

REPORTS DE LA RECERCA A CATALUNYA
Enginyeria civil
i enginyeria de la construcció

INSTITUT D'ESTUDIS CATALANS

REPORTS DE LA RECERCA A CATALUNYA
Enginyeria civil
i enginyeria de la construcció

Report preparat per Antonio Aguado
Jesús Carrera, Fructuós Mañà
Eugenio Oñate i Francesc Robusté

BARCELONA, 2000

Reports de la recerca a Catalunya. Enginyeria civil i enginyeria de la construcció
Bibliografia
ISBN 84-7283-492-1
I. Aguado, Antonio II. Institut d'Estudis Catalans
1. Enginyeria civil — Investigació — Catalunya
2. Construcció — Investigació — Catalunya
624:001.891(467.1)

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

© 2000, Institut d'Estudis Catalans

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

Primera edició: març de 2000
Tiratge: 2.000 exemplars

Compost per Victor Igual, SL
Carrer de Còrsega, 237, baixos. 08036 Barcelona

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

ISBN: 84-7283-492-1
Dipòsit Legal: B. 12908-2000

Són rigorosament prohibides, sense l'autorització escrita dels titulars del *copyright*, la reproducció total o parcial d'aquesta obra per qualsevol procediment i suport, incloent-hi la reprografia i el tractament informàtic, la distribució d'exemplars mitjançant lloguer o préstec comercial, la inclusió total o parcial en bases de dades i la consulta a través de xarxa telemàtica o de la Internet. Les infraccions d'aquests drets estan sotmeses a les sancions establertes per les lleis.

Índex

Pròleg	7
Prefaci	9
1. INTRODUCCIÓ	11
1.1. Motivació i objectius	11
1.2. Aspectes comuns conceptuals	11
1.3. Aspectes històrics	12
1.4. Situació actual del sector de la construcció	13
1.5. Metodologia de treball	16
2. DESCRIPCIÓ DE L'ÀMBIT	17
2.1. Aspectes generals	17
2.2. Definició de subàrees	17
2.2.1. Aigua	18
2.2.2. Construccions arquitectòniques	19
2.2.3. Enginyeria de la construcció	20
2.2.4. Enginyeria del terreny	21
2.2.5. Medi ambient	22
2.2.6. Mètodes computacionals en enginyeria	23
2.2.7. Transport i territori	24
3. RECURSOS	27
3.1. Introducció	27
3.2. Recursos humans	29
3.2.1. Distribució per unitats	29
3.2.2. Distribució per edats	32
3.3. Interacció amb la docència	33
3.4. Equipaments	35
4. RESULTATS CIENTÍFICS I DE TRANSFERÈNCIA DE TECNOLOGIA	37
4.1. Introducció	37
4.2. Resultats de l'àmbit científic	37
4.2.1. Participació en el IV Programa Marc de la Unió Europea	37
4.2.1.1. Metodologies	38
4.2.1.2. Discussió	39
4.2.2. Publicacions d'excel·lència. Contribució al coneixement	39
4.2.2.1. Metodologia	39
4.2.2.2. Discussió	43
4.2.3. Altres publicacions i congressos	45
4.3. Grups de recerca consolidats	47

4.4. Altres indicadors	48
4.4.1. Tesis doctorals	48
4.4.2. Patents	50
4.4.3. Sexennis de productivitat	51
4.5. Volum econòmic de les activitats de R+D	52
4.5.1. Introducció	52
4.5.2. Volum econòmic en R+D d'aquest àmbit a Catalunya	53
4.5.3. Distribució del volum econòmic en diverses àrees de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona	55
5. CONCLUSIONS I RECOMANACIONS	57
5.1. Conclusions	57
5.2. Recomanacions	58
Bibliografia	61

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 dividint els treballs en àrees temàtiques fonamentades en els àmbits i sotsàmbits de la CIRIT. 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.

Fins ara s'han elaborat els informes en les àrees següents: biologia cel·lular, molecular i bioquímica, economia, física, medicina, tecnologies de la informació i de les comunicacions, les ciències socials: antropologia, ciència política, comunicació i sociologia, la lingüística i les ciències del llenguatge, geologia, matemàtiques, història, geografia i demografia, biologia d'organismes i sistemes, pedagogia, enginyeria industrial, enginyeries agronòmiques, forestals i alimentàries, art, dret, química i enginyeria civil i enginyeria de la construcció. Finalitzats tots els reports es preveu una publicació conjunta de tots els informes temàtics, que pot recollir aportacions complementàries.

Els *Reports de la recerca a Catalunya* es realitzen amb el suport i la col·laboració de la Comissió Interdepartamental de Recerca i Innovació Tecnològica (CIRIT) i de la Secretaria d'Estat d'Universitats, Investigació i Desenvolupament del Ministeri d'Educació i Cultura. S'ha comptat també amb la col·laboració dels Vicerectorats de Recerca de les universitats catalanes, de l'Oficina de la Gestió de Recerca i Convenis de la UB 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.

Prefaci

La importància del sector de la construcció en els països europeus està marcada principalment per la seva influència en l'evolució de la nostra societat, ja que afecta directament la qualitat de vida dels ciutadans a través de l'actuació en l'edificació i en les infraestructures d'enginyeria civil, les quals resulten imprescindibles per al subministrament de serveis i la mobilitat ciutadana. Els nombres bàsics d'aquest sector a Espanya mostren que les inversions que s'hi duen a terme representen al voltant del 8 % del producte interior brut (PIB), que aquest té, a més, una gran significació des del punt de vista laboral —ja que ocupa més d'un milió de treballadors, cosa que representa gairebé el 10 % de la població total ocupada— i que la inversió en aquest sector té un gran efecte generador d'ocupació, atès que una inversió de 100 milions de pessetes genera deu feines directes i sis d'indirectes en altres sectors.

Aquestes característiques favorables del sector tenen la seva contrapartida en el camp de la recerca, ja que en aquest hi ha una escassa tradició en innovació propiciada per diferents factors interns (poques empreses de gran volum, importància dels processos enfront dels productes, elevada mobilitat laboral, escassa especialització de la mà d'obra, estructuració fragmentada de mercat amb subcontractació) i externs (sistema de contractació d'obres públiques, inexistència d'ajuts fiscals, obres poc repetitives, condicions climàtiques externes).

Aquesta situació pel que fa a la recerca dins les empreses del sector no té paral·lisme en els centres de recerca i universitats, els quals han fet importants avançaments els darrers anys i han mostrat una gran vitalitat, com es posa de manifest en el present document. Així mateix, es percep una tendència positiva cap a una tasca conjunta de recerca entre les empreses i aquests centres.

En aquest context, l'Institut d'Estudis Catalans va considerar, dins la sèrie *Reports de recerca a Catalunya*, que realitza a través de diversos especialistes, introduir-ne un de relatiu al camp de l'enginyeria civil i l'enginyeria de la construcció. Per això, va constituir un equip compost pel senyor Antonio Aguado com a coordinador, el senyor Jesús Carrera, el senyor Fructuós Mañà, el senyor Eugenio Oñate i el senyor Francesc Robusté. Els resultats del treball realitzat es mostren en el present document, el qual, segons ens consta, és el primer document institucional d'aquest tipus, motiu pel qual ha de significar un pas important en el coneixement d'aquest sector per part de la societat catalana, ja que els resultats obtinguts mostren una elevada activitat de recerca i transferència a l'entorn professional, que és un referent en àmbits nacionals i internacionals.

Per a la realització d'aquest report ha estat necessària la col·laboració de diverses persones a les quals volem expressar el nostre més profund agraïment. Entre elles cal assenyalar el senyor Josep Enric Llebot i les senyores Montserrat Traveria i Neus Portet, de l'Institut d'Estudis Catalans; el senyor Josep Jofre i el senyor Juan Francisco Córdoba, de la Universitat Politècnica de Catalunya; la senyora Mercè Benet i la senyora Maria del Mar Díaz, de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona.

ELS AUTORS

1. Introducció

1.1. Motivació i objectius

L'Institut d'Estudis Catalans (IEC), per encàrrec de la Comissió Interdepartamental de Recerca i Innovació Tecnològica (CIRIT), duu a terme uns *Reports de la recerca a Catalunya* que inclouen en la seva programació l'àmbit de l'enginyeria civil i l'enginyeria de la construcció, per al qual es va proposar el senyor Antonio Aguado com a coordinador i es va constituir un equip format, a part d'ell mateix, pel senyor Jesús Carrera, el senyor Fructuós Mañà, el senyor Eugenio Oñate i el senyor Francesc Robusté. En aquest document es presenten els resultats de les feines realitzades pel grup esmentat.

L'objecte és presentar la situació de l'àmbit de l'enginyeria civil i l'enginyeria de la construcció a Catalunya, i incidir en la seva idiosincràsia, tant des del punt de vista científic com des del punt de vista de la transferència de tecnologia al món empresarial, en un sector amb poca tradició en els temes de recerca i innovació. Així mateix, s'incideix en les persones, grups i empreses que duen a terme aquesta activitat.

Atès el desconeixement que la comunitat científica té d'aquest àmbit, en el present capítol se'n planteja un marc global, cosa que permet d'entendre millor l'activitat realitzada en aquest àmbit, així com la necessitat d'un equilibri d'activitat en la producció científica i tècnica, d'una banda, i en la implicació local, autonòmica, nacional i internacional, de l'altra. La descripció detallada del que s'entén per l'àmbit que abasta aquest report es fa en el capítol 2.

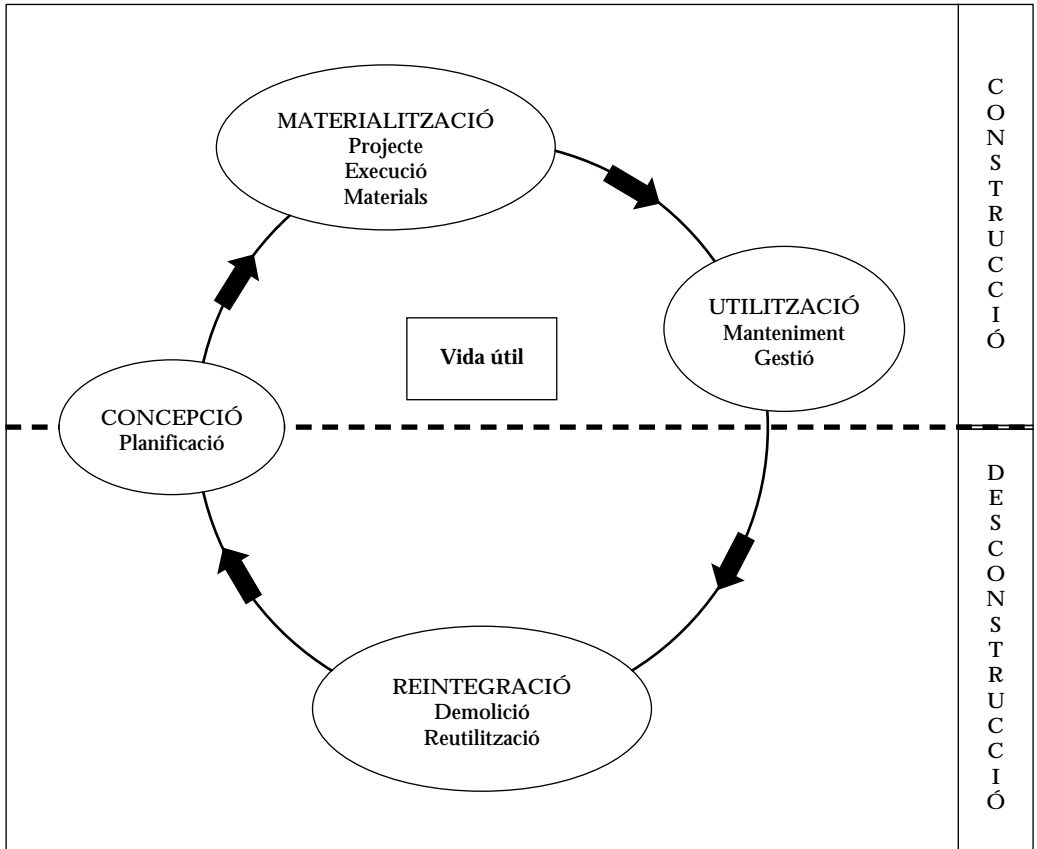
1.2. Aspectes comuns conceptuals

A la figura 1 es mostren les diferents etapes que constitueixen un projecte d'enginyeria —independentment de com es qualifiquin— en harmonia amb el medi ambient. En aquesta, aplicada al sector de la construcció, es pot veure que les diferents etapes estan concatenades i constitueixen un cicle de vida on la construcció i la desconstrucció formen una unitat.

Sovint les fases que conformen l'etapa de materialització (projecte, execució i materials) s'han associat a l'enginyeria de la construcció, que, com es pot veure a la figura, són les que comporten el major pes específic de la construcció (en el sentit de l'accepció clàssica de materialització d'una idea). Ara bé, al nostre entendre, aquest concepte està integrat en el plantejament més ampli realitzat a la figura sobre l'enginyeria.

L'enginyeria civil, que engloba l'enginyeria de la construcció, segons l'accepció assenyalada, recull, així mateix, altres fases que també són presents en l'enginyeria de la construcció, com són la planificació, el disseny, la gestió, el manteniment i la reintegració, que constitueixen una unitat del cicle més associada als temps moderns.

FIGURA 1
 Esquema de les diferents etapes que constitueixen un projecte d'enginyeria
 en harmonia amb el medi ambient



1.3. Aspectes històrics

El terme *enginyer civil* admet diverses interpretacions: unes basades en el concepte *civitas* com a 'ciutat, ciutadà', és a dir, el tècnic que es dedica a fer obres per a la col·lectivitat, obres d'ús comú, obres públiques en definitiva; i d'altres accepcions en què el terme esmentat sorgeix com a contraposició al terme *enginyer militar*, en què ja hi havia especialitzacions (infraestructures i recursos, armes i enginyers militars, comunicacions), que, traslladades a l'àmbit civil, han donat lloc a les professions centenàries que avui coneixem (Aguado *et al.*, 1999).

En extrapolar les actuacions militars al camp civil, les quals van anar creixent en valors absoluts, aquests camps de les infraestructures es van anar separant i van donar lloc a branques com ara l'enginyeria civil —que s'ocupa principalment de les estructures associades a l'entorn físic—, l'enginyeria industrial —que respon dels equips— i l'enginyeria de telecomunicacions —que desenvolupa les comunicacions. Dins el camp de l'enginyeria civil, dins les infraestruc-

tures i els recursos, se situarien els enginyers de mines (cos creat el 1777), els enginyers de camins, canals i ports (cos creat el 1799) i els antics ajudants i perits d'obres públiques (cos creat el 1854).

Aquest naixement disjunt, que condiciona el seu desenvolupament posterior, no impedeix que actualment tinguin una base d'intersecció comuna (els túnels com a exemple característic). D'altra banda, els antics ajudants i perits d'obres públiques es constitueixen com a titulació universitària el 1957, amb la creació de l'Escola Universitària d'Enginyeria Tècnica d'Obres Públiques de Madrid. Tot això ha contribuït al fet que avui dia, a Espanya, s'entengui majoritàriament per enginyeria civil l'entorn de l'enginyer de camins, canals i ports i el de l'enginyer tècnic d'obres públiques, en tant que titulacions amb una major intersecció comuna.

En les estructures associades a l'entorn físic es troben tant les estructures d'edificació, incorporades usualment al camp de l'arquitectura, com les estructures viàries o de serveis (autopistes, preses, ports), habitualment associades a l'enginyeria de camins, canals i ports i a l'enginyeria d'obres públiques, o bé a les estructures lligades als edificis de tipus industrial, vinculades tradicionalment a l'enginyeria industrial. En aquest document es recullen els tres camps d'actuació esmentats. Això no impedeix que hi hagi entorns frontera, amb menors nivells d'intersecció professional, que podrien situar-se en aquest àmbit. Entre aquests entorns frontera hi ha els enginyers de mines, dins les titulacions clàssiques, i un nombre creixent de titulacions (homologades o pròpies) que han aparegut els darrers anys i poden anar apareixent. Entre aquestes hi ha les titulacions oficials d'enginyer de materials, enginyer geòleg, llicenciat en ciències ambientals i enginyer en topografia i geodèsia.

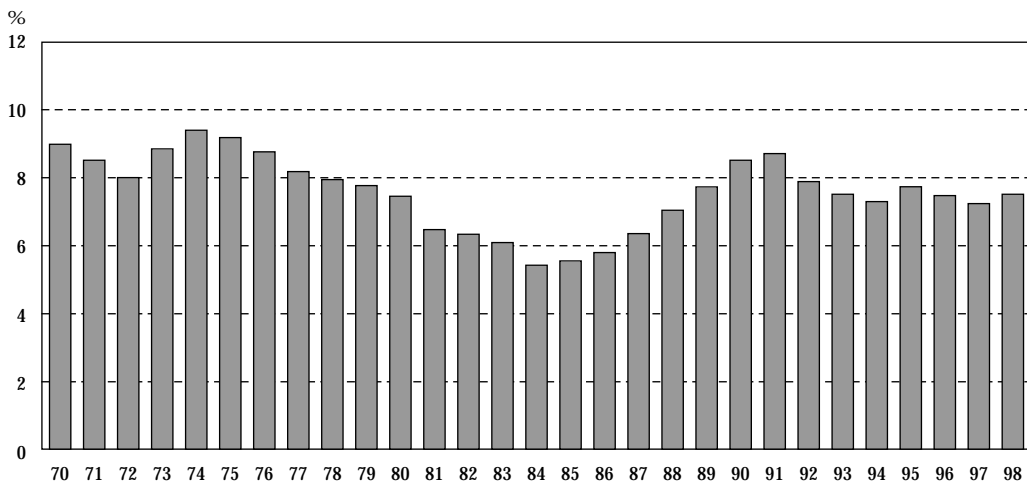
1.4. Situació actual del sector de la construcció

El sector de la construcció i les seves indústries afins tenen un paper important en l'economia tant europea com espanyola. A Europa, el sector genera entre el 10 i el 12 % del PIB i representa entorn del 25 % de tota la indústria manufacturera, que ocupa uns 30 milions de persones en 2,7 milions d'empreses, de les quals el 97 % tenen menys de vint treballadors (Pérez, 1999). El sector de la construcció inverteix molt menys en recerca i desenvolupament tecnològic (R+DT) que altres sectors industrials —amb prou feines el 0,1 % del PIB—, mentre que la mitjana de tots els sectors és al voltant del 2 % i alguns sectors superen el 10 %. La tendència del sector de la construcció a Europa occidental no ha sofert variacions significatives els darrers cinc anys (1992-1997), si més no pel que fa al percentatge de participació de les diferents activitats, de manera que la rehabilitació ha passat del 32 al 34 %, l'edificació residencial del 23 al 25 %, l'enginyeria civil del 23 al 21 %, l'obra no residencial privada del 17 al 19 % i l'obra no residencial pública es manté entorn del 5 %.

A Espanya, la xifra de producció del sector de la construcció va assolir els 11,3 bilions de pessetes el 1998 (SEOPAN, 1999), cosa que representa al voltant del 7,8 % del PIB i el 62,8 % de la formació bruta de capital fix i suposa l'ocupació del 9,9 % de la població total ocupada durant 1998. Aquesta situació s'ha mantingut similar els darrers anys, una vegada superada l'etapa més constructiva dels anys seixanta i setanta, tal com es pot veure a la figura 2.

FIGURA 2

Relació entre el VAB (valor afegit brut) en construcció i el PIB. Anys 1970-1998 (SEOPAN, 1999)



Font: CNT (INE).

La influència del sector en l'economia nacional és reforçada per dos factors fonamentals:

a) L'efecte multiplicador sobre la resta de l'activitat econòmica, ja que cada milió de pessetes produït en construcció genera activitat en altres sectors per un import del 50 %.

b) La capacitat generadora d'ocupació, ja que cada 100 milions de pessetes gastats en construcció suposen unes deu feines directes i unes altres sis d'indirectes.

Tot això fa de la construcció un sector clau i un indicador fonamental en l'economia espanyola. De fet, els cicles econòmics del país no es consideren consolidats si no van acompanyats d'un repunt de l'activitat constructora que denoti que el procés de creixement té una base sòlida.

El menor desenvolupament de la construcció en relació amb la major part de les altres indústries quant a conceptes operatius, tecnologies i seguretat a la feina, es deu al fet que el procés actual de construcció permet retorns molt escassos sobre la inversió en R+DT. El sector sencer ha d'experimentar un canvi radical per a permetre que se superin moltes de les barreres a la innovació existents. La innovació és un element crucial i té un paper central en el desafiament de proporcionar una alta qualitat a preus competitiu per tal de respondre a les expectatives del client i assegurar un desenvolupament sostenible no sols ecològicament i econòmic sinó també socialment i cultural.

El recolzament i estímul de la R+DT i l'aplicació de noves tecnologies, particularment en indústries tradicionals com ara la construcció, ha estat i continua sent un objectiu essencial dels programes de política científica i tècnica, passats i presents, tot i que en general no s'ha incidit en els factors externs, que hi tenen una gran influència (en especial, els sistemes de contractació d'obres públiques i els ajuts fiscals a les empreses per a aquesta activitat).

En conjunt, el sector no està prou desenvolupat quant a conceptes operatius, processos i tecnologies i presenta un elevat grau d'atomització (el 98,53 % són petites empreses). L'existència

d'aquestes petites empreses és una conseqüència directa de l'elevat nivell de subcontractació per a la realització de determinades activitats. Tot i que el mercat és dominat per grans empreses, hi ha moltes PIME al voltant de l'activitat d'aquestes que generen una part important de la producció i l'ocupació. Les empreses més grans han vist una evolució tecnològica ràpida en mètodes, materials i maquinària de construcció, però amb un tipus baix de reemplaçament (el 2 % per als edificis). Gran part de l'activitat de construcció implica reparació, manteniment i renovació de les estructures existents, per a les quals es continuen utilitzant les tècniques establertes, ajudades, sols fins a cert punt, per les eines i materials moderns.

A Europa, al voltant de quaranta-cinc empreses tenen un volum de vendes que excedeix els 1.000 milions d'euros, i les més grans posseeixen menys del 5 % del seu mercat nacional de construcció. Val a dir que, dins les vint primeres constructores europees, n'hi figuren dues d'espanyoles en els llocs 16 i 17. El mercat principal és el sector nacional, tot i que va havent-hi un increment acusat de l'activitat a l'exterior, amb increments de facturació per aquest concepte del 40 i el 16 % el 1997 i el 1998, respectivament. El repartiment per mercats de les empreses espanyoles és el següent: Amèrica Llatina (40 %), Europa (37 %), Àsia (11 %), Àfrica (9,5 %) i Orient Mitjà (2,5 %). L'efecte multiplicador del sector exterior sobre el PIB és 1,34. La demanda del sector públic en el sector de la construcció és considerable, aproximadament el 23 % de la inversió. És convenient aclarir en aquest punt que la major part d'aquesta inversió pública va destinada a obra civil, ja que l'edificació està més vinculada al sector privat (Aguado i Cancela, 1999).

Ara bé, el sector (CCE, 1997; COTEC, 1997) té unes característiques específiques que el diferencien d'altres sectors, cosa que repercuteix en un baix nivell d'innovació, processos que generen gran volum de residus, baixos rendiments energètics, alta sinistralitat laboral, etc., que han de ser objecte d'estudi per a millorar-los, ja que finalment incideixen de manera activa o passiva en els ciutadans. Les despeses en innovació se solen dedicar a R+D desenvolupat per les mateixes empreses, tot i que una part considerable es dedica a l'adquisició d'equipament, tecnologia externa i enginyeria.

Per altra banda, a Catalunya el sector de la construcció té registrades unes 22.500 empreses i, a pesar de moure anualment la quantitat d'un bilió de pessetes (aproximadament el 10 % del PIB), no té la tendència (la cultura) d'invertir en recerca. És un sector molt més preocupat per l'evolució de l'economia, pels problemes de finançament o per la demora en els pagaments del deute públic que no pas per la resolució de les múltiples anomalies que presenta l'edificació actual i que, per manca d'estudi i de voluntat d'aplicació de les troballes aconseguides en aquesta recerca, tenim implantades freqüentment en els nostres edificis.

El resultat d'aquesta situació és que la recerca en temes de construcció difícilment aconseguix prou finançament per a desenvolupar grans línies de treball. La recerca en aquest àmbit s'ha de desenvolupar a còpia de petites aportacions i molta voluntat dels investigadors (universitaris i d'alguns instituts), la qual cosa penalitza els plantejaments —els fa massa migrats— i, evidentment, els resultats.

De la importància del sector de la construcció als països europeus, n'han pres clara consciència els diferents organismes que tenen responsabilitats sobre el tema: la Unió Europea, el Govern espanyol i el Govern català, els quals en el V Programa Marc (1999-2002), IV Programes Marc de R+D (2000-2003) i el II Pla de Recerca de Catalunya (1997-2000), respectivament, han inclòs programes o àrees sectorials d'aquest àmbit. Això és important, però el més representatiu és que en alguns aquesta àrea s'introdueix per primera vegada en els programes.

Així, en el V Programa Marc de R+D de la Comissió Europea es presenta com a acció clau la titulada «La ciutat del demà i el patrimoni cultural», mentre que en el Pla Nacional de Recerca Científica, Desenvolupament i Innovació Tecnològica (2000-2003) s'inclou l'àrea sectorial de construcció i conservació del patrimoni històric cultural. Per acabar, en el II Pla de Recerca de Catalunya (1997-2000), s'inclouen com a línies de recerca prioritzades l'àrea temàtica d'ordenació territorial, tecnologia d'obres públiques i de la construcció. Aquests programes representen una oportunitat de potenciar els temes de R+DT en l'àmbit de l'enginyeria civil i l'enginyeria de la construcció. D'aquesta manera, es pretén fer participar molts més subjectes dels que actualment hi estan implicats, intentar canviar la tendència actual i contribuir a crear una nova cultura empresarial en relació amb la R+DT.

1.5. Metodologia de treball

Per dur a terme aquesta feina, el grup s'ha reunit moltes vegades i ha hagut de consultar altres grups externs. Les dades que s'han disposat són de diferent tipus. Així, les dades corresponents a articles en revistes indexades han estat aportades per l'IEC, mentre que altres de més específiques relatives a la Universitat Politècnica (UPC) les ha aportades l'Oficina de Programació Tècnica o el Centre de Transferència de Tecnologia de la universitat esmentada. Quant als fons de transferència de tecnologia amb el món empresarial, cada institució consultada ha aportat els corresponents a aquesta.

A fi de mantenir un rigor en tota la feina s'han procurat fer servir les fonts i estructures externes contrastades en tot el document, sense manipulació posterior per part del grup, que ha fet l'anàlisi dels resultats obtinguts. Això ha requerit una fase inicial important de definició dels àmbits i la metodologia, que, juntament amb l'anàlisi, condueixen a uns resultats que es presenten com a molt fiables, tot i que pot haver-hi petits errors aliens a la voluntat del grup.

D'altra banda, l'estructuració realitzada, amb la concreció de cada font, grup de treball, etc., afavoreix el caràcter repetitiu d'aquesta mateix treball més endavant, cosa que és voluntat de l'IEC, així com el desenvolupament d'aquest tipus de treball en un altre àmbit territorial. Un altre factor considerat, pel que fa a la producció de tipus científic, és la utilització com a factor de comparació de revistes indexades en el *Journal Citation Report*. Amb això es pretén mostrar a la comunitat científica d'altres àrees temàtiques la situació d'aquesta àrea amb paràmetres de qualitat coneguts per aquesta i que la quantificació que es fa serveixi per a una millor comprensió.

2. Descripció de l'àmbit

2.1. Aspectes generals

Una definició unànimement acceptada del que constitueix l'àrea de l'enginyeria civil i l'enginyeria de la construcció no existeix, a part que és evolutiva, tal com s'ha mostrat amb anterioritat. No obstant això, es pot fer una interpretació àmplia del sector de la construcció d'acord amb la Comissió de les Comunitats Europees (1997) que inclou:

[...] l'habitatge, els edificis no residencials, l'enginyeria civil i la construcció industrial. A més, té en compte tota la cadena de subministrament, des de les matèries primeres bàsiques fins als productes i sistemes més complexos. Així mateix, el procés de construcció inclou totes les fases, des de la concepció inicial, passant per estudis de viabilitat, disseny, execució dels treballs i manteniment fins a la demolició (inclosos la recuperació i el reciclatge de materials i la incineració i eliminació de residus).

Idealment, la pretensió dels *Reports de la recerca a Catalunya* és cobrir-la de manera que la divisió temàtica respongui al sentit escolàstic de la classificació: exhaustiva —el conjunt dels reports ha de cobrir tota la recerca que es fa a Catalunya— i exclusiva —s'haurien d'evitar les superposicions excessives. La naturalesa interdisciplinària de la recerca actual fa que això sigui difícil en ciències i resulti gairebé impossible en enginyeria. En el cas de les enginyeries «antigues» (civil, industrial, agrícola) la situació es complica perquè el seu àmbit de treball ha anat evolucionant amb el temps, de manera que a les funcions «clàssiques» se n'afegeixen de noves, normalment compartides amb persones d'altres especialitats.

En aquest context, l'objectiu d'aquest capítol és definir cadascuna de les subàrees en què s'ha estructurat el sector fent una breu descripció de les línies prioritàries en la recerca mundial, del que es fa a Catalunya i del que s'ha inclòs en l'àmbit del treball. L'estructuració d'aquestes subàrees permet reagrupaments amb altres paràmetres com ara: àrees de coneixement del Ministeri d'Educació i Cultura, àmbits del *Journal Citation Report*, etc.

2.2. Definició de subàrees

Prenent com a punt de partida l'accepció de l'àrea plantejada per la Comissió de les Comunitats Europees abans esmentada, les subàrees en què s'ha estructurat el sector són:

- aigua
- construccions arquitectòniques
- enginyeria de la construcció
- enginyeria del terreny
- medi ambient
- mètodes computacionals en enginyeria
- transport i territori.

En l'elaboració de les subàrees s'ha tingut en compte l'estructuració realitzada per l'IEC en relació amb els reports. Així, els temes mediambientals i els de territori que fan referència a l'enginyeria civil s'inclouen en el present report, però no els corresponents a l'àmbit industrial o l'arquitectura, ja que s'entén que aquests els recollirà el report sobre enginyeria industrial i ambiental i el d'arquitectura i urbanisme, respectivament.

En algunes d'aquestes subàrees es fa referència a treballs de diverses universitats de l'àmbit català que poden desenvolupar activitats en camps frontera. No obstant això, el pes principal d'aquesta àrea reposa en la UPC, per la qual cosa s'hi incideix especialment en la quantificació posterior dels diferents factors. L'àmbit de l'enginyeria civil i l'enginyeria de la construcció és molt característic d'una universitat de tipus tècnic, i la UPC és l'única existent amb aquest caràcter a Catalunya.

2.2.1. *Aigua*

Sota aquest epígraf s'inclouen tot un seguit de temes que abasten des de la sociologia i el dret fins a l'enginyeria de l'aigua, la qual, tradicionalment, es divideix en hidrologia, enginyeria hidràulica, enginyeria marítima i tractament i depuració de l'aigua. Per això, és molt difícil de sintetitzar el que es fa a Catalunya, on en conjunt es fa molt. Els grans reptes mundials són assegurar un subministrament d'aigua fiable i prevenir revingudes amb un impacte ambiental mínim. En l'àmbit científic, els problemes que potser reben més atenció són la relació pluja / escolament i els efectes del canvi climàtic.

A Catalunya —en una relació que pot pecar d'incompleta— es fa recerca en hidrologia a la Universitat de Barcelona (UB), a la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) —on s'inclou la Fundació Internacional d'Hidrologia Subterrània (FIHS)—, a la Universitat de Girona (UdG) i a la Universitat de Lleida (UdL), i s'ha participat en temes molt significatius dins l'àmbit de les aigües subterrànies (estudis de Doñana, direcció de l'Institut Geomíner d'Espanya, gestió del llac Txad, etc.); en ecosistemes aquàtics, a la UB; en la relació pluja / escolament, a la UdL, a la UB i al Centre Superior d'Investigacions Científiques (CSIC); en economia de l'aigua, a la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB) i a la UPC, on també es treballa en els aspectes antropològics, socials i històrics; en arrossegament de sòlids, a la UB, a la UPC, a la UdL i al CSIC, i en química de l'aigua, en gairebé totes. Una experiència transversal conjunta en l'àmbit de la gestió d'aigües ha estat la comissió científica per al transvasament del Roine, en què han participat experts de diverses universitats catalanes.

La recerca de l'enginyeria de l'aigua, dins l'àmbit de l'enginyeria civil a la UPC, se centra en relació amb la hidrologia superficial i l'enginyeria hidràulica en la formació de riuades en conques mediterrànies, en la caracterització de les pluges intenses i en l'anàlisi de la transformació pluja / escolament (en particular, el radar meteorològic i la hidrologia urbana) i en l'estudi del moviment variable en canals hidroelèctrics i de regadiu, orientat fonamentalment a la seva explotació. També és objecte d'estudi el disseny hidràulic, el comportament i el manteniment de les xarxes de grans collectors per al drenatge de les aigües de pluja en el medi urbà, dels elements de desguàs en grans preses. Part d'aquests estudis han estat realitzats amb models a escala reduïda (on es poden destacar la participació en els projectes del desviament del Llobregat, els collectors de la Vila Olímpica o les comportes de la presa Camachí). Així mateix s'estudien els fenòmens de transport

en lleres naturals (característiques no unidimensionals, propagació d'avingudes, transport sòlid, transport de contaminants) i l'impacte de les infraestructures en la xarxa de drenatge natural i les mesures correctores associades.

Actualment la investigació en enginyeria marítima se centra en el desenvolupament d'eines predictives i de simulació que permetin ser transferides amb facilitat als agents econòmics que operen al mercat. Els productors de tecnologia, representats pels laboratoris privats, i fonamentalment per les universitats, centren les seves investigacions a conèixer amb major profunditat el funcionament del medi físic marí (aigua i sediment) i en el seu impacte en les activitats socioeconòmiques que s'hi desenvolupen. En l'àmbit català hi ha dues instal·lacions experimentals significatives a Europroject i al Laboratori d'Enginyeria Marítima de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona (UPC). Aquest, conjuntament amb el Centre Internacional d'Investigació dels Recursos Costaners (CIIRC) i membres de la UB, treballa per desenvolupar el coneixement de la hidrodinàmica costanera i oceànica, la morfodinàmica costanera i la qualitat del medi ambient marí, de manera que es permeti el desenvolupament de conceptes i eines d'utilitat per al millor funcionament de les administracions amb responsabilitat en el medi ambient costaner i de les empreses que duen a terme la seva activitat en aquesta zona del territori, tan vulnerable i de tanta vàlua per a la societat.

2.2.2. *Construccions arquitectòniques*

En aquest epígraf s'inclouen les activitats relatives a la construcció d'edificis de l'entorn de l'arquitectura, en què hi ha poca cultura d'inversió en recerca, tant en l'àmbit internacional com en el nacional, com a conseqüència d'un mercat molt fragmentat i la implicació de nombroses empreses, si bé, en general, PIME. La recerca en edificació presenta una relació quasi directa amb els ciutadans ja que, sovint, cal interpretar o, fins i tot, anticipar-se a problemes que, en estar relacionats amb quelcom tan important com és l'habitatge, solen ser motiu de preocupacions socials greus.

Abans no aparegués el problema de l'aluminosi, ja se sabia que era una qüestió que estava a punt d'esclatar. Malauradament, fou molt difícil prendre mesures radicals quan el substrat social i polític no en tenia mostres feaents, però, almenys, una vegada presentat el problema, es va poder tenir una resposta ràpida (d'informació, de mitjans de reparació, etc.) per part de les institucions dedicades a la recerca en edificació. La recerca permanent sobre aspectes de durabilitat ha permès de fer front a qüestions que, tot i ser endèmiques, han passat per èpoques de vertadera crisi i han produït l'alarma social consegüent, com és el cas de la caiguda d'elements de façanes (revestiments, vores de balcons, balcons sencers, etc.).

La resposta als sismes de les nostres construccions (sobretot les antigues) serà un proper camp de treball ja que, tal com estan demostrant els terratrèmols més recents, a prop dels contactes entre plaques no hi ha zones que puguin ser considerades de sismicitat negligible i els investigadors de la construcció es comencen a preguntar quina seria la resposta d'una ordenació en illa de conjunts d'estructures de parets de maó o la resposta com a vies d'evacuació de les escales de «volta a la catalana», per exemple.

Pot ser que l'activitat més social de les relacionades amb el fet de construir sigui la de la preocupació mediambiental; la de la preocupació perquè la indústria de la construcció pugui con-

tinuar desenvolupant-se a partir de paràmetres de sostenibilitat. En aquest camp, la recerca va molt per davant del cos legislatiu i molt per davant de la sensibilització dels actors i dels usuaris. La missió principal d'aquest important camp de la recerca va avui en el sentit de motivar constructors i usuaris per aconseguir reduir la despesa energètica i la quantitat de residus que genera el sector.

A Catalunya, les línies de recerca de les escoles d'arquitectura de la UPC són: arquitectura, energia i serveis, intervenció en el patrimoni construït, desenvolupament de sistemes tècnics i materials, política del sòl i valoracions, mentre que a l'Institut Tecnològic d'Edificació de Catalunya (ITEC) són: patologia de la construcció, noves exigències, estudis de la construcció patrimonial, manteniment d'edificis, medi ambient i construcció, grans càrregues (sismologia), gestió de l'obra, estudi i manteniment de bancs de dades de la construcció.

2.2.3. *Enginyeria de la construcció*

La recerca realitzada en aquest àmbit està en línia amb les tres accions estratègiques marcades en el IV Programa Nacional (2000-2003) relatives a: noves tecnologies i sistemes constructius, manteniment i avaluació de l'estat d'obres i edificis, conservació de béns immobles i rehabilitació del patrimoni. El plantejament innovador de la recerca que es desenvolupa en l'entorn és la concepció integrada de tot el procés i fa èmfasi en les interfases, per tal d'assolir construccions respectuoses amb l'entorn (en totes les etapes) i que satisfacin les necessitats dels usuaris dins el cicle de vida de la construcció i en què s'optimitzin els recursos utilitzats així com l'energia de tot el procés.

L'articulació de la recerca es fa a través de tres grans àrees: tecnologia d'estructures, materials de construcció i construccions industrials. L'entorn de la tecnologia d'estructures té una àmplia tradició en temes de recerca i desenvolupament en el camp d'estructures i materials d'enginyeria civil i edificació. L'objectiu és dissenyar alternatives tipològiques que siguin concordes amb els plantejaments de sostenibilitat, així com avaluar i experimentar amb estructures, tant de nova planta com en servei, per a arribar així, fins i tot, a construccions històriques.

La recerca s'enfoca també cap als sistemes constructius encaminats a assolir un major aprofitament energètic i cap a una reducció de residus, temps i costos en el procés, així com al disseny i fabricació de components prefabricats de nivell mitjà integrables en els diversos subsistemes i als mètodes de posada en obra. S'estudien els materials que componen aquestes estructures, si bé des del vessant estructural, i es tracten tant els materials més convencionals de construcció com les noves tendències en aquest camp. En aquests estudis s'utilitzen diverses metodologies que comprenen des dels mètodes numèrics als assaigs en el laboratori, tant des de la proveta com des de l'estructura (s'arriba fins a l'escala real 1:1).

El Grup de Materials de Construcció té una experiència de més de vint anys en l'estudi de la utilització de residus i subproductes en la construcció. La seva activitat s'estén des de la inertització a l'avaluació experimental d'impactes i modelització de comportaments, passant per les modificacions i adaptacions de les pràctiques constructives. Actualment s'ocupa de la inertització i reutilització de llots de depuradores, escòries d'acereria i escòries d'incineració en tots els camps de l'enginyeria civil. També s'ocupa dels sistemes d'avaluació de l'impacte per lixiviació i la durabilitat davant distintes accions del medi. La durabilitat i la utilització sostenibles de materials convencionals com el formigó, el guix i els seus additius i addicions constitueixen el segon camp d'activitat del grup.

L'àrea de construccions industrials fonamenta la seva recerca en el desenvolupament de la tecnologia oportuna per a aconseguir la implantació de les activitats industrials d'una manera racional que doni lloc a indústries competitives i no ofensives per a l'entorn. Per això s'experimenta en la mesura dels indicadors de sostenibilitat aplicats a l'àmbit de l'ordenació del territori i en la implantació de construccions per activitats econòmiques i industrials. Es treballa en la recerca de processos, formes i solucions constructives que, per la via del disseny i la gestió, siguin menys agressius per al medi ambient, afavoreixin la implantació de l'activitat productiva i siguin, per tant, més competitius.

Les activitats de recerca dins aquesta àrea (enginyeria de la construcció) es desenvolupen principalment en l'entorn del departament del mateix nom de la UPC. Aquest entorn no sols manté un nivell d'excel·lència en temes de recerca, sinó que també actua de motor del món empresarial, ja que fa nombroses col·laboracions de R+D d'alt nivell, amb forta incidència social. A tall d'exemple, cal citar els treballs realitzats per a la construcció de la presa de la Llosa del Cavall o per a l'anàlisi de la sostenibilitat del Pla Territorial Metropolità de Barcelona.

Dins aquest entorn també es fan treballs a l'ITEC, el Grup R+D del Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics, l'Institut Ildefons Cerdà i el Laboratori General d'Assaigs i Instrumentació (LGAI), tot i que majoritàriament en el vessant del desenvolupament.

2.2.4. *Enginyeria del terreny*

La recerca de l'àrea d'enginyeria del terreny del Departament d'Enginyeria del Terreny i Cartogràfica es pot agrupar al voltant de les àrees de geomecànica, geologia aplicada, hidrogeologia, sismologia i topografia.

El Grup de Geomecànica desenvolupa una gran activitat en termes de projectes de recerca i publicacions indexades al *Journal Citation Report* en els camps dels sòls no saturats i expansius (assaigs de laboratori i models), problemes acoblats THMC, models constitutius de plasticitat i dany, mecànica de fractura, comportament d'esquerdes i interfases, problemes inversos en geotècnia i anàlisi numèrica associada a tots aquests models pel mètode dels elements finits. Aquests desenvolupaments, sostinguts per diversos projectes de recerca d'abast nacional (Direcció General d'Investigació Científica i Tècnica, etc.), s'han aplicat, entre altres, a problemes d'emmagatzemament de residus radioactius mitjançant barreres d'argila i de sal (projectes europeus del III i IV Programa Marc com ara BAMBUS, FEBEX, GASBEN, BBDB, CATSIUS CLAY, etc.), construcció, excavació i patologies de preses de formigó i roca, túnels, etc. Recentment, també s'han iniciat aplicacions novedoses com l'anàlisi numèrica microestructural de formigó i d'ossos porosos.

El Grup de Geologia Aplicada treballa fonamentalment en la cartografia i avaluació de riscos naturals, sobretot d'esllavissades. Es treballa en diverses línies: modelització numèrica d'esllavissades, cartografia de susceptibilitat i perillositat del terreny mitjançant sistemes d'informació geogràfica (SIG), i determinació de l'activitat de les esllavissades i la seva relació amb el clima i els seus canvis. Aquests treballs han estat subvencionats per diversos projectes dins el III i IV Programa Marc Europeu, per la Comissió Interministerial de Ciència i Tecnologia i per diversos convenis amb administracions (Generalitat de Catalunya i Govern d'Andorra).

El Grup d'Hidrogeologia és actiu tant en recerca fonamental com aplicada. Es treballa en la hidrogeològica, la conservació de zones humides, el problema de l'estimació de paràmetres

(problema invers), la hidrogeologia de mitjans de baixa permeabilitat, la hidrogeologia estocàstica, la hidrogeologia urbana i el transport de contaminants amb la incorporació de reaccions químiques. El grup ha col·laborat amb diverses institucions i empreses: ENRESA, ITGE, Ajuntament de Barcelona, Àrea Metropolitana de Barcelona, Junta d'Aigües, etc. Com a aplicacions singulars es troben la hidrogeologia de Doñana, l'abocament d'Aznalcóllar, l'emmagatzemament de residus radioactius i perillosos (Oklo, Palmottu), la rehabilitació de mines d'urani (FUA, Rationes), els estudis d'impacte ambiental (desviament del Llobregat, ampliació de l'aeroport de Barcelona), la modelització hidrogeològica de Barcelona, etc. Des de fa més d'un any el Grup d'Hidrogeologia és una entitat associada al CSIC.

Finalment, el Grup de Topografia treballa en l'aplicació de la fotogrametria terrestre al control dimensional i de deformacions en monuments i edificis, i en l'aplicació del sistema de posicionament per satèl·lit (GPS) a la topografia de precisió en zones humides i al control de desplaçaments de vessants inestables. Disposa d'un laboratori de topografia i és un motor important de l'Institut de Geomàtica, creat recentment.

2.2.5. *Medi ambient*

La tendència mundial suposa l'horitzontalització dels aspectes ambientals de totes les activitats d'enginyeria; és a dir, la preocupació per l'impacte ambiental ha de ser present en la planificació, gestió, projecte, execució i seguiment de totes les actuacions d'enginyeria. Per això, tot i que l'àmbit del medi ambient és objecte d'un altre report de recerca, s'han inclòs dins aquest apartat els aspectes que tradicionalment han estat objecte de l'enginyeria civil (depuració i tractament d'aigües i gestió de residus), així com altres que els darrers anys han començat a afectar la resta d'activitats d'enginyeria civil i edificació (anàlisi del cicle de vida, reutilització, etc.).

En aquest context, la recerca mundial va evolucionant cap a la protecció ambiental, la qual cosa implica la necessitat de conèixer millor els ecosistemes, la reutilització, el reciclatge... —això ha conduït a un èmfasi en els procediments d'aprofitament dels materials de construcció, sobretot dels que generen un volum més gran de residus— i una visió global, aspecte que ha donat empenya als mètodes d'anàlisi del cicle de vida i ha fet replantejar la manera d'estudiar algunes de les grans obres públiques. En l'àmbit de l'enginyeria sanitària, les tendències mundials apunten cap a la gestió (utilitzar abans d'embrutar), la tecnologia de membranes (per tal de reduir la salinitat), la microbiologia (sistemes biològics de tractament d'aigües) i els microcontaminants (identificació i eliminació de contaminants altament tòxics en concentracions petites).

A Catalunya, dins l'àmbit de l'enginyeria civil i l'enginyeria de la construcció, i deixant de banda els aspectes industrials, es fa recerca en la majoria d'aquests temes. Hi ha molts grups treballant en depuració d'aigües residuals: a la UPC (INTEXTER, Departament de Projectes), a la UAB (Departament d'Enginyeria Química), a la UB (Departament d'Edafologia), UdG, etc. Tot i així, és simptomàtica la manca d'activitat en tecnologia de membranes. L'activitat és molt més baixa en el camp de tractament d'aigües potables, on el catalitzador i executor de la majoria de recerca és Aigües de Barcelona. Es fa una mica de recerca en conductes (creixement de biofilm i virologia) i en residus, especialment pel que fa als purins (UdL).

Quant a aquest tema, la recerca duta a terme pels investigadors de l'àrea de l'enginyeria civil i l'enginyeria de la construcció se centra en la reutilització tant d'aigua com de residus (especial-

ment els associats a la construcció) i la restauració d'espais contaminats, especialment pel que fa a sòls i aigües.

Com a participació en projectes singulars es poden esmentar els treballs de reutilització a la Costa Brava o en les aigües subterrànies de Barcelona. Els investigadors de l'àrea han tingut un protagonisme destacat a Aznalcóllar. El grup internacional de reutilització d'aigües i l'Institut Geogràfic Nacional els dirigeixen investigadors de l'àrea de l'enginyeria civil i l'enginyeria de la construcció.

2.2.6. *Mètodes computacionals en enginyeria*

L'àmbit de mètodes computacionals en enginyeria abasta les àrees de coneixement de mecànica de medis continus, teoria d'estructures i matemàtica aplicada. Dins la UPC, treballen en aquest camp el Departament de Resistència de Materials i Estructures en l'Enginyeria i el Laboratori de Càlcul Numèric (LACAN) del Departament de Matemàtica Aplicada III.

Les línies de recerca relacionades amb aquesta àrea de coneixement abasten, generalment, tots els temes relacionats amb l'anàlisi de la deformació i el comportament resistent de medis continus sòlids. És molt interessant remarcar que molts dels mètodes de càlcul desenvolupats per a una d'aquestes aplicacions són fàcilment extensibles a la resolució de problemes en un altre camp. Així, gran part de les tècniques emprades per a l'anàlisi no lineal d'estructures són aplicables a l'estudi de processos de fabricació per deformació. Això s'ha traduït en el fet que en el marc d'aquesta àrea de coneixement s'hagi desenvolupat un gran nombre de línies de recerca que cobreixen un camp molt ampli d'aplicacions pràctiques que van des del disseny i anàlisi d'estructures en enginyeria civil, industrial i edificación, fins al desenvolupament de mètodes de càlcul per a l'estudi amb ajut de l'ordinador de processos industrials de fabricació de peces per deformació, com ara la conformació en fred o en calent, l'embotició de xapa, la forja, la fundició, etc. Un ampli conjunt de les activitats de R+D dins l'àrea de coneixement es podrien englobar en l'àmbit popularment més conegut com a enginyeria assistida per ordinador per a anàlisi i disseny de productes (estructures, peces mecàniques, etc.) i processos (construcció, fabricació, etc.).

A Catalunya es duen a terme línies de recerca activa en la majoria d'aquests temes, fonamentalment en l'entorn de la UPC (Departament de Resistència de Materials i Estructures en Enginyeria, Centre Internacional de Mètodes Numèrics en Enginyeria, Centre CIM), així com en alguns centres tecnològics (Associació Catalana d'Empreses de Molles i Matrius —ASCAMM— i Institut d'Investigació Aplicada de l'Automòbil —IDIADA—) i en diverses empreses relacionades amb el món del disseny i construcció d'estructures i el de processos industrials de fabricació.

El LACAN emmarca la seva activitat en el camp dels mètodes numèrics en ciències aplicades i enginyeria (l'equivalent a l'anglès *Computer methods in applied sciences and engineering*). Amb aquest nom es pretén emfatitzar un doble vessant: 1) el desenvolupament, l'anàlisi i la implementació de noves tècniques numèriques, i 2) la seva aplicació a la resolució de diversos problemes de ciència i enginyeria.

Per la seva producció científica (articles en revistes i participació en congressos), actualment el LACAN constitueix un referent internacional, en especial pel que fa a la qualitat dels càlculs i la fiabilitat dels resultats. Més concretament, el LACAN té en aquest moment una posició de lideratge en temes d'adaptabilitat. A més a més, manté contactes amb els principals grups inter-

nacionals de recerca en mecànica computacional. Aquest fet queda reflectit en el flux de professors visitants.

Pel que fa a les aplicacions, cal destacar les de l'àmbit de l'enginyeria civil i del medi ambient. Poden citar-se, a tall d'exemple, els següents temes: tractament de residus semisòlids de la mineria (disseny i predicció de la vida útil de les basses d'emmagatzematge, anàlisi del trencament de preses de retenció, simulació de colades), seguretat en centrals nuclears (piscines d'emmagatzematge, dipòsits soterrats de residus nuclears), enginyeria marítima (disseny d'esmoreïdors d'ones semisubmergits, transport de contaminants, propagació d'ones en ports, optimització de vaixells de recollida de residus), edificació (optimització d'estructures lleugeres d'acer galvanitzat), sector de l'automoció (simulació numèrica del funcionament i optimització de filtres de carbó actiu), etc.

2.2.7. *Transport i territori*

Aquest àmbit abasta la planificació, el disseny, la construcció i l'operació d'infraestructures i modes de transport, així com la seva interacció amb el territori. Expressament es deixa de banda l'urbanisme, que és tractat en el monogràfic de l'IEC sobre arquitectura i urbanisme.

Dins la UPC, l'àrea de coneixement pròpia del transport és la d'enginyeria i infraestructura del transport, que es troba al Departament d'Infraestructura del Transport i Territori (línies de recerca «Modelització i anàlisi de sistemes de transport», «Planificació, construcció i explotació de carreteres» i «Planificació i gestió d'infraestructures ferroviàries») i al d'Enginyeria Mecànica de la UPC (línia de recerca «Enginyeria i explotació del transport»). Al Departament d'Estadística i Investigació Operativa (línia de recerca «Optimització i simulació de fluxos en xarxes», on es toca la simulació del trànsit), al de Ciència i Enginyeria Nàutiques (línia de recerca «Seguretat del transport i activitats marítimes») i al d'Organització d'Empreses (línia de recerca «Organització industrial», on es toca la logística industrial) també hi ha grups de recerca en transport.

Dins també de l'àmbit universitari català es fa recerca en transport a la UB (legislació, geografia i economia del transport), la UAB (legislació i economia del transport) i la Universitat Pompeu Fabra (teoria de localització i economia del transport). La recerca en l'àmbit empresarial i en l'Administració no és bàsica ni estable ni es publica habitualment, però concretament s'han fet projectes innovadors a Ferrocarrils de la Generalitat de Catalunya (seguiment de les unitats mòbils via GPS, sistema expert d'assignació de recursos de taller), a Transports Metropolitans de Barcelona (assignació de conductors a vehicles i rutes, sistema expert per al control de la flota d'autobusos, modelització de la xarxa d'autobusos i de metro), a l'Autoritat Portuària de Barcelona (intercanvi electrònic de dades), a l'Aeroport de Barcelona (sistema expert d'assignació de recursos aeroportuaris), a la Direcció General de Ports i Transports (servei de bitllets informatitzat per al pagament del transport públic i transport a la demanda), a l'Entitat Metropolitana del Transport (intercanviadors de transport públic i incorporació de la qualitat en els contractes de transport públic), a l'Ajuntament de Barcelona (diversos projectes europeus que donen suport institucional a Barcelona Tecnologia, SA) i a la Direcció General de Trànsit (control de rampes a les rondes i senyalització variable als accessos a Barcelona). Algunes empreses consultores com TSS, ALG, BTS, MCRIT i INTRA fan recerca aplicada en alguns projectes.

Malgrat que els tractats romans ja feien referència als problemes de congestió, accidents i soroll de persones i carros, la recerca en operacions de transport data d'aquest segle i més concretament de la Segona Guerra Mundial, punt de naixement de les disciplines que constitueixen la investigació d'operacions. La recerca en elements infraestructurals, superestructurals i material mòbil data de fa uns dos segles, però no és específica del transport sinó que s'hi apliquen els avançaments i coneixements d'altres disciplines com ara la geotècnia, les estructures, els motors i els circuits elèctrics, l'enginyeria mecànica, l'aerodinàmica, etc.

Un cop estandarditzats els procediments constructius en el disseny d'infraestructures i vehicles, l'interès mundial s'ha centrat en la comprensió del comportament de la demanda de transport (començà a la dècada dels anys seixanta i es consolidà a final de la dècada dels anys setanta; recentment s'ha tornat a reprendre sense aparents desenvolupaments conceptuals rellevants) i en l'optimització de les operacions (dècada dels anys vuitanta, amb la logística i l'optimització dels serveis de viatgers). Mentre que el primer manual de capacitat de carreteres que incorpora conceptes de qualitat com el nivell de servei data de 1965 (als Estats Units), la dècada actual ha vist una revisió dels conceptes bàsics de comportament del trànsit i una gran proliferació de tecnologies encaminades a la gestió intel·ligent del trànsit (sistema intel·ligent de transport —ITS—).

La mentalitat anglosaxona, pràctica i sense tants condicionants històrics o corporatius com la del sud d'Europa, va ser la primera d'incorporar el transport en els seus plans d'estudis i ha arribat a impartir titulacions pròpies d'enginyer de transport. La incorporació d'economistes va permetre la visió global necessària per a l'anàlisi d'un sistema de transport. La recerca bàsica en transport ha estat monopolitzada pels Estats Units (sovint realitzada per investigadors no nord-americans), fins que, des de fa pràcticament un decenni, Europa, el Japó i algun altre país també hi tenen coses a dir.

A Catalunya es fa recerca en molts dels temes esmentats com ara la demanda de transport, la logística, la investigació operativa aplicada al transport, els paviments de carreteres, les infraestructures ferroviàries i les tecnologies de la informació aplicades al transport. La plasmació escrita de la recerca és desigual i es troba més sovint en forma d'actes de congressos nacionals i internacionals que no pas en forma d'articles a revistes indexades. Tot i així, les contribucions esporàdiques a revistes indexades proporcionen una presència internacional relativament notable en el darrer decenni.

Dins l'entorn de la UPC destaquen l'IDIADA en el món de l'automòbil i el Grup d'Estadística i Investigació Operativa en el desenvolupament de programari de simulació del trànsit, que, vist l'èxit comercial obtingut, ha comportat la creació de l'empresa privada TSS com a *spin-off* de la universitat. Es fa recerca abundant en el disseny i comportament de paviments en el Laboratori de Camins (Premi ESPAS 1990, Premi Ciutat de Barcelona 1991, Premi de Tecnologia de la Generalitat de Catalunya 1993), recerca que ha donat lloc a tres patents notables i a mètodes d'anàlisi emprats, en diversos països, en aspectes de les implicacions del ferrocarril d'alta velocitat (efectes del transport de mercaderies, paràmetres de disseny de traçat, previsió de penetracions de mercat, premi europeu a la planificació per al projecte de tren d'alta velocitat Barcelona-frontera francesa 1991) i en la modelització de sistemes de transport (Laboratori d'Anàlisi i Modelització del Transport —LAMOT—): logística (optimització de rutes de vehicles, Premi a la Innovació Tecnològica de la CIRIT 1995), transport públic (disseny de xarxes, sistemes tarifaris, incorporació de qualitat, primer premi en el concurs internacional d'idees per al tramvia de la Diagonal de Barcelona 1993), aeroports (forma de les terminals, gestió d'equi-

patge, accessos, premi de l'American Society of Civil Engineers al millor article en transport aeri l'any 1988), gestió del trànsit via tarifa i mobilitat sostenible (peatges a les autopistes de Catalunya, vianants, bicicletes, seguretat viària, etc.).

L'àrea de coneixement pròpia del territori és la d'urbanisme i ordenació del territori, que es troba als departaments d'Infraestructura del Transport i Territori (línia de recerca «Planificació metropolitana i regional») i d'Ordenació del Territori i Urbanisme de la UPC (línies de recerca «Anàlisi urbana», «Projectació urbana» i «Anàlisi i ordenació territorial», si només s'agafa una mostra coherent i propera a la perspectiva de l'enginyeria civil).

La recerca més rellevant i recent pel que fa al territori desenvolupada a la UPC (sense considerar la del Departament d'Ordenació del Territori i Urbanisme per tal d'evitar redundàncies) es relaciona amb la història dels ports esportius i la qualitat de les platges (Laboratori d'Estudis Socials a l'Enginyeria Civil —LESEC—), l'exposició internacional itinerant sobre Ildefons Cerdà (1993-1996), el projecte de navegació del marge dret de l'Ebre (1995), la recuperació del patrimoni construït (Centre Internacional per a l'Estudi del Patrimoni Construït —CIEPAC—), les variants en poblacions mitjanes, estàndards i nivells d'urbanització, i l'estudi de l'urbanisme de les xarxes. L'Institut d'Estudis Territorials, associat a la Universitat Pompeu Fabra (UPF), fa recerca concreta entre tasques de consultoria. Tanmateix, dins els treballs de redacció del Pla Territorial Metropolità, s'han efectuat diversos tipus de recerca, plasmada habitualment en documents interns.

3. Recursos

3.1. Introducció

L'objecte d'aquest capítol és presentar els recursos humans i econòmics que fan possibles la recerca i els resultats que comporta. El plantejament donat tant als recursos com als resultats és selectiu. Amb això es vol il·lustrar que es plantegen els temes per a demostrar una hipòtesi, no pas fent un estudi que cobreixi tota la matriu de temes i subjectes, ja que no és possible disposar de tota la informació amb el grau de fiabilitat requerit *a priori*.

Per a facilitar la concreció desitjable en la definició de l'àmbit d'actuació, es fa la revisió a través de les àrees de coneixement que hi ha al Ministeri d'Educació i Cultura i que s'entenen que s'integren totalment dins l'àmbit, així com d'altres àrees que poden constituir fronteres difuses, que amb l'afany de no excloure també s'expliciten.

A la taula 1 es mostren les àrees de coneixement incloses en aquest report. S'hi defineix cada àrea amb una P de plena integració o bé amb una F de frontera. Així mateix, s'inclouen les unitats tant públiques com privades en què s'integren els investigadors que duen a terme la recerca en aquestes àrees. D'altra banda, els resultats que es presenten tant en aquest capítol com els següents corresponen a les àrees que s'integren plenament en l'àmbit (P) i pot quedar-ne exclosa alguna activitat realitzada en àrees frontera, que s'han inclòs en altres reports o bé poden quedar excloses pel fet de no ser incorporades en alguna d'aquestes.

Dins els centres públics de caràcter universitari, sols s'han considerat els departaments i centres de la UPC, ja que és la que s'emporta pràcticament el total de l'activitat investigadora. Això no exclou que des del punt de vista docent, principalment, no hi hagi activitats en altres universitats.

Com a institucions amb personalitat jurídica pròpia externes a la UPC que desenvolupen una activitat plena dins l'àmbit i que s'han considerat en l'aportació de dades per elles mateixes, s'han considerat les següents:

- Centre Internacional d'Investigació en Recursos Costaners (CIIRC)
- Centre Internacional de Mètodes Numèrics en Enginyeria (CIMNE)
- Institut Català d'Enginyeria Civil (ICEC)
- Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC)
- Institut Ildefons Cerdà
- Institut Tecnològic d'Edificació de Catalunya (ITEC)
- Grup R+D del Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics
- Laboratori General d'Assaigs i Investigacions (LGAJ).

Així mateix, hi ha altres institucions com ara l'Institut de Materials del Consell Superior d'Investigacions Científiques, l'Institut d'Estudis Territorials (associat a la Universitat Pompeu Fabra), comissions específiques de col·legis professionals i alguna empresa privada que desenvolupen activitats que es troben en camps frontera respecte a l'àmbit aquí recollit o bé són dins el mateix camp (i no s'ha estimat oportú incloure-les per diverses raons: dificultat de l'obtenció de dades, poca activitat en els darrers anys). En qualsevol cas, la seva influència sobre els resultats presentats amb posterioritat és mínima, motiu pel qual s'estima que no distorsionen la fotografia que representa aquest report.

TAULA 1
Àrees del coneixement considerades en aquest report

<i>Núm.</i>	<i>Nom</i>	<i>Tipus</i>	<i>Unitats de la UPC</i>
065	Ciències dels materials i enginyeria metallúrgica	F	Departament de Ciències dels Materials i Enginyeria Metallúrgica
110	Construccions arquitectòniques	P	Departament de Construccions Arquitectòniques
265	Estadística i recerca operativa	F	Departament d'Estadística i Recerca Operativa
385	Física aplicada	F	Departament de Física Aplicada
505	Enginyeria cartogràfica, geodèsica i fotogrametria	F	Enginyeria Minera i Recursos Naturals
510	Enginyeria de la construcció	P	Departament d'Enginyeria de la Construcció
515	Enginyeria de processos de fabricació	F	Enginyeria Mecànica
525	Enginyeria del terreny	P	Departament d'Enginyeria del Terreny
530	Enginyeria i infraestructura del transport	P	Departament d'Infraestructura del Transport i Territori
540	Enginyeria hidràulica	P	Departament d'Enginyeria Hidràulica, Marítima i Ambiental
545	Enginyeria mecànica	F	Departament d'Enginyeria Mecànica
595	Matemàtica aplicada	P	Departament de Matemàtica Aplicada III
710	Prospecció i recerca minera	F	Enginyeria del Terreny i Cartografia
720	Projectes d'enginyeria	F	Departament de Projectes d'Enginyeria
790	Tecnologia del medi ambient	P	Departament d'Enginyeria Hidràulica, Marítima i Ambiental
815	Urbanisme i ordenació del territori	P	Departament d'Infraestructura del Transport i Territori

Així mateix, hi ha altres institucions com ara l'Institut de Materials del Consell Superior d'Investigacions Científiques, l'Institut d'Estudis Territorials (associat a la Universitat Pompeu Fabra), comissions específiques de col·legis professionals i alguna empresa privada que desenvolupen activitats que es troben en camps frontera respecte a l'àmbit aquí recollit o bé són dins el mateix camp (i no s'ha estimat oportú incloure-les per diverses raons: dificultat de l'obtenció de dades, poca activitat en els darrers anys). En qualsevol cas, la seva influència sobre els resultats presentats amb posterioritat és mínima, motiu pel qual s'estima que no distorsionen la fotografia que representa aquest report.

De la relació d'entitats que desenvolupen activitats de R+DT en l'àmbit es dedueix la inexistència d'un centre únic de referència en l'àmbit català. Contràriament, hi ha diferents centres i institucions que duen a terme aquest tipus d'activitat, des de la recerca més bàsica fins a temes de divulgació, des d'un altre punt de vista, des de la recerca més teòrica fins a la més aplicada, fent servir eines tant numèriques com experimentals.

Un altre aspecte a assenyalar i que l'etapa de relació en la recerca d'informació ha posat de manifest és que no hi ha un plantejament conjunt dels nombrosos grups de recerca sobre el paper d'aquesta en la societat, cosa que repercuteix negativament en el pes que el vessant investigador té a la societat catalana.

3.2. Recursos humans

3.2.1. *Distribució per unitats*

Per a fer l'anàlisi dels recursos humans que duen a terme l'activitat investigadora, s'han considerat com a punt de partida contrastable els professors ordinaris de la UPC, que és en la que se centra, principalment, la producció científica. Amb posterioritat, es donen uns altres nombres que sorgeixen d'estimacions i que són subjectes a majors variacions temporals. A la taula 2 es presenten els professors dels departaments l'activitat dels quals s'integra plenament en l'àmbit. S'hi han desglossat per categories i, així mateix, s'hi ha inclòs una columna en què es reflecteix el quocient dels professors amb dedicació parcial respecte als professors amb dedicació plena.

Els professors del Departament de Construccions Arquitectòniques I desenvolupen la seva activitat investigadora, principalment, a les escoles d'arquitectura de Barcelona i del Vallès, mentre que els professors del Departament de Construccions Arquitectòniques II desenvolupen la seva activitat principalment a l'Escola Universitària Politècnica de Barcelona. Els professors dels departaments d'Enginyeria de la Construcció i de Resistència de Materials i Estructures en l'Enginyeria desenvolupen la seva activitat investigadora a l'Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports i a les escoles d'enginyeria industrial de Barcelona i Terrassa. Ara bé, mentre que els del primer departament esmentat s'inclouen a la taula, els del segon dels departaments no s'inclouen pel fet de ser considerats en el report d'enginyeria industrial. Una situació semblant es dona entre els professors que desenvolupen la seva activitat al Departament de Matemàtica Aplicada III, ja que aquí s'han considerat sols els que realitzen la seva activitat a l'Escola d'Enginyers de Camins, Canals i Ports, pel fet d'entendre's que la resta són inclosos en el report de matemàtiques. La resta dels professors que s'inclouen en els depar-

TAULA 2
*Recursos humans de professors a la UPC en l'àrea d'enginyeria civil
i enginyeria de la construcció (curs 1997-1998)*

<i>Codi</i>	<i>Departament</i>	<i>CU</i>	<i>PTU + CEU</i>	<i>PTEU</i>	<i>ASS TC</i>	<i>ASS TP</i>	<i>Ràtio TC / Total</i>	<i>Total PAC</i>
704	Construccions Arquitectòniques I	10	13	8	-	37	46 %	68
705	Construccions Arquitectòniques II		5	23	1	10	75 %	39
706	Enginyeria de la Construcció	7	6	4	5	15	60 %	37
708	Enginyeria del Terreny i Cartogràfica	4	12	2	6	11	69 %	35
711	Enginyeria Hidràulica, Marítima i Ambiental	4	8	1	3	10	62 %	26
722	Infraestructura del Transport i Territori	3	6	2	1	29	29 %	41
727	Matemàtica Aplicada III	3	5	11	2	-	100 %	21
737	Resistència de Materials i Estructures en l'Enginyeria	4	8	-	2	2	88 %	16
Total	Àrea de l'enginyeria civil i l'enginyeria de la construcció	35	63	51	20	114	60 %	283
Total	Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona	25	45	20	19	67	62 %	176
Total	Universitat Politècnica de Catalunya	187	702	458	280	608	73 %	2.235
%	Universitat Politècnica de Catalunya	18,7 %	9 %	11,1 %	7,1 %	18,8 %	-	-

CU: catedràtic d'universitat; PTU: professor titular d'universitat; CEU: catedràtic d'escola universitària; PTEU: professor titular d'escola universitària; ASS: (professor) associat; T: temps complet; TP: temps parcial; PAC: personal acadèmic.

taments de la taula duen a terme la seva activitat a l'esmentada Escola de la Universitat Politècnica de Catalunya.

De la taula citada s'extreu que els vincles professionals hi tenen un bon paper mitjançant els professors associats a temps parcial, amb el manteniment d'un equilibri amb les estructures acadèmiques sòlides, que, en definitiva, són la condició bàsica d'una recerca de qualitat. La gran majoria de professors ordinaris (funcionaris) tenen dedicació exclusiva a la universitat; de fet, només el Departament d'Infraestructura del Transport i Territori i el d'Enginyeria Hidràulica, Marítima i Ambiental tenen algun professor ordinari amb dedicació parcial (2 i 1 respectivament).

El Departament d'Infraestructura del Transport i Territori i el de Construccions Arquitectòniques I destaquen pel fet de tenir més professors a temps parcial que a temps complet. Aquesta composició permet la participació necessària i activa de professionals, però crea una estructura acadèmica més feble i augura una menor productivitat investigadora en revistes indexades d'alt nivell, tal com es posa de manifest en els resultats presentats posteriorment.

D'altra banda, els temps complets solen generar l'associació a l'activitat d'investigadors, becaris i professors visitants, tot i tenir períodes temporals i relacions contractuals menys estables. En qualsevol cas, són figures clau en el desenvolupament de la recerca i es pot estimar que en l'entorn de l'escola esmentada hi ha tres persones d'aquestes característiques per cada professor ordinari a temps complet, cosa que significa una xifra total al voltant de les 400 persones.

L'avaluació del nombre d'investigadors de les institucions amb personalitat jurídica pròpia externes a la UPC esmentades anteriorment i que desenvolupen activitats dins aquest àmbit, és molt més complexa per la dificultat de dissociar moltes vegades les activitats de serveis, de les específiques de recerca i desenvolupament, i la globalitat amb què es disposen, de les dades. Una estimació del nombre total d'investigadors del conjunt d'aquestes institucions es podria dir que és similar al del conjunt de la UPC reflectit a la taula 2, si bé en vessants, fonamentalment, de serveis i activitats de desenvolupament.

Incloent els dos col·lectius, el nombre total d'investigadors de l'àmbit es podria situar en 550 persones, que, en relació amb el total d'investigadors censats a Catalunya (total de 20.000, segons Eurostat, 1993), representa un percentatge del 2,75 %. Els resultats obtinguts amb aquests mitjans, presentats amb posterioritat, són superiors a aquest percentatge, cosa que representa una alta productivitat dels investigadors de l'àmbit.

Els recursos de personal d'administració i serveis (PAS) són, de vegades, igual de crítics per a permetre una recerca de qualitat, en tant que ofereixen un suport adient per a les tasques acadèmiques i de gestió i com a personal de suport a la recerca. La taula 3, relativa a l'àmbit de la UPC, mostra aquests recursos humans i s'hi pot apreciar que l'àrea d'enginyeria civil i enginyeria de la construcció disposa d'una ràtio de PAS administratiu inferior a la mitjana de la UPC respecte al nombre de PAS laboral. A més a més, en aquest cas són valors totals de tot el departament i no es fa un detall per l'àmbit d'estudi.

TAULA 3
*Recursos humans de personal d'administració i serveis a la UPC
 en l'àrea d'enginyeria civil i enginyeria de la construcció (curs 1997-1998)*

<i>Codi</i>	<i>Departament</i>	<i>Administratiu</i>	<i>Laboral</i>	<i>Total PAS</i>
704	Construccions Arquitectòniques I	2	5	7
705	Construccions Arquitectòniques II	1	–	1
706	Enginyeria de la Construcció	3	9	12
708	Enginyeria del Terreny i Cartogràfica	3	5	8
711	Enginyeria Hidràulica, Marítima i Ambiental	2	6	8
722	Infraestructura del Transport i Territori	1	3	4
727	Matemàtica Aplicada III	2	1	3
737	Resistència de Materials i Estructures en l'Enginyeria	2	3	5
Total	Àrea d'enginyeria civil i enginyeria de la construcció	16	32	48
Total	Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona	13	27	40
Total	Universitat Politècnica de Catalunya	104	157	261
%	Universitat Politècnica de Catalunya	40 %	60 %	100 %

3.2.2. *Distribució per edats*

L'edat sol ser un indicador d'activitat de recerca i del tipus d'aquesta. Per això s'ha estimat oportú aprofundir en la distribució d'edats dels investigadors vinculats a l'àmbit dins la UPC. La taula 4 mostra la distribució de l'edat per intervals segons departaments de l'àmbit associats a l'Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports com a unitat de referència, tant per la seva alta productivitat (vegeu els resultats posteriorment) com per la seva joventut.¹ Així

1. El 1999 s'ha celebrat el vint-i-cinquè aniversari de la seva creació, en el curs 1974-1975 (les classes es van iniciar el dia 15 de gener de 1974).

TAULA 4
*Distribució de l'edat dels professors a la UPC en l'entorn de
 l'Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Canals, Camins i Ports de Barcelona
 a l'àrea d'enginyeria civil i enginyeria de la construcció (curs 1997-1998)*

<i>Codi</i>	<i>Departament</i>	<i>Dedicació</i>	<i>Edat mitjana</i>	<i>Menys 30 anys</i>	<i>30-40 anys</i>	<i>40-50 anys</i>	<i>50-60 anys</i>	<i>Més de 60 anys</i>	<i>Total</i>
706	Enginyeria de la Construcció	TC	43,6	1	6	6	4	0	17
		TP	44,8	0	3	3	1	1	8
708	Enginyeria del Terreny i Cartogràfica	TC	40,3	1	9	10	1	0	21
		TP	40,8	0	3	3	0	0	6
711	Enginyeria Hidràulica, Marítima i Ambiental	TC	40,7	0	7	4	2	0	13
		TP	41,8	0	6	3	3	0	12
722	Infraestructura del Transport i Territori	TC	50,6	0	2	3	4	1	10
		TP	46,2	0	9	11	10	1	31
727	Matemàtica Aplicada III	TC	38,1	3	10	10	0	0	23
		TP	27,7	3	0	0	0	0	3
737	Resistència de Materials i Estructures en l'Enginyeria	TC	45,5	0	3	5	3	0	11
		TP	40,3	0	3	0	0	1	4
Total			42,7	10	64	63	31	4	172

TC: temps complet; TP: temps parcial.

mateix, s'ha fet una divisió en funció de la dedicació dels professors, a fi d'observar si hi ha cap tendència diferenciadora.

Tot i que, atesa la joventut de l'escola esmentada, l'edat d'aquests elements de producció de recerca ha estat tradicionalment jove, el temps és inexorable i aquesta se situa ja al voltant dels 42 anys, sense fer diferència d'edat entre els professors a temps complet i els de temps parcial. No obstant això, aquesta mitjana és menor que la de molts centres.

3.3. Interacció amb la docència

Un aspecte a assenyalar és que els investigadors integrats en les unitats anteriorment esmentades han de desenvolupar, així mateix, una sèrie d'activitats docents i de transferència de tecnolo-

TAULA 5
Universitats i centres docents on s'imparteixen titulacions de l'àmbit²

Universitat	Centre	Estudis	Places
Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)	Escola Tècnica d'Arquitectura de Barcelona	Arquitectura	380
	Escola Tècnica Superior d'Arquitectura del Vallès	Arquitectura	120
	Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona	Enginyeria de camins, canals i ports Enginyeria tècnica d'obres públiques: — especialitat en transports i serveis urbans (75) — especialitat en hidrologia (75) — especialitat en construccions civils (75)	175
			225
		Graduat superior en enginyeria geològica	60
	Escola Tècnica Superior d'Enginyers Industrials de Barcelona	Enginyeria industrial	465
Escola Tècnica Superior d'Enginyers Industrials de Terrassa	Enginyeria industrial	315	
	Escola Universitària Politècnica de Barcelona	Arquitectura tècnica	450
Universitat Pompeu Fabra (UPF)	Escola de Disseny Elisava	Arquitectura tècnica	95
Universitat de Girona (UdG)	Escola Politècnica Superior	Arquitectura tècnica	116
		Enginyeria industrial	105
Universitat Ramon Llull (URL)	Escola Tècnica Superior d'Arquitectura La Salle	Arquitectura	60
		Arquitectura tècnica	60
Universitat Internacional de Catalunya (UIC)	Campus Iradier de la Universitat Internacional de Catalunya	Arquitectura superior	60

2. Informacions obtingudes a través de: Comissionat per a Universitats i Recerca (resolució d'11 de maig de 1999, per la qual es fa pública l'oferta de places de nou accés dels centres de les universitats públiques catalanes per al curs 1999-2000, DOGC núm. 2890, de 17.5.1999), Consell Interuniversitari de Catalunya (informació sobre el nombre de places de nou accés de les universitats catalanes), Universitat Ramon Llull (informació sobre el nombre de places NA ofertes per titulacions), Universitat Internacional de Catalunya (informació facilitada per telèfon) i llista de l'Oficina de Preinscripció Universitària de Catalunya 1999.

logia, a part de les típiques de gestió universitària. Així, s'ha de citar, des del punt de vista docent, que dins l'àmbit s'imparteixen diverses titulacions en diferents universitats catalanes.

A la taula 5 es mostren les universitats, el centre docent, les titulacions i el nombre de places ofertes de nou accés a primer cicle per al curs 1999-2000 dins l'àmbit català. El nombre total de places ofertes dins aquest àmbit és de 2.686, que, amb relació amb el total de places ofertes pel sistema universitari català (50.118), representa un 5,36 %.

S'ha d'assenyalar que no totes les titulacions desenvolupen la seva activitat professional en l'àmbit d'aquest report. Així, a tall d'exemple, dins el camp de l'enginyeria industrial, se situa en aquest àmbit la part de construccions industrials i, evidentment, no pas altres branques com l'enginyeria química, etc. Això implica que el pes de l'oferta és menor en relació amb les dades assenyalades anteriorment (les quals variarien una mica amb els accessos a segon cicle), cosa que pot conduir al fet que, en l'evolució de fluxos d'estudiants dins les seves titulacions, l'oferta de titulars sigui similar⁷ o àdhuc menor a la demanda del mercat català. De fet, els titulats d'aquest àmbit, tret d'algunes singularitats de l'àmbit català, tenen una sortida laboral relativament accessible dins l'entorn català, que admet part de titulats externs a les universitats catalanes.

Un aspecte important a reflectir és la bona concordança existent entre el professor investigador i els seus resultats docents, partint d'enquestes sobre la percepció que l'alumnat té del professor en funció del seu vessant d'activitat (professional o investigador). Els resultats mostren que el principal és que el professor sigui generador de coneixement, sigui fruit d'una experiència professional en l'obra o bé com a conseqüència d'una tasca investigadora, raó per la qual les dues figures tenen cabuda en el món de la formació.

3.4. Equipaments

Dins aquest àmbit no hi ha un centre de referència reconegut com a tal per les autoritats catalanes de política científica. Això ha significat que cada centre dels assenyalats en l'apartat 3.2 ha treballat usualment de manera disjunta per aconseguir un finançament, cosa que ha suposat, en general, una dispersió dels recursos i una presència social limitada de la inversió realitzada. Així doncs, la línia d'equipaments existents és resultat de la trajectòria disjunta de cada centre.

Els equipaments existents corresponen tant a aspectes d'eines informàtiques com a laboratoris. Partint del fet que, en general, els recursos existents des del punt de vista informàtic, siguin propis o del sistema universitari català, són suficients, cal assenyalar la singularitat de dues instal·lacions de laboratori que corresponen a:

a) El Laboratori General d'Assaigs i Investigacions, amb una forta inversió de fons FEDER. L'import dels equipaments d'aquests laboratoris en l'àmbit que ens ocupa se situa al voltant dels 1.000 milions de pessetes.

b) Els diferents laboratoris de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports i dels departaments del seu entorn; la inversió d'aquests equipaments sorgeix, fonamentalment, de projectes d'investigació o peticions d'infraestructura. L'import dels equipaments d'aquests laboratoris en l'àmbit que ens ocupa se situa al voltant dels 800 milions de pessetes.

4. Resultats científics i de transferència de tecnologia

4.1. Introducció

Un cop s'han descrit i delimitat l'àmbit de l'enginyeria civil i l'enginyeria de la construcció i els recursos disponibles, aquest capítol presenta les principals sortides o *outputs* de recerca i desenvolupament assolits, tant des del punt de vista científic (articles, tesis, etc.) com des del punt de vista de transferència (convenis, etc.).

Atès que existeix un *Llibre de recerca de la Universitat Politècnica de Catalunya*, una de les possibilitats òbvies era treballar amb les línies de recerca actives de la UPC. En teoria, una línia de recerca agrupa l'activitat de diversos professors a temps complet i hauria de representar una àrea d'experts potent i amb certa productivitat anual notable (superior, per exemple, als 50 punts d'activitat de recerca que assigna la UPC; en aquesta puntuació un article de congrés nacional té pocs punts, mentre que un article en una revista internacional indexada pot superar els 12 punts). La realitat és que les línies de recerca són prou heterogènies perquè difícilment se'n puguin extreure conclusions profundes: l'àmbit de l'enginyeria civil i l'enginyeria de la construcció agrupa unes cinquanta línies de recerca amb una productivitat que oscil·la entre els 0 i els 471 punts (dinàmica no lineal de fluids) durant 1998. La productivitat per persona equivalent a temps complet oscil·la al voltant de desenes de punts de recerca i arriba fins a 108 (modelització i anàlisi de sistemes de transport).

Des d'una perspectiva més global i rigorosa, el capítol s'estructura en una primera secció que revisa el component internacional des de la participació en el IV Programa Marc de la Unió Europea de Recerca i Desenvolupament i analitza les contribucions a les millors revistes internacionals de cada àrea de coneixement comparant Catalunya i la UPC amb diverses universitats i entorns geogràfics tant espanyols com europeus. S'analitzen també altres indicadors de productivitat per a acabar exposant el volum econòmic del darrer quinquenni.

4.2. Resultats de l'àmbit científic

4.2.1. Participació en el IV Programa Marc de la UE

El programa marc de la Unió Europea (PM) és el pla de finançament de recerca gestionat per la Comissió Europea. El programa funciona, de manera semblant a la majoria de plans d'aquesta mena, mitjançant convocatòries a què es presenten propostes de projectes de recerca que són avaluades en termes científics, econòmics i d'oportunitat. Les característiques específiques del PM són les següents: exigència de transnacionalitat (totes les propostes han de ser presentades per equips internacionals), alta competitivitat (només un petit percentatge de les propostes resulten aprovades) i especificitat (les propostes s'han d'escaure dins les línies prioritàries definides per la Comissió). Com a conseqüència, que un grup de recerca rebí finançament del PM és considerat com a indicador de qualitat perquè requereix un cert grau d'excel·lència (per tal que les seves propostes siguin aprovades), de connexió internacional (per tal de poder promoure o ser invitat a participar en propostes) i de flexibilitat (per tal de poder adaptar-se a les línies prioritàries).

4.2.1.1. Metodologia

Els grans eixos prioritaris del PM són les tecnologies de la informació, les industrials i les ciències de la salut. Com es pot veure, ni l'enginyeria civil ni l'edificació són prioritàries de manera general. Per tant, no es pot examinar cap dels subprogrames de manera global per tal d'identificar el finançament rebut pels grups de l'àrea de l'enginyeria civil i l'enginyeria de la construcció. El que hem fet ha estat examinar tots els projectes finançats, identificar l'investigador responsable i assignar el projecte a l'àrea quan l'investigador pertany a l'àmbit de l'enginyeria civil i l'enginyeria de la construcció. A la taula 6 es mostren els resultats pels subprogrames on la participació de l'àrea de l'enginyeria civil i l'enginyeria de la construcció ha estat més significativa (també hi ha una petita participació als subprogrames de tecnologies de la comunicació, d'agricultura i pesca, de transports i de desenvolupament i explotació de resultats). També s'inclouen les xifres de finançament totals per a Espanya, Catalunya i les comunitats on hi ha alguna escola de camins o arquitectura.

TAULA 6

Finançament (en milions de pessetes) del IV Programa Marc concedit entre 1995 i 1997 als subprogrames amb més participació dels grups d'enginyeria civil i de la construcció

Subprograma	Catalunya		Andalusia Total	Cantàbria Total	València Total	Galícia Total	Madrid Total	Espanya Total
	Total	Àrea EC i EC						
4 Tecnologies industrials i materials	9.273	917	1.776	221	1.316	252	15.658	44.946
6 Medi ambient i clima	7.424	1.116	3.348	30	2.407	417	7.803	25.111
7 Ciència i tecnologia marina	5.008	608	1.372	272	404	836	2.936	13.318
12 Seguretat de la fissió nuclear	1.247	798	108	9	85	106	5.070	8.176
18 Formació i mobilitat	10.714	1.050	6.258	703	4.188	608	12.844	59.538
Inversió total PM 1995-1997	81.599	5.087	33.743	3.673	24.368	7.887	170.730	448.681

4.2.1.2. *Discussió*

No es pot evitar la comparació en termes globals, tot i que quedi fora de l'abast d'aquest estudi. Catalunya rep al voltant del 20 % del finançament global per a Espanya i demostra una notable vitalitat. La comparació amb altres comunitats autònomes reforça aquesta conclusió, atès que les dades de Madrid recullen el finançament de molts consorcis i empreses amb seu en aquesta ciutat, encara que la despesa i la recerca no es facin efectives a la capital; és a dir, el finançament rebut efectivament per Catalunya dins el PM és superior al que s'indica a la taula.

Per subprogrames, cal destacar que Catalunya representa prop del 30 % del total d'Espanya en medi ambient i clima i del 40 % en ciència i tecnologies marines. L'anàlisi detallada per projectes dins aquests programes posa de manifest que la gran majoria corresponen al CSIC, la UB i la UPC.

L'àrea de l'enginyeria civil i l'enginyeria de la construcció té una alta presència al PM, comparable a la de moltes comunitats autònomes. Representa el 2 % del total d'Espanya (i el 10 % de Catalunya) en el subprograma de tecnologies industrials i materials, el 4 % en el de medi ambient i clima i en el de ciència i tecnologia marina (15 i 12 % de Catalunya, respectivament), el 10 % (64 % de Catalunya) en el de seguretat de la fissió nuclear i l'1,5 % (10 % de Catalunya) en el de mobilitat dels investigadors. En termes globals, és més del 6 % del total de Catalunya i de l'1 % d'Espanya.

Aquests resultats són especialment destacables si es té present que l'àrea de l'enginyeria civil i l'enginyeria de la construcció no és pas prioritària dins el programa marc; és a dir, els investigadors s'han hagut d'adaptar a les prioritats marcades des d'Europa per tal de trobar un nínxol de finançament. Els indrets on han aconseguit entrar han estat el desenvolupament d'eines computacionals de recolzament a la indústria, les tecnologies de materials estructurals (formigó i acer prefabricats, etc.), la hidrologia, l'enginyeria costanera i marítima, la caracterització del terreny per a l'emmagatzematge de residus i la tecnologia de l'aigua.

4.2.2. *Publicacions d'excel·lència. Contribució al coneixement*

El nombre d'articles publicats en revistes de prestigi és possiblement l'indicador d'excel·lència científica i de generació de coneixement més utilitzat arreu del món. En aquest apartat s'analitzen les dades de publicacions de l'àrea de l'enginyeria civil i l'enginyeria de la construcció a Barcelona i a la UPC, en relació amb la d'altres ciutats i universitats europees.

4.2.2.1. *Metodologies*

L'Institute for Scientific Information (ISI) publica anualment el *Science Citation Index* (SCI), on es recullen les cites que ha rebut qualsevol article des de les revistes, que anomenarem «indexades», millor considerades dins els seus àmbits. Aquesta informació, que és extraordinàriament útil per a recerca bibliogràfica, s'ha estat fent servir per a classificar les revistes en funció de l'impacte mitjà (nombre de cites) dels articles que publiquen. En particular, s'anomena factor d'impacte (FI) d'un any base el nombre mitjà de cites rebudes pels articles d'una revista en els dos anys anteriors a l'any base dividit pel nombre d'articles publicats en aquesta revista durant aquest període de dos anys. És habitual fer servir el FI com a indicador absolut de qualitat d'una revista.

S'ha optat per restringir l'ús del FI a la selecció de les revistes més significades de cada àmbit de l'enginyeria civil i l'enginyeria de la construcció perquè els FI d'enginyeria són baixos i no es poden comparar amb els d'altres àrees. Això es deu al fet que els articles dels enginyers tendeixen a tenir un component professional que fa que hagin de ser sotmesos a un llarg període d'avaluació abans de ser publicats, per la qual cosa reben la majoria de les cites després de dos anys, circumstància que no queda reflectida al FI (de fet, existeix un altre indicador: el factor d'inmediatezza, que plasma la difusió dels articles en el primer any després de la publicació). A més, la

TAULA 7
 Revistes considerades per a analitzar les publicacions d'excel·lència
 (Journal Citation Report, 1997)

<i>Títol de la revista indexada</i>	<i>FI revista</i>	<i>Categories amb FI</i>	<i>FI mitjà de la categoria</i>
<i>Cement and Concrete Research</i>	0,622	Construction & Building Technology	0,270
<i>Coastal Engineering</i>	0,563	Marine Engineering	0,286
<i>Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering</i>	0,727	Mechanical Engineering	0,379
<i>Geotechnique</i>	0,621	Mining Geological Engineering Civil Engineering	0,353 0,398
<i>International Journal for Numerical Methods in Engineering</i>	1,114	Computer Science Applied Mathematics	0,484
<i>Intern. Journal of Numerical and Analytical Methods in Geomechanics</i>	0,370	Civil Engineering	0,398
<i>Journal of Coastal Research</i>	0,947	Marine Engineering	0,286
<i>Journal of Hydraulic Engineering-ASCE</i>	0,319	Civil Engineering	0,398
<i>Journal of Hydrology</i>	0,940	Water Resources	0,541
<i>Journal of Structural Engineering ASCE</i>	0,440	Construction & Building Technology / Civil Engineering	0,273 0,398
<i>Transportation Research</i>	0,729	Transportation	0,303
<i>Water Research</i>	1,512	Environmental Engineering Water Resources	0,716 0,683
<i>Water Resources Research</i>	1,648	Water Resources	0,683

FIGURA 3

Contribucions de les ciutats europees amb universitats politècniques de reconegut prestigi a les publicacions en revistes d'excel·lència. Les contribucions són la mitjana de les ràtios entre el nombre d'articles de cada ciutat i el total de cada revista, expressades per mil. Amb algunes reserves, les contribucions així calculades poden ser interpretades efectivament com a contribució de cada ciutat al coneixement mundial en l'àrea de l'enginyeria civil i l'enginyeria de la construcció.

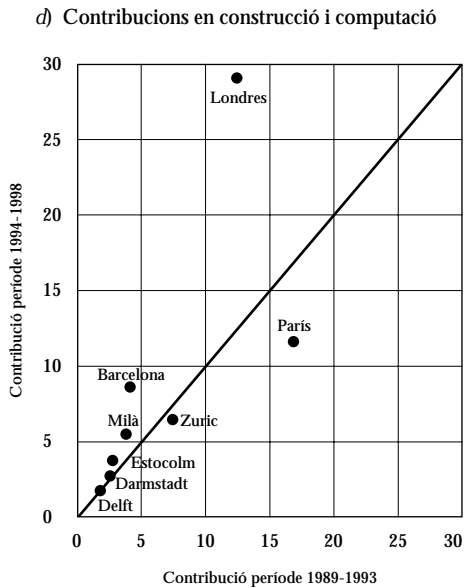
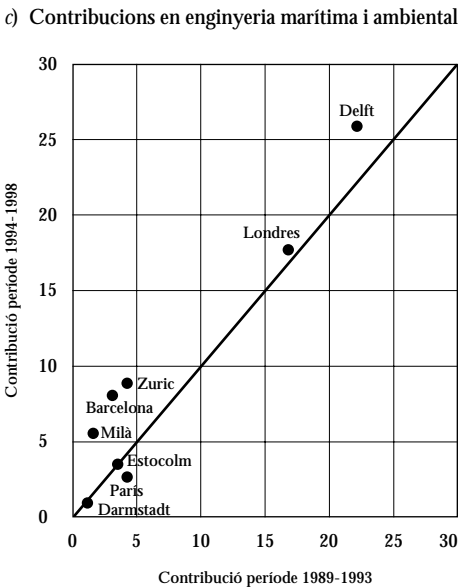
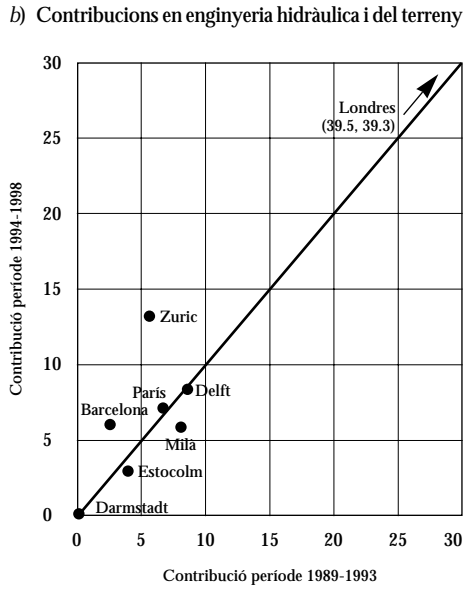
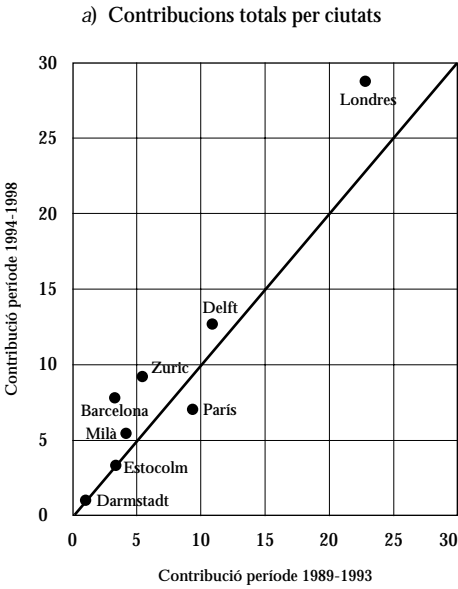
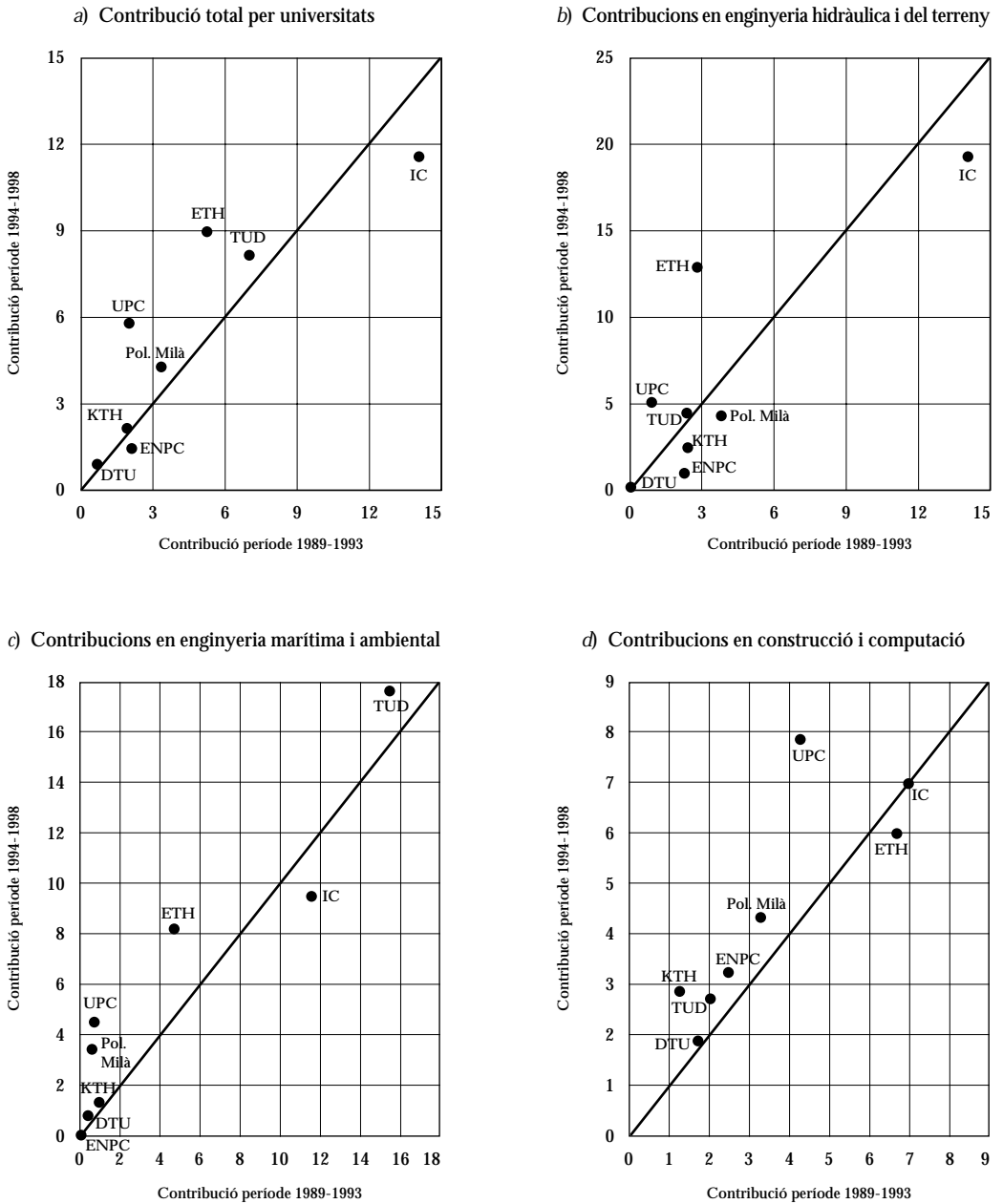


FIGURA 4

Contribucions de les universitats politècniques europees més prestigioses a les revistes d'excel·lència de l'àrea d'enginyeria civil i de la construcció



Abreviatures: IC: Imperial College, Londres; ETH: Inst. Pol. Fed. de Suïssa; UPC: Univ. Pol. de Catalunya; Pol. Milà: Politècnic Milà; TUD: Univ. Politècnica de Delft; KTH: Institut Reial de Tecnologia de Suècia; ENPC: École Nat. de Ponts et Chaussees, Paris; DTU: Univ. Pol. de Darmstadt.

majoria dels lectors que fan servir els resultats de l'article poden no escriure articles, per la qual cosa el nombre de cites només reflecteix una part del seu impacte real. Finalment, una bona part de la recerca que es fa en enginyeria requereix validació pràctica abans de ser publicada, per la qual cosa el nombre d'articles (i, per tant, de cites) publicats pels enginyers tendeix a ser baix. Per tot això, el FI només s'ha fet servir per a seleccionar les revistes més representatives de cada àmbit de l'enginyeria civil i l'enginyeria de la construcció (taula 7). Per a aquesta selecció també s'ha consultat amb experts.

Hem extret del SCI tots els articles publicats en aquestes revistes i originats a les ciutats europees on es troben les escoles d'enginyeria civil i arquitectura de més prestigi (la cerca s'ha fet per ciutats per facilitat pràctica). Hem triat Londres, París, Zuric, Delft, Darmstadt, Milà, Estocolm i Barcelona. A Zuric s'afegeix tota la producció de la seva Universitat Politècnica (ETH), que és federal i té seus importants en altres ciutats.

Amb aquestes dades, hem definit *contribució* (d'una ciutat a una revista) com la relació expressada per mil entre el nombre d'articles publicats en aquesta ciutat i el total de la revista; és a dir, una contribució de cinc vol dir que, de cada 1.000 articles publicats a la revista, cinc provenen de la ciutat en qüestió. La contribució d'una ciutat a un àmbit és la mitjana de les contribucions de la ciutat a totes les revistes de l'àmbit. Finalment, es pot definir, amb reserves, la contribució d'una ciutat al coneixement dins l'àmbit de l'enginyeria civil i l'enginyeria de la construcció com la mitjana de les contribucions als tres àmbits.

Les contribucions calculades, tant globals com per àmbits, queden reflectides a la figura 3, on s'han representat les contribucions per al quinquenni 1994-1998 *versus* les del quinquenni 1989-1993. Aquesta figura es pot mirar segons l'eix vertical (per exemple, Barcelona ha estat la quarta ciutat productora de coneixements en l'àmbit de l'enginyeria civil i l'enginyeria de la construcció durant el període 1994-1998), segons l'eix horitzontal (Barcelona només era sisena en el període 1989-1993) o segons la posició relativa a la línia a 45° (després de Londres, Barcelona és la ciutat que més ha crescut en termes de contribució entre els períodes 1989-1993 i 1994-1998).

Els mateixos càlculs s'han fet per a les universitats tecnològiques d'aquestes ciutats (cal recordar que la tria de ciutats es va dur a terme pel fet de ser seus de les universitats tecnològiques més reconegudes d'Europa). Els resultats es reflecteixen a la figura 4. Val a dir, però, que les universitats no són consistents en la nomenclatura. Aquest problema és particularment greu a la UPC, que apareix en català i en castellà com a UPC i de diverses maneres en anglès. Només l'ETH i l'Imperial College fan servir sempre el mateix nom.

4.2.2.2. *Discussió*

La primera cosa que crida l'atenció de la figura 3 és que la contribució a l'àrea de l'enginyeria civil i l'enginyeria de la construcció de la majoria de les ciutats europees ha crescut des del període 1989-1993 al 1994-1998. Això, probablement, reflecteix l'increment de la pressió sobre els universitaris per a publicar en revistes indexades. Com que el SCI està esbiaixat en favor d'Amèrica, la presència de les universitats americanes ja era alta abans. Pensem que l'augment de la presència europea s'ha fet a costa de l'americana.

La segona cosa que crida l'atenció és l'extraordinària contribució de Londres (prop del 30 % del que podem anomenar coneixement mundial es genera a Londres) i Delft (12 %). En el primer

cas queden reflectits la grandària de la ciutat i el seu dinamisme científic. En el segon cas, es palesa la gran competitivitat dels holandesos en temes ambientals, hidràulics i geotècnics.

Un altre fet diferencial d'aquestes dues ciutats és que les seves universitats politècniques no més generen una part del total. En comparació amb la figura 4, es pot veure que l'Imperial College només genera una tercera part dels articles totals de Londres i el Politècnic de Delft no hi arriba. La resta d'articles són publicats per altres institucions. El més remarcable, però, és la presència molt alta (sobretot en el cas de Delft) d'empreses privades. Considerant que les consultores holandeses i angleses són percebudes com les més competitives del món, aquest resultat suggereix que la competitivitat empresarial a escala mundial, almenys dins aquesta àrea, no és incompatible amb les publicacions científiques, potser al contrari. Això és clarament contradictori amb la percepció de les nostres empreses, que tendeixen a menysprear les publicacions com a cosa acadèmica allunyada de la realitat.

Aquest resultat també és aplicable a casa nostra. L'única empresa amb una contribució continuada a les revistes analitzades és Aigües de Barcelona, que té nombroses publicacions a *Water Research* i a *Water Science and Technology*. El fet que, possiblement, sigui l'empresa catalana de l'àrea de l'enginyeria civil i l'enginyeria de la construcció amb més gran penetració internacional reforça el que s'ha dit al paràgraf anterior. Tot i ser conegut que la R+D és essencial per a la innovació, potser convindria aprofundir aquest estudi i ampliar-lo a altres sectors per tal de confirmar o desmentir la relació entre competitivitat internacional i publicacions en revistes de prestigi.

Centrant-nos en les contribucions de Barcelona, cal destacar la seva presència rellevant en tots els àmbits. Genera al voltant del 8 % en enginyeria marítima i ambiental i en construcció i computació (on és tercera, només per sota de Londres i París) i del 7 % en enginyeria hidràulica i del terreny. També cal destacar el creixement entre els dos períodes considerats.

La comparació entre ciutats és difícil perquè hi influeix molt la grandària. Per això, considerant que l'àrea de l'enginyeria civil i l'enginyeria de la construcció és bàsicament tecnològica, s'ha fet la comparació entre universitats politècniques. Cal destacar, però, que en el cas de Barcelona és molt important la contribució tant del CSIC com de la UB, sobretot en els àmbit marí i ambiental.

En l'anàlisi per universitats no és pas sorprenent que l'Imperial College hi quedi molt destacat. És una gran universitat i les publicacions indexades estan majoritàriament en anglès (la resta de les universitats han de publicar, a més, en la seva llengua). Tampoc no sorprèn gaire l'alta contribució de l'ETH i el Politècnic de Delft. El que resulta més sorprenent és l'alt rànquing de la UPC en el període 1994-1998. De fet, ens quedem amb el dubte de si aquest resultat respon a la realitat o el causa algun biaix en el mètode. Si hi és, no el trobem. Tant la qualitat de les revistes considerades com el mètode de càlcul semblen objectius. Més aviat, l'explicació de la sorpresa pot estar en la lentitud amb la qual canvia la percepció de la qualitat de les institucions. Al període 1989-1993, la UPC era sisena de les deu universitats considerades. El fet que hagi passat del grup dels cuers al dels primers pot no haver estat assumit encara internament, tot i ser objectivable.

La UPC genera el 8 % dels articles publicats sobre construcció i computació en tot el món i encapçala les universitats considerades en aquest estudi. Aquest resultat coincideix amb el prestigi reconegut dels grups de l'àrea de l'enginyeria civil i l'enginyeria de la construcció que es dediquen a mètodes numèrics i a tecnologia d'estructures.

La UPC genera el 5 ‰ dels articles en publicacions de prestigi en l'àmbit d'enginyeria hidràulica i del terreny. En tercera posició (molt per sota de l'Imperial College i l'ETH), encapçala el gros de les universitats considerades. Aquest resultat també és coherent amb el prestigi dels grups de geotècnia i hidrologia.

Finalment, la UPC s'apropa al 5 ‰ de les publicacions en l'àmbit de l'enginyeria marítima i ambiental, on resta quarta. La universitat que se surt del gràfic és, en aquest cas, el Politècnic de Delft, la qual cosa és coherent amb la percepció que es té de l'alt nivell d'especialització en aquesta àrea. En tot cas, el bon rànquing de la UPC resulta coherent amb el dinamisme del grup de recerca en enginyeria marítima.

Independentment dels rànquings, que poden variar en funció dels criteris, el que sembla fora de dubte és que l'àrea de l'enginyeria civil i l'enginyeria de la construcció de la UPC és excel·lent. Al continent europeu només es veu superada per l'Imperial College, el suís ETH i el Politècnic de Delft, institucions totes amb les quals (per grandària, nivell de finançament, recolzament dels seus governs i, fins i tot, tradició) no ens podem pas comparar, encara.

4.2.3. *Altres publicacions i congressos*

La productivitat en recerca té moltes més dimensions que els articles en revistes indexades vistos amb anterioritat, com ara comunicacions i ponències en congressos, articles en revistes nacionals, monografies, patents, llibres, etc. La UPC, amb caire pioner a l'Estat, fa anys que ha implantat un sistema d'avaluació de la producció dels seus professors que pondera les diverses contribucions amb un pes o punts d'activitat de recerca (punts PAR) i punts d'activitat de transferència de tecnologia (PATT) per professor equivalents a una dedicació plena a temps complet (EDP).

La situació d'excel·lència descrita als articles en revistes d'excel·lència es reproduïx, així mateix, en l'àmbit nacional de les publicacions o bé en l'àmbit nacional i internacional dels congressos. Respecte als articles, en l'àmbit nacional hi ha la consciència en els grups que, atesa la necessitat de transferir la recerca al mateix entorn industrial, és convenient participar-hi de manera activa mantenint una presència en les revistes nacionals. Una situació semblant es dona en el tema de congressos, afavorit per la voluntat d'una acció directa en aquests, independentment de l'àmbit que es tracti.

La taula 8 mostra els punts PAR per EDP per departament (corresponen als del curs 1997-1998 més la meitat del punts de 1996-1997 per a suavitzar fluctuacions) i els punts de transferència de tecnologia (pessetes d'ingressos per transferència de tecnologia anuals allisats amb història dels darrers tres anys) per EDP. No es pretén entrar en les ponderacions que empra la UPC per a donar aquests valors sinó copsar de manera quantitativa comparacions relatives entre els departaments i la mitjana de l'àrea i la mitjana de la UPC que, com és sabut, és una de les universitats tècniques punteres de l'Estat. La columna de la dreta de la citada taula, «% Actius», indica el percentatge de professors ordinaris a temps complet que generen tres o més punts de recerca anual (puntuació que es pot assolir normalment amb una única publicació).

La taula mostra que l'àrea d'enginyeria civil i enginyeria de la construcció produeix un 58 ‰ més en recerca que la mitjana de la UPC; en transferència de tecnologia, el factor magnificador puja al 83 ‰. De fet, l'àrea esmentada engloba els tres primers departaments de la UPC en punts de recerca per professor a temps complet, tots tres pertanyents, majoritàriament, a l'Escola Tèc-

nica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona: Enginyeria de la Construcció (52), Infraestructura del Transport i Territori (46,7) i Resistència de Materials i Estructures en l'Enginyeria (40,6). L'Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona com a tal és, així mateix, la primera de la UPC, amb una mitjana de 24,01 punts PAR / EDP; la següent se situa en una mitjana de 16,44, la qual cosa suposa un 43 % més que el segon centre en productivitat per professor a temps complet.

TAULA 8

Distribució dels professors equivalents a temps complet (EDP) i els punts PAR i PATT de l'àrea de l'enginyeria civil i l'enginyeria de la construcció a la UPC (curs 1997-1998)

<i>Codi</i>	<i>Departament</i>	<i>EDP</i>	<i>PAR / EDP</i>	<i>PATT / EDP</i>	<i>% Actius</i>
704	Construccions Arquitectòniques I	28	28	7.247.000	48
705	Construccions Arquitectòniques II	28	2	2.745.000	19
706	Enginyeria de la Construcció	20	52	5.474.000	69
708	Enginyeria del Terreny, Minera i Cartogràfica	26	32	7.296.000	94
711	Enginyeria Hidràulica, Marítima i Ambiental	20	22	12.491.000	50
722	Infraestructura del Transport i del Territori	9	47	10.183.000	89
727	Matemàtica Aplicada III	46	16	487.000	63
737	Resistència de Materials i Estructures en l'Enginyeria	27	41	2.036.000	73
Mitjana enginyeria civil i enginyeria de la construcció		204	30	5.995.000	63
Total departaments i instituts UPC		1.616	19	3.277.711	65

En relació amb la columna «% Actius» (percentatge de professors ordinaris a temps complet que generen tres o més punts de recerca anual), tret dels departaments d'Enginyeria del Terreny i d'Infraestructura del Transport i del Territori, on gairebé tots els professors ordinaris a temps complet són actius, cal remarcar que al voltant d'un terç dels professors dels altres departaments són inactius, la qual cosa magnifica encara més els resultats globals obtinguts.

Per finalitzar l'exposició de producció de recerca quant a nombre d'ítems publicats, hi ha la taula 9, que només fa referència a l'Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona com a centre de màxima productivitat i inclou els punts atorgats per cada tema: un 32 % dels punts s'aconsegueixen mitjançant articles en revistes i un 28 % addicional en forma de llibres.

TAULA 9

Escandall de la producció en recerca de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona (any 1998)

<i>Ítem</i>	<i>Punts de recerca</i>
Actes de congressos	487
Articles en revistes	753
Capítols de llibre	75
Edició de llibres	100
Intervencions en congressos	185
Llibres	325
Patents	27
Premis extraordinaris de doctorat	4
Premis	13
Reports de recerca	192
Tesis	211
Total	2.372

4.3. Grups de recerca consolidats (GRC)

La Generalitat de Catalunya facilita un cert nivell de finançament als grups de recerca, anomenats «consolidats», que han assolit un mínim nivell d'excel·lència. Presumiblement, els GRC proporcionen una visió del mapa de la recerca a Catalunya. En total existeixen 498 GRC, dels quals 76 pertanyen a l'àrea d'enginyeria i arquitectura. D'aquests grups, només nou queden dins l'àrea de l'enginyeria civil i l'enginyeria de la construcció (taula 10).

El fet que la fracció de grups sigui molt petita en relació amb altres indicadors pot reflectir la grandària d'aquests. En qualsevol cas, de la taula 10 criden més l'atenció les absències que no pas les presències.

TAULA 10
*Grups de recerca de l'àrea d'enginyeria civil i enginyeria de la construcció
 considerats consolidats pel Pla de Recerca de Catalunya*

<i>Nom del grup</i>	<i>Institució</i>	<i>Àrea de coneixement</i>
Mètodes Numèrics en Mecànica de Medis Continus i Estructures	CIMNE	Mecànica de medis continus i teoria d'estructures
Laboratori d'Enginyeria Marítima	UPC	Enginyeria hidràulica
Grup Aigua	UPC	Enginyeria hidràulica
Tecnologia d'Estructures	UPC	Enginyeria de la construcció
Geofísica i Enginyeria Sísmica	UPC	Enginyeria del terreny
Geotècnia i Mecànica de Materials	UPC	Enginyeria del terreny
Hidrologia Subterrània	UPC	Enginyeria del terreny
Tecnologia Constructiva i Ambiental	UPC	Construccions arquitectòniques
Resistència de Materials i Estructures a l'Enginyeria. Secció Camins.	UPC	Mecànica de medis continus i teoria d'estructures

4.4. Altres indicadors

Entre altres indicadors de la producció científica d'una àrea es poden plantejar les tesis doctorals i les patents, així com els sexennis dels membres del grup que constitueixen l'àrea corresponent.

4.4.1. *Tesis doctorals*

Respecte a les tesis doctorals i programes de doctorat dins el context de la UPC, a continuació se'n presenten algunes dades il·lustratives referents a l'any 1998 (UPC, 1999). Així, el curs 1997-1998, el nombre de programes de doctorat que s'ha impartit és de 44, dels quals nou (20 %) eren de l'àmbit de l'enginyeria civil i l'enginyeria de la construcció aquí estudiat. En relació amb les tesis llegendes, a la taula 11 es presenta la seva evolució en els darrers cursos acadèmics.

Cal assenyalar que a la UPC hi ha dos programes de doctorat, entre altres, els títols del quals coincideixen amb l'àmbit de report (enginyeria civil i enginyeria de la construcció). El primer és un programa que, per delegació dels departaments de l'entorn de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports, coordina la mateixa escola, en un exemple de diàleg entre uni-

TAULA 11
Evolució de les tesis llegides a la UPC en l'àmbit d'enginyeria civil
i enginyeria de la construcció

<i>Unitat</i>	<i>1992-1993</i>	<i>1993-1994</i>	<i>1994-1995</i>	<i>1995-1996</i>	<i>1996-1997</i>	<i>1997-1998</i>	<i>Total</i>
250 Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins	-	1	1	-	-	-	2
704 Construccions Arquitectòniques I	1	2	3	5	1	3	15
706 Enginyeria de la Construcció	-	5	2	2	6	5	20
708 Enginyeria del Terreny	6	4	5	4	7	7	33
711 Enginyeria Hidràulica, Marítima i Ambiental	6	3	1	4	9	6	29
722 Infraestructura del Transport i Territori	-	1	3	2	1	4	11
727 Matemàtica Aplicada III	3	1	1	4	6	2	17
737 Resistència de Materials i Estructures en l'Enginyeria	2	2	1	4	3	2	14
Total àrea enginyeria civil i enginyeria de la construcció	18	19	17	23	33	29	141
Total Universitat Politècnica de Catalunya	70	97	111	87	149	157	522

tats que facilita el que presenta dificultats administrativament. Aquest camí de la delegació ha estat seguit posteriorment en l'àmbit de les matemàtiques. El programa de doctorat d'enginyeria de la construcció el duu a terme el departament del mateix nom.

Els resultats mostren que les tesis llegides en aquest període dins l'àmbit analitzat representen al voltant del 27 % del total de la UPC com a terme mitjà. En aquests nombres no

s'han inclòs les 33 tesis llegides a l'Escola Tècnica Superior d'Arquitectura de Barcelona dins el pla vell, en els cursos 1992-1993 a 1995-1996, algunes de les quals corresponen, probablement, a l'àrea en estudi. Les tesis llegides a l'Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports en aquest període corresponen al pla vell, abans de l'acord esmentat entre els departaments.

En relació amb l'origen dels estudiants de doctorat d'aquest període (darrera dècada), s'ha d'assenyalar que hi ha una decadència dels alumnes nacionals —pel fet de no trobar perspectives professionals posteriors interessants i conuiu, en general, amb un període expansiu en l'àmbit professional— i una incorporació massiva d'alumnes d'altres procedències, principalment de països sud-americans. En aquest sentit, l'acord entre la Universitat Politècnica de Catalunya i l'Institut de Cooperació Iberoamericana per a llançar unes beques específiques ha estat determinant. En el moment actual, el percentatge d'alumnes estrangers en l'àmbit d'aquest report se situa al voltant del 80 % davant d'un 20 % de nacionals.

Quant al perfil dels alumnes nacionals d'aquest període, responen a un perfil de clar interès per la recerca o d'aprofundiment en la seva formació. Dins aquests alumnes, n'hi ha de dos tipus: els que fan el doctorat com una continuació dels estudis de grau i, en acabar-lo, s'incorporen al món empresarial, i els que, procedents d'aquest món, fan el doctorat com un pas més en la seva formació. En qualsevol cas, entenem que aquest transvasament resulta molt positiu per al futur, tant per a la universitat com per al món empresarial, raó per la qual ha de ser una de les línies futures d'actuació estratègica, tal com s'explica amb posterioritat.

Respecte al perfil dels estudiants estrangers, aquest ha anat variant, fruit de diverses situacions conjunturals dels països d'origen: recolzament de polítiques de formació de professorat a l'estranger (per exemple, el Brasil en els primers anys noranta o Mèxic els darrers anys), incorporació de programes de doctorat en padrons d'excel·lència, etc., o bé fruit del prestigi a l'exterior dels professors i les unitats que imparteixen els programes per captar estudiants d'altres orígens geogràfics (Europa, nord d'Àfrica, Àsia, etc.). La necessitat de diversificar riscos per a evitar situacions conjunturals i la necessitat d'obrir-se a aquests mercats emergents és el que ha dut diverses unitats de la nostra universitat a introduir, dins les seves actuacions estratègiques de tercer cicle, els programes de doctorat mixtos interuniversitaris i els programes de doctorat en anglès.

4.4.2. *Patents*

Dins l'àmbit les patents tenen una dificultat afegida. Això respon, a part de l'escassa tradició d'innovació i recerca del sector, al fet que a les grans empreses els resultats finals són processos més que no pas productes i, consegüentment, aquestes no solen estar interessades en recerques sobre productes que poden derivar en patents. No obstant això, els darrers anys s'observa, per part d'alguna empresa dins l'àmbit de les PIME, un interès creixent en aquesta direcció, que pròximament pot desembocar en un creixement molt important si es donen les condicions ambientals favorables relatives a les exempcions fiscals a les empreses per temes de R+DT i canvis en el sistema de contractació d'obres.

4.4.3. Sexennis de productivitat

Una de les grans fites en la modernització del sistema universitari espanyol ha estat l'avaluació tant de la recerca com de la docència. Si bé en moltes universitats l'avaluació de la docència encara es confon amb la mera antiguitat, l'avaluació de la recerca s'està fent de manera força ri-

TAULA 12

Distribució dels sexennis de productivitat investigadora reconeguts als professors de la UPC en l'àrea de l'enginyeria civil i l'enginyeria de la construcció (final 1998)

Codi	Departament	0 Sexennis	1 Sexennis	2 Sexennis	3 Sexennis	4 Sexennis	Total	Teòrics	Ràtio Reals / Teòrics
704	Construccions Arquitectòniques I	-	-	-	-	-	22	-	-
705	Construccions Arquitectòniques II	-	-	-	-	-	-	-	-
706	Enginyeria de la construcció	5	2	2	4	-	18	35	51 %
708	Enginyeria del Terreny i Cartogràfica	5	2	6	2	1	24	30	80 %
711	Enginyeria Hidràulica, Marina i Ambiental	3	3	3	1	-	12	19	63 %
722	Infraestructura del Transport i Territori	5	1	2	1	-	8	32	25 %
727	Matemàtica Aplicada III	15	1	3	1	-	10	29	34 %
737	Resistència de Materials i Estructures en l'Enginyeria	2	4	3	2	-	16	29	55 %
Total EC i EC a l'ETSECCPB		35	13	19	11	1	79	200	40 %

EC i EC: enginyeria civil i enginyeria de la construcció; ETSECCPB: Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona.

gorosa, amb una demanda mínima de cinc contribucions de recerca notables amb estàndards internacionals (revistes indexades al *Journal Citation Report*, llibres de recerca, etc.) per cada sexenni de dedicació exclusiva a la docència i la recerca. Els sexennis han esdevingut un paràmetre extern de reconeixement de la recerca.

Mentre que el nombre de sexennis reconeguts és una informació pública en un nivell agregat, ja que el Ministeri d'Educació i Cultura assigna petits sobresous per productivitat, no és possible esbrinar el nombre de sexennis màxim que pot assolir cada professor, perquè això depèn de les seves circumstàncies personals (edat a la qual es va posar a investigar, edat a la qual va començar a dedicar-se a recerca i docència amb dedicació exclusiva, etc.).

Amb un caire purament indicatiu encaminat a contestar de manera aproximada una curiositat, s'ha emprat la taula 4, presentada amb anterioritat (relativa a l'edat) suposant que, de mitjana, un professor comença a fer recerca i docència als 27 anys, de manera que als 32 anys podria gaudir d'un sexenni i un quinquenni reconeguts, als 37 anys podria tenir dos quinquennis de docència però només un sexenni de recerca, etc. El nombre màxim fins ara és de cinc sexennis o quinquennis.

La taula 12 mostra la distribució de sexennis de recerca atorgats i postula un nombre de sexennis teòrics per a una edat mitjana de cada interval d'edat de la taula 4. A continuació s'indica l'edat mitjana considerada i, entre parèntesis, el nombre de sexennis màxim assolible: 28 (0), 32 (1), 37 (1), 42 (2), 47 (3), 52 (4), 57 (5), 65 (5). Amb aquesta hipòtesi s'ha construït la columna de sexennis teòrics i la ràtio de sexennis atorgats sobre els teòrics. Malgrat que el nombre de sexennis atorgats no arriba a la meitat dels màxims assolibles, l'àrea d'enginyeria civil i l'enginyeria de la construcció té el màxim reconeixement de l'activitat de recerca dins la UPC i de tot l'Estat espanyol quant a universitats tècniques. De la taula 12 també es corrobora el rigor en l'avaluació de la recerca en el marc estatal i l'heterogeneïtat productiva d'alguns departaments. Així mateix, cal assenyalar que el total de l'àmbit té reconeguts 101 sexennis sobre un total de concedits a tota la UPC, a final del 1998, de 495.

4.5. Volum econòmic de les activitats de R+D

4.5.1. Introducció

A les taules i gràfics que s'inclouen en aquest apartat es presenta una estimació del volum econòmic generat per les activitats de R+D a l'àrea d'enginyeria civil i enginyeria de la construcció a Catalunya durant el període 1994-1998, cosa que permet de veure les tendències i extrapolar si cal cap a anys anteriors o posteriors. Cal destacar que totes les dades s'han obtingut a partir d'informació facilitada pels organismes que s'esmenten a les taules, fet que s'ha d'agrair profundament.

En la sollicitud d'aquestes s'ha insistit que es cercaven dades corresponents a les activitats de R+D i que no es consideraven els aspectes de servei. Evidentment, això pot representar certes dificultats en l'estimació de les partides per alguna de les entitats que hi han col·laborat. Les xifres s'han de prendre com a orientatives (si bé amb un ordre de magnitud ben acotat) i sempre amb una cota inferior del volum econòmic total en R+D en aquest camp, ja que hi pot haver errors o omissions, sempre involuntaris, pels quals demanem disculpes per endavant.

Així mateix, s'ha de recordar que en l'apartat 4.2.1 ja s'ha presentat, de manera quantificada, la participació de l'àmbit de l'enginyeria civil i l'enginyeria de la construcció en el IV Programa Marc de la UE. En aquest apartat s'indicava que els recursos aconseguits es distribuïen entre la UPC, el CSIC i la UB. La part corresponent a la UPC apareix en les dades que s'aporten en aquest apartat.

4.5.2. Volum econòmic en temes de R+D d'aquest àmbit a Catalunya

A la taula 13 es presenta el total (les xifres estan en milions de pessetes) del finançament rebut en el període 1994-1998 dins l'àmbit. S'hi han agrupat per entorns les institucions que han aportat dades amb vista a una millor visualització i evitar una fragmentació excessiva.

La primera nota a destacar és la xifra total de les activitats de R+D generades en un període de cinc anys, que ascendeix aproximadament als 9.000 milions de pessetes. Aquesta xifra es pot estimar en un 8 % del conjunt del volum de R+D generat a Catalunya en aquest període i un 1,4 % del volum total de R+D de tot l'Estat espanyol.³ Els dos valors són significatius i mostren una

TAULA 13
 Volum econòmic d'activitats de R+D en l'àmbit de l'enginyeria civil
 i l'enginyeria de la construcció a Catalunya

<i>Institució</i>	<i>1994</i>	<i>1995</i>	<i>1996</i>	<i>1997</i>	<i>1998</i>	<i>Total</i>
Entorn de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports	649	799	839	902	812	4.001
Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC) **	540	660	504	600	700	3.004
ITEC **	132	92	93	132	117	566
Departament de Construccions Arquitectòniques I i II (UPC)	185	157	112	123	173	750
Varis *	60	140	180	230	280	890
Total	1.566	1.848	1.728	1.987	2.082	9.211

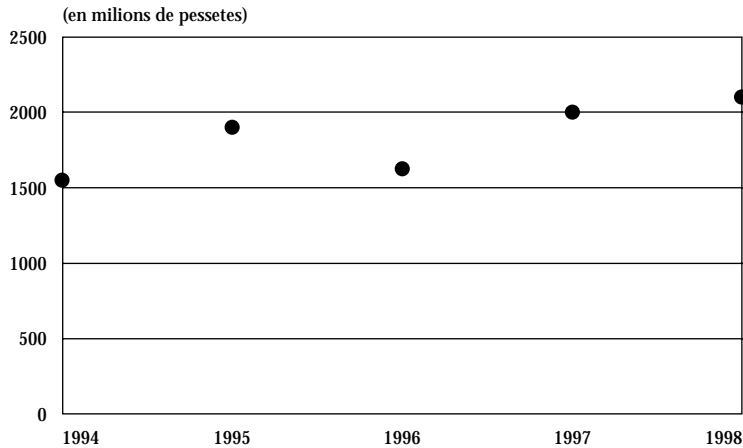
* En aquest apartat s'inclou: Institut Ildefons Cerdà, Grup R+D del Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics, i el Laboratori General d'Assaigs i Instrumentació (LGAJ).

** Les activitats de R+D en aquest àmbit de l'Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC) i de l'ITEC s'han estimat en un 20 % del volum d'operacions anuals, partint de la memòria de 1998 i converses. Això és més coherent amb els altres entorns, en què s'inclouen altres activitats no sols de recerca.

3. Percentatges obtinguts extrapolant el volum en R+D en enginyeria civil a Catalunya i la resta d'Espanya provinent de projectes europeus en el període 1995-1997.

FIGURA 5

Evolució del volum econòmic de les activitats de R+D en l'àmbit de l'enginyeria civil i l'enginyeria de la construcció a Catalunya en els darrers cinc anys



forta dinàmica dels grups investigadors, poc coneguda, d'altra banda, per les autoritats de política científica i pel conjunt de la societat.

Un alt percentatge de l'activitat econòmica ressenyada (el 60 % en el període 1995-1997) ha estat generat per projectes finançats per la Unió Europea. Això és un índex clar de la internacionalització de l'activitat de R+D en l'àrea d'enginyeria civil i enginyeria de la construcció. En contrapartida, aquest fet també es pot interpretar com un índex del baix nivell d'inversió en R+D del sector empresarial en aquest àmbit, cosa que també és certa, ateses les característiques del sector que es descriuen en l'apartat 1.4.

D'altra banda, aquests resultats es poden representar gràficament com una evolució en el temps, tal com es pot veure en la figura 5. S'hi pot observar una tendència creixent en el temps, dins el conjunt d'entitats que componen l'àmbit, de manera que en el període de cinc anys esmentat s'ha esdevingut un increment del 38,2 %.

En l'examen dels quadres es dedueix que el 43,4 % de l'activitat en R+D a l'àrea d'enginyeria civil i construcció es genera en l'entorn de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona (4.001 milions sobre un total de 9.211 milions). Així mateix, un generador molt important d'activitat de R+D és l'Institut Cartogràfic de Catalunya, organisme dependent de la Conselleria de Política Territorial i Obres Públiques de la Generalitat de Catalunya. Aquesta institució, que té un pressupost de 3.000 milions de pessetes l'any, genera una activitat molt important de R+D, que s'ha estimat, per consens, en un 20 % del seu pressupost, tal com reflecteix la taula 13. S'ha estimat aquest mateix percentatge per a l'ITEC.

Si s'associa el finançament als resultats de recerca presentats (mesurats per articles, tesis doctorals, etc.), es mostra que l'entorn de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports té un bon equilibri entre recerca, desenvolupament i innovació, mentre que les altres entitats estan més abocades als temes de transferència i serveis, en alguns casos condicionats pel caràcter de la institució.

4.5.3. *Distribució del volum econòmic en diferents àrees de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona*

A fi de conèixer el tipus de distribució del finançament per àrees s'ha considerat un desglossament d'aquesta dins l'entorn de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona com a primer productor de l'àmbit. Els resultats del finançament rebut en el període 1994-1998 (les xifres estan en milions de pessetes) es presenten a la taula 14. Com a font d'informació s'ha fet servir l'aportada pel Centre de Transferència de Tecnologia de la UPC, el CIMNE, la FCIHS, el CIIRC i l'ICEC.

TAULA 14
*Volum econòmic d'activitats de R+D en l'àmbit de l'enginyeria civil
 i l'enginyeria de la construcció en l'entorn de l'Escola Tècnica Superior de Barcelona*

<i>Departament / organisme</i>	<i>1994</i>	<i>1995</i>	<i>1996</i>	<i>1997</i>	<i>1998</i>	<i>Total</i>
Enginyeria de la Construcció	72	89	136	120	78	495
Enginyeria del Terreny	111	151	168	198	143	771
Enginyeria Hidràulica, Marítima i Ambiental	179	213	158	153	125	828
Infraestructura del Transport i Territori	74	61	58	84	73	350
Matemàtica Aplicada III	8	27	26	16	18	95
Resistència de Materials i Estructures en l'Enginyeria	43	50	57	48	40	238
Centre Internacional de Mètodes Numèrics en l'Enginyeria (CIMNE)	80	100	160	180	210	730
Institut Català d'Enginyeria Civil (ICEC)	32	51	15	26	38	162
Fundació Centre Internacional d'Hidrologia Subterrània (FCHIS)	10	12	11	12	7	52
Laboratori d'Enginyeria Marítima (LIM)	40	45	50	65	80	280
Total	649	799	839	902	812	4.001

Els resultats mostren que l'activitat de R+D està molt repartida en diferents departaments i centres de R+D autònoms (CIMNE, LIM, recerca en recursos costaners —CIIRC—, FCIHS, ICEC) vinculats a la Universitat Politècnica de Catalunya i amb seu a l'Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona. D'altra banda, les xifres mostren la vocació

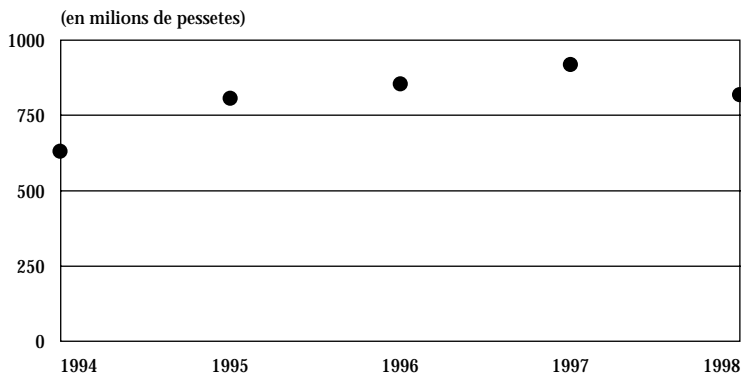
dels diferents grups de l'escola esmentada per a generar recursos propis per a finançar la recerca. És important destacar que aquests recursos s'han invertit a finançar importants inversions en laboratoris i centres de càlcul (com s'ha reflectit en l'apartat 3.4), així com en la contractació de personal de recerca per a recolzament del professorat de la UPC.

Com a dada final significativa, es fa ressaltar que, el mes de setembre de 1999, el conjunt d'investigadors finançats amb càrrec a projectes de R+D a l'Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona ascendia a uns 110, xifra equivalent al conjunt del professorat de l'escola esmentada. Cal cridar l'atenció sobre el fet que l'equilibri econòmic manifestat té una bona correlació amb la producció en articles en revistes indexades, tal com s'ha posat en evidència a les figures 3 i 4.

D'altra banda, a la figura 6 es presenta l'evolució de la generació de recursos en l'entorn de l'Escola Tècnica Superior de Camins, Canals i Ports en el període en estudi. S'hi pot apreciar una tendència creixent, per bé que hi ha una caiguda l'any 1998. Això obeeix, d'una banda, al fet que, en la generació de recursos provinents de fonts europees, s'ha escaigut el final del IV Programa Marc i hi ha hagut un període de retards en peticions de projectes. D'altra banda, als programes nacionals hi ha diversos grups de seqüencialitat cada tres anys, el darrer any dels quals corresponia al 1998, tendència que s'ha recuperat en la convocatòria resolta l'any 1999.

FIGURA 6

Finançament per a activitats de R+D en l'entorn de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona



5. Conclusions i recomanacions

5.1. Conclusions

La principal conclusió que hom extreu de l'anàlisi realitzada és l'alt nivell de la recerca en l'àmbit de l'enginyeria civil i l'enginyeria de la construcció a Catalunya. Aquest nivell sovint és desconegut pels entorns socials, institucionals i professionals. De fet, la iniciativa de l'Institut d'Estudis Catalans ha estat un dels primers documents institucionals seriosos en tot l'Estat espanyol i esperem que alhora permeti sensibilitzar els diversos estaments sobre la necessitat d'una major comunicació social i consideració segons la productivitat assolida.

Malgrat les dificultats i la limitada penetració en el públic en general de les publicacions tecnològiques (penetració que, en canvi, s'aconsegueix en altres àmbits de la ciència), el nivell assolit quant a publicacions d'excel·lència (les de caire internacional amb arbitratge i analitzades en el *Journal Citation Report*) en l'entorn de Barcelona és de primera magnitud: al continent europeu Barcelona ha resultat ser la quarta ciutat i la Universitat Politècnica de Catalunya ha resultat la tercera universitat darrere l'Imperial College i l'ETH. Aquí cal destacar que en els àmbits de la construcció, la computació i el transport és la primera universitat europea; la contribució mitjana mundial oscil·la entre un 5 % i un 10 % de tots els articles en les millors revistes de l'àmbit *Journal Citation Report* de cada àrea de coneixement, i la tendència temporal és creixent (s'han publicat més publicacions excel·lents en el darrer quinquenni 1994-1998 que en l'anterior, 1989-1993). És difícil trobar indicadors similars d'excel·lència internacional en altres àmbits catalans del coneixement, siguin tecnològics, científics o humanístics. En canvi, cap enquesta o entrevista a representants professionals, institucionals o àdhuc acadèmics no pronosticaria aquest nivell *a priori*.

El primer productor de recerca a Catalunya és l'Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de la UPC, que és un referent d'excel·lència dins la mateixa institució i, alhora, constitueix sovint una referència clau en tot l'Estat espanyol, a banda de ser el centre d'aquesta universitat amb major productivitat en recerca per professor equivalent a temps complet (els tres primers departaments de la UPC en aquest paràmetre són tots tres de l'Escola d'Enginyers de Camins). Cal destacar també l'equilibri dins els departaments associats a l'Escola (aquest equilibri no és estrany, ja que en general respon a l'explicitació, en la creació de la citada escola, fa vint-i-cinc anys, d'una professionalització del seu professorat, amb l'impuls de la recerca com a generadora de coneixement), àdhuc els que tenen més contacte o reminiscències professionals.

També s'ha constatat que, de vegades, el reconeixement de la tasca realitzada a l'Escola d'Enginyers de Camins, Canals i Ports és més patent en l'àmbit estatal i internacional —la presència en els diferents òrgans dels àmbits esmentats és molt important— que no pas en l'àmbit català, la qual cosa pot atribuir-se a la manca de tradició en el desenvolupament, l'encàrrec i el recolzament de la recerca en l'àmbit de l'enginyeria civil i l'enginyeria de la construcció, i a la limitada comunicació i difusió assolides en entorns externs al propi de la recerca, cosa que no deixa de ser responsabilitat d'aquest entorn.

S'ha detectat també una certa desunió generalitzada entre tots els productors d'aquest àmbit, més marcada entre els productors aliens a aquesta escola, una unió que, en alguns casos, hauria de ser garantida *a priori* pels vincles institucionals que els suporten i pel fet que la producció

es decanta, majoritàriament, pel vessant del desenvolupament, la consultoria i el servei i no pas per la recerca. Aquesta desunió ha impedit fins a la data la constitució, en aquest sector, d'un centre de referència o una altra fórmula que coordini les activitats i transmeti les imatges comunes a la societat.

El volum econòmic en activitats de R+D dins aquest sector és important: de l'entorn dels 9.300 milions de pessetes en els darrers cinc anys. D'aquesta xifra el 47 % es genera en l'entorn de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports, amb un bon equilibri en finançament provinent tant de fons públics (europeus, nacionals, autonòmics) com privats (contractes de R+DT amb empreses). La tasca de transferència dels altres grups de l'àmbit català és important, i destacable el paper de representació i recolzament prenormatiu i normatiu que alguns tenen encomanat.

S'ha detectat, així mateix, que la recerca no és només profitosa per a millorar i actualitzar la docència universitària, sinó que és l'estratègia competitiva de les universitats de qualitat. La important participació en els programes de recerca nacionals i internacionals, així com les quantitats econòmiques anuals que es giren a la UPC dins l'àmbit de l'enginyeria civil i l'enginyeria de la construcció han de tenir una col·laboració natural, ja detectada, d'augment de la incidència de R+D amb el món empresarial a iniciativa d'aquest mateix, així com d'intensificació del recolzament institucional català als veritables productors de recerca, sempre a la recerca de l'autosuficiència econòmica per a altres centres i instituts que basen llur activitat en la transferència de tecnologia i la consultoria.

5.2. Recomanacions

Com a conseqüència d'aquest treball es proposa dur a terme diverses actuacions per a assolir els objectius següents:

- a) Donar cohesió als grups i iniciatives existents en R+DT i potenciar l'impacte social de la seva tasca.
- b) Facilitar als tècnics del sector l'accés a la informació existent.
- c) Potenciar la introducció de la innovació en l'àmbit de l'enginyeria civil i l'enginyeria de la construcció.

Per tal d'assolir els objectius plantejats, es proposen les mesures d'actuació següents:

- a) Constituir un grup de treball entre les institucions que desenvolupen les activitats de R+DT en l'àmbit català per a:
 - informar a l'opinió pública de les activitats desenvolupades;
 - col·laborar amb les autoritats de política científica de l'àmbit català, nacional i internacional en la definició d'accions en aquesta àrea;
 - coordinar les activitats realitzades per cada grup en temes de R+DT;
 - propiciar, juntament amb les empreses del sector, un canvi d'imatge que transmeti un plantejament positiu de preocupació per la qualitat;
 - ser motor de la incorporació de les empreses a temes de R+DT, dins els marcs establerts en l'àmbit nacional i internacional...;
 - desenvolupar accions prospectives conjuntes que obrin nous camins del sector de la construcció amb altres sectors.

b) Constituir un centre virtual del sector de la construcció a Catalunya a través de fórmules tipus centre de referència o centre tecnològic. Aquest centre tindria per missió la creació d'un portal informàtic en què s'articulés tota la informació existent en temes de R+DT dins el sector aprofitant les diferents iniciatives existents així com els treballs previs. El centre ha d'estar dirigit als usuaris tècnics que es plantegin un tema nou i per a aquest calen referències d'experiències prèvies, resultats d'aquestes, possibles participants, xarxa de grups de recerca, etc.

c) Potenciar, en el marc del IV Programa Nacional de R+DT, la incorporació de les tecnologies de la informació i la comunicació en l'àmbit de la construcció. Aquesta incorporació no hauria de plantejar-se a través de projectes específics sinó com a accions d'acompanyament a les iniciatives que sorgeixin des del mateix teixit empresarial. Aquestes han d'anar dirigides al cofinançament de l'adaptació de treballs realitzats en altres àmbits per a la seva aplicació al sector de la construcció. Aquestes accions han d'aportar valor afegit al sector i han d'anar dirigides principalment a les PIME. Amb això es pretén animar que les empreses comencin a valorar la innovació com un camí futur de competència.

d) Fomentar les trobades transversals dintre i fora del sector per a facilitar la cohesió interna i el coneixement mutu intersectorial, per a la qual cosa seria convenient que l'Administració obrís una via de finançament de recolzament a aquestes activitats. Així mateix, no s'han d'abandonar les trobades sectorials si bé cal fer èmfasi en la comunicació entre la interfase que constitueixen els centres productors de recerca i les empreses del sector, així com l'entorn social que l'envolta.

e) Afavorir la creació de petites empreses molt especialitzades per a exportar enginyeria i innovació, i tenir el recolzament dels centres de recerca d'acord amb el que es descriu en el cas anglès o holandès.

f) Conscienciar sobre la política d'exempcions fiscals per a empreses en temes de R+DT i d'un nou sistema de contractació d'obres com a elements principals en la incorporació de la innovació en el món empresarial dins aquest sector.

Bibliografía

- AGUADO, A.; CANCELA, M. D. (1999). «El área sectorial de construcción y conservación del patrimonio histórico cultural en el IV Programa Marco Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica 2000-2003». *III Congreso Nacional de la Ingeniería Civil*. [Barcelona, 24-26 de noviembre de 1999.]
- AGUADO, A.; AGUILAR, J.; BUGARÍN, M. R.; CAÑIZAL, F.; DOMÍNGUEZ, J.; MANSO, J. M.; MENÉNDEZ, A.; RÚA, E.; UREÑA, J. M. (1999). «Tendencias formativas en el ámbito de la ingeniería civil». *III Congreso Nacional de la Ingeniería Civil*. [Barcelona, 24-26 de noviembre de 1999.]
- CCE (1997). *La competitividad de la industria de la construcción* [Comunicación de la Comisión de las Comunidades Europeas al Consejo, al Parlamento Europeo, al Comité Económico y Social y al Comité de las Regiones]. Bruselles, 4.11.1997. Ref.: COM(97) 539 final.
- COTEC (1997). *Sector de la construcción*. Document núm. 8: *Necesidades tecnológicas*. 1997.
- PÉREZ SAINZ, A. (1999). *La industria de la construcción en Europa: Desafío y oportunidades en el 5º Programa Marco de I+DT* [Conferencia en la ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos]. Barcelona, UPC, 12 de març de 1999.
- SEOPAN (1999). *Memoria 1998*. Asociación de Empresas Constructoras de Ámbito Nacional.
- UPC (1999). *Dades estadístiques i de gestió*. Maig de 1999.