de la veu i sobretot de la imatge, les línies de recerca giren entorn de les noves formes digitals de captació, magatzematge, processament, estandardització i interfície amb l'usuari. Aplicacions com les de videojocs i televisió de xarxa i d'alta definició estan al darrera d'aquests conceptes.

En el camp dels ordinadors, les configuracions monoprocesador i multiprocesador, les arquitectures orientades a la supercomputació o massivament paral·leles, els processadors genèrics i els especialitzats, donen resposta a les necessitats de les noves aplicacions de les màquines: servidors, ordinadors personals i terminals multimèdia.

En el camp de les comunicacions podem distingir entre les infraestructures i la transmissió dels senyals. Quant a les primeres, podem trobar-hi: els sistemes per satèl·lit, que busquen donar resposta a la connectivitat global i a la mobilitat treballant a freqüències cada cop més altes (en l'actualitat s'està entrant ja en la banda de freqüències mil·limètriques, que permeten una velocitat de fins a 5 Gb/s), que requereixen tecnologies de modulació i commutació més sofisticades (al començament de 1998 està previst la posada en marxa del sistema Iridium, consistent en una teranyina de 66 minisatèl·lits que escombraran la superfície de la terra des de sis òrbites diferents, a 780 quilòmetres d'altitud); els sistemes ràdio per a comunicacions mòbils, i els sistemes per cable coaxial i sobretot fibra òptica, de desplaçament més lent (en l'actualitat hi ha 600 milions de línies

cablejades amb parell trenat, enfront dels 6 milions amb fibra òptica) però que permeten aconseguir més amplitud de banda (els darrers resultats permeten preveure fins a 1.000 Gb/s) i més interactivitat. Quant a les tecnologies de transmissió i tractament del senyal, cal parlar de les tècniques de digitalització, modulació (multiplexades en el temps i en la freqüència, etc.), compressió (amb factors de reducció d'amplitud de banda de fins a dos ordres de magnitud), de commutació en temps real, etc.

La convergència que té lloc actualment entre els tres àmbits anteriors fa pensar en canvis importants en les línies i els objectius de recerca en els propers anys.

En el camp de l'electrònica industrial, les tecnologies bipolars i MOS per l'electrònica de potència van optimitzant les prestacions. D'altra banda, els sistemes de control estan basats cada cop més en processadors tipus PC i autòmats programables que constitueixen arquitectures obertes i faciliten la integració i, per tant, l'automatització global.

Aquesta automatització global permet integrar en un sol sistema informàtic el disseny, la planificació de la producció, el control de la fabricació, el control de qualitat, la gestió dels magatzems i la gestió de la distribució. Això ha reduït dràsticament els temps de resposta entre la identificació d'una necessitat, el disseny d'un producte i la col·locació al mercat. Com a conseqüència de l'aplicació bàsicament de la informàtica i la robòtica al món industrial, es produeix una extraordinària acceleració de la dinàmica del sector i es prima la iniciativa i la creativitat enfront d'altres conceptes clàssics com el capital, l'energia o els recursos naturals.

El desenvolupament de la visió per ordinador i els sistemes experts aplicats en el camp de la producció permeten no solament millorar la productivitat industrial sinó també millorar la qualitat de la producció.

En el camp de les aplicacions al transport, la protecció civil, la gestió i protecció del territori (teledetecció), els sistemes de posicionament (GPS, *Global Positioning Systems*) i d'informació geogràfica (cartografia digital), possibiliten el desenvolupament de sistemes embrancats, que produeixen noves necessitats de comunicacions per satèl·lit, fet que, juntament amb les necessitats produïdes pel sector de les telecomunicacions, potencia un increment notable del segment electrònic del sector aeroespacial.

En el camp de la instrumentació i la bioenginyeria, els sistemes d'obtenció d'imatges per a la reconstrucció volumètrica de processos vitals es desenvolupen a partir de l'exploració i de la monitorització, activa i passiva, basada en diferents formes d'interrogació, des de camps elèctrics i/o magnètics de baixa freqüència fins als d'alta freqüència, així com a partir de marcadors actius.

Un aspecte d'importància creixent per al conjunt de la indústria electrònica i de la del programari, és el de l'estudi del seu impacte sobre la societat, especialment pel que fa al món de les telecomunicacions i de la informàtica aplicada.

Tot i que en moltes àrees la indústria electrònica ha estat respectuosa amb el medi ambient, els resultats de nous estudis, les noves possibilitats tecnològiques i la pressió social creixent demanen una actitud permanent de millora i de prevenció entorn de l'impacte sobre el medi natural. En aquest sentit conceptes com el de disseny per a l'entorn, cicle de vida (és a dir, pensar en el reciclatge des del moment inicial del disseny), fins a nivells d'exposició electromagnètica, són conceptes cada cop més familiars en l'àmbit del disseny i de la producció dels equipaments i dels sistemes electrònics.

c) *Programari i serveis*

El subsector de programari i serveis, un dels més tradicionals dins de l'àrea d'enginyeries de la informació, està, com tots els altres, sotmès a canvis profunds, sobretot guiats per la demanda immediata, fet que fa que es pugui comprovar un gir decidit cap als dominis més aplicats. Com a conseqüència d'això, hi ha una part molt important de la recerca que treballa decididament per establir ponts entre una teoria que per la seva joventut està encara poc establerta i els terrenys de les aplicacions pràctiques, fet que en determinats àmbits de la recerca es veu com una neta prioritació de la recerca a curt termini enfront de la recerca tradicional a llarg termini.

Un cop entrats en aquest terreny d'aplicació, els grans motors són, d'una banda, les xarxes d'ordinadors que suporten el pes d'aquesta onada de suport a l'intercanvi d'informació, la mobilitat i la cooperació científica, tecnològica i industrial, que ha engolit el domini tradicional de les comunicacions i telecomunicacions; de l'altra, i lligat fortament amb l'anterior, el gran consum que porta a fer aplicacions potents i amigables a l'abast d'usuaris poc o gens professionals del tractament de la informació, i finalment el tractament i la verificació de programes per a grans quantitats de dades per transformar-les en informació útil per a l'usuari en els més amplis dominis d'aplicació imaginables.

Amb aquest teló de fons, el subsector es considera la part de l'àrea que contribueix a construir sistemes d'informació que, basant-se en els fonaments establerts o en fase de recerca, donen la infraestructura i el suport adients a les aplicacions específiques a què van dirigits. Així, el domini de la recerca es considera dividit en grans subàrees: fonaments, sistemes, infraestructura i aplicacions. És clar que les fronteres no poden ser ben definides i que, a més a més, cada una d'elles té punts comuns i de discussió amb els altres subsectors, particularment amb el de sistemes.

El terreny dels fonaments combina àrees tradicionals com lògica, algorismes i complexitat, i dona lloc a subapartats com la teoria de la computació, la geometria computacional i concurrència amb d'altres, com mètodes formals, llenguatges i intel·ligència artificial. Aplicacions com recuperació d'informació, seguretat, física estadística, química molecular, bioquímica, cartografia i sistemes d'informació geogràfica en general, algorismes 3D i animació, representen el gran suport a la recerca de models i de tècniques algorísmiques —paraleles o no— que permetin formulacions sistemàtiques i també donar solucions com més eficients millor als problemes plantejats. La formalització del coneixement per construir sistemes intel·ligents, l'estudi de llenguatges potents, més a prop del llenguatge natural, i l'especificació i la verificació de programes cada cop més complexos, completen el panorama.

Pel que fa a aquest Report, en què s'ha considerat un subsector específic d'equips i sistemes, i en aquest els camps específics de xarxes i telecomunicacions, el terreny de programari i sistemes inclou també àrees tradicionals com compiladors i sistemes operatius que no estan gaire al nostre abast pel que fa a possibles aplicacions, juntament amb enginyeria i qualitat del programari, bases de dades, sistemes de temps real, programació orientada a objectes i programació amb restriccions. En general, el cavall de batalla és aquí el desenvolupament de nous principis i models, el control de la complexitat i la descripció, l'especificació, l'anàlisi, la fabricació, el manteniment i la reutilització del programari desenvolupat juntament, com s'ha dit, amb el tractament dels problemes lligats a l'emmagatzematge, la recuperació i el tractament en temps real de grans quantitats de dades.

Pel que fa al domini de les xarxes i les comunicacions, cal esmentar algunes àrees pròpies des del punt de vista del programari, com són els protocols de commutació i les xarxes de co-

municació, la integració de veu, dades i imatge, els sistemes de commutació en temps real, els mètodes de codificació i xifratge de la informació, així com el que fa referència als sistemes de banda ampla.

Pel que fa a l'apartat d'infraestructura i aplicacions, el punt de vista actual és que aquest terreny és el que ha de motivar la recerca en els dos altres esmentats i és on, d'una manera o d'una altra, es podran mesurar els resultats. La interfície persona-ordinador n'és un dels grans apartats, com una manera d'afavorir el gran consum i d'estendre les aplicacions posant-les a l'abast d'usuaris molt allunyats del món dels ordinadors, fet que exigeix d'altra banda una gran potència de càlcul i models i algorismes adients a tot aquest tipus concret d'aplicacions. Les biblioteques digitals és una altra gran aplicació. D'altra banda, les llibreries d'objectes també és un gran problema a resoldre, atès que moltes de les aplicacions particulars tindran bases comunes de tractament i caldrà aprofitar, per tant, els avenços en uns terrenys per aplicar-los a altres dominis. Esbrinar com conduir l'educació en ciències de la computació és un altre dels grans reptes plantejats amb vista al futur, perquè les escoles i les facultats formin professionals que puguin fer front a aquestes necessitats tan canviants de l'entorn.

Del resum anterior de cada un dels tres subsectors en què s'ha dividit l'àmbit TIC, es pot extreure una sèrie de línies d'innovació comunes. Així la miniaturització i el baix consum que comporten els equips portàtils, la tolerància a fallades, l'estandardització (intercanviabilitat i heterogeneïtat), la convergència entre la informàtica i les comunicacions i la convergència entre els sistemes d'informació i el multimèdia són conceptes o línies d'innovació de la recerca a escala internacional a tot l'àmbit TIC.

3. Recursos i temes de recerca

3.1. Recursos humans: investigadors i grups

En aquest apartat es fa un cens dels centres de recerca de Catalunya que indica el nombre d'investigadors i grups de recerca per a cada un dels subsectors que estan inclosos dins de l'àmbit. El primer subapartat està dedicat als centres acadèmics (universitats) i als centres del CSIC. El segon subapartat inclou una taula del personal de recerca en empreses privades.

3.1.1. *Personal investigador de centres universitaris i CSIC*

En aquesta llista s'inclouen els centres de recerca acadèmics i del CSIC de Catalunya, desglossats en el cas de les universitats per departaments. El nombre de grups de recerca i d'investigadors per grup que es detalla a la taula 3 s'han comptabilitzat tenint en compte les memòries de recerca (considerant un grup per línia de recerca finançada), els grups de recerca consolidats i en alguns casos la consulta personal amb el grup o grups en qüestió. Les universitats i els departaments considerats són els següents:

1. *Universitat Autònoma de Barcelona*
Departament d'Enginyeria Electrònica
Departament d'Informàtica
2. *Universitat de Barcelona*
Departament de Física Aplicada i Electrònica. Grup EME
3. *Universitat de Girona*
Departament d'Electrònica, Informàtica i Automàtica
Departament d'Informàtica i Matemàtica Aplicada
4. *Universitat de Lleida*
Departament d'Informàtica i Enginyeria Industrial
5. *Universitat Politècnica de Catalunya*
Departament d'Arquitectura de Computadors
Departament d'Enginyeria Electrònica
Departament d'Enginyeria de Sistemes, Automàtica i Informàtica Industrial
Departament de Llenguatge i Sistemes Informàtics
Departament de Matemàtica Aplicada i Telemàtica
Departament de Teoria del Senyal i Comunicacions
6. *Universitat Ramon Llull*
Escola d'Enginyeria La Salle

7. *Universitat Rovira i Virgili*

Departament d'Enginyeria Electrònica

Departament d'Enginyeria Informàtica

8. *CSIC*

Centre Nacional de Microelectrònica

Institut d'Intelligència Artificial

9. *Altres*

Institut de Robòtica i Informàtica Industrial (UPC/CSIC)

Centre de Visió per Computador (UAB/Dept. d'Indústria/CIRIT)

CCIM (UPC/ICT)

TAULA 3

Nombre de grups de recerca per subsector, amb el nombre d'investigadors (doctors) i les relacions inv./grup (any 1996)

	<i>Components i subsistemes</i>	<i>Equips i sistemes</i>	<i>Programari i serveis</i>	<i>Total</i>
Grups de recerca	17	22	21	60
Nombre d'investigadors	100	134	146	380
Inv. subsector/total (%)	26,3 %	35,3 %	38,4 %	100 %
Inv./grup	5,9	6,1	7	6,3

Font: Elaboració pròpia

3.1.2. *Personal investigador d'empreses privades*

És difícil saber quin és el personal investigador dedicat a la recerca en les àrees anomenades de R+D de les empreses, ja que les estadístiques existents inclouen titulats de cicle llarg (33 %), titulats de cicle curt (45 %) i altres (22 %). Recordem que en el cas de centres de recerca s'han considerat només els doctors i no s'han comptabilitzat ni personal en formació ni personal tècnic, que sí que queden englobats en el cas de les empreses. També cal tenir en compte que de vegades costa de diferenciar entre producció i innovació. Per exemple, en el cas del subsector del programari es pot dir que no hi ha diferència entre producció i innovació (que seria la part de recerca), per tant és difícil comptabilitzar qui forma part de l'àrea de R+D d'una empresa i qui fa producció.

A la taula 4, es representa el personal de R+D de les empreses a Catalunya. També cal dir que les dades estan extrapolades a partir de les dades de l'any 1991 (les úniques de què es disposen de Catalunya [6]) i considerant l'evolució anàloga a la d'Espanya (de què es disposen les dades de l'any 1991 i del 1995).

TAULA 4
Personal de R+D del sector privat a Catalunya

	<i>Components i subsistemes</i>	<i>Equips i sistemes</i>	<i>Programari i serveis</i>	<i>Total</i>
Personal	200	475	375	1.050
Percentatge	19,1 %	45,2 %	35,7 %	100 %

Font: *La indústria a Catalunya. Electrònica*. Dept. d'Indústria i Energia, Barcelona, 1993

3.1.3. *Nombre de titulats i doctors dels darrers cinc anys*

Finalment per acabar l'anàlisi de l'abast de la recerca en l'àmbit del TIC, hem cregut que unes dades prou objectives, que poden ajudar a fer-nos una idea més general de la dimensió del sector quant a recerca, són, d'una banda, el nombre de llicenciats de les carreres considerades de dins de l'àmbit (enginyeria informàtica, enginyeria de telecomunicacions, enginyeria electrònica, enginyeria automàtica i electrònica industrial) i, de l'altra, el nombre de doctors dels darrers cinc anys dels departaments abans esmentats. Hem de tenir en compte que les carreres d'enginyeria electrònica i d'enginyeria automàtica i d'electrònica industrial són bastant recents (els primers enginyers són del curs 1993-1994). Hi inclourem també els llicenciats en física dins de l'especialitat d'electrònica dels cursos 1991-1992, 1992-1993, 1993-1994 i 1994-1995 (plans vells). No s'hi han inclòs les titulacions de cicle curt, atesa l'orientació fonamentalment cap a la producció d'aquestes titulacions (el nombre de titulats de cicle curt s'ha estimat aproximadament igual que el dels titulats de cicle llarg de la taula).

TAULA 5
Enginyers o llicenciats i doctors per curs acadèmic a Catalunya (UAB, UB, UPC, URL) dins de l'àmbit. S'inclouen les titulacions següents: enginyeria informàtica, enginyeria de telecomunicacions, enginyeria electrònica, enginyeria automàtica i electrònica industrial, física (esp. electrònica)

	<i>Curs 91-92</i>	<i>Curs 92-93</i>	<i>Curs 93-94</i>	<i>Curs 94-95</i>	<i>Curs 95-96</i>
Enginyers o llicenciats	601	734	828	887	688 ²
Doctors	24	26	26	41	42

2. El nombre és menor que els darrers anys per la implantació del nou pla d'estudis a l'enginyeria informàtica a la UPC, que inclou un projecte de final de carrera a diferència dels anys anteriors.

3.2. Àmbits coberts pels centres de recerca a Catalunya

Als apartats anteriors s'ha analitzat quantitativament l'àmbit; en aquest apartat es resumiran els temes de recerca portats a terme pels investigadors a Catalunya i, sobretot, s'intentarà establir quins són els temes de recerca en què es detecta mancances. La descripció es farà sense especificar quin grup de recerca hi està treballant i seguint la classificació de l'apartat 2.

Components i subsistemes:

— *Tecnologies i processos:* processos avançats per tecnologies CMOS i BiCMOS; micromecanització de silici i tecnologies per mòduls multixip; deposició i caracterització de capes primes, i nanotecnologia.

— *Components:* dispositius bipolars, de potència, quàntics, fotovoltàics; sensors físics i químics; biosensors; actuadors i micro sistemes; microfluídica, i components òptics passius de silici.

— *Subsistemes:* automatització i síntesi de CAD microelectrònic i llenguatges VHDL; disseny i test de circuits integrats digitals/analògics; subsistemes basats en xarxes neurals i lògica difosa, i subsistemes biomèdics.

La investigació en processos microelectrònics avançats en tecnologies de silici requereix una infraestructura tecnològica extraordinàriament costosa i uns grups grans quant al nombre d'investigadors. A escala mundial aquesta recerca l'estan duent a terme les grans indústries del sector, que hi dediquen quantitats de milers de milions de dòlars. Tenint en compte aquestes consideracions, ni a Catalunya ni a Espanya es poden justificar unes inversions d'aquest estil tant en recerca com en industrialització del sector, i a Europa només ho poden fer companyies molt concretes (com Siemens, SGS-Thompson, etc.).

D'altra banda, és del tot necessari incrementar els ajuts a la tecnologia per conservar i diversificar la recerca en tecnologies i components microelectrònics que, com que necessiten inversions en equipament menys costoses, poden ser rendibles i tenir un valor afegit elevat, tant des del punt de vista de recerca com des del punt de vista d'aplicacions industrials en determinats nínxols molt específics (micro sistemes, tecnologies de segona generació, etc.).

Una de les mancances que destaca a Catalunya, en comparació amb l'abundància existent a Espanya, és la manca d'equipaments tecnològics per dur a terme dispositius d'aplicació optoelectrònica i altres tipus de dispositius que poden ser en el futur els substituïts dels que s'utilitzen actualment.

Finalment, dins d'aquest apartat de components i subsistemes, també es detecta una manca en el disseny de subsistemes analògics i mixtos (analògics i digitals), dirigit a aplicacions en nous camps, possibles gràcies als components i a les tecnologies existents actualment.

Equips i sistemes:

— *Tractament del senyal:* modelització de la visió, modelització de sistemes dinàmics, control i processament adaptatiu, tractament, síntesi i reconeixement de la veu, tractament, classificació i transmissió d'imatges, i transmissió digital.

— *Equips:* arquitectura VLSI, robòtica, sistemes electrònics de potència, control industrial i control de tràfic; instrumentació i bioenginyeria, equipament de comunicacions a freqüències de microones, mil·limètriques i òptiques, i antenes i estacions terrestres de comunicacions.

— *Sistemes*: sistemes multiprocessador, sistemes massivament paral·lels, sistemes de control de la producció, sistemes integrats de banda ampla, arquitectura de sistemes distribuïts, sistemes de control avançat, sistemes radar, sistemes d'ajuts a la navegació, sistemes de teledetecció, i sistemes de comunicació per satèl·lit.

La convergència entre les tecnologies i els continguts d'informació crearà previsiblement un sector entorn de la producció de l'audiovisual i el multimèdia, de creixement elevat, en el qual seria possible, ateses les sinergies que es donen a Catalunya amb el món de la cultura i del disseny, estar ben posicionat des del primer moment. Cal, però, un posicionament clar en inversions i en programes de recerca, per potenciar les sinergies entre els dos sectors.

Es troba a faltar la potenciació i la prioritització dels ajuts a la recerca i el desenvolupament dels serveis i de les aplicacions, que donin continuïtat a les inversions en tecnologia de base. Es fa un esforç inicial que, en no dur-se fins a l'aplicació i el servei final, dificulta enormement la maduració de l'àmbit i la consecució de resultats industrials. El sector TIC és un àmbit relativament jove, i per tant amb una inèrcia baixa i amb un nombre d'aplicacions en les quals es possible posicionar-se de manera relativament sòlida, a condició de fer-ho de manera coordinada i continuada. Aplicacions com els sistemes d'informació geogràfica (summament desenvolupats, per exemple, al Canadà), haurien de fer possible arribar a aquests posicionaments punters, en determinats àmbits prioritzats.

S'haurien de potenciar les capacitats de Catalunya integrant el potencial de centres de recerca i de petites empreses especialitzades (com, per exemple, indústries que ja treballen per al sector aeroespacial tant europeu com americà), i incrementant la possibilitat de fer equips humans que integrin creativitat i tecnologia amb el personal tècnicament qualificat que surt de les universitats.

Programari i serveis

— *Fonaments*: lògica, algorismes i complexitat, teoria de la computació, geometria computacional, concurrència, mètodes formals, llenguatges i intel·ligència artificial; recuperació d'informació, seguretat, sistemes d'informació, tècniques algorísmiques, formalització del coneixement, i especificació i verificació de programes.

— *Sistemes*: xarxes i telecomunicacions: protocols de commutació i xarxes de comunicació, integració de veu, dades i imatge, sistemes de commutació en temps real, mètodes de codificació i xifratge, sistemes de banda ampla; programari per sistemes compiladors i sistemes, enginyeria i qualitat del programari, bases de dades, sistemes de temps real, programació orientada a objectes i programació amb restriccions, i manteniment i reutilització del programari.

— *Infraestructura i aplicacions*: interfície persona-ordinador; biblioteques digitals; llibreries d'objectes i educació en ciències de la computació.

La recerca acadèmica a Catalunya en aquest subsector té un nivell i un volum apreciables, especialment en allò que hem anomenat fonaments i sistemes. Les realitzacions en infraestructura i aplicacions són menys perceptibles.

El tipus de recerca que es fa és més aviat teòric. Es troba a faltar una concreció en productes útils a l'entorn socioeconòmic. De tota manera, aquesta concreció és molt difícil per la pràctica absència d'una indústria europea important en aquest camp.

Alhora, es troba a faltar un mecanisme eficient de transferència de tecnologia del món

acadèmic a la indústria, i un mecanisme eficient de difusió de les necessitats de l'entorn socio-econòmic en l'entorn acadèmic. L'establiment d'aquests mecanismes està més al nostre abast i és un requisit imprescindible per lligar la recerca que es fa amb la que convé que es faci en el nostre entorn.

3.3. Recursos econòmics

3.3.1. Finançament públic

Per fer una avaluació dels recursos dins de l'àmbit hem estudiat quines han estat les inversions a projectes de R+D a través dels diferents programes de finançament públic a l'àmbit europeu (III Programa marc), estatal (CYCIT) i català (CIRIT). Hem volgut comparar les dades de les diverses procedències i ens hem centrat en les inversions fetes l'any 1994, atès que era l'any on s'han pogut contrastar diferents fonts de finançament.

TAULA 6

Finançament directe a projectes de R+D en l'àmbit TIC a Catalunya, Espanya i Europa, a través dels diversos programes de finançament públic

1994	Catalunya	Espanya	Europa
Finançament català ³	78 MPTA	—	—
Finançament estatal ⁴	291 MPTA	1.354 MPTA	—
Finançament europeu ^{5,6}	4.032 MPTA	28.400 MPTA	467.840 MPTA
Total	4.401 MPTA	29.754 MPTA	467.840 MPTA

Per tenir una idea més exacta del volum econòmic que representa el sector, a la taula 7 es representen les inversions rebudes a Catalunya, Espanya i Europa a través dels mateixos programes de finançament públic, però tenint en compte tots els àmbits o sectors.

TAULA 7

Finançament directe a projectes de R+D que engloba tots els àmbits a Catalunya, Espanya i Europa a través dels diferents programes de finançament públic

1994	Catalunya	Espanya	Europa
Finançament català ³	800 MPTA*	—	—
Finançament estatal ⁴	1.213 MPTA	6.552 MPTA	—
Finançament europeu ^{5,6}	8.640 MPTA	48.640 MPTA	768.000 MPTA
Total	10.653 MPTA	55.192 MPTA	768.000 MPTA

* Part de les inversions dels departaments de la Generalitat poden ser considerades també despesa en R+D, però es fa difícil d'avaluar i per tant no s'han considerat.

De les taules anteriors es poden extreure algunes conclusions sobre el finançament públic de la recerca a Catalunya. Per exemple, a la taula 8 es comparen les despeses de projectes de R+D entre l'àmbit TIC i el total rebut per a tots els àmbits.

TAULA 8

Comparació entre les despeses de projectes de R+D de l'àmbit TIC i de tots els àmbits (MPTA)

Catalunya			Espanya			Europa		
TIC	Total		TIC	Total		TIC	Total	
4.401	10.653	42 %	29.754	55.192	54 %	467.840	768.000	61 %

La figura 1 mostra la proporció de finançament entre l'àmbit TIC i el total de finançament per recerca rebut comparant Europa, Espanya i Catalunya. Europa dedica el 60 % del finançament total a l'àmbit TIC; Espanya hi dedica el 20 %, i Catalunya hi dedica el 10 %.

3. Per grups de recerca de R+D (CIRIT) i projectes concertats del Dept. d'Indústria i Energia. No s'han tingut en compte ni infraestructura ni beques de formació de personal investigador. Dades extretes del DOGC del dia 14-12-94 i de la memòria del Dept. d'Indústria i Energia 1994.

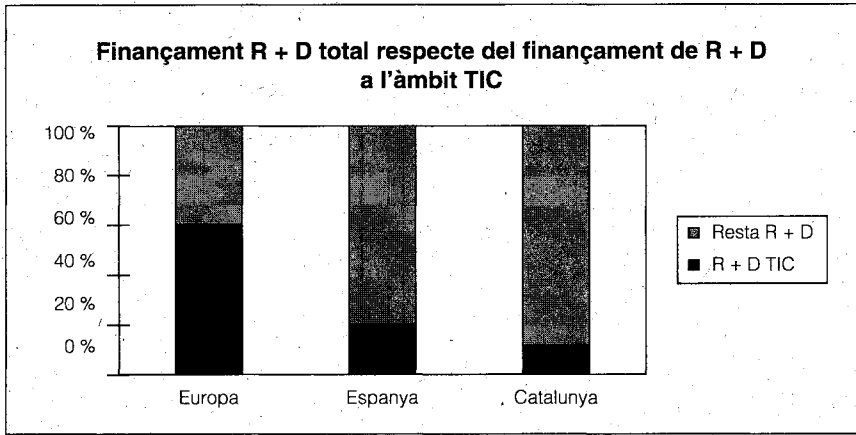
4. Projectes de la CICYT. Programes: TAP (Tecnologies avançades de la producció) i TIC (Tecnologies de la informació i de les comunicacions). No s'han tingut en compte ni infraestructura ni beques de formació de personal investigador, ni la possible R+D del PEIN del Ministeri d'Indústria i Energia.

5. III Programa marc de la Unió Europea. Programes: TI (Tecnologies de la informació), STM (Sistemes telemàtics d'interès general), TC (Tecnologies de les comunicacions), TIM (Tecnologies industrials i dels materials).

6. S'ha considerat la cotització següent: 1 ecu = 160 PTA.

FIGURA 1

Proporció entre el finançament per recerca rebut per l'àmbit TIC i el total que hi dedica cada una de les administracions (Europa, Espanya i Catalunya)

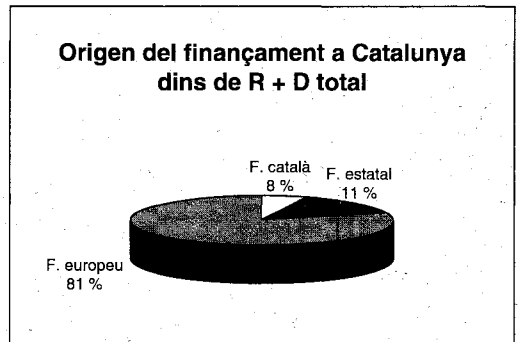
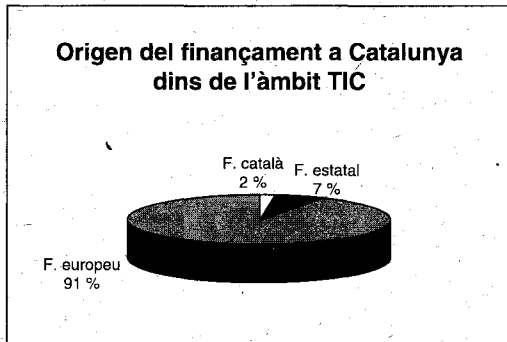


Una altra informació que es pot extreure de les dades anteriors és l'origen del finançament a Catalunya, diferenciant entre el finançament de l'àmbit TIC i el de tots els àmbits. Aquesta comparació es mostra a les gràfiques de la figura 2. De les figures es pot constatar que l'origen del finançament de l'àmbit TIC prové majoritàriament d'Europa (92 %), i que hi ha una diferència important en el finançament rebut des de Catalunya i des d'Espanya a dins de l'àmbit o en total (finançament català: 2 % a l'àmbit, davant del 8 % al total; finançament espanyol: 7 % a l'àmbit davant de l'11 % al total).

FIGURA 2

Origen del finançament rebut a Catalunya:

a) Finançament només de l'àmbit TIC; b) Finançament de tots els àmbits



3.3.2. *Finançament privat*

El finançament privat de la recerca feta dins de l'àmbit TIC resulta bastant més difícil de conèixer que no pas el finançament provinent d'entitats públiques. Segons les dades de competitivitat del sector de l'electrònica, la comunicació i la informàtica de Catalunya, l'any 1991 (vegeu [6,7]), la producció va ser de 192.900 MPTA. D'acord amb les mateixes referències el 6,6 % d'aquesta quantitat es dedica a R+D; per tant el finançament privat de la recerca es pot estimar al voltant de 12.730 MPTA. Les xifres de la producció no han variat gaire de l'any 1991 al 1995; per exemple, Espanya passa de 724.000 MPTA a 777.000 MPTA.

La taula 6 indica que la inversió pública a Catalunya és de 4.401 MPTA. De fet aquesta inversió només considera projectes i deixa de banda els sous del personal de recerca i del personal tècnic de suport. Fent una extrapolació i sabent que el nombre d'investigadors del sector públic dins de l'àmbit és de prop de 380 (taula 3), es pot dir que el finançament públic és aproximadament de 7.440 MPTA.⁷ Per tant el percentatge de finançament públic a Catalunya és del 37 %, davant del 63 % del privat.

La taula 9 mostra el finançament industrial de R+D a Catalunya, a Espanya, a França i a Itàlia. Es compara la despesa feta respecte al PIB de cada un dels països. Les dades han estat elaborades a partir de les referències [1-4], [6-7].

TAULA 9
Finançament industrial de R+D a l'àmbit TIC (any 1993)

	<i>Catalunya</i>	<i>Espanya</i>	<i>Itàlia</i>	<i>França</i>
Sector industrial (MPTA)	12.731	55.167	202.920	395.495
PIB (BPTA)	11,4	60,9	118,6	177,8
Sec. ind./PIB (%)	0,11 %	0,9 %	0,17 %	0,22 %

7. S'ha considerat que el sou d'un investigador més el del personal tècnic de suport és de 8 MPTA.

4. Resultats

En aquest àmbit amb aplicacions industrials tan evidents, els resultats de la recerca s'han de tractar en dos aspectes ben diferenciats. D'una banda, hi ha uns resultats de divulgació restringida que només es poden detectar a partir dels diners destinats als convenis entre grup de recerca i indústria (seria l'anomenada transferència de tecnologia) i, de l'altra, hi ha els resultats de divulgació pública que es poden avaluar a partir de les publicacions a revistes internacionals amb prestigi reconegut o de la presentació a congressos específics.

4.1. Resultats: transferència de tecnologia

A la taula següent apareix la facturació que s'ha fet a través dels centres de transferència de tecnologia de les universitats i dels centres del CSIC de Catalunya.

TAULA 10
*Facturació en transferència de tecnologia de les universitats catalanes
i dels centres del CSIC*

	1991	1992	1993	1994	1995	1996
Total (MPTA)	570	919	912	1.041	1.249	1.679

Un fet destacable és que mentre el nombre de grups i d'investigadors dedicats a la recerca a l'àmbit TIC no varia de manera apreciable des de l'any 1991, la facturació en transferència de tecnologia feta ha anat augmentant progressivament durant els darrers cinc anys.

Amb les dades de la taula anterior i de l'apartat de personal, podem deduir que la relació transferència de tecnologia / investigador l'any 1996⁸ és aproximadament de 5,5 MPTA/inv.

La proporció de diner generat i diner rebut com a transferència de tecnologia és del 24 %. Cal assenyalar que la necessitat immediata de transferència de tecnologia que s'està demanant als investigadors en aquest camp (que és corroborada per les dades de la taula 10) es pot traduir a llarg termini en un problema per al desenvolupament de la recerca bàsica de qualitat.

4.2. Resultats: publicacions i congressos

La recerca a l'àmbit TIC destaca perquè publica menys que la resta d'àmbits de recerca. Fins i tot es pot constatar fàcilment que els índexs d'impacte de les revistes de les àrees corresponents a l'àmbit TIC són més baixos que els d'altres àmbits. Això no és un fet aïllat que passa a Catalu-

8. S'ha de tenir present que els investigadors dels centres de recerca no industrials (380) són doctors i la majoria pertanyen a la universitat, per la qual cosa la seva dedicació a la recerca es considera de 0,8 en comptes de 1, com tradicionalment s'ha fet.

nya o a Espanya, sinó que s'estén a tots els països desenvolupats (com veurem a continuació). La contribució a congressos internacionals de l'àmbit TIC és força important i sens dubte està esdevenint un paràmetre a tenir en compte per intentar reflectir els resultats de recerca en aquest àmbit. Al primer apartat es mostren els resultats trets del *Science Citation Index* i al segon subapartat es fa un intent per demostrar la importància de les contribucions a congressos.

4.2.1. *Publicacions en revistes científiques internacionals*

Aquest estudi està basat en el *Science Citation Index de Journal Citation Reports*,⁹ amb la classificació per matèries de l'any 1994. Els apartats escollits són els següents:

- *Computer Science*¹⁰
- *Engineering Electrical & Electronics*
- *Instruments & Instrumentation*
- *Robotics & Automatic Control*
- *Telecommunications*.

Una de les primeres constatacions que es pot extreure de l'SCI¹¹ és que dins d'aquests apartats escollits només hi ha sis revistes que tenen un factor d'impacte més gran que 2: *Neural Comput* (3,139); *J. Mol. Graphics* (2,742); *Semicond. Semimet* (2,618); *IEEE J. Quantum Elect.* (2,595); *Comput. Appl. Biosci* (2,583), i *IEEE Trans Pattern Anal* (2,006). Aquestes revistes, a més a més, tenen un caràcter marcadament teòric que contrasta amb el caràcter de desenvolupament de l'àmbit. La resta de revistes dels apartats considerats tenen un factor d'impacte inferior a 2. Per comparar, per exemple, amb física, comptant totes les revistes que estan dins de la classificació de l'SCI (física+descriptor), hi ha 43 revistes amb factors més grans que 2; la més alta amb 14,426; les següents amb 6, etc. Només aquesta dada, sense entrar en el nombre de publicacions, ja constata el poc pes de l'àmbit en nombre de publicacions.

Per fer l'estudi bibliomètric del nombre de publicacions només s'han escollit les revistes amb un índex d'impacte > 0,5, però s'ha de tenir en compte que algunes de les revistes que complien els requisits no apareixien a la base de dades —a l'annex 1 apareixen totes les revistes usades en aquest estudi.

Per fer una valoració més general de les publicacions dins de l'àmbit s'han comptabilitzat també, amb els mateixos criteris, els articles publicats per investigadors de centres de Catalunya, d'Espanya, de Suècia (amb una població de vuit milions, semblant a la de Catalunya —sis milions—) i de França i Itàlia (països veïns). D'aquesta manera es pot tenir una idea més clara de quina és la relació entre la recerca a l'àmbit TIC i les publicacions que es fan. Finalment, per tenir una valoració més correcta de les dades, s'han estudiat les publicacions dels anys 1992, 1993, 1994, 1995 i 1996 (anys en què només s'ha pogut accedir a les revistes publicades fins al setembre).

9. CD-ROM de l'Institute for Scientific Information. ISSN: 1044-6052.

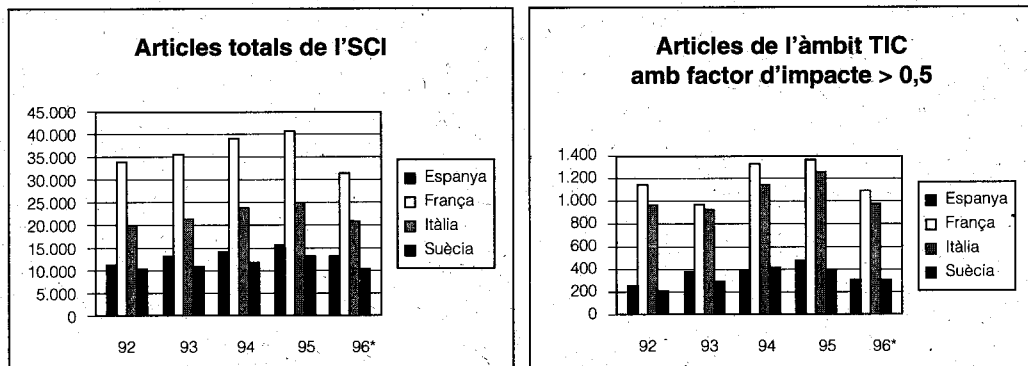
10. Inclou els apartats següents: «Artificial Intelligence»; «Science Cybernetics»; «Hardware & Architecture»; «Information Systems»; «Science Interdisciplinary Applications»; «Software, graphics & programming»; «Theory & methods».

11. Dades de l'SCI de 1994 (s'ha de tenir present que hi poden haver lleugeres oscil·lacions dels índexs d'impacte segons l'any).

A la figura 3, s'han representat els articles publicats a tots els àmbits del *Science Citation Index* (incloent-hi, per tant, biologia, medicina, física, arquitectura, psicologia, etc.) i les publicacions fetes dins de l'àmbit TIC (tenint en compte que s'han escollit les revistes amb índex d'impacte > 0,5 —vegeu l'annex 1).

FIGURA 3

Nombre d'articles de l'SCI desglossat per any de publicació i per país dels autors dels articles:
 a) *Articles globals de l'SCI; b) Articles només de l'àmbit TIC de les revistes amb un índex d'impacte > 0,5 (vegeu l'annex 1)*



* Només articles indexats fins al setembre de 1996

a.

b.

Per tal de veure quina és la importància de les publicacions dins de l'àmbit, hem calculat les relacions entre la suma de tots els articles publicats des de l'any 1992 fins a l'any 1996 comparant els articles de l'àmbit i els totals per a cada un dels països. Els resultats són els següents:

TAULA 11

	<i>Total articles de l'àmbit TIC</i>	<i>Total articles</i>	<i>%</i>
Espanya	1.850	67.648	2,7
França	5.914	179.763	3,3
Itàlia	5.233	111.204	4,7
Suècia	1.652	57.123	2,9

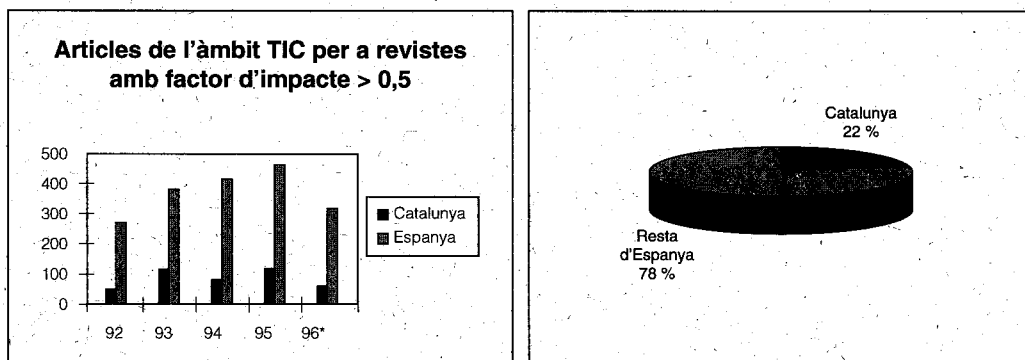
Com es pot veure fàcilment, el pes de l'àmbit quant a publicacions és inferior al 5 % a cada un dels països. També com a referència i segons el *Report de Física*,¹² el total d'articles publicats

des de l'àmbit de física per investigadors de l'Estat espanyol des de l'any 1990 fins al 1995 és de 12.793; per tant, extrapolant les dades —període de cinc anys en comptes de sis i considerant el mateix nombre d'articles totals a Espanya, 67.648— obtenim que la relació entre l'àmbit de la física i la resta d'àmbits a Espanya és aproximadament del 16 %. Cal assenyalar que aquest percentatge és el triple que el que s'obté per a l'àmbit TIC.

La importància del sector quant a publicacions comparant Espanya i Catalunya es detalla a la figura 4.a. Es pot concloure que Catalunya representa el 22 % de les publicacions, si fem la mitjana de tots els articles publicats des de l'any 1992 fins al 1996, tal com es pot veure a la figura 4.b.

FIGURA 4

Nombre d'articles de l'àmbit TIC desglossat per anys: a) Es comparen les publicacions a Espanya respecte a Catalunya (en aquesta gràfica s'ha de tenir en compte que les publicacions a Espanya engloben les de Catalunya); b) Relació entre les publicacions totals a Catalunya i a Espanya



a

b

4.2.2. Importància dels congressos dins de l'àmbit

Per constatar la importància de les contribucions a congressos dins de l'àmbit TIC s'ha seguit la metodologia detallada a l'annex 2. Com es pot veure a la taula 2 d'aquest annex, el nombre de citacions a revistes del subsector del programari i serveis és semblant a les citacions de les actes de congressos. Per tant, es pot concloure que els autors d'articles de qualitat dins de l'àmbit consideren que les fonts dels seus treballs es troben tant a revistes com a actes de congressos. Aquesta conclusió no és estranya, ja que molts congressos d'aquest camp són d'àmbit mundial, tenen comitès de programa internacionals, que seleccionen textos a partir d'articles complets, i tenen una relació d'acceptació baixa o molt baixa.

Per tot això es pot dir que en el subsector de programari i serveis, i per extensió a tot l'àmbit TIC, una avaluació de la productivitat científica d'una comunitat (o d'una persona) ha de tenir en compte les publicacions en actes de congressos.

5. Conclusions, suggeriments i comentaris

5.1. Recursos humans

A Catalunya hi ha 380 investigadors (doctors) repartits en 60 grups (6,3 inv./grup) en centres acadèmics (incloent-hi el CSIC). A les empreses hi ha 1.050 persones dedicades a R+D; si considerem com a personal investigador només els titulats de cicle llarg (33 %), tindrem 346 investigadors al sector empresarial, que representa la xifra de 726 investigadors de l'àmbit a tot Catalunya, amb un repartiment del 52 % per al sector acadèmic i del 48 % per al sector empresarial.

Quant al repartiment entre subsectors, cal remarcar que el nombre d'investigadors al subsector acadèmic dels components i subsistemes és relativament elevat (26 %), a causa de la presència a Catalunya del Centre Nacional de Microelectrònica. Els subsectors acadèmic i empresarial estan relativament equilibrats quant al nombre d'investigadors.

Si mesurem la importància de l'àmbit dins del conjunt de R+D total per nombre d'investigadors, tindrem que a Catalunya l'11,5 % dels investigadors estan dedicats a l'àmbit TIC; aquesta xifra a Espanya és del 10 %. Aquests percentatges són molt baixos si tenim en compte la importància que des del punt de vista econòmic té l'àmbit TIC respecte a la R+D total.

El nombre d'investigadors a Catalunya dins de l'àmbit representa el 20 % del total d'investigadors espanyols de l'àmbit, xifra bastant equilibrada si considerem que Catalunya representa el 19 % del PIB d'Espanya.

El nombre de titulats superiors s'ha mantingut, amb un lleuger increment, al llarg dels darrers cinc anys amb una mitjana de 760 (sense tenir en compte el curs 1995-1996). D'altra banda, el nombre de tesis llegides ha experimentant un lleuger augment (de 24 a 40, amb una mitjana de 32). El nombre de doctors relatiu al nombre de titulats és del 4,2 %, xifra netament inferior a la d'altres disciplines científiques (p. ex. física, amb una relació del 20 %). Per donar suport al creixement que aquest sector està experimentant, caldrà seguir fent un esforç en formació a tots els nivells, i en particular en aquells nivells més lligats a la recerca, com són els de doctors i la seva preparació per a la innovació a l'empresa.

El nombre de titulats de cicle curt per curs és el mateix que el de cicle llarg. Atès que sovint fan una tasca fonamental d'ajut a la recerca, de desenvolupament tecnològic i de millora de la producció industrial, sembla que la relació s'hauria de duplicar.

Un altre aspecte molt important per al món empresarial és la formació continuada, sobretot en aquest àmbit, que té una dinàmica de canvi extraordinàriament accelerada, per això caldria que la UPC, la UAB, la URL i l'Institut Català de Tecnologia augmentessin els esforços que fan dins d'aquest tipus de formació.

5.2. Recursos econòmics

El pes econòmic de projectes de R+D de l'àmbit TIC a Catalunya està 12 punts per sota del d'Espanya i 19 punts per sota del d'Europa, si fem la comparació entre finançament a l'àmbit TIC i finançament total (taula 8). Per tant, una primera conclusió és que Catalunya té un finançament públic clarament deficient si es compara amb el finançament que hi destina Europa i fins i tot Espanya.

La recerca a Catalunya està alimentada bàsicament per projectes europeus (91 %) a l'àmbit TIC (figura 2.b). De fet es demostra que Europa dona molta importància a l'àmbit, ja que hi dedica el 60 % del pressupost. Aquest fet, que té una part positiva si es mira com una obertura de la R+D de Catalunya cap a Europa, també pot tenir una lectura negativa en el sentit que la R+D catalana està dirigida per necessitats industrials europees, que no tenen en compte les peculiaritats pròpies.

L'àmbit TIC que marcarà el desenvolupament futur de la societat actual mereix un increment important de fons autòctons orientats a la R+D que, consegüentment, tindran en compte l'entorn social, econòmic i industrial de Catalunya.

Un altre fet important que es pot destacar de les dades econòmiques recollides és que l'esforç fet pel sector industrial a l'àmbit és més important (percentualment) a Catalunya que a la resta de l'Estat espanyol (63/37 a Catalunya davant de 55/45 a Espanya) (vegeu l'apartat 3.3.2). Aquest fet, positiu en primera lectura, no és degut a l'esforç del sector industrial sinó al fet que el sector acadèmic de l'àmbit està clarament deprimat. Si s'observen les despeses del sector industrial respecte al PIB, per exemple a França, es pot veure que Catalunya està proporcionalment a la meitat del que dedica el sector empresarial a la R+D del TIC a França.

5.3. Resultats

Una dada positiva és l'increment de la facturació en transferència de tecnologia dels centres de recerca cap a l'entorn industrial (figura 3) en el període 1991-1996. Aquestes xifres són molt petites i seria necessari en un futur proper posar a punt mecanismes per poder-les incrementar. D'altra banda, si es té en compte que l'anterior increment no s'ha correspost amb un increment equivalent del nombre d'investigadors, la investigació bàsica els propers anys es pot veure compromesa.

Els resultats de l'àmbit TIC no es veuen reflectits en les publicacions en revistes internacionals. Aquest fet es pot afirmar objectivament a partir de les dades tretes de l'SCI de l'ISI, que és l'estàndard més acceptat internacionalment per avaluar l'activitat científica. De l'SCI es pot dir directament que només sis revistes tenen un índex d'impacte superior a 2 i que el nombre d'articles de l'àmbit davant del total és inferior al 5 % (a Espanya, Itàlia, França i Suècia). Per tant, és clar que la difusió de la recerca en un àmbit tan dinàmic com aquest (recordem que econòmicament a Europa representa el 60 %) no es fa a partir de publicacions en revistes internacionals.

Quant a la relació entre Catalunya i Espanya, Catalunya representa el 22 % de les publicacions fetes a Espanya, xifra que és lleugerament superior al 19 % del PIB que representa Catalunya respecte d'Espanya.

La difusió científica a l'àmbit TIC es basa tant en les publicacions en revistes internacionals com en la presentació en congressos. Aquesta conclusió no és estranya, ja que molts congressos del nostre camp són d'àmbit mundial, tenen comitès de programa internacionals que seleccionen textos a partir d'articles complets, tenen una relació d'acceptació baixa o molt baixa i són generalment molt més dinàmics que la publicació en revistes.

En aquest camp, una avaluació de la productivitat científica d'una comunitat (o d'una persona) que no tingui en compte les publicacions en actes de congressos serà defectuosa.

5.4. Comentaris generals

Els subsectors de l'àmbit TIC estan sotmesos actualment a un procés de convergència accelerat, fet que influeix de manera decisiva tant en els aspectes de recerca com de formació, innovació i producció.

Tot i que, quant a mercat, el pes del sector a Espanya i especialment a Catalunya pugui ser comparable a la mitjana del pes dels països de l'entorn europeu, en termes de producció d'equipaments electrònics, tot i que l'evolució es força positiva, els resultats encara ens situen en termes relatius (producció/mercat) a la meitat de la mitjana europea.

La distribució geogràfica de la indústria a Espanya fins al moment, resultat de l'estructura de monopoli i d'ubicació de la indústria pública del sector, ha fet que es concentrés a Madrid la indústria d'electrònica professional i de telecomunicacions, i a Barcelona la majoria de centres de producció d'equipaments d'electrònica de consum. Això sens dubte té una forta influència sobre l'estructura de la recerca. L'obertura del sector i dels mercats i la incorporació a Europa haurien de facilitar la presència de Catalunya en els diferents àmbits del sector i, en particular, a l'electrònica professional, en què les possibilitats de R+D poden obrir noves perspectives empresarials.

Un subsector que també experimenta un fort creixement com a resultat del procés de convergència és el que, sota diverses denominacions —continguts multimèdia, audiovisuals, serveis de valor afegit, etc.—, recull un conjunt d'activitats i tecnologies força noves i generalment poc estructurades, moltes de les quals són força properes a àmbits de disseny i de producció arrelats a Catalunya i, per tant, poden estar ben posicionats per assumir-les si es fa l'esforç d'innovació tecnològica adequat.

Finalment per donar suport a la cadena recerca-innovació-producció en el conjunt del sector i per potenciar-la, caldria incrementar els esforços per crear figures i estructures d'intermediació en la transferència de tecnologia. Caldria disposar d'eines i d'institucions de prospectiva en innovació, producció i mercats.

Bibliografia

- [1] *Memòria Econòmica de Catalunya 1995*. Cambres oficials de comerç, indústria i navegació de Catalunya.
- [2] OCDE. *Main Economic Indicators*. Novembre de 1995.
- [3] Fundació COTEC para la Innovación Tecnológica. *Informe COTEC 1996. Tecnología e innovación en España*.
- [4] OCDE. *Basic Science & Technology Statistics. 1995*.
- [5] UNESCO. *Informe mundial sobre la ciencia 1996*. Madrid: Santillana/Ediciones Unesco, 1996.
- [6] *La Indústria a Catalunya. Electrònica*. Barcelona: Generalitat de Catalunya. Departament d'Indústria i Energia, 1993.
- [7] ANIEL. *Memoria de ANIEL. Informe del sector electrónico. 1995*.

Annex 1

Publicacions científiques internacionals i índex d'impacte

A continuació detallem les revistes i el seu factor d'impacte classificades segons els subapartats donats pel *Science Citation Index* de l'Institute for Scientific Information (ISI). Tal com es pot veure fàcilment a les llistes, hi ha revistes que apareixen a més d'un subapartat, per tant el nombre d'articles totals de l'àmbit TIC, tret de sumar els articles de cada un dels subapartats aquí detallats, serà lleugerament superior al real. Hem mantingut aquesta classificació ja que creiem més adequada i estàndard la classificació acceptada internacionalment de l'ISI que no pas una redistribució de les revistes per subapartats feta per nosaltres.

• *Computer Science Artificial Intelligence*

Revista	Factor d'impacte
<i>Neural Comput</i>	3,139
<i>IEEE Trans Pattern Anal</i>	2,005
<i>IEEE Trans Neural Network</i>	1,941
<i>Neural Networks</i>	1,939
<i>Artif. Intell.</i>	1,915
<i>Chemometr Intell Lab</i>	1,752
<i>Mach Learn</i>	1,721
<i>Int. J. Comput. Vision</i>	1,153
<i>AI Mag.</i>	0,735
<i>Image Vision Comput</i>	0,602

• *Computer Science Hardware and Architecture*

Revista	Factor d'impacte
<i>IEEE Trans Neural Network</i>	1,941
<i>Commun ACM</i>	1,788
<i>J.Assoc. Comput. Mach.</i>	1,098
<i>IEEE Trans, Comput.</i>	0,904
<i>J.Supercomput.</i>	0,656
<i>IBM J. Res. Dev.</i>	0,656
<i>Computer</i>	0,560
<i>IEEE Trans. Comput Aid D</i>	0,532
<i>J. Comput. Syst. Sci</i>	0,513

• *Computer Science Cybernetics*

Revista	Factor d'impacte
<i>Biol. Cyber</i>	1,189
<i>IEEE Trans. Syst. Man Cyb</i>	0,649
<i>Cybernet Syst</i>	0,507

• *Computer Science Interdisciplinary Applications*

Revista	Factor d'impacte
<i>J. Mol. Graphics</i>	2,742
<i>Comput. Appl. Biosci</i>	2,583
<i>J.Chem Inf Comp. Sci</i>	1,802
<i>Comput.Phys Commun</i>	1,566
<i>Comput Chem</i>	1,380
<i>J. Comput Phys.</i>	1,084
<i>Comput Biomed Res</i>	1,051
<i>Comput Method Appl. M</i>	1,018
<i>Comput Biol Med</i>	0,705
<i>Comput Chem Eng</i>	0,641
<i>Med. Biol.Eng. Comput</i>	0,599
<i>Int.J.Biomed. Comput.</i>	0,576
<i>Comput. Music J.</i>	0,548
<i>Comput Geosci</i>	0,514

- *Computer Science, software, graphics, programming*

<i>Revista</i>	<i>Factor d'impacte</i>
<i>ACM T. Graphic</i>	1,361
<i>ACM T. Progr Lang Syst</i>	1,152
<i>ACM T. Database Syst</i>	1,128
<i>IEEE Trans Soft. Eng</i>	1,117
<i>IEEE Comput Graph</i>	1,021
<i>CVGIP-Imag Understan.</i>	0,863
<i>Math Program</i>	0,763
<i>Image Vision Comput.</i>	0,602
<i>Computer</i>	0,560
<i>CVGIP-Graph Model Im</i>	0,506

- *Instruments and Instrumentation*

<i>Revista</i>	<i>Factor d'impacte</i>
<i>Chemometr Intell Lab</i>	1,752
<i>Appl. Spectrosc</i>	1,408
<i>Appl. Spectrosc Rev</i>	1,278
<i>Nucl. Instrum. Meth A</i>	1,188
<i>Rev. Sci. Instrum</i>	1,095
<i>Sensor Actuat B-Chem</i>	1,074
<i>Nucl. Instrum. Meth. B</i>	1,073
<i>Laryngoscope</i>	0,933
<i>Metrologia</i>	0,906
<i>Anal. Instruments</i>	0,815
<i>Meas. sci. Technol</i>	0,708
<i>Sensor Actuat A-Phys</i>	0,704
<i>AM Lab</i>	0,664
<i>IEE P-Contr Theor. Ap.</i>	0,500

- *Computer Science, theory and methods*

<i>Revista</i>	<i>Factor d'impacte</i>
<i>IEEE Trans. Neural Network</i>	1,941
<i>Comput Surv</i>	1,857
<i>ACM T Comput Syst</i>	1,538
<i>IEEE Trans Parall Distr</i>	0,905
<i>Siam J. Comput</i>	0,727
<i>J. Supercomput</i>	0,656
<i>Fuzzy Set Syst</i>	0,610
<i>Image Vision Comput</i>	0,602
<i>Int. J. Biomed Comput</i>	0,576
<i>J. Parallel Distr. Com.</i>	0,533
<i>J. Comput. Syst. Sci</i>	0,513

- *Robotics and Automatic Control*

<i>Revista</i>	<i>Factor d'impacte</i>
<i>Chemometr Intell Lab</i>	1,752
<i>Automatica</i>	0,9
<i>IEEE Trans Automat Contr</i>	0,867
<i>Int. J. Control</i>	0,617

- Telecommunications

Revista	Factor d'impacte
IEEE Trans. Commun	0,969
IEEE Sel. Area Comm	0,964
IEEE Commun Mag	0,840
IEEE Trans Antenn Propag	0,806
IEEE Trans Veh Technol	0,796
Radio Sci	0,753
IEEE P-Optoelectron	0,727
IEEE Trans. Electromagn C	0,549

- Engineering Electrical and Electronics (Grup b)

Revista	Factor d'impacte
IEEE Trans Commun	0,969
IEEE J. Sel. Area Comm	0,964
IEEE Trans Parall Distr	0,905
IEEE Trans Comput	0,904
IEEE J. Solid-St Circuits	0,903
IEEE Trans Automat Contr	0,867
IEEE Commun Mag	0,840
IEEE Trans Antenn Propag	0,806
IEEE Trans Veh Technol	0,796
IEEE Trans Electr Insul	0,776
Solid State Electron	0,759
IEEE Trans Magn	0,758
Radio Sci	0,753
IEEE Trans Circuits-I	0,732
IEEE P-Optoelectron	0,727
Sensor Actuat A-Phys.	0,704

- Engineering Electrical and Electronics (Grup a)

Revista	Factor d'impacte
IEEE J. Quantum Elect.	2,618
	2,595
IEEE Trans Pattern Anal	2,006
IEEE Trans Inform Theory	1,971
IEEE Trans Neural Networ	1,941
Prog Quant Electron	1,818
IEEE Trans Electron Dev	1,630
IEEE Electr Device L	1,610
Semicond Sci Tech	1,389
IEEE Trans Geosci Remote	1,356
Opt Quant Electron	1,303
J. Electron Mater	1,238
IEEE Trans Signal Proces	1,234
IEEE Trans Nucl Sci	1,183
Electron Lett	1,159
IEEE Trans Software Eng	1,117
Sensor Actuat B-Chem	1,074
IEEE Trans Microw Theory	1,004

- Engineering Electrical and Electronics (Grup c)

Revista	Factor d'impacte
Pattern Recogn.	0,691
J. Supercomput	0,656
IEEE Trans Syst Man Cyb	0,649
Int. J. Circ. Theor. App.	0,627
IEEE Spectrum	0,623
Image Vision Comput	0,602
IEEE J. Oceanic Eng	0,577
IEEE Trans. Power Syst	0,577
Solid State Technol	0,571
IEEE Trans Electromagn C	0,549
IEEE Trans Circuits II	0,540
IEEE P-Contr Theor. Ap.	0,500

Annex 2

Importància dels congressos en l'avaluació de la recerca a l'àmbit TIC

1. S'han analitzat les referències bibliogràfiques incloses en articles publicats en revistes de prestigi reconegut, que s'han classificat en:

- llibres
- capítols de llibres
- articles en revistes
- actes (*proceedings*) de congressos
- reports diversos (incloent-hi tesis).

(Cal fer constar que moltes vegades els capítols de llibres són també actes de congressos, però s'han posat a part sempre que no es mencionava explícitament que eren actes.)

2. Les revistes analitzades són tan sols una representació dels tres subsectors analitzats:

Components i subsistemes:

- *IEEE Electron Device Letters* (EDL)(FI = 1,610)
- *IEEE J. Solid State Circuits* (SSC)(FI = 0,903).

Equips i sistemes:

- *IEEE Trans. on Medical Imaging* (MI)(FI = 1,43)
- *IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques* (MWT) (FI = 1,004).

Programari i serveis:

- *ACM Transactions on Database Systems* (TODS) (FI = 1,128)
- *ACM Transactions on Information Systems* (TOIS)
- *Communications of the ACM* (CACM) (FI¹ = 1,788)
- *Computing Surveys* (CS) (FI = 1,857).

3. De cada una de les vuit revistes mencionades s'ha agafat un número qualsevol, recent, i se n'han analitzat tots els articles.

4. El resultat (en valors absoluts) no ha estat homogeni per a tots els àmbits.

1. FI: Índex d'impacte segons *Science Citation Index*, any 1994.

TAULA 1

Nombre de referències de cada un dels articles publicats en un número de les revistes MI, MWTT, EDL i SSC, classificades segons el tipus de publicació (llibre, actes, reports, capítols de llibre o bé articles en revistes)

	<i>Llibres</i>	<i>Actes</i>	<i>Reports</i>	<i>Cap. de llibre</i>	<i>Article en revistes</i>
MI (vol. 15, núm. 1)	23	36	6	2	223
MWTT (vol. 44, núm. 11)	37	52	10		203
EDL (vol. 18, núm. 4)	3	19			97
SSC (vol. 32, núm.4)	20	60	13	7	123
Total	80	167	39	9	646
Total %	9 %	18 %	4 %	1 %	68 %

TAULA 2

Nombre de referències de cada un dels articles publicats en un dels números de les revistes CACM, TODS, TOIS i CS, classificades segons el tipus de publicació (llibre, actes, reports, capítols de llibre o bé articles en revistes)

	<i>Llibres</i>	<i>Actes</i>	<i>Reports</i>	<i>Cap. de llibre</i>	<i>Article en revistes</i>
CACM (vol. 39, núm. 4)	5	37	10	6	54
TODS (vol. 21, núm. 1)	14	62	20	9	39
TOIS (vol. 14, núm. 3)	16	37	14	23	58
CS (vol. 28, núm. 3)	26	100	31	14	94
Total	61	236	75	52	245
Total %	9 %	35 %	11 %	8 %	37 %

Notes:

- a) Es parteix de la base que les revistes mencionades publiquen articles de qualitat.
- b) Un treball es considera «important» si és mencionat (citat) per algú. L'autor que fa la citació reconeix que el treball citat ha estat important o bé significatiu per al seu treball. Els autors són els que donen importància a treballs d'altres col·legues.

