



INSTITUT D'ESTUDIS CATALANS

REPORTS DE LA RECERCA A CATALUNYA
Física

BARCELONA, 1997

REPORTS DE LA RECERCA A CATALUNYA
Física

INSTITUT D'ESTUDIS CATALANS

REPORTS DE LA RECERCA A CATALUNYA
Física

Report elaborat per David Jou i Mirabent,
membre numerari de la Secció de Ciències i Tecnologia de l'Institut d'Estudis Catalans
i catedràtic de física de la matèria condensada a la Universitat Autònoma de Barcelona

BARCELONA, 1997

Biblioteca de Catalunya. Dades CIP:

Jou i Mirabent, David

Reports de la recerca a Catalunya. Física

Bibliografia

ISBN: 84-7283-347-X

I. Institut d'Estudis Catalans II. Títol

1. Física — Investigació — Catalunya — Informes

53:001.899(467.1)

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

© 1997, Institut d'Estudis Catalans

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

Primera edició: març de 1997
Tiratge: 750 exemplars

Compost i imprès a Altés, SL
Carrer del Cobalt, 160. 08907 L'Hospitalet de Llobregat

ISBN: 84-7283-347-X
Dipòsit Legal: 13334-1997

Pròleg

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

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

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

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

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

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

Josep Carreras i Barnés
Vicepresident

Josep Enric Llebot
Secretari científic

Introducció

La bibliografia sobre l'estat de la recerca en física a Catalunya és molt escassa, i pràcticament es limita a la informació continguda en el *Llibre blanc de la recerca a Catalunya*, publicat per l'IEC i la CIRIT el 1990 [1] i a una conferència publicada per la Fundació Catalana per a la Recerca [2]. Hi ha també diversos estudis sobre l'estat de la física a Espanya [3-9], que en presenten una descripció global, de la qual no podem extreure fàcilment la informació detallada respecte a Catalunya, tot i que dóna tendències generals de gran interès i molt dignes de consideració.

El present estudi pretén contribuir a mitigar aquesta mancança, tot oferint un retrat a grans línies de l'estat de la recerca en física a Catalunya entre 1990 i 1995. Hem pres com a data inicial d'aquest estudi la de la publicació de l'esmentat *Llibre blanc* que, en part, pretenem actualitzar. Hem dividit el treball en quatre seccions: recursos humans, temes de recerca, resultats científics i recursos econòmics. Aquest estudi té una voluntat de continuïtat, a fi d'anar acumulant dades i augmentar la precisió i profunditat del coneixement de la física a Catalunya, i espera enriquir-se amb els comentaris, les crítiques i les aportacions que els investigadors ens vulguin fer arribar. Tot i això, per a arribar a un coneixement aprofundit de l'estat i de l'evolució de la física a Catalunya caldria molts més treballs detallats sobre aspectes específics d'àrees concretes, que convindria anar elaborant per poder anar més enllà de les limitacions difícilment evitables d'un treball de caràcter general com aquest.

Abans d'iniciar l'estudi pròpiament dit, intentarem presentar una breu panoràmica del període de 1990-1995 pel que fa a política i ciència. Des del punt de vista de la política internacional, el període esmentat ha estat marcat per la caiguda del mur de Berlín (a finals del 1989) i la desaparició de l'URSS. Les conseqüències han estat dobles: una disminució de les despeses en armament i en la recerca relacionada amb aquests temes, i una deterioració rapidíssima de la ciència a l'antiga URSS, que ha provocat un èxode massiu de científics a Europa i als Estats Units principalment. Pel que fa a sistemes de comunicació científica, l'obertura d'Internet al públic general des del 1993 ha incrementat l'ús d'aquest mitjà de comunicació com a instrument de disseminació de resultats científics i ha fet que moltes revistes científiques adoptin també aquest sistema com a forma complementària i més ràpida de difusió dels seus resultats.

Pel que fa a política científica a Europa, els passos vers la Unió Europea han fet que els programes europeus de recerca cada vegada tinguin més presència en el finançament de la ciència espanyola i catalana. Els programes marc II (1987-1991, 5.400 MECU), III (1991-1994, 5.700 MECU) i IV (1995-1998, 12.300 MECU), amb volums creixents de subvenció total, manifesten aquesta tendència a l'alça, que ha repercutit, però, en una certa tendència a la baixa del finançament de fonts internes. Pel que fa a Espanya en general i a Catalunya en particular, després d'un període d'uns quinze anys (1977-1992) de creixement continuat en despesa en ciència, amb un augment notable en el nombre d'autors i en el nombre de publicacions científiques, el 1992 representa un punt d'inflexió, seguit per una crisi econòmica que abraça els anys 1993-1995, i que repercuteix, en termes generals, en una manca de creixement —quan no en una minva— dels recursos dedicats a la ciència, i que atura aquest esforç quan els indicadors científics (fracció del PIB dedicat a recerca, nombre de científics per miler d'habitants) estan encara a distància considerable dels de la mitjana europea.

Pel que fa a algunes qüestions de política científica referents a Catalunya recordarem, per exemple, que el 1992 es produeix una resolució del Tribunal Constitucional adversa al recurs interposat per la

Generalitat davant la llei de «fomento y coordinación general de la investigación científica y técnica» del 1986. Tot i aquest revés, l'any 1993 entra en vigor el primer pla de recerca científica de la Generalitat (1993-1996). Aquest any veu també la creació de noves universitats: la de Girona, la de Lleida i la Rovira i Virgili, que se segreguen de la UAB i de la UB, de les quals havien depès fins aleshores, i esdevenen universitats de ple dret i posteriorment, les noves universitats Pompeu Fabra, Ramon Llull i Universitat Oberta de Catalunya. El curs 1992-1993 comença a entrar en vigor una reforma dels plans d'estudis universitaris, que redueix, en les universitats catalanes, la durada de la llicenciatura de cinc a quatre anys, tot apuntant a una formació més generalista que hauria de ser complementada amb una potenciació del tercer cicle pel que fa a la recerca. Finalment, convé recordar, pel que fa a Catalunya, que la celebració dels Jocs Olímpics del 1992 a Barcelona contribuï a potenciar-ne la imatge a escala mundial, potenciació que ha afavorit, indirectament, la ciència, ja que Barcelona és vista pels investigadors com un lloc atractiu que convé visitar i conèixer, i n'augmenta l'afluència a congressos i reunions de treball.

A. Recursos humans: investigadors i grups

A.1. Definició del camp

No pretenem ací definir la física, sinó explicitar els criteris metodològics seguits en aquest treball. Resulta pràcticament impossible definir el camp de la física de manera que dugui a una identificació inequívoca de temes de recerca i d'investigadors. Per això, és imprescindible en un treball d'aquestes característiques explicar ben clarament els criteris de demarcació, tot i sabent que aquests són sempre oberts a disparitats de criteri, que no han de preocupar excessivament si hom sap amb claredat com ha estat definit el camp.

Pel que fa a la docència, la llicenciatura en física a Catalunya es desenvolupa a les universitats de Barcelona i Autònoma de Barcelona. Només hem tingut en compte aquestes titulacions en l'estudi sobre formació. Convé recordar, però, que la UPC ofereix una diplomatura en òptica, que podria ser considerada com a part de la física, però que no hem inclòs ací, ja que la gran majoria d'investigadors procedeixen de llicenciatures i doctorats més que no pas de diplomatures.

Pel que fa a la recerca, hem inclòs un conjunt de grups, explícitament referits en l'apèndix A. De la UB, hem inclòs tots els grups dels quatre departaments de la Facultat de Física (Astronomia i Meteorologia, Estructura i Constituents de la Matèria, Física Aplicada i Electrònica, i Física Fonamental); a més d'un grup de biofísica de la Facultat de Medicina i un grup de geofísica de la Facultat de Geologia. A la UAB, hem considerat tots els investigadors del Departament de Física (recentment s'ha format un departament d'enginyeria electrònica, que no existia, però, durant el període estudiat ací), i un grup de biofísica de la Facultat de Medicina. A la UPC, hem considerat diversos grups relacionats amb els departaments de Física Aplicada, d'Òptica i Optometria, i de Física i Enginyeria Nuclear i, en algun cas, alguns investigadors concrets d'altres departaments (Enginyeria Mecànica, Enginyeria Hidràulica i Marítima...) que formen part d'algun projecte conjunt amb grups de la UB o del CSIC. A la URV, dos grups de la Facultat de Química, relacionats amb fluids, i amb física de materials. A la UdG, dos grups, un de la Facultat de Ciències, dedicat a la limnologia, i l'altre de l'Escola Politècnica, dedicat a física de materials. Pel que fa al CSIC, hem considerat cinc grups: un de les ciències del cosmos, dos de ciència de materials (magnetisme i estructura de la matèria, i cristal·lografia i difracció), un de sistematologia i un d'oceanografia física. A la URL correspon, actualment, l'Observatori de l'Ebre, on un grup treballa en ciències de la terra i de l'espai.

En aquesta delimitació, hi hem tingut en compte criteris administratius, fixats per la pertinença a departaments o facultats concrets, o per la participació en projectes conjunts, i criteris de publicació, ja que hem tendit a incloure en la física aquells investigadors que publiquen amb certa freqüència en les revistes usuals de física, segons la classificació que, d'aquestes, en fan les bases de dades internacionals de l'SCI. Cap d'aquests criteris no és inequívoc (per exemple, algunes persones pertanyents a facultats de química publiquen usualment en revistes de física com ara *Phys. Rev. B*), ni tampoc no són conciliables entre ells, tot i que no tenen perquè entrar en conflicte si hom és prou explícit, de manera que en passar d'una anàlisi temàtica a una anàlisi global de totes les ciències sigui possible evitar al màxim el doble recompte en les àrees d'encavallament. Heus ací, finalment, algunes de les principals dificultats i fonts d'ambigüitat amb què ens hem trobat: la frontera entre física i química (fisicoquímica en general, i més concretament la física molecular i la ciència de materials), entre física i biologia (ací, la biofísica i l'oceanografia), entre física nuclear i física ambiental, o entre electrònica i ciència de

materials i, en algunes ocasions, entre física i història de la física. Cal remarcar que la tecnologia electrònica fa part d'un altre report d'aquesta mateixa col·lecció, motiu pel qual la presència d'electrònica en aquest report és relativament minsa, i fa referència als grups més directament implicats en recerca fonamental, força relacionada també amb ciència de materials, segons la definició bibliogràfica adoptada ací per a la física.

A.2. Formació: llicenciatura i doctorat

Tot i que no estigui estrictament lligada amb la recerca, ens sembla d'interès començar amb una idea del nombre de joves que es van incorporant a la recerca. El nombre d'estudiants que s'han llicencien en física a Catalunya durant el període considerat és ressenyat a la taula 1.

TAULA 1
Nombre d'estudiants que han acabat la llicenciatura en física

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
UAB	47	36	33	33	49	23	60
UB	197	115	141	145	139	149	179

En el període considerat (1990-1995) han sortit de les universitats uns 1.100 llicenciats en física. Aquests nombres són semblants als de llicenciats en matemàtiques, superiors en un 50 % als de llicenciats en geològiques, aproximadament la tercera part dels de llicenciats en química i informàtica, i la sisena part dels de llicenciats en biologia. El nombre de nous físics presenta considerables fluctuacions, amb una minva considerable al principi dels anys noranta, i una recuperació posterior. Aproximadament el 70 % són nois i el 30 % són noies, proporcions que canvien a un 85 % de nois i un 15 % de noies en passar a la recerca. Com que l'objectiu d'aquest estudi és l'estat de la recerca en física més que no pas l'estat de la física en general, no entrarem en qüestions tan interessants com l'estat de l'ensenyament de la física al batxillerat (segons enquestes publicades recentment a la *Revista de Física*, només un 11 % dels professors que ensenyen física al batxillerat són llicenciats en física), o les sortides professionals dels físics, temes que convindria tractar, però, en alguna altra ocasió.

El nombre de llicenciats en física que s'han incorporat a la recerca com a doctors ha estat vora un 20 % del total de llicenciats. El nombre de tesis doctorals en física llegides en aquest període es recull a la taula 2.

TAULA 2
Tesis doctorals en física llegides

	1989-1990	1990-1991	1991-1992	1992-1993	1993-1994	1994-1995	1995-1996
UAB	17	11	7	15	7	3	16
UB	22	13	22	17	19	23	25
UPC	4	3	3	3	4	5	—

Tot i que al CSIC s'elaboren tesis doctorals, aquestes es llegeixen a les universitats. La UPC no té pròpiament el títol de doctor en física, sinó el títol genèric de doctor en ciències, amb l'especificació de Física. D'altra banda, les universitats de Girona i Rovira i Virgili se segregaren de la UAB i la UB, respectivament, l'any 1993, i no ens consta lectura de tesis en física en el període 1993-1995. Esbrinar les sortides professionals de l'altre 80 % de llicenciats que no s'han doctorat seria també interessant (docència, companyies informàtiques, indústria), però no en tenim dades i no forma part dels objectius d'aquest treball.

La possibilitat d'incorporar-se als departaments universitaris per tal de dur a terme un tercer cicle està estretament vinculada al nombre de beques, atorgades principalment pel Ministeri d'Educació, per la CIRIT i la Direcció General d'Universitats del Comissionat per a Universitats, per les universitats mateixes i, en alguns casos, per alguna entitat privada. El nombre de beques ha presentat fortes oscil·lacions. En la taula 3 en presentem les dades per a la UAB/UB/UPC (en aquest ordre) en el període considerat.

TAULA 3
Beques concedides a doctorands en física de la UAB/UB/UPC

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	Total
MEC	5/16/2	1/10/5	5/4/1	3/5/4	0/4/4	2/9/-	80
CIRIT	3/0/0	8/8/4	1/2/2	2/5/3	0/6/5	3/9/-	61
UNIV.	0/0/-	1/0/-	3/0/-	0/0/-	0/0/-	0/1/-	5

No ha de sorprendre que el nombre de beques sigui considerablement inferior al de doctorands, ja que una bona part d'aquests ocupen places de professors ajudants de diverses categories, i alguns altres, pocs, tenen alguna beca vinculada directament a projectes de recerca. Un cert nombre dels doctorands (entre trenta i quaranta) són estrangers: és creixent el nombre d'estudiants procedents del Marroc que fan el doctorat a les nostres universitats i el de joves doctors de la Unió Europea i d'Amèrica que fan una estada postdoctoral en els nostres departaments. Cal esmentar, finalment, els programes de postdoctorat, que afavoreixen l'estada de joves doctors en centres estrangers durant un o dos anys (unes vint-i-cinc beques en aquest període), i els de reinserció de doctors després de les estades postdoctorals (una desena de beques en aquests anys).

A.3. Recerca: distribució de grups i investigadors per centres

A continuació, exposarem el nombre de grups de recerca inclosos en aquest estudi. Per tal de facilitar la reproductibilitat del treball, en donem una llista a l'apèndix A. Els grups han estat identificats a partir de quatre fonts diferents: les llistes de la Direcció General de Recerca, les memòries de les universitats, els llibres de projectes de la DGICYT i de la CICYT, i els noms dels signants d'uns cinc-cents articles publicats en revistes científiques (les recollides a la taula 7). No cal dir que cap d'aquestes fonts no dóna agrupacions coincidents i que s'han presentat, en diverses ocasions, problemes de criteri, ja esmentats en els comentaris sobre la definició del camp. Per tal de controlar al màxim la no-duplicació, hem elaborat una llista nominal d'investigadors i de grups, no recollida en aquest treball.

La distribució de grups per universitats és la següent:

UB	UAB	UPC	URV	UdG	CSIC	URL	Total
20	12	9	3	2	5	1	52

En una lectura més restrictiva que no prenguéss en consideració els grups de biofísica, ni els d'oceanografia, ni els acollits a les facultats de química, aquest nombre es reduiria a una quarantena de grups. D'aquests, 25 figuren en la llista de grups de recerca consolidats de la DGR com a grups de física, i 5 més en la llista dels d'enginyeria. Els altres deu grups, o bé són petits o agrupen investigadors dispersos, o bé són de fet consolidats, però no han sol·licitat encara la seva inclusió en les llistes esmentades. El nombre de grups pot augmentar si hom estudia el mateix nombre d'investigadors amb criteris més fins i estrictes basats en les agrupacions d'autors reflectides en els articles.

El nombre total d'investigadors, a mitjan 1995, és de prop de 600, desglossats en uns 390 doctors i uns 210 doctorands, la majoria dels quals han publicat, com a mínim, un article en les revistes de la taula 7. Aquest desglossament en doctors i doctorands és merament indicatiu, ja que les dades de què disposem fan difícil saber-ne amb certesa la condició, però l'ordre de magnitud mitjà de la proporció, que fluctua per anys i per grups, és plausible. Cal tenir en compte aquesta dada per a advertir que el nombre total de 600 investigadors no és una dada consolidada, sinó que gairebé un terç d'aquests investigadors no tenen posició fixa, ni a la universitat ni en cap empresa, ni un futur clar de seguir fent recerca a llarg termini.

La distribució d'investigadors per centres és expressada en la taula 4.

TAULA 4
Distribució d'investigadors per centres

	UB	UAB	UPC	CSIC	URV	UdG	URL
Doctors	160	97	75	30	9	9	5
Doctorands	93	53	34	25	3	3	2
Total	253	150	109	55	12	12	7

Total: 385 doctors + 213 doctorands = 598 investigadors

Aquest nombre és més elevat que altres estimacions efectuades, sia en el *Llibre Blanc de la Recerca* (que recull uns 200 investigadors en física en menció directa i uns 250 si hi inclouem els citats en menció indirecta), sia per la Direcció General de Recerca (que el 1995 recull 430 investigadors, 380 dels quals en grups de física i una cinquantena en grups assignats a enginyeria). Els motius d'això són el caràcter més exhaustiu d'aquest treball, que no es limita, com l'estimació de la DGR, als grups consolidats o de qualitat, o que no depèn, a diferència del *Llibre Blanc*, de la resposta dels investigadors; l'increment del nombre d'investigadors amb el pas del temps, i la inclusió d'alguns grups d'enginyeria,

de biofísica o de fisicoquímica, que en altres estudis no han estat inclosos en la física. D'aquests 600 investigadors, n'hi deu haver uns 300 de predominantment teòrics, uns 230 de predominantment experimentals, i uns 70 de predominantment observacionals.

Si bé aquestes dades inclouen alguns investigadors en electrònica propers al desenvolupament bàsic, no tenen en compte els més propers a la tecnologia, ja que aquest camp és el subjecte d'un report a part (la seva inclusió faria que el nombre d'investigadors relacionats amb física a la UPC fos comparable o lleugerament superior que el de la UB [12]). Un altre element, menor, d'imprecisió és el fet que diversos investigadors es troben a l'estranger durant dos o tres anys, tot i que resten vinculats als centres catalans: els hem inclòs també, en la mesura que n'hem tingut coneixement.

És indubtable que entre el 1988 i el 1994 s'ha produït un gran creixement en el nombre d'investigadors, que podríem avaluar entre 190 i 240, és a dir, entre un 45% i un 55% respecte al nombre d'investigadors el 1988. Una mostra d'aquest creixement la tenim en el nombre de professors dels diferents departaments. Els nombres de professors han evolucionat, des del curs 1988-1989 al curs 1992-1993, de la següent forma [11]: a la UB (Facultat de Física), de 97 a 123; a la UAB (Departament de Física), de 80 a 133; a la UPC (departaments de Física Aplicada, Física i Enginyeria Nuclear, i Òptica i Optometria), de 162 a 190 [12]. Els increments han estat de prop del 40% a les facultats de física i una mica menys en la UPC. Aquests nombres inclouen també professors ajudants i associats, alguns dels quals no són doctors. El creixement esmentat és consistent amb el nombre de tesis doctorals llegides, ja que unes dues terceres parts de doctors, com a mínim, queden com a investigadors (tot i que no amb plaça fixa), i amb l'increment en el nombre de doctorands estrangers. Així, podríem dir que el nombre d'investigadors ha passat d'uns 400 a uns 600 en aquest període, o, més detalladament, d'uns 260 doctors i 140 doctorands a finals del 1989 a uns 390 doctors i 210 doctorands a finals del 1995.

No podríem cloure l'apartat dedicat al potencial humà sense referir-nos al personal tècnic i al d'administració i serveis vinculat als departaments, el qual és en general escàs. Valor indicatiu d'aquesta baixa proporció és que per 100 investigadors hi ha uns 7 o 8 tècnics i unes 6 o 7 persones dedicades a administració. El baix nombre de tècnics qualificats és una dificultat considerable tant per a la recerca bàsica com, encara més agudament, per a la relació amb la indústria.

A.4. Recerca: distribució d'investigadors i grups per temes de recerca

Presentem a continuació dues distribucions d'investigadors per temes, segons la classificació de la UNESCO, emprada en el *Llibre Blanc*, i segons les grans àrees temàtiques del *Physics and Astronomy Classification System*. Indiquem també en quins centres es troben aquests grups.

Pel que fa a la classificació UNESCO, les dades són recollides a la taula 5.

TAULA 5
Nombre d'investigadors per àrees de recerca segons la classificació UNESCO

Àrees	Doctors i doctorands	Grups
21 Astronomia i astrofísica	39	2 UB, 1CSIC-UPC
22 Física		
2203 Electrònica	29	1 UAB, 1UB

2204 Fluids	26	2 UPC, 1URV, 1UB
2205 Mecànica	42	2UB, 2UPC
2207 Física nuclear	15	1UB
2208 Nucleònica	52	2UAB, 1UB, 1UPC
2209 Òptica	60	1UAB, 1UB, 3UPC
2211 Estat sòlid	153	4UAB, 4UB, 3UPC, 2CSIC, 1UdG, 1URV
2212 Física teòrica	51	2UAB, 2UB, 1UPC
2213 Termodinàmica	34	1UAB, 2UB, 1UPC
2307 Química física	15	1UPC
2406 Biofísica	13	1UAB, 1UB
25 Ciències terra i espai		
2501 Atmosfera	22	1UB, 1UPC
2507 Geofísica	25	1UB, 2CSIC, 1URL
2510 Oceanografia	22	1CSIC, 1UdG, 1UPC
Total investigadors	598	

Cal tenir en compte que cada investigador sol considerar que el seu treball es pot inscriure en més d'una línia de recerca (així, en una enquesta del Departament d'Ensenyament de la Generalitat de Catalunya del 1986, la mitjana de línies per persona era de 3,76, i el nombre mitjà de persones per línia de recerca de 5,96) [11]. És probable, per exemple, que molts investigadors de termodinàmica (2213) siguin també investigadors en mecànica estadística (2205), o que alguns investigadors de fluids (2207) ho siguin alhora en meteorologia (2509) o oceanografia (2510)...

Les àrees de la UNESCO no són les úniques, ni probablement les més adients, per a oferir un retrat de la recerca en física; així, per exemple, el terme *nucleònica*, relativament sorprenent per a un físic, aplega, ací, estudis de radiació còsmica, de radioactivitat ambiental i de física experimental de partícules elementals, si seguim la classificació que féu el *Llibre Blanc* a partir de les respostes dels investigadors mateixos. L'epígraf «mecànica» inclou diversos grups de mecànica estadística, i algun de mecànica de medis continus; l'epígraf «estat sòlid» inclou especialistes de branques molt diverses de la ciència de materials, la física aplicada i la física de matèria condensada. És més habitual agrupar els investigadors segons les grans àrees temàtiques del PACS (*Physics and Astronomy Classification System*). En línies molt generals, la distribució d'investigadors segons aquestes àrees temàtiques és la donada a la taula 6.

TAULA 6
Distribució d'investigadors per àrees temàtiques

Matèria condensada (materials)	153	UAB (36), UB (56), CSIC (30), URV (8), UPC (16), UdG (7)
Altes energies	84	
— Partícules i camps	62	UB (18), UAB (44)
— Cosmologia i gravitació	22	UB (18), UAB (4)
Física estadística i termodinàmica	77	UAB (10), UB (48), UPC (19)
Òptica	60	UB (10), UAB (20), UPC (30)
Física nuclear	48	UB (21), UAB (19), UPC (8)
Astronomia i astrofísica	39	UB (32), CSIC-UPC (7)
Fluids	26	UPC (20), UB (2), URV (4)
Electrònica*	29	UB (17), UAB (12)
Biofísica	13	UAB (8), UB (5)
Oceanografia	22	UdG (5), CSIC (12), UPC (5)
Atmosfera	22	UB (11), UPC (11)
Terra	25	UB (12), URL (7), CSIC (6)

* No hi incloem la tecnologia electrònica, ja que serà el subjecte d'un altre report; en el recompte de la UB, hem subdividit el nombre de components del grup d'electrònica i materials en dos subgrups iguals: un d'electrònica i un de materials).

El retrat de la distribució d'investigadors per àrees fa veure com a tema predominant la física de l'estat sòlid o de la matèria condensada, amb les seves aplicacions a ciència de materials. Segueixen, bastant igualades, altes energies, física estadística i termodinàmica, i òptica, la primera amb una tradició més llarga a Barcelona, i les dues altres amb un desenvolupament molt ràpid en els darrers anys. Física nuclear (teòrica i aplicada) i astronomia i astrofísica ocupen els llocs següents, la segona amb una tradició més llarga que la primera. Electrònica constituiria un àrea molt extensa si hi incloguéssim els seus desenvolupaments tecnològics, amb el CNM i els grups de la UPC, cosa que no hem fet perquè serà l'objecte d'un report a part. Fluids, relativitat, física de l'atmosfera, física de la terra, oceanografia física, i biofísica són àrees amb menys implantació a Barcelona, i amb un nombre més baix d'investigadors.

El predomini en matèria condensada queda accentuat pel fet de pertànyer a aquesta especialitat la majoria dels grups de la UPC que hem inclòs en aquest estudi. Per això, cal utilitzar amb prudència les dades que donem ací, ja que delimitacions diferents en la frontera entre física i tecnologia poden fer variar sensiblement les proporcions relatives. Tot i això, el predomini en matèria condensada o física de materials o de l'estat sòlid, un creixement ràpid en òptica i en física estadística, i una independització de l'electrònica, que adquireix una dinàmica pròpia, amb títols universitaris dedicats essencialment a les seves aplicacions, són característiques no gaire sorprenents en la física d'avui. Els plans especials de ciència de materials i de noves tecnologies de la CICYT han contribuït, indubtablement, al creixement acusat de la ciència de materials i l'òptica.

B. Temes de recerca

Abans de comentar breument les línies de recerca en física a Catalunya, presentem una panoràmica concisa dels progressos més remarcables en física durant el període 1990-1995, que ajuden a emmarcar, i que en part influeixen, aquestes recerques.

B.1. Repàs dels progressos de física en el món

En cosmologia i astrofísica destaquen el llançament del telescopi espacial Hubble, el 1990, el qual, malgrat problemes inicials deguts a defectes tècnics, corregits en bona part el 1993, ha donat resultats interessants pel que fa a mesures més acurades del contingut de deuteri i d'heli de l'Univers, a la formació de sistemes planetaris en estrelles properes al Sol, al valor de la constant de Hubble (resultats polèmics, ja que prediuen una edat massa curta per a l'Univers) i a observacions que semblen posar de manifest cada vegada més clarament l'existència de forats negres, en especial en el centre d'algunes galàxies espirals. La descoberta més rellevant en aquest camp és la de fluctuacions en la radiació de fons de microones de l'Univers, per part del satèl·lit COBE, el 1992, que ha estimulat els estudis sobre formació de galàxies i sobre matèria fosca. L'observació de fonts de raigs X i de raigs gamma rep un gran impuls en aquest període, amb el llançament, el 1991, del satèl·lit *Compton gamma-ray observatory*. La col·lisió, el juliol de 1994, dels fragments del cometa Shoemaker-Levy contra Júpiter, i la visita del cometa Yakutake, el març de 1995, són els fets astronòmics més espectaculars del període, el primer dels quals dona noves informacions sobre l'atmosfera de Júpiter, planeta observat també per la sonda *Ulysses* el 1992, en el seu viatge cap als pols solars, i per la sonda *Galileu*, el 1995.

Pel que fa a altes energies, el fet més destacat és el descobriment al Fermilab, a finals del 1994, del quark *top*, descoberta que completa la taula de les tres generacions de quarks i leptons, de manera que només queda per descobrir el bosó de Higgs per a tenir totes les partícules del model estàndard. Rep cada vegada més atenció el problema de la massa del neutrino, en especial en relació amb el problema de la matèria fosca i amb el dels neutrinos solars, tema actualitzat per la posada en funcionament de nous detectors (com ara el Gallex, el 1991) ja que una massa no nul·la podria implicar una oscil·lació entre neutrinos electrònics, muònics i tauònics. El 1995, es fan progressos molt notables en l'aplicació de tècniques basades en les idees de dualitat en teoria quàntica de camps a topologia algebraica, amb l'obtenció de molts resultats nous. L'increment d'energia accessible al LEP fa possible l'obtenció en quantitats suficients de parells W^+W^- , que permeten obtenir valors més precisos dels paràmetres del model estàndard que els obtinguts prèviament a partir de l'estudi del bosó Z^0 . El 1992, estudis a HERA de la subestructura del protó posen de manifest nous problemes referents a la contribució dels quarks i els gluons a l'espín d'aquesta partícula. Entre la fonamentació de la mecànica quàntica i la seva aplicació, podem recordar estudis sobre computació quàntica, estimulats pel descobriment, el 1994, d'algorismes quàntics exponencialment més ràpids que els clàssics. Un dels revessos més notables en física d'altres energies és la desestimació del projecte de l'accelerador SSC (*superconducting supercollider*) per part del Congrés dels Estats Units, el 1993, mentre que l'aprovació del projecte del LHC (*large hadron collider*) al CERN, el 1994, obre noves perspectives a l'exploració de nous dominis en altes energies.

En matèria condensada, el 1995 hom aconsegueix per primera vegada la condensació de Bose-Einstein en gasos (fins aleshores només s'havia observat en líquids o sòlids, en relació amb els fenòmens de superfluïdesa i superconductivitat, on les interaccions entre partícules són importants). La recerca

en superconductors d'alta temperatura crítica continua essent una de les línies prioritàries, tant pel que fa a la recerca d'una teoria satisfactòria, ja que el model BCS de la superconductivitat en metalls no descriu les noves ceràmiques superconductores, com pel que fa a aplicació pràctica, alentida per les dificultats d'aconseguir fabricar cables llargs amb aquests nous materials; tot i això, s'aconsegueixen progressos en capes fines, i en les seves aplicacions a sensors i a dispositius de computació. Altres propietats magnètiques, en especial la magnetoresistència colossal o l'estudi del flux de vòrtexs en superconductors o l'observació de l'efecte túnel magnètic, reben un gran interès des del 1993. El premi Nobel del 1991 és un reconeixement públic a la importància creixent de la física de polímers, de suspensions, de fluids granulars... A tall més anecdòtic, podem esmentar la utilització d'experiments de transicions de fase en cristalls líquids i He^3 superfluid com a model per a comprendre l'aparició de defectes i textures en les hipotètiques transicions de fase cosmològiques.

En relació amb les aplicacions en electrònica, l'obtenció, el 1990, d'emissió de llum en l'espectre visible en silici porós, estimulà els estudis teòrics i pràctics d'aquest material, i també de silici implantat amb erbi, que permetrien utilitzar en dispositius fotoelectrònics el Si, material amb una tecnologia més àmpliament explorada i versàtil que no pas la del GaAs, tot i que aquest darrer és més adient per a la fotoemissió; també s'han desenvolupat plàstics conductors i emissors de llum. Si en la dècada passada els sistemes electrònics bidimensionals resultaren ser els protagonistes de nous efectes com l'efecte Hall quàntic, en aquests darrers anys els esforços s'han adreçat vers la fabricació i l'estudi de punts quàntics, és a dir, microestructures que confinen els electrons en totes tres dimensions, i que permetran un pas més en la miniaturització dels dispositius electrònics. En aquests darrers anys ha millorat substancialment la reproductibilitat de punts quàntics de CdSe, que permeten progressar en l'estudi dels espectres d'emissió i absorció d'aquests dispositius.

En física nuclear, la fusió aconsegueix alguns progressos en el JET, el 1991, i a Princeton, el 1993: la introducció de triti en els reactors respectius permet aconseguir durant uns mil·lisegons quantitats d'energia molt notables, tot i que sense arribar a igualar l'energia despesa en escalfament i confinament. Assolir el criteri de Lawson sembla encara llunyà, i es posen de manifest problemes en els efectes de la irradiació neutrònica sobre les parets dels reactors o en el refredament del plasma com a conseqüència dels ions evaporats de les parets, tot i que s'assoleixen progressos en configuracions magnètiques que permeten millorar la capacitat d'extracció d'aquests ions abans que penetrin en el plasma. Malgrat els avenços, decreixen substancialment els pressupostos assignats a fusió, tant als Estats Units, com a Europa, com a Rússia. Pel que fa a progressos en física nuclear bàsica, destaquen els estudis de nucleosíntesi per captura de protons ràpids, i els avenços en les col·lisions ultrarelativistes de nuclis pesants, amb l'objectiu, entre d'altres, d'arribar a assolir la transició de fase de matèria nuclear a plasma de quarks i gluons.

En òptica, destaquen els progressos en làsers: el 1991, hom aconsegueix làsers de semiconductors en el domini dels colors blau i verd; el 1994, s'assoleix la construcció d'un làser de raigs X portàtil i econòmic, que representa un progrés des que els primers làsers de raigs X, pesants i costosos, foren obtinguts el 1984. El 1995, s'obtenen els primers làsers continus sense inversió de població, tema de recerca especialment actiu des del 1988, i en què s'havien assolit alguns èxits el 1993 amb l'obtenció de polsos breus sense inversió. S'aconsegueixen polsos que permeten passar de l'escala dels picosegons a la dels femtosegons; des del 1990, s'avança en la propagació de solitons òptics en fibres òptiques dopades amb erbi, i es progressa en les tècniques de refredament làser de la matèria, que duen a temperatures rècord de 700 nK el 1995. En informàtica, destaca l'aplicació a problemes cada vegada més diversos de les tècniques de xarxes neuronals per a l'estudi de formes complicades. En física atòmica,

s'aconsegueix per primera vegada la interferència atòmica, és a dir, els fenòmens d'interferència deguts a les ones de Broglie associades amb els àtoms.

La biofísica va esdevenint un tema atractiu per a un nombre creixent de físics, en problemes com el plegament de proteïnes, xarxes neuronals, topologia del DNA o cristal·lografia i estructura de molècules com ara la citocrom-c-oxidasa (1995) o la part F_0 de l'ATP-asa mitocondrial (1994). En física ambiental, segueix preocupant la minva de la capa d'ozó sobre l'Antàrtida i, des del 1991, sobre el casquet polar septentrional, tot i l'alentiment importantíssim de l'emissió de gasos CFC des dels acords de Montreal del 1987, i s'estudien els efectes de les cendres expulsades pel volcà Pinatubo, el 1991. Pel que fa a l'efecte hivernacle, una de les incògnites físiques és el paper de la reflectivitat dels núvols, paràmetre important en les diferents modelitzacions i simulacions de l'evolució climàtica, i estudis sobre la minva de nivell de monòxid de carboni, en contrast amb els increments de diòxid de carboni.

B.2. Línies de recerca en física a Catalunya

A continuació, descrivim breument les línies de recerca en física a Catalunya, per grans àrees temàtiques, tot indicant-ne els codis UNESCO I PACS i cenyint-nos, sobretot, al període 1990-1995, considerat en aquest treball. El *Llibre Blanc de la Recerca a Catalunya* [1] conté interessants comentaris amb més perspectiva històrica, als quals remetem el lector encuriós. La present descripció es refereix a mitjan any 1995, però cal tenir en compte que la recerca ha anat evolucionant en funció de les descobertes internacionals, de les noves possibilitats instrumentals, de les relacions internacionals amb altres grups, i d'altres factors anàlegs, evolució que seria interessant estudiar amb més detall, ja que posa de manifest el dinamisme dels diversos grups.

Física de la matèria condensada - física de materials

(UNESCO 2211, PACS 60,70 i 81)

Seguint el codi PACS, usarem la denominació física de la matèria condensada per a designar l'estudi de materials, que podria ser anomenat, també, en bona part, física aplicada, o física de l'estat sòlid. És el camp amb un nombre més gran d'investigadors, però força dispers, degut a la seva tradició encara escassa, al nombre relativament gran de grups poc interconnectats, i a la diversitat natural del tema, que és molt vast i que implica i exigeix perspectives molt diverses com magnetisme, òptica, termodinàmica, mecànica estadística, electromagnetisme, dins la física, i que és conreat també per altres especialistes, sobretot químics, enginyers i geòlegs. Els investigadors s'apleguen en quatre grups a la UAB, quatre grups a la UB (un d'ells l'esmentem en l'apartat dedicat a electrònica), un grup al Departament de Física Aplicada de la UPC (altres grups afins es troben en altres departaments no considerats en aquest treball, tal com s'indica a l'apèndix A), i dos grups al CSIC-ICMAB. Cal destacar, com a contribució a l'impuls i al creixement d'aquesta àrea, la creació, el 1990, i la instal·lació al campus de la UAB, el 1991, de l'Institut de Ciència de Materials de Barcelona, del CSIC, que ha suposat una inversió notable en infraestructura i ha facilitat el creixement en el nombre d'investigadors i en el de relacions amb la indústria.

Superconductivitat i magnetisme són l'objectiu de cinc grups (dos a la UB, un al CSIC, dos a la UAB, un de teòric i un d'experimental). Els principals temes són: desenvolupament de nous materials superconductors (ceràmics i capes fines), estudi de propietats d'estats mixtos de superconductors d'alta temperatura de transició, propietats elèctriques i electròniques de prototips de dispositius superconductors, magnetoresistència gegant i colossal d'òxids ferromagnètics, propietats magnètiques de nanopartícules i d'òxids de metalls de transició, efecte túnel magnètic, perfeccionament del compor-

tament de capes superconductores ceràmiques dipositades en substrats metàl·lics i, pel que fa al grup teòric, l'estructura electrònica i els mecanismes d'acoblament electrònic en superconductors d'alta T_c .

Un grup a la UB i dos a la UAB estudien materials amorfs: cinètica d'ordenació en aliatges, desenvolupament de tecnologies avançades basades en solidificació ràpida per a l'obtenció d'imants permanents, de recobriments i de materials superconductors... Un grup a la UPC investiga termodinàmica de transicions i emissió acústica de materials amb memòria; un de la UB es dedica a la física i l'enginyeria de capes fines, optimització i modelització de mòduls fotovoltaics. Un grup de la UAB, en col·laboració amb l'ICMAB, estudia propietats òptiques dels sòlids, amb espectroscòpies òptiques i electròniques per a l'anàlisi de propietats electròniques i vibracionals en materials anisotròpics. El grup de cristal·lografia i difracció de raigs X desenvolupa noves metodologies més ràpides i fiables per a la determinació d'estructures cristal·lines...

La majoria d'aquests grups tenen considerables relacions amb les indústries. Publiquen a *Physical Review B*, *Applied Physics Letters*, *Physica C*, *Journal of Applied Physics*, *J. Appl. Phys.*, *Phys. Rev. Letters*, *J. Non-Cryst Solids*, *Phil. Mag. A...*

Altes energies

Considerem dins aquesta secció les recerques en partícules elementals i en gravitació i cosmologia. La proporció entre el nombre d'investigadors d'una i altra àrea és actualment de vora el 73% de partícules i 27% de gravitació, semblant a la mitjana internacional [3].

Partícules i camps

(UNESCO 2212 i 2208, PACS 10)

Aquest camp té una tradició consolidada a Barcelona, en el seu vessant teòric, des de la meitat dels anys seixanta, gràcies als esforços d'alguns investigadors secundats pel GIFT (Grupo Interuniversitario de Física Teòrica), primer, i de programes especials de recerca a partir del principi dels anys vuitanta; el vessant experimental és més recent, i data de la meitat dels anys vuitanta. Actualment hi ha a Catalunya dos grups teòrics (un de gran a la UAB i un de mitjà a la UB) i un grup experimental, a la UAB, i col·laboren amb aquests grups alguns investigadors de la UPC. L'any 1991 fou aprovada la constitució de l'IFAE, consorci de la Generalitat de Catalunya i la UAB per a potenciar aquest camp de recerca, iniciativa de gran interès ja que permet fomentar les relacions entre els grups teòrics de la UB i la UAB, d'una banda, i entre teòrics i experimentals, de l'altra, i contribueix així a augmentar el rendiment d'un col·lectiu que, més dispers, tindria probablement una productivitat i una visibilitat menors.

Els grups teòrics estudien teories de camps efectives, física de quarks pesants i QCD a baixes energies, fenomenologia d'interaccions electrofebles, teories de *gauge* en xarxes, aspectes formals de la teoria quàntica de camps en espai-temps plans i corbats, i supersimetries. El grup experimental participa en el projecte ALEPH, al LEP del CERN, on s'ocupa del desenvolupament d'un monitor de lluminositat i d'un sistema de processament de les dades experimentals, i d'un calorímetre hadrònic per al projecte ATLAS del futur LHC. Desenvolupa aplicacions de mètodes de xarxes neuronals a física d'altres energies i estudia, entre altres problemes, el ritme de desintegració del bosó Z^0 en quarks pesants, la polaritat en producció de tauons, i altres observables que permeten millorar la precisió de la mesura dels paràmetres del model estàndard. Dos grups petits de membres procedents d'aquests grups, un a la UAB i un a la UB, estan dedicats a la història de la física, especialment la història de l'electrodinàmica clàssica i quàntica, i els orígens de la teoria quàntica. Publiquen a *Phys. Rev. D*, *Z. Phys. C*, *Phys. Lett. B*, *Phys. Rev. Lett.*, *Nuclear Physics B*, *Phys. Rev. Lett.*, *J. Math. Phys...*

Gravitació i cosmologia

(UNESCO 2212, PACS 01, 02, 04, 10)

És un camp amb menys investigadors i menys tradició que l'anterior, però que en el període considerat ha crescut i s'ha envigorit notablement. N'hi ha un grup gran a la UB i dos grups petits a la UAB, un d'ells dedicat pròpiament a gravetat general i l'altre a física estadística i cosmologia. Els grups dedicats a relativitat i gravitació treballen en models cosmològics inhomogenis, estudis sobre antenes per a la detecció d'ones gravitatòries, simetries en relativitat general, gravetat quàntica... El grup de física estadística estudia efectes dissipatius (viscositat, producció de partícules) en models cosmològics. També en la secció astronomia i astrofísica, alguns investigadors treballen en origen i formació de galàxies. Publiquen a *Class. Quant. Grav.*, *Phys. Rev. D*, *Gen. Relat. Grav ...*

Termodinàmica i física estadística

(UNESCO 2213, 2205 i 2307, PACS 05, 44, 51, 65 i 82)

Inclou tres grups de la UB (dos de física estadística i un de termodinàmica de materials), un de la UAB, de termodinàmica de processos irreversibles, i dos de la UPC, un de dedicat a la simulació de propietats de transport, al Departament de Física Aplicada (és el que correspon a l'epígraf «química física» en la classificació UNESCO), i l'altre al Departament de Física i Enginyeria Nuclear, dedicat a física estadística i caos espaciotemporal. Predomina, doncs, la física estadística de no equilibri, que ha tingut un creixement molt ràpid en els darrers sis anys. Els grups de mecànica estadística estudien processos estocàstics amb memòria, teoria del caos, hidrodinàmica de fluids complexos (polímers, ferrofluids), xarxes neuronals, simulacions de processos de transport en fluids clàssics i quàntics o de defectes en cristalls per ordinador, i efectes hidrodinàmics en l'agregació de partícules en parets. La recerca en termodinàmica està dedicada, d'una banda, a la termodinàmica de processos irreversibles: una extensió més enllà de l'equilibri local, amb aplicacions diverses, com és ara els models cosmològics dissipatius, i d'altra banda, a la termodinàmica de les transicions de fase en sòlids en general i en materials amb memòria (transicions estructurals termoelàstiques, martensítics en especial...). Publiquen a *Phys. Rev. E*, *Physica A*, *J. Chem. Phys.*, *J. Non Equilib. Thermodyn.*, *Acta Metal·lúrgica*, *Molecular Physics*, *Thermochimica Acta*, *J. Phys: Metal Physics*, *Phys. Rev. B...*

Òptica

(UNESCO 2209, PACS 42, 78)

Quatre grups: un a la UB, un a la UAB i dos a la UPC. Els temes de treball són estudis sobre el làser, tant des del punt de vista fonamental com aplicat, òptica no lineal, i tractament d'imatges. Pel que fa als làsers, un grup (UAB) n'estudia aspectes bàsics, relacionats amb òptica no lineal i generació de segons harmònics en ressonadors actius i estructures periòdiques, mentre dos altres grups, a la UPC, n'exploren aplicacions diverses (metrologia, perfilometria, sensors i d'altres que es detallen en l'apartat de patents de la secció següent), amb contractes amb la indústria i algunes patents. En òptica no lineal, s'estudia fenòmens catòtics en sistemes òptics passius en un aprofundiment de la teoria de sistemes dinàmics i de les seves possibles aplicacions a optoelectrònica. Els estudis sobre tractament d'imatges es refereixen a detecció automàtica, i reconeixement de formes en color (a la UAB) i en temps real (a la UB), i la seva aplicació en robòtica i en visió artificial, i la influència de filtres i les seves aplicacions a fotolitografia. També s'estudia, a la UB i la UPC, medis d'índex de refracció variable i les seves aplicacions en optometria. Publiquen a *Optics Commun*, *Appl. Opt.*, *Europhys. Lett.*, *Phys. Rev. A...*

Astronomia i astrofísica

(UNESCO 21, PACS 95, 96, 97 i 98)

Un grup gran a la UB, i un grup mixt CSIC-UPC. La majoria dels investigadors treballen en problemes de formació i evolució estel·lar, especialment en acreció en nanes blanques i explosió de supernoves i nucleosíntesi; en problemes de vent solar, fotometria estel·lar i astronomia gamma i en estructura, evolució i distribució de les galàxies i cúmuls de galàxies, modelització d'evolució de galàxies interactives, i observació de la terra des de satèl·lits. Publiquen habitualment a *Astrophysical Journal* i a *Astronomy and Astrophysics*, i *Nature*. Són afins a aquests problemes alguns investigadors de l'apartat gravitació i cosmologia, i, en nombre més reduït, alguns investigadors de les facultats de matemàtiques (departaments de Matemàtica Aplicada i Anàlisi a la UB, Departament de Matemàtiques a la UAB) que estudien problemes de mecànica i òrbites del sistema solar, amb atenció especial a fenòmens caòtics.

Cal esmentar que a finals del 1995 s'ha constituït l'Institut d'Estudis Espacials de Catalunya, amb el suport de la Fundació Catalana per a la Recerca, per a optimitzar la participació en programes d'observació de la terra i del cosmos mitjançant satèl·lits. Com la de l'IFAE, tot i les característiques diferents, aquesta iniciativa té l'interès de fomentar el contacte entre els grups d'astronomia, de física de la terra i de l'atmosfera, tendència que, si bé ha estat sempre present en el fet de formar aquests grups un mateix departament a la UB, es veu ara aprofundida tant amb aquest institut, com amb programes de recerca dedicats a optimització de recerca geofísica, que permetrà aprofitar millor les possibilitats de la pertinença a l'Agència Europea de l'Espai.

Electrònica

(UNESCO 2203, PACS 41 i 72)

El camp de l'electrònica i de la tecnologia electrònica és l'objecte d'un treball a part. Per això, hem inclòs només aquells investigadors que treballen a les universitats, però no els del Centre Nacional de Microelectrònica del CSIC, i hem considerat dos grups, un a la UAB i un a la UB. El primer fa recerca en nanotecnologia, microscopis d'efecte electroquímic, simulacions de Montecarlo de transport en dispositius nanomètrics, fiabilitat en dispositius electrònics i circuits integrats. El de la UB està molt relacionat amb ciència de materials, en especial semiconductors i la seva aplicació a dispositius electrònics, i estudia dispositius de potència, sensors microelectrònics de pressió, acceleració i concentració, superxarxes, i disseny de circuits integrats. Publiquen a *Appl. Phys. Lett.*, *J. Appl. Phys.*, *J. Vac. Sci. Technol.*, *IEEE J. Electr. Dev.*, *Thin Solid Films*...

Mecànica de fluids

(UNESCO 2204, PACS 47)

Hem considerat un grup a la UPC i un a la URV. Entre els temes destaquen la modelització d'interfícies fluides turbulentes, convecció i estabilitat hidrodinàmica i aparició d'estructures, fenòmens caòtics en fluids, fluids estratificats i la seva aplicació a astrofísica, inestabilitats en fluxos al llarg d'una costa o una paret acústica, i reologia de fluids biològics i de materials alimentaris. No hem inclòs el Departament d'Enginyeria Marítima de la UPC, molt actiu en enginyeria de costes i que també desenvolupa estudis matemàtics de circulació marina, en la frontera entre física i enginyeria. Cal destacar en aquest camp l'esforç en grans equipaments a la UPC, com ara un canal d'ones, que podria estimular també estudis de ciència bàsica de fluids, com és ara la turbulència, o la creació d'un Institut de Tecnologia i Modelització Ambiental, en què la dinàmica de fluids juga un paper molt destacat. Publiquen a *Physics of Fluids*, *Phys. Lett. A* ...

Física nuclear

(UNESCO 2207 i 2208; PACS 21 i 24)

Un grup a la UB estudia física nuclear teòrica, en especial estructura i reaccions nuclears, i aplicació de tècniques de molts cossos a matèria nuclear i a líquids quàntics. En una perspectiva més aplicada, tres grups experimentals, un a la UAB, un a la UB i un a la UPC, estudien els efectes de les radiacions ionitzants sobre materials diversos, tot aprofundint en el transport de radiació en els materials, i ho apliquen al desenvolupament de detectors i dosímetres de radiació, en aplicacions mèdiques (radioteràpia) a la UB, o ambientals (acumulació de radó en edificis, transport de radionúclids artificials en l'aire i en les aigües) a la UAB i la UPC. Tenen diversos convenis amb indústries elèctriques i amb entitats públiques relacionades amb qualitat i seguretat ambiental. Publiquen a *Nuclear Phys. A*, *Phys. Review C*, *J. of Phys. G*, *Phys. Lett. B*, *Nucl. Instr. Meth.*, *Phys. Rev. B*, *Solid State Commun...*

Biofísica

(UNESCO 2406, PACS 87)

El grup de la UAB treballa en estudis estructurals de fotoreceptors i ATP-ases sintètiques en membranes biològiques, el de la UB en viscoplasticitat i propietats mecàniques del sistema respiratori i en tractament d'imatges de medicina nuclear. D'altres investigadors en biofísica es troben en l'apartat de física de fluids (reologia de fluids biològics), de mecànica (mecànica estadística de poblacions) o de nucleònica (radioteràpia). A la UPC treballa un grup en enginyeria de materials biomèdics, que no hem inclòs en aquest apartat. Una ciutat amb la tradició biomèdica de Barcelona hauria de tenir més investigadors en aquest camp, que augmenta el seu atractiu entre els físics. Publiquen a *Biophys. J*, *Biochim. Biophys. Acta...*

Física de l'atmosfera

(UNESCO 2501 i 2509, PACS 86 i 92)

Un grup a la UPC es dedica a l'ús del radar per a l'estudi de la distribució de l'aigua en l'atmosfera i variacions del nivell del mar a partir de dades de satèl·lits. Un altre grup d'investigadors es troba a l'epígraf «meteorologia». Un grup a la UB estudia models de precipitacions d'intensitat excepcional en zones mediterrànies, problemes diversos de pluviometria i del seu efecte en el rentatge d'aerosols, predicció immediata de pluges amb radar, parametrització de zones arbòries i àrides en l'estudi de models climàtics. Tant aquest grup com el de geofísica tenen relacions amb el d'astronomia en un programa d'optimització dels mètodes en recerca geofísica, a partir de les dades obtingudes per satèl·lits. Publiquen a *J. Atmosph. Sci.*, *Q. J. Meteorol. Soc...*

Geofísica

(UNESCO 2507, PACS 91)

Dos grups al Departament de Física de la UB (un a la Facultat de Física i un a la de Geologia); un a la UPC, que elabora un projecte conjunt amb el CSIC; un al CSIC (Institut Jaume Almera); i un a la URL, corresponent a l'Observatori de l'Ebre. Els de la UB i el Jaume Almera treballen en sismologia (tant observacional com en noves tècniques matemàtiques d'anàlisi), especialment pel que fa a l'activitat sísmica dels Pirineus i d'algunes illes de l'Antàrtida, i en problemes de geomagnetisme. L'Observatori de l'Ebre estudia les variacions del camp geomagnètic i la seva relació amb l'estructura cortical o amb l'activitat solar i la dinàmica de la ionosfera. El de la UPC-CSIC utilitza la geodèsia espacial i percepció remota per a l'estudi de la terra i de l'atmosfera. Publiquen a *Pure and Applied Geophysics*, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, *Tectonophysics*, *Geoexploration...*

Oceanografia

(UNESCO 2510, PACS 86 i 92)

Un grup treballa al CSIC (Institut de Ciències del Mar) i estudia dinàmica de la capa superficial oceànica i els corrents del mar català. Un altre grup, al Departament de Física Aplicada de la UPC, treballa en problemes de dinàmica de costes. Aquests dos grups participen en els programes MAST de la Unió Europea. El grup de Girona estudia problemes de limnologia en general i a l'estany de Banyoles en concret, des del punt de vista teòric i experimental. Altres treballs d'oceanografia referents al transport de traçadors radioactius són desenvolupats pel grup de Física Ambiental de la UAB, aplegat a l'epígraf «nucleònica», que participen en el projecte europeu Euromarge-North Balear. Un altre grup al Departament d'Enginyeria Marítima de la UPC, molt nombrós, està dedicat a enginyeria de costes, alguns membres del qual elaboren models matemàtics de circulació marina. Publiquen a *J. Geophys. Res., Limn. Ocean...*

C. Resultats: publicacions i patents

Els resultats de la recerca en física s'acostumen a publicar en revistes, llibres o informes tècnics; els de caràcter més aplicat poden donar lloc a patents. L'avaluació de la recerca, tema molt complex, té en compte diversos indicadors, com la quantitat d'articles i el seu impacte, que explorem a continuació.

C.1. Publicacions

Examinem en primer lloc les publicacions en les revistes internacionals de més impacte i visibilitat internacional. En la taula 7 recollim el nombre d'articles publicats en les revistes de física de més impacte on han aparegut entre 1990 i 1995 més de 10 treballs amb algun autor pertanyent a algun centre de recerca català.

TAULA 7
Nombre d'articles publicats en algunes de les revistes de física de més impacte

Revista	Impacte	1985-1989		1990-1995		1985-1989		1990-1995	
		Esp	Cat	Esp	Cat	E/M (%)	C/M (‰)	E/M (%)	C/M (‰)
<i>Phys. Rev. Lett.</i>	7,11	56	10	148	22	0,64	1,14	1,11	1,65
<i>Nucl. Phys. B</i>	4,54	49	9	225	45	1,67	3,06	4,22	8,44
<i>J. Chem. Phys.*</i>	3,62	47	6	80	12	1,23	1,56	1,78	2,67
<i>Appl. Phys. Lett.</i>	3,50	22	4	130	16	0,32	0,16	1,00	1,23
<i>Astrophys. J</i>	3,39	84	11	296	58	1,23	1,61	2,69	5,26
<i>Phys. Rev. B</i>	3,16	234	22	701	148	1,50	1,41	2,67	5,64
<i>Phys. Lett. B</i>	3,08	263	40	670	194	3,27	4,97	6,59	19,08
<i>Phys. Rev. D</i>	3,01	128	33	165	54	2,52	6,49	2,19	7,18
<i>Europhys. Lett.</i>	2,78	34	4	93	25	2,34	2,76	3,48	9,35
<i>Physica C</i>	2,30	36	13	137	58	1,26	4,56	1,70	7,18
<i>Phys. Rev. A.</i>	2,27	145	37	312	54	1,97	5,03	3,07	5,31
<i>Phys. Rev. E**</i>	—	0	0	125	31	—	—	4,91	12,18
<i>Z. Phys. C</i>	2,22	96	14	128	34	6,17	9,00	6,78	18,00
<i>Astron. Astrophys.</i>	2,12	241	16	518	47	5,14	3,41	7,56	6,86
<i>J. Phys. A</i>	2,06	60	8	154	31	1,83	2,44	3,43	6,91
<i>Phys. Rev. C</i>	1,97	28	0	83	13	0,82	0,00	1,82	2,86
<i>J. Appl. Phys.</i>	1,78	80	13	306	65	0,75	1,22	1,89	4,01

<i>Nucl. Phys. A</i>	1,75	77	10	168	22	2,52	3,27	3,94	5,16
<i>Class. Quant. Grav.</i>	1,49	14	4	66	25	1,77	5,04	4,36	16,52
<i>Mod. Phys. Lett. A</i>	1,40	0	0	31	19	0	0	4,66	2,86
<i>Physica A</i>	1,18	39	12	67	26	2,98	9,16	2,50	9,70
<i>Nucl. Instr. Meth. B</i>	1,16	25	3	132	19	0,58	0,69	2,01	2,90
<i>Phys. Lett. A</i>	1,15	87	15	170	39	2,05	3,53	2,83	6,50
<i>Opt. Commun.</i>	1,11	42	13	125	33	2,07	6,40	3,33	8,79
<i>Appl. Opt.</i>	0,91	50	1	152	20	1,12	0,22	2,60	3,42
<i>J. Math. Phys.</i>	0,90	76	16	98	15	3,60	7,59	3,55	5,43

* En la revista *J. Chem. Phys.*, no hem tingut en compte les publicacions atribuïdes a departaments de química, sinó tan sols a departaments de física.

** *Phys. Rev. E* és una nova secció de *Phys. Rev.*, dedicada íntegrament a física estadística, tema inclòs a *Phys. Rev. A* fins al 1992, inclusiu.

Les columnes E/M i C/M indiquen, respectivament, el *tant per cent* de publicacions espanyoles respecte al total mundial i el *tant per mil* de les publicacions de Catalunya respecte al total mundial.

La primera constatació quan comparem el període 1985-1989 amb el període 1990-1995 és un increment molt notable, tant en termes absoluts com relatius, del nombre de les publicacions, tant de Catalunya com d'Espanya en conjunt. Pel que fa a Espanya, aquesta era una dada ben coneguda [1]. De les 26 revistes de la taula 7, només en una (*J. Math. Phys.*) disminueix, tant en nombres absoluts com relatius, el nombre de publicacions catalanes. En totes les altres revistes augmenta el nombre relatiu, sovint en un factor 2 o, fins i tot, algunes vegades, en un factor 3.

Resulta interessant observar en quines revistes la participació catalana és superior. Cal destacar que les aportacions a les revistes *Phys. Lett. B*, *Phys. Rev. D* i *Z. Phys. C* són de les més elevades. Això posa de manifest que la física de partícules elementals té a Barcelona un dels principals focus d'Espanya. L'aportació a les revistes relacionades amb relativitat i cosmologia és també superior a la mitjana: així, la contribució catalana a *Phys. Rev. D* (dedicada en part a partícules i en part a gravitació) conté un 25,6% de la producció espanyola, i *Class. Quant. Gravity* el 37,88%. Les revistes de física estadística tenen també una participació relativa catalana destacable; així, *Physica A*, amb el 38,8% i *Phys. Rev. E*, amb el 24,8% de la producció total espanyola.

Si, en lloc de referir-nos a unes revistes concretes, atenem el total d'articles identificats com a articles de física en el *Science Citation Index*, tenim les dades de la taula 8.

TAULA 8
Comparació del nombre total de publicacions en física a Catalunya i Espanya

	Nombre de publicacions		Proporció respecte al total mundial (%)	
	1985-1989	1990-1995	1985-1989	1990-1995
Catalunya	918	2.555	0,224	0,390
Espanya	4.628	12.793	1,128	1,961

Veiem un increment de participació molt considerable tant pel que fa a Catalunya com pel que fa a Espanya (Catalunya inclosa). En el cas català, la participació augmenta del 2,24 per mil al 3,90 per mil. Aquest increment és satisfactori, però el nivell absolut és encara inferior a aquell que podríem aspirar per a la nostra població. Així, per exemple, i a l'efecte de comparació, pot resultar interessant recordar que la contribució de Dinamarca (la població de la qual és d'uns 5,2 milions) a les publicacions de física durant els anys 1981-1983 fou vora el 5 per mil en mitjana, encara considerablement superior a la contribució present de Catalunya (d'uns 6 milions d'habitants) [9]. Cal recordar, però, que el nombre de científics per cada miler d'habitants és a Espanya i a Catalunya prop de la meitat de la mitjana europea, mentre que a Dinamarca és superior a aquesta mitjana, factor que cal tenir en compte ja que posa de manifest que la productivitat dels físics d'ací és lleugerament superior a la mitjana europea.

La distribució del conjunt de publicacions per àrees de recerca, segons la distribució del *Science Citation Index* queda recollida a la taula 9.

TAULA 9
Distribució de publicacions per àrees temàtiques segons la classificació de l'SCI

Àrea	1985-1989			1990-1995		
	Total	Espanya	Catalunya	Total	Espanya	Catalunya
Astronomia i astrofísica	32.906	616	61	48.841	1.653	221
Mecànica	17.455	69	11	33.601	315	63
Meteorol. i ciències atmosfèriques	16.850	53	6	25.878	217	51
Ciència i tecnologia nuclear	35.285	173	26	45.314	554	67
Oceanografia	12.967	69	22	17.023	273	113
Òptica	26.533	268	37	47.168	824	132
Física general	84.963	1.117	280	108.239	2.406	615
Física aplicada	66.017	472	165	116.199	1.434	310
Fís. atòm, molec. i quím.*	35.656	492	98	48.368	1.138	212
Matèria condensada	54.619	827	110	95.295	2.289	379

Fluids i plasmes	8.143	60	7	18.349	383	75
Física matemàtica	8.799	150	34	20.010	557	123
Física nuclear	21.852	217	28	33.353	767	133
Partícules i camps	13.062	291	82	23.845	552	167
Ciències de materials	53.644	616	117	113.623	2.090	391

* En l'apartat de fis. atòm., molec. i quím. no s'han tingut en compte els articles provinents de les facultats de Ciències Químiques, que és molt considerable i que hauria falsejat un estudi restringit a la física.

Aquesta llista té l'avantatge de la seva fàcil reproductibilitat, que permet seguir l'evolució de la física segons uns mateixos criteris. D'altra banda, aquesta classificació de la física s'ha fet segons les revistes en què apareixen les publicacions. Física general inclou, així, revistes típiques de partícules elementals, de gravitació, de física estadística, o de termodinàmica. Una llista més acostada a la panoràmica que hem fet segons els investigadors, tot traslladant revistes d'un grup a un altre (segons els criteris detallats a [13]), és presentada a la taula 10.

TAULA 10
*Distribució de publicacions per àrees temàtiques segons
la classificació emprada en aquest treball*

	1985-1989	1990-1995
Matèria condensada	140	460
Física aplicada	165	310
Partícules i camps	112	449
Física (general)	203	287
Física nuclear	54	200
Mecànica i fluids	13	128
Astronomia i astrofísica	61	221
Física estadística i term.	57	156
Òptica	37	132
Fís. atòm., mol. i quím.	44	94
Oceanografia	22	113
Meteorol. i atmosfera	6	51

Aquesta llista és molt més difícil de reproduir que l'anterior, ja que cal saber en detall el nombre d'articles publicats en cada revista, per a la majoria de revistes. Aquesta distribució està feta atenent les revistes en què és publicada la recerca. Les aportacions de física aplicada es podrien dividir entre

matèria condensada (uns 150 articles), òptica (uns 100 articles) i electrònica (uns 60 articles), amb un cert predomini de la primera [13]. Les de física general, haurien de dividir-se entre matèria condensada, partícules i camps, nuclear, òptica i física estadística. Les de ciència de materials es divideixen entre físics, químics, geòlegs i enginyers, amb aproximadament un quart corresponent a física. Les d'oceanografia s'haurien de dividir per un factor 4, ja que aquesta és, aproximadament, la proporció d'articles d'oceanografia física en un camp dominat pels aspectes biològics de l'oceanografia. Constatem també un fort creixement en totes les àrees.

Per a poder atribuir aquests articles a les diverses àrees temàtiques cal, novament, diverses precaucions, per a les quals cal un estudi més detallat dels títols dels articles. Cal desglossar la física aplicada entre matèria condensada, òptica i electrònica; cal tenir en compte que aproximadament una tercera part dels articles sobre mecànica i fluids i la meitat dels de la secció de física atòmica, molecular i física és feta per grups vinculats amb termodinàmica i física estadística; cal recordar que a física general hi ha una contribució important d'òptica, d'estat sòlid, de física estadística, i d'altres energies. Així, constatem un predomini de ciència de materials (uns 640 articles), seguit per altres energies (uns 470 articles) i tres grups relativament igualats: òptica (uns 300 articles), física estadística i termodinàmica (uns 320 articles), i astronomia i astrofísica (uns 240 articles), seguits a no gaire distància per física nuclear, retrat que correspon a grans línies amb la distribució d'investigadors.

Per a calcular la productivitat mitjana és usual expressar el nombre d'articles per doctor i per any, o el nombre d'articles per investigador en jornada completa i per any. Per a obtenir aquests indicadors cal tenir en compte certes precaucions pel que fa als articles i pel que fa als investigadors. Així, el nombre d'articles a considerar és d'uns 2.600 (el total de 2.555 menys les tres quartes parts de l'apartat d'oceanografia, deguts a investigadors en biologia, més un centenar dels de ciència de materials). Pel que fa al nombre d'investigadors, cal considerar no els 390 doctors actuals, sinó una mitjana entre aquest nombre i els 260 doctors de l'inici del període, és a dir, uns 325 doctors, i hem de recordar que el recompte d'articles es refereix a un període de sis anys. Obtenim així 1,2 articles per doctor i per any, valor comparable a l'esmentat als estudis sobre algunes branques de la física a Espanya el 1986 [4].

Pel que fa a investigadors per jornada completa (definit com l'investigador que dedica les 40 hores setmanals de treball exclusivament a recerca), cal multiplicar per un factor 0,8 els investigadors que són professors (la gran majoria dels doctors i la meitat dels doctorands) i per 1 els becaris, i trobem així uns 500 investigadors per jornada completa. En tenir en compte el valor mitjà d'investigadors en aquest període, d'uns 450, i efectuar el quocient corresponent, obtenim una productivitat mitjana d'uns 0,9 articles per any per investigador a jornada completa. Podríem comparar aquest valor amb el de la mitjana europea, d'unes 0,3 publicacions per investigador a jornada completa i per any [14]. Tanmateix, no coneixem fins a quin punt aquesta comparació, que mostraria una productivitat força superior a la mitjana europea, és estrictament fiable, ja que ens sorprèn que la mitjana europea sigui tan baixa. Això podria ser degut al fet que, en terme mitjà, hi ha a Europa més investigadors en recerca aplicada, amb un ritme de producció d'articles força inferior als de grups de recerca més fonamental, ja que tenen altres objectius com a més prioritaris.

El que més crida l'atenció és l'alt increment d'articles en totes les àrees, que es multipliquen, en mitjana, per un factor entre 3 i 4, factor superior a l'increment en el nombre d'investigadors, cosa que posa de manifest que a mesura que els grups es van consolidant, les interaccions entre els seus membres i entre membres d'altres equips de recerca constitueixen un factor d'estímul notable. La constatació de creixement ha de ser matisada si tenim en compte que l'opinió general i la constatació quotidiana és

que ens atansin a una saturació en el nombre d'investigadors. Aquesta, però, encara no queda posada de manifest en tots els camps quan comparem les dades d'articles catalans publicats corresponents als biennis 1985-1986, 1991-1992 i 1993-1994, com ho constatem, per exemple, en la taula 11. L'explicació podria ser el decalatge entre l'elaboració dels articles i la data de publicació. En alguns camps, sembla que s'arriba ja a una saturació, mentre que en d'altres hi ha encara un creixement notable durant el període 1991-1994.

TAULA 11
Evolució del nombre d'articles publicats en diverses revistes

Revista	1985-1986	1991-1992	1993-1994
<i>Phys. Rev. Lett.</i>	6	4	10
<i>Nucl. Phys. B</i>	5	9	20
<i>Appl. Phys. Lett.</i>	2	4	5
<i>Astrophys. J.</i>	3	20	22
<i>Phys. Rev. B</i>	5	42	66
<i>Physica A</i>	4	9	10
<i>Phys. Lett. B</i>	15	46	76
<i>Phys. Rev. D</i>	13	15	20
<i>Europhys. Lett.</i>	1	8	13
<i>Z. Phys. C</i>	10	10	15
<i>Astron. Astrophys.</i>	4	15	21
<i>Phys. Lett. A</i>	8	13	13

Entre les revistes de més impacte figuren les dedicades a la publicació d'articles de *review* o posada al punt. Les més conegudes són *Review of Modern Physics* (índex d'impacte: 10,43), *Physics Reports* (6,53) i *Reports on Progress in Physics* (6,07). Durant els sis anys de la mostra, només dos articles havien estat publicats en aquestes revistes, en concret, a *Physics Reports*: un, sobre els resultats del projecte ALEPH, l'any 1992, i un, sobre solitons en relativitat general, l'any 1993. L'aportació relativa a aquestes revistes està per sota del percentatge mitjà de contribució a les revistes.

Els llibres constitueixen una forma de donar a conèixer una informació de caràcter relativament global, destinada a ser consultada durant un període més llarg que la vida mitjana dels articles. Per a escriure un llibre, però, cal tenir una concentració elevada durant un període llarg, situació que seria molt facilitada pels anys sabàtics. El nombre de llibres publicats pels investigadors catalans és relativament més alt que el de *reviews*, però és també escàs.

En particular, entre 1990 i 1995, els títols apareguts, sense comptar els *proceedings* o actes de congressos, són: en anglès, quatre a Springer (un de física matemàtica, un de dinàmica no lineal en sistemes òptics, un de mecànica quàntica, i un de termodinàmica de no equilibri), dos a World Scientific (un de física matemàtica i un de física a altes energies en col·lisionadors), un a Kluwer (de fonons en

estructures nanomètriques de semiconductors), i un a Prentice Hall (traducció del text de termodinàmica de processos biològics); en francès, un a Lavoisier Tech-Doch (traducció del text de termodinàmica de processos biològics). Pel que fa a llibres de text en castellà, un a McGraw-Hill España (física per a les ciències de la vida), un a les Edicions UPC (física no lineal i caos). I en català, quatre (dos sobre física general, un a les edicions de la UB i un a les de la UAB; un de física i ciència ficció a Edicions UPC; i un sobre fluids biològics a Enciclopèdia Catalana). En total, 8 llibres en anglès, 1 en francès, 2 en castellà i 4 en català.

Pel que fa a publicacions de caire purament català, cal esmentar la publicació de la *Revista de Física*, de la Societat Catalana de Física, que ha donat un nou dinamisme a la presència d'aquesta Societat, que compra actualment amb uns 275 socis.

C.2. Impacte

Els estudis globals sobre la ciència a Espanya indiquen que no tan sols ha crescut el nombre d'articles publicats i la presència relativa en les revistes científiques, ans també l'impacte mitjà dels articles, el qual havia crescut entre 1981-1985 i 1988-1992 en un 17% (s'havia passat d'1,2 a 1,78 citacions per article publicat), increment superior al 14% dels articles francesos, el 13% dels articles dels Estats Units i el 10% dels articles italians, essent superat aquest increment relatiu tan sols pel d'Alemanya, avaluat en un 21% [8].

L'impacte mitjà dels articles de les revistes esmentades a la taula 10, avaluat a partir de la mitjana ponderada de l'índex d'impacte de les revistes en què han estat publicats, fou d'1,91 en el període 1985-1989 i de 2,29 en el període 1990-1995. Naturalment, l'índex d'impacte mitjà és més reduït, ja que les revistes considerades compten entre les de més impacte, però tot i això mostra clarament una tendència a publicar en revistes de cada vegada més impacte.

Aquesta tendència queda també posada de manifest quan tenim en compte l'anàlisi global d'articles, el qual ha mostrat un increment del 2,24 per mil al 3,90 per mil, és a dir, un augment d'un factor 1,74. D'altra banda, l'increment de participació en les revistes de més impacte de la taula és de prop de 2,5. Això subratlla que l'increment en les revistes de més impacte ha estat superior a l'increment mitjà, i apunta a un augment de l'impacte mitjà dels articles.

Tot i representar qualificadament una tendència mitjana, l'anàlisi de l'impacte basat en els índexs mitjans d'impacte de les revistes no és prou satisfactori, ja que no permet de conèixer quin és l'impacte real dels articles de la col·lectivitat a què ens referim, ni quins són les àrees i problemes concrets on les aportacions han estat més significatives, cosa que resulta imprescindible per a conèixer i poder presentar al públic no especialitzat les nostres contribucions. Així, la contribució danesa a la física no és pas coneguda pel fet de contribuir en un 0,5% a les publicacions de física, o per tenir un cert impacte mitjà, sinó sobretot pels noms de Roemer, Oersted o Bohr. Naturalment, cal tenir en compte que el nombre habitual de cites difereix fortament segons les àrees, motiu pel qual un recompte dels articles més citats en termes absoluts no és tampoc completament satisfactori. Tot i això, representa un increment notable de la informació sobre l'impacte real de la física produïda en les nostres universitats.

En una anàlisi no exhaustiva dels articles més citats de diversos grups entre els publicats a partir del 1975, hem detectat 3 articles amb més de 200 citacions (dos de física estadística i un d'altres energies) i 9 entre 150 i 100 (tres d'òptica, tres d'altres energies i un d'astrofísica), que recollim a la taula 12. Cal recordar que, segons l'SCI, només un 4 per mil dels articles publicats arriben a superar les 50 citacions i només un 1 per mil superen les cent citacions. Cal fer la precisió que utilitzar un nombre de tall, com ara 100, és una qüestió de comoditat, però no fa justícia, ja que pot indicar més qualitat

assolir 30 citacions en camp relativament nou o especialitzat, que no pas un centenar de citacions en un àmbit més consolidat i amb més investigadors. Per això, seria més fidedigne com a indicatiu de la qualitat de la nostra física prendre en consideració, per exemple, aquells articles que haguessin estat citats més del doble de vegades que la mitjana dels articles publicats en la revista corresponent. En el camp científic queda molta feina a fer.

Les dades de la taula 12 es refereixen al nombre total de citacions, sense excloure'n autocitacions, donada la dificultat addicional que aquesta subtracció suposa. Seria convenient, per a un coneixement més exhaustiu, que els autors d'articles especialment citats ens ho fessin saber, per a anar ampliant aquesta taula, i que s'anessin portant a terme estudis científics més especialitzats que aquest, tot examinant en profunditat el desenvolupament d'una àrea concreta de la física, o les publicacions en una determinada revista.

Taula 12

*Alguns articles citats més de cent vegades des de la seva publicació
fins al mes de juny de 1996*

Referència	Àrea	Citacions
<i>Phys. Rev. A</i> 26 (1982) 1589	Física estadística	255
<i>Phys. Lett. B</i> 231 (1989) 519	Altes energies	230
<i>Rep. Progr. Phys.</i> 51 (1988) 1105	Física estadística	220
<i>Phys. Rev. Lett.</i> 51 (1983) 1022	Altes energies	195
<i>Nuovo Cimento B</i> 36 (1976) 5	Òptica	125
<i>Nuovo Cimento B</i> 53 (1979) 1	Òptica	122
<i>Nuclear Physics B</i> 183 (1981) 384	Altes energies	120
<i>Phys. Lett. B</i> 278 (1992) 457	Altes energies	115
<i>Nucl. Phys. B</i> 384 (1992) 3	Altes energies	115
<i>Lettere al Nuovo Cimento</i> 17 (1976) 333	Òptica	115
<i>Astron Astrophys</i> 46 (1976) 229	Astrofísica	115
<i>J. Phys. A</i> 13 (1980) 275	Física estadística	101

Pel que fa a investigadors citats com a primers autors, n'hem trobat, per ara, 8 de citats entre 100 i 200 vegades, i 3 més de citats entre 200 i 250. Aquestes xifres es refereixen al nombre d'articles en què els autors són citats. Si atenem el nombre d'articles citats (cada article que cita un autor en pot citar més d'un article), tenim 1 autor citat entre 400 i 500 vegades (física matemàtica), 2 de citats entre 300 i 400 (un de física estadística i un de física molecular), 2 de citats entre 200 i 300 (tots dos d'altres energies), i 10 entre 100 i 200 (dos d'altres energies, tres de física estadística, un de relativitat, un de nuclear, dos d'estat sòlid i un d'astrofísica). Cal insistir en el caràcter anecdòtic, tot i que no completament mancat interès, d'aquestes dades. Factors com ara l'ordre alfabètic o el paper de les auto-

citacions fan que no sigui possible una relació directa entre el nombre de citacions com a primer autor i la qualitat intrínseca de l'investigador. En alguns casos (i això passa amb gairebé la meitat dels articles amb més de cent citacions de la taula anterior) el primer autor pot ser estranger.

Una anàlisi detallada de l'impacte real exigiria un esforç enorme. Seria desitjable que els grups mateixos anessin fent aquesta anàlisi pel que fa a la pròpia producció, sense caure, naturalment, en una excessiva dependència d'aquest factor, que podria ser contraproductiu pel que fa a la dinàmica intel·lectual de la recerca.

C.3. Altres formes de presència internacional

A més de les publicacions en revistes de difusió internacional, l'organització de congressos internacionals és una altra forma apreciable de donar a conèixer el dinamisme dels nostres grups de física. L'organització de congressos és relativament freqüent. Alguns, com la Conferència de Sitges de Mecànica Estadística (iniciada fa més de vint-i-cinc anys i que té una periodicitat biennal), han assolit una llarga pervivència i compten amb un prestigi acreditat i mantingut. D'altres trobades són organitzades una sola vegada o ocasionalment, però totes contribueixen a aquesta difusió del coneixement dels nostres grups. Un recompte no exhaustiu ens indica més d'una dotzena de congressos internacionals organitzats a Catalunya en el període 1990-1996.

Un altre paràmetre a tenir en compte en l'avaluació de la presència internacional dels nostres investigadors podria ser el nombre d'ells que figuren en el consell editorial de revistes internacionals, o en els consells de direcció d'organismes internacionals. Es tracta d'un paràmetre més elitista i sotmès a grans fluctuacions que depenen, a més de la vàlua dels investigadors, d'un cúmul de circumstàncies fortuïtes. Amb la informació de què disposem, constatem que un professor de Física d'Altes Energies fou elegit president de l'European Committee for Future Accelerators (ECFA) per al període 1996-1997. Pel que fa a la presència d'investigadors catalans en consells editors de revistes internacionals (un a *Europhysics Letters*) o en els comitès organitzadors de grans congressos internacionals, és molt migrada; també ho és la presència en les ressenyes de resultats científics rellevants, on darrerament, però, alguns resultats obtinguts a Barcelona han tingut un ressò remarcable.

C.4. L'aportació catalana en el context espanyol

Hem comentat anteriorment que l'aportació catalana al conjunt total de publicacions de física espanyoles és de prop del 19%. Aquesta contribució es manté gairebé estable en aquests deu anys: en el període 1985-1989 és del 19,84% i en el període 1990-1995 del 19,96, proporció superior a la purament demogràfica, que és d'un 16%.

Un estudi de la producció en física de les universitats espanyoles en general, en el període 1986-1988, pot ser trobat a [6]. Per tal de disposar de dades més recents he acudit a [5] i a noves dades d'aquest estudi, basades ambdues en el total d'articles (no detallat a física) de l'SCI, que ajuda a comparar les universitats de Barcelona i de Madrid. Les dades són recollides a la taula 13.

TAULA 13

Nombre total d'articles de recerca publicats per diverses universitats

	1981-1992	1990-1995	Impacte (1981-1992)
Universitat de Barcelona	7.100	6.224	3,9
Universitat Complutense de Madrid	6.572	5.575	3,1
Universitat Autònoma de Madrid	7.216	4.642	5,8
Universitat Autònoma de Barcelona	4.612	4.363	3,4
Universitat Politècnica de Madrid	742	992	2,6
Universitat Politècnica de Catalunya	709	791	1,7

Les quatre primeres universitats són, en ambdós estudis, les quatre primeres d'Espanya en articles recollits en aquesta base de dades (seguides per València, Santiago de Compostel·la i Sevilla). Cal recordar que les dues primeres tenen un nombre considerablement més gran d'investigadors que les dues segones. Resulta interessant observar el canvi d'ordre en les dues columnes: la Universitat de Barcelona, segona en el període 1981-1992, passa a ocupar la primera posició en el període 1990-1995. Hem indicat també l'índex mitjà d'impacte corresponent al període 1981-1992, segons l'estudi de Garfield [5]. Detallar aquestes dades a articles de física ha resultat massa laboriós per a la capacitat d'aquest treball.

Si, en lloc d'efectuar una anàlisi detallada per universitats, ens limitem a l'anàlisi comparativa de la producció en física a Catalunya i a Madrid obtenim 2.555 articles de física a Catalunya i 5.056 a Madrid. La diferència de publicacions reflecteix el nombre més gran d'investigadors en les universitats i els diversos instituts de recerca de Madrid, procedent, en bona part, d'una llarga tradició de centralisme del CSIC, que es va corregint en els darrers anys.

Pel que fa a col·laboracions de recerca, la presència de centres no espanyols té un paper predominant. Això és degut, en part, al fet que les normes de la UE afavoreixen els contactes internacionals sobre els contactes entre centres d'un mateix estat, i també a la naturalesa molt especialitzada de la recerca, que fa sovint que sigui més probable trobar grups afins fora d'Espanya.

C.5. Patents

Les relacions amb la indústria s'han anat incrementant en aquest període, però no són encara prou intenses. Per ara, el nombre de patents dels departaments de física és encara molt escàs. Una recerca a l'oficina de patents n'ha donat tan sols deu de concedides, relacionades amb ciència de materials (set patents, tres a la UB, dos a la UAB i dos a l'ICMAB) i amb òptica (tres patents, a la UPC), de les quals dues en explotació. Cal advertir que el nombre real de patents podria ser més alt, ja que les bases de dades accessibles només permeten recuperar els documents públics, els quals constitueixen, en general, sols una part del nombre total de patents que realment es fan cada any.

Les àrees més susceptibles de relació amb la indústria són la física de materials, la física de fluids, la física ambiental i l'òptica de làsers, a més de la microelectrònica. Durant aquest període s'han dut a terme uns noranta projectes de col·laboració amb la indústria (uns trenta a la UPC, quaranta a la UB i vint a la UAB, aproximadament). Per raó de confidencialitat, no podem ser explícits en els detalls. Sí que resulta aclaridor i suggerent, en canvi, repassar alguns dels temes en què s'han produït aquestes col·laboracions. En l'àrea de ciència de materials podríem esmentar estudis sobre fabricació d'imants permanents, condicionadors magnetohidrodinàmics d'aigües, conversió d'energia amb cicles termomagnètics, estudi d'efectes de camps magnètics sobre cinètica química, desenvolupament de materials amb components inductius. En electrònica, fabricació de sistemes d'electricitat de potència basats en materials superconductors, desenvolupament d'estructures termoelectròniques, desenvolupament de sensors de pressió, concentració i acceleració, mòduls fotovoltaics... En òptica, aplicacions del làser a poliment de superfícies, metrologia òptica, perforació de paper, mesura de perfils, i desenvolupament de sistemes espectrofotomètrics per a instrumentacions diverses o per a pilotatge automàtic, estudis òptics per a determinació de les propietats refractives de l'ull, sistemes de telepresència, miralls retrovisors, desenvolupament d'aparells de mesura per a aparells de bioquímica... En ciències de la terra i de l'atmosfera, estudis de sismicitat, de risc de pluviositat, de processament d'imatges obtingudes per satèl·lit... En física nuclear, estudis d'impacte ambiental d'acumulació de radó en edificis, o estudis de la distribució i comportament geoquímic de radionúclids artificials en les rodalies de les centrals nuclears, en el riu Ebre i en el litoral de la Mediterrània... En física teòrica, desenvolupament d'algorismes informàtics basats en xarxes neuronals per a aplicacions de màrqueting, de predicció de consum... En definitiva, un ventall ampli i suggerent d'aplicacions, que convindria incrementar.

Per part dels contractants, destaquen les indústries elèctriques, òptiques i metal·lúrgiques, o bé administracions públiques (Departament de Medi Ambient, d'Indústria i Energia, Institut Cartogràfic de Catalunya, Junta d'Aigües, en temes com seguretat nuclear, qualitat ambiental, tractament d'imatges obtingudes per satèl·lit...) que són les que més s'han interessat en la col·laboració amb la universitat.

D. Els recursos econòmics

Un altre dels paràmetres essencials en la recerca és el dels recursos disponibles. En aquesta secció presentem el conjunt de subvencions atorgades en el període 1990-1995, tot detallant-ne, d'una banda, els receptors, per temes de recerca i per universitats, i, de l'altra, les procedències. La principal dificultat per a obtenir dades ben precises sobre el finançament rebut per la física és que les informacions donades en els anuaris de les universitats o de les administracions són globals, sia sobre totes les ciències experimentals, sia sobre les facultats, de manera que és difícilíssim arribar a obtenir una estimació, per bé que sigui aproximada, del total rebut per la física, i molt més encara d'aquest, distribuït per àrees. Pel que fa a les relacions amb la indústria, les dades són també difícils d'obtenir, ja que les universitats inclouen en l'apartat de convenis no tan sols projectes de recerca amb la indústria, ans també cursos de formació, o convenis amb la Unió Europea. Per això cal insistir en el caràcter indicatiu, i no pas exacte, d'aquestes dades.

D.1. Distribució per àrees i per centres

Les quantitats indicades inclouen: *a*) programes de recerca, subvencionats per fonts catalanes, estatals o europees, *b*) infraestructures de recerca, i *c*) contractes i convenis amb indústries. Les fonts d'informació han estat els llibres que presenten els projectes finançats per la DGICYT, les memòries d'universitats i de centres, els diaris oficials (BOE, DOGC) anunciant la concessió dels ajuts corresponents, informacions dels gabinets de recerca o de tecnologia de les universitats...

Distribuïdes per àrees temàtiques de recerca, i arrodonides a desenes de milions, ja que creiem que aquesta és la precisió amb què hem pogut treballar, les quantitats indicatives són les següents:

TAULA 14

Quantitats aproximades rebudes en el període 1990-1995 en milions de pessetes

Matèria condensada	1.420	Electrònica	480
Partícules i camps	480	Fluids	60
Física estadística i term.	200	Biofísica	70
Òptica	430	Oceanografia	160
Astronomia i astrofísica	170	Atmosfera	210
Física nuclear	230	Geofísica	40

Total: 3.950 milions de pessetes

Observem que la distribució del finançament s'aparta considerablement de la distribució de personal, ja que algunes àrees (materials, òptica i electrònica, especialment) tenen diversos contractes amb indústries, i altres àrees (atmosfera, nuclear) tenen convenis o contractes específics amb administracions, referents a seguretat i qualitat ambiental. Algunes d'aquestes àrees (materials, òptica, atmosfera, partícules) són subjecte d'alguns programes especials de finançament, destinats a la seva promoció.

Distribuïdes per centres, les quantitats són, aproximadament:

UB: 1.410; UAB: 1.000; UPC: 610; CSIC: 860; URV: 40; UDG: 20; URL: 10

En aquestes quantitats, no hi hem inclòs: *a*) despeses de personal fix ni de becaris (a excepció dels possibles becaris vinculats directament a programes de recerca); *b*) finançament dedicat a programes de tercer cicle, cursos (especialitzats de recerca o bé de formació de personal per a empreses) o congressos; *c*) altres subvencions, dedicades per exemple a estades de professors visitants o a ajuts específics per a viatges. Calculem que entre els conceptes *b* i *c*, i en el període considerat, s'han dedicat a la física uns 150 milions més, aproximadament. La quantitat total rebuda per la recerca en física és, doncs, d'uns 4.100 milions de pessetes aproximadament, és a dir, d'una mica més d'un milió per investigador i per any.

No cal dir que aquesta quantitat fluctua fortament segons els grups, segons que siguin teòrics o experimentals, i segons quines siguin les seves relacions amb la indústria o les prioritats dels plans de recerca. També fluctua amb els anys; així, per exemple, el Programa General de Promoció del Coneixement assignava, a projectes de física de la UB, UAB i UPC, 73 MPTA el 1991, 45 MPTA el 1993 i 129 MPTA el 1995, de manera que encara no s'hi palesa una baixa, en les subvencions, cosa deguda, probablement, al lapse de temps entre la publicació de la convocatòria i la publicació final dels resums dels projectes concedits.

D.2. Distribució segons fonts del finançament

El finançament de la recerca en física a Catalunya prové de la Unió Europea, de l'Administració central, del Comissionat de la Recerca, de les universitats mateixes, i de convenis amb empreses o institucions públiques. Pel que fa a l'Administració central, d'on prové la part més gran dels fons, les entitats implicades són la Direcció General d'Investigació Científica i Tècnica del Ministeri d'Educació (DGICYT), a través del Programa General de Promoció del Coneixement, i la Comissió Interministerial de Ciència i Tecnologia (CICYT), en especial a través dels programes de Nous Materials (MAT), de Tecnologia de la Informació i les Comunicacions (TIC), de Física d'Altes Energies (AEN), de Tecnologies avançades de la producció (TAP), de Medi Ambient i Recursos Naturals (AMB). Pel que fa a la Generalitat, la CIRIT (Comissió Interdepartamental de Recerca i Innovació Tecnològica) coordina la contribució a la recerca dels diversos departaments (Comissionat per a Universitats, Indústria i Energia, Medi Ambient...). Els ajuts a la recerca bàsica provenen principalment de la Direcció General de Recerca i, pel que fa a beques de recerca, de la Direcció General d'Universitats.

La presència de fons provinents de la Unió Europea s'ha incrementat notablement en els darrers anys, i constitueix una part cada vegada més important del finançament, a través de programes de formació i mobilitat de personal (SCIENCE, CHM, TMR...) o de programes dedicats a àmbits més específics. Els programes més relacionats amb els temes de física són els de tecnologies de la informació (ESPRIT, RACE), els de modernització del sector industrial (BRITE-EURAM), els d'energia (JOULE, FISSION), el de recursos i tecnologies marines (MAST), els de clima i medi ambient (CLIMATE, ENVIRONMENT), i el de biotecnologia, pel que fa a alguns aspectes de la biofísica, i l'espacial, pel que es refereix a ciències de la terra i del cosmos. Finalment, les universitats proporcionen també alguns ajuts a la recerca per a grups precompetitius, grups que inicien un treball de recerca en el qual encara no són prou reconeguts com per a optar a un ajut extern. Cal sostreure un 10% d'aquestes quantitats en concepte d'*overhead* per tenir una aproximació més precisa al volum disponible del finançament.

Les dades aproximades, en milions de pessetes, són presentades a la taula 15.

TAULA 15
Distribució dels finançaments segons la font

Administració central	
DGICYT (Progr. Gen. de Promoció del Coneixement)	750 MPTA
CICYT	
Programa MAT de Ciència de Materials	400 MPTA
Programa AEN Altes Energies	270 MPTA
Programes de ciències de l'ambient (AMB, CLI, ANT)	120 MPTA
Programes tecnològics (TIC, TAP, PETRI)	200 MPTA
Infraestructures	400 MPTA
Generalitat de Catalunya	
Direcció General de Recerca (grups consolidats)	270 MPTA
Infraestructura	100 MPTA
Departaments d'Indústria i Energia, i de Medi Ambient	100 MPTA
Unió Europea	
Capital Humà i Mobilitat (CHM, TRM)	980.000 ECU
Programes BRITE-EURAM	1.359.000 ECU
Programes RACE i ESPRIT	819.000 ECU
Programes JOULE, FISSION	476.000 ECU
Programes SCIENCE, ALAMED	127.000 ECU
Programes MAST i ENV-CLI	1.290.000 ECU
Programa BIOTEC	165.000 ECU
Programa Espacial	285.000 ECU
Fons FEDER	158.000 ECU
Indústries	
Contractes amb indústries	510 MPTA
Convenis amb indústries	20 MPTA
Universitats i altres	
	60 MPTA

Les quantitats globalitzades són presentades sintèticament a la taula 16.

TAULA 16
Finançament global segons les fonts

Administració central	2.140 MPTA
Generalitat de Catalunya	470 MPTA
Unió Europea	900 MPTA
Indústria	530 MPTA
Universitats i altres	60 MPTA
Total	4.100 MPTA

Les despeses d'infraestructura es poden desglossar entre inversions en aparells (un 55%, aproximadament) i en informàtica (un 45%). Pel que fa a una mesura indicativa de la productivitat, en articles o patents per milió de pessetes d'inversió, pot ser obtinguda si tenim en compte que la quantitat invertida en recerca més o menys vinculada amb la indústria (programes de recerca amb indústria, que sumen 530 milions, més programes PETRI, TIC i TAP, BRITE-EURAM i RACE, que sumen uns 420 milions) és d'uns 950 milions de pessetes. Així, tindríem, en sostreure aquesta quantitat dels 3.950 milions dedicats a recerca, i en dividir 2.500 articles per aquesta quantitat, una productivitat de 0,8 articles per milió de pessetes invertit. Pel que fa a patents, hem de dividir les deu obtingudes pels 950 milions dedicats a recerca en aquest camp, quocient que ens dona 0,01 patents per milió de pessetes.

Naturalment, hauria estat interessant tenir un retrat de l'evolució de les quantitats rebudes per la física al llarg d'aquest període, anàlisi, però, que requeria un detall i un temps enllà dels disponibles. Tot i això, les tendències són: un augment dels fons europeus, una estabilització dels espanyols i dels catalans, i un augment de les sumes relacionades amb els contractes amb la indústria.

D.3. Relació amb la indústria

Acabem aquesta secció amb uns breus comentaris sobre les relacions de la física amb la indústria, que constitueix, dins el marc general de relacions entre ciència i indústria, i entre ciència bàsica i desenvolupament tecnològic, un dels reptes principals del nostre país. Per exemple, el quocient entre 10 patents i 2.500 articles de recerca indica un predomini de la recerca bàsica sobre la recerca aplicada. Pel que sembla, el quocient entre nombre de patents concedides (el nombre de patents en explotació és sempre bastant inferior al del nombre de patents concedides) i el nombre de publicacions científiques val 0,05 en mitjana, a la UE, mentre que a Catalunya val, segons les dades d'aquest treball, 0,004, és a dir, una magnitud molt inferior a la mitjana. Això posa de manifest que la intensificació de la transferència de tecnologia ha de ser un objectiu a tenir molt en compte en la nostra política científica.

Les universitats han reconegut la importància d'incrementar les relacions entre ciència bàsica i indústria, i han organitzat oficines de transferència tecnològica, o fundacions Universitat-Empresa (el Centre de Transferència de Tecnologia a la UPC, la Fundació Bosch-Gimpera a la UB, la Oficina de Transferència de Tecnologia a la UAB) dedicades a estimular la relació entre investigadors i industrials, i a canalitzar la part administrativa dels contractes. També alguns programes de la CICYT, en concret el programa PETRI, intenten estimular les activitats de desenvolupament i de transferència de tecnologia. Aquesta temàtica serà examinada en detall en el report dedicat a la tecnologia electrònica.

Les principals formes de relació departaments-indústria són recerques sobre temes d'interès industrial, però també abunden altres contactes com ara l'organització de cursos de formació (sobre ciència i tecnologia de materials ceràmics, sobre anàlisi i caracterització de materials avançats; sobre capacitació per a supervisors i operadors d'instal·lacions radioactives...), de serveis (mesura de propietats mitjançant aparells dels departaments universitaris) o de consultoria sobre problemes tècnics de les empreses o de les administracions públiques (problemes de dinàmica de costes, de contaminació ambiental...). Cal comentar que la participació de la física en el volum econòmic de relació entre ciència i indústria és encara molt baix (entre un 5% i un 10%), tot i que és de preveure que augmenti considerablement si hom hi inclou la tecnologia electrònica, estudiada en un altre report d'aquesta col·lecció, les dades del qual no tenim encara.

La física té molta menys tradició que no pas la química a establir relacions amb la indústria. L'increment d'empreses de microelectrònica instal·lades a Catalunya hauria de fer que cada vegada

aquestes relacions fossin més grans. Tot i això, moltes d'aquestes empreses són multinacionals que només duen a terme la producció, però no pas la recerca, a Catalunya, cosa que fa que les possibilitats d'interacció siguin relativament migrades. Caldria anar creant a Catalunya un teixit cada vegada més dens d'infraestructura de recerca tecnològica. Fomentar centres d'innovació tecnològica, un dels grans reptes de la nostra indústria, podria ser un objectiu factible i bastant adient a l'estructura industrial del país. Pel que fa a infraestructura científicotècnica de gran envergadura, podem esmentar alguns esforços orientats a constituir centres de supercomputació (com ara el consorci C4 entre CESCO, CEPBA i laboratoris de comunicacions i telemàtica), el projecte de construcció d'un sincrotró per a recerca bàsica i aplicada, tot fomentant alhora la seva aplicació industrial, o la constitució del Laboratori d'Assaigs i Investigacions de la Generalitat, al campus de la UAB, dedicat essencialment a serveis i a certificacions de control de qualitat, la interacció del qual amb els grups universitaris seria desitjable que s'anés intensificant.

E. Balanç i conclusions

En aquesta darrera secció resumim les principals conclusions i exposem algunes consideracions i suggeriments de caràcter general.

El conjunt d'investigadors en física a Catalunya ha crescut molt en els darrers deu anys i s'atansa en diverses àrees a una massa crítica relativament satisfactòria, que fa que la productivitat creixi per sobre l'increment en el nombre d'investigadors, però que encara és inferior a la mitjana europea. El període s'ha caracteritzat per la consolidació d'unes àrees, per l'expansió d'altres, per una ampliació de la infraestructura, ja en els grups existents, ja amb nous instituts com el de Ciència de Materials (ICMAB-CSIC), i per la potenciació de la interacció entre diversos grups, a través de nous instituts com l'IFAE (altes energies) o, a la fi del període, l'IEEC (estudis de Terra i cosmos amb satèl·lits).

El conjunt d'investigadors en física constitueix una població de vitalitat i entusiasme considerables, d'un grau molt elevat de motivació i iniciativa, fluidament relacionada amb els col·legues de l'exterior. És també, però, una comunitat altament fragmentada, amb pocs elements de comunicació entre els diversos grups, fins i tot entre aquells que són temàticament afins. Algunes iniciatives recents (instituts com l'IFAE, programes com els de grups de qualitat de la DGR, etc.) representen un esforç, esperem que a la llarga reeixit, per a incrementar la interacció entre grups. Gairebé no hi ha cap comunicació, tampoc, amb el conjunt de professors de física d'ensenyament mitjà, que són els qui han de fer arribar la física a la població escolar, ni amb el món industrial, on la física està cridada a contribuir a la competitivitat del país i a elevar-ne el nivell d'iniciativa.

D'altra banda, la seva activitat és, des d'una perspectiva social i comunicacional, pràcticament invisible, discreció que si bé resulta meritòria i convenient en molts aspectes, entre els quals la concentració eficaç en la recerca, fa difícil que la societat pugui sentir cap motivació especial per al manteniment o l'increment de la recerca en física, llevat la comparació de les estadístiques del nostre país (poc difoses i poc aprofitades) i les estadístiques de la Unió Europea. Seria molt recomanable, tant de cara al públic, com a les empreses, com a les autoritats polítiques, una difusió més activa, sense triomfalismes exagerats ni timideses excessives, dels principals assoliments de la física. Aquesta hauria d'intentar arribar a ser (i a ser percebuda com) tant una contribució cultural important com una font d'innovació industrial per al país.

1) Personal investigador. El nombre d'investigadors en física (doctors i doctorands) és d'uns 600 a finals del 1995, comparat amb poc més de 400 a finals del 1989. Això suposa un increment d'un 50% respecte als efectius investigadors del 1988, increment que suposa entre 170 i 200 nous investigadors. Aquest creixement no ha estat encara absorbit per la universitat, que només ha incrementat els seus efectius en un 30% durant el mateix període. El ritme d'incorporació a places més o menys estables, que fou d'uns 30 investigadors per any entre el 1988 i el 1993, ha disminuït darrerament de forma apreciable. Les universitats, en efecte, comencen a estar saturades i és cada vegada més difícil que els nous doctors es puguin incorporar a places estables. Una petita part d'aquest increment en el nombre de doctorands es deu a la presència creixent de doctorands estrangers, uns 35 actualment.

Caldria fer créixer, amb rigor i sense precipitacions, el nombre de places d'investigadors i de tècnics no vinculats directament a la docència, sia en el CSIC (la presència del qual a Catalunya caldria seguir incrementant), sia donant més facilitats a les possibilitats d'anys sabàtics, o reduint el nombre d'hores de docència. Convé no dilapidar l'esforç fet en la formació d'investigadors tot incrementant les

possibilitats de retorn dels investigadors després de les seves etapes postdoctorals, cosa que demanaria, per exemple, incrementar el nombre de beques del programa de reinserció, però que difícilment té solució si hom no incrementa substancialment les relacions entre universitat i CSIC, amb la creació de noves places no docents, o les relacions amb la indústria.

És especialment urgent, en efecte, incrementar la permeabilitat d'investigadors vers la indústria, tasca que hauria de repercutir a la llarga en una millora de la productivitat i la competitivitat tecnològica del país. Comptar com a crèdits lliures de llicenciatura o de doctorat les etapes dels estudiants a indústries, podria ser estímul en aquesta direcció. També convindria desenvolupar un esperit més obert, que no veïés la recerca acadèmica com a fita primordial i prioritària dels estudiants, ans que fomentés també la curiositat per temes aplicats.

2) Grups. Hi ha una gran diversitat pel que fa al nombre d'investigadors per cada grup. Alguns equips són relativament grans (uns 12 doctors, o més), mentre que d'altres són pràcticament unipersonals. Això no vol dir pas que l'investigador treballi sol: molt sovint treballa en connexió amb investigadors de grups estrangers amb qui l'uneix una afinitat temàtica que no ha trobat amb altres científics d'ací. El nombre mitjà d'investigadors per grup és d'uns 12, força raonable. De fet, una anàlisi més aprofundida posa de manifest que sota aquests grups relativament grans hi ha en realitat grups més petits, cosa també normal.

La infraestructura comença a ser satisfactòria pel que fa a disponibilitat informàtica o en el que es refereix a l'adquisició d'aparells nous. Manca, però (com ho comentarem en l'apartat següent) més personal tècnic per a optimitzar-ne l'ús i el manteniment. També caldria assegurar l'increment i la pervivència de bones biblioteques especialitzades; la de la UB és satisfactòria en molts aspectes, sobretot pel que fa a revistes, però el manteniment de les subscripcions és cada vegada més car; cal incrementar l'esforç econòmic per a assegurar-ne la continuïtat.

Una relació més gran entre grups afins seria convenient per a impulsar la presència de Barcelona entre els centres de prestigi o de referència, cosa que és més difícil d'assolir si els grups són petits o estan poc coordinats. Convindria encoratjar les relacions entre grups afins amb l'objectiu d'ajudar les àrees més desenvolupades a esdevenir centres de referència a nivell europeu. Iniciatives com la de l'Institut de Física d'Altes Energies poden indicar una línia a seguir en aquesta direcció.

3) Personal tècnic i d'administració i serveis. La proporció de personal tècnic qualificat, i de personal d'administració i serveis, és molt migrada. Això fa que una part considerable del temps dels investigadors s'hagi de dedicar a activitats poc relacionades amb la recerca, tant pel que fa a tràmits administratius, a mecanografia d'articles i llibres, a reparació de material instrumental, o a la realització de muntatges experimentals, activitats que absorbeixen feixugament i que retarden considerablement la realització de la tasca de recerca pròpiament dita.

És imprescindible augmentar els efectius del personal tècnic qualificat, no tan sols pel que fa a titulats de grau mitjà, sinó també pel que fa a enginyers superiors o a físics. Això facilitaria tant la recerca aplicada, com les activitats de transferència tecnològica, un dels reptes fonamentals. Convé que això no vagi en detriment de la recerca bàsica: la solució passa per un increment en el nombre net d'investigadors, i de cap manera per una reducció en el nombre actual d'investigadors en ciència bàsica.

4) Publicacions. L'aportació de les universitats catalanes s'ha incrementat en pràcticament totes les revistes de física de difusió internacional i, especialment, en les de més impacte. La participació catalana en nombre d'articles passa d'un 2,24 per mil en el període 1985-1989 a un 3,9 per mil en el període 1990-1995. Tot i això, aquesta participació és encara significativament més baixa que la d'un 5,5 per mil, que és la que podríem esperar pel que fa a la nostra població. La raó principal és que

el nombre de científics en general i de físics en particular per cada miler d'habitants és més baix que la mitjana de la Unió Europea. La productivitat mitjana durant aquest període és aproximadament d'1,2 publicacions per doctor i per any, o bé de 0,9 publicacions per investigador amb dedicació completa i per any.

La comparació entre els biennis 1985-1986, 1991-1992 i 1993-1994 no mostra encara una saturació en el nombre de publicacions, que, tot i això, és sentida fortament pel que fa al nombre de noves incorporacions d'investigadors, molt limitades des de 1994-1995. El període de retard entre l'elaboració d'articles i llur publicació és segurament la causa que aquesta saturació encara no es manifesti en el nombre de publicacions.

5) **Impacte.** No hi ha estudis detallats sobre l'impacte real dels articles. Seria convenient un esforç científic sistemàtic que permetés avaluar i projectar millor la nostra activitat científica. Tot i aquesta carència, l'anàlisi bibliogràfica duta a terme en aquest treball permet observar un creixement proporcional superior de presència d'articles d'investigadors catalans en la majoria de les revistes de més impacte, en les quals aquesta presència augmenta, sovint, en un factor entre 2 i 3. El nombre d'articles d'impacte relativament gran, que exerceixen una influència àmplia en el seu tema de recerca, és proporcionalment baix.

La presència en revistes de punta de gran audiència (*Physical Review Letters, Nature, Science*) i en les revistes de *review* és encara molt escassa, per sota del que seria d'esperar donada la grandària del nombre d'investigadors. Pot ser-ne la causa la insistència en el currículum a curt termini, i la manca de concentració en activitats a llarg termini. Caldria incentivar anys sabàtics per a augmentar la producció de monografies de recerca, de llibres de text (en català, castellà o anglès), d'articles de *review*, i la renovació de temes i de mètodes.

6) **Presència internacional.** D'ençà dels Jocs Olímpics, l'increment de la presència de Barcelona en els mitjans internacionals de comunicació l'ha convertida en un lloc apreciat per a la celebració de congressos. Tot i això, l'organització de cada congrés demana un gran esforç econòmic i organitzatiu. Seria convenient assegurar automàticament un recolzament bàsic a aquelles reunions internacionals de caràcter periòdic i amb més prestigi i tradició, per tal que, assegurat un cert mínim, poguessin tenir més capacitat d'iniciativa i avançar-se en la selecció dels conferenciants més prestigiosos.

Si bé la presència internacional catalana en organització de congressos és relativament satisfactòria, altres aspectes són més deficients, com ara la presència de físics de les nostres universitats en els comitès editorials de les revistes de prestigi, o en els centres de discussió i decisió de política científica europea. Convindria també incrementar-ne la presència en els comitès d'avaluació de projectes europeus.

7) **Relació amb la indústria.** És important incrementar la relació entre la universitat i la indústria, sense que això vagi en detriment de la recerca bàsica, en la qual ha costat tant arribar a un nivell que comença a ser acceptable en mitjana, i considerable en algunes àrees concretes. En moltes ocasions, l'ensenyament de llicenciatura i de tercer cicle és excessivament acadèmic, i massa orientat a la formació d'investigadors, que se senten frustrats si han d'emprendre una recerca aplicada fora de la universitat. Aquest estudi posa de manifest 10 patents concedides per 2.500 articles publicats, que dóna un quocient entre nombre de patents i nombre d'articles, de magnitud inferior a la mitjana europea.

Cal, a escala política, insistir perquè les multinacionals que s'estableixen a Catalunya no limitin els seus centres a la producció sinó que hi vagin instal·lant, en la mesura del possible, centres de recerca, i cal també fer una pedagogia entre l'empresariat a favor de la innovació tecnològica. Per a això cal estimular la formació d'un ambient intel·lectualment permeable, una formació sòlida i flexible,

augmentar el nombre de personal tècnic de les universitats, crear centres d'innovació tecnològica adequats a la indústria del país i amb una certa ambició de futur, i anar millorant les infraestructures de recerca i desenvolupament.

Agraïments

Agraeixo a la senyora Montserrat Traveria la seva eficient col·laboració en la consulta de bancs de dades, i al professor Josep Enric Llebot les facilitats que ha donat, des de l'IEC, per a l'elaboració d'aquest treball. Agraeixo els comentaris dels professors Manuel Barranco, vicerector de Recerca de la UB, Ferran Laguarda, vicerector de Política Científica de la UPC, Rolf Tarrach, degà de la Facultat de Física de la UB, Fernando López Aguilar, cap del Departament de Física de la UAB, Antoni Giró, director general de Recerca i president de la Societat Catalana de Física, Ramon Pascual, José Casas Vázquez, Carles Viladiu i altres col·legues, entre els quals els membres de la Junta Directiva de la SCF. He intentat, fins on m'ha estat possible, incorporar els seus suggeriments, que han enriquit les successives versions d'aquest estudi. Això no significa que hagin de compartir ni els criteris de selecció de grups, ni les valoracions i interpretacions, la responsabilitat final de les quals és exclusivament meva, especialment pel que fa a les mancances.

F. Referències bibliogràfiques i notes metodològiques

- [1] *Llibre Blanc de la Recerca a Catalunya*, Barcelona, CIRIT-Institut d'Estudis Catalans, 1990, 3 v.
- [2] R. PASCUAL, «Reflexions sobre la Física a la Catalunya d'avui», a VILA-VALENTÍ, J. [coord.], *Deu reflexions sobre la ciència*, Barcelona, Fundació Catalana per a la Recerca, 1996, p. 41-66.
- [3] J. L. DE SEGOVIA, E. BERNABEU, A. FERNÁNDEZ-RAÑADA, F. FLORES, M. G. VELARDE i F. VERDAGUER, *La física en España*, Madrid, MEC-CAICYT, 1982.
- [4] F. YNDURAIN [et al.], *Perspectiva en Física*, Madrid, Agencia Nacional de Evaluación y Prospectiva-CSIC-Universidad Internacional Menéndez y Pelayo, 1987
- [5] E. GARFIELD, «La ciencia en España desde la perspectiva de las citaciones (1981-1992)», *Arbor* CXLVII, 577-578 (1994), p. 111-133.
- [6] R. DE LA VIESCA i J. R. PÉREZ ÁLVAREZ OSORIO, «Análisis de la literatura española en física a través del banco de datos del INSPEC (Sección de Física)», *Rev. Esp. Doc. Cient.*, 1 (1977), p. 57-63.
- [7] G. LÓPEZ AGUADO i R. DE LA VIESCA, «Trabajos científicos publicados por los físicos españoles y recogidos en el INSPEC durante 1978-1979», *Rev. Esp. Doc. Cient.*, 6 (1983), p. 317-330.
- [8] J. P. PÉREZ ÁLVAREZ-OSORIO, M. I. GÓMEZ CARIDAD, M. J. MARTÍN SEMPERE, C. GALBÁN FERRÚS, M. C. URDÍN CAMINOS i A. I. SOBRADO PRESA, «La producción de la Universidad española en física, reflejada en las publicaciones españolas y en las extranjeras», *Rev. Esp. Doc. Cient.*, 14 (1991), p. 428-444.
- [9] L. FERRERO ALÁEZ, G. LÓPEZ AGUADO i R. VIESCA, «International integration of Spanish authors in physics», *Czechoslovak J. Phys. B*, 36 (1986), p. 47-51.
- [10] F. J. AYALA, «La ciencia española en la última década», *Polít. Cient.*, 43 (1995), p. 5-10.
- [11] GENERALITAT DE CATALUNYA, DEPARTAMENT D'ENSENYAMENT, *El foment de la Recerca Científica i Tecnològica 1982-1985*, Barcelona, 1986.
- [12] El nombre d'investigadors de la UPC referit en aquest treball (poc més d'un centenar) és més baix que el del personal total dels departaments de Física Aplicada (60), Física i Enginyeria Nuclear (83) i Òptica i Optometria (58) de la UPC. Això es deu al fet que ens hem limitat als investigadors més directament vinculats a treballs de recerca en física (cens efectuat a partir de projectes de recerca i de llistats d'autors d'articles) i no hem inclòs aquells que realitzen treballs més pràctics, el resultat dels quals desemboca en informes tècnics o en construccions concretes, més que no pas en articles de recerca. Això posa de manifest, una vegada més, la dificultat de dur a terme un cens dels investigadors en física.
- [13] La distribució donada en aquesta taula difereix en alguns aspectes de la que donen les dades del SCI: així, he exclòs *Phys. Lett. B* de física general i l'he sumada a partícules i camps; he inclòs en aquest camp, també, *Nucl. Phys. B*; i he inclòs a física estadística i termodinàmica les revistes *J. Phys. A*, *Physica A*, *Phys. Rev. E*, *J. Stat. Phys.*, *J. Non-Equilib. Thermodyn*, una tercera part de *Phys. Lett. A* i la meitat de *J. Chem. Phys.*, les contribucions de les quals han estat restades de la secció de física general de l'SCI).

El banc de dades de l'SCI aplega els camps segons revistes, de la següent manera, si ens cenyim a les primeres de cada camp (per a més informació, consulteu l'SCI):

Matèria condensada: *Adv. Phys.*, *Crit. Rev. Solid State, Progr. Surf. Sci.*, *Semicond. Semimet.*, *Phys. Rev. B*, *Z. Phys. B*, *J. Mech. Phys. Solids*, *Phil. Mag. Lett.*, *J. Phys.-Condes. Mat.*, *Synthetic Met.*, *Solid State Commun*, *Semicond. Sci.*, *Tech.*, *J. Magn. Magn. Mater.*, *J. Supercond.*, *Thin. Solid Films*, *Physica B*, *Solid State Ionics*, *Solid State Electron*, *Superlattice Microst...*

Física aplicada: *Mat. Sci. Eng. R*, *Appl. Phys. Lett.*, *IEEE J. Quantum Elect.*, *J. Vac. Sci. Tech - nol. B*, *Physica C*, *Quantum Optics*, *Neural Networks*, *Phil. Mag. A i B*, *J. Appl. Phys.*, *IEEE Photonic Tech. L*, *J. Vac. Sci. Technol. A*, *IEEE J. Electr. Dev.*, *J. Molec. Electron.*, *Int. J. Mod. Phys. B*, *Appl. Phys. A-Solid.*, *Jpn. J. Appl. Phys.*, *Supercond. Sci. Tech.*, *Appl. Phys. B-Photo.*, *J. Supercond.*, *Thin. Solid Films*, *Int. J. Thermophys*, *J. Low Temp. Phys...*

Partícules i camps: *Ann. Rev. Nucl. Part. S*, *Phys. Rev. D*, *Progr. Part. Nucl. Phys*, *Z. Phys. C-Part. Fields*, *Z. Phys. A- Hadron. Nucl.*, *Mod. Phys. Lett. A*, *J. Phys. G*, *Int. J. Mod. Phys. A*, *Nucl. Instrum. Method. A*, *Nuovo Cimento A...*

Astronomia i astrofísica: *Ann. Rev. Astron. Astrophys*, *Astron. Astrophys. Rev.*, *Astrophys. J*, *Astrophys. Letter. Comm.*, *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, *Astrophys. J. Suppl. S*, *J. Geophys. Res.*, *Astron. J*, *Icarus*, *Astron. Astrophys.*, *Publ. Astron. Soc. Japan*, *Ann. Rev. Earth Pl. Sc.*, *Space Sci. Rev.*, *Sol. Phys.*, *Publ. Astron. Soc. Pac...*

Física estadística i termodinàmica: no n'hi ha.

Òptica: *Adv. Atom. Molec. Opt. Phys.*, *Progr. Optics*, *Opt. Lett.*, *Quantum Opt.*, *J. Phys. B-At. Mol. Opt.*, *J. Opt. Soc. Am. B*, *IEEE Photonic. Tech. L.*, *J. Lightwave. Technol.*, *J. Opt. Soc. Am. A*, *Opt. Commun.*, *J. Lumin.*, *J. Mod. Optic.*, *Opt. Quantum. Electron.*, *Appl. Optics*, *IEEE Proc. J.*, *Infrared Phys.*, *Opt. Eng.*, *Optik.*, *Int. J. Infrared Milli.*, *Opt. Laser Technol.*, *Image Vi - sion Comput.*, *J. Opt.*, *Opt. Laser. Engn.*, *Microelectrn. Engn.*, *Opt. Spektrosk...*

Física (general): *Rev. Mod. Phys.*, *Phys. Rev. Lett.*, *Phys. Rep.*, *Rep. Progr. Phys.*, *J. Phys. Chem. Ref. Data*, *Springer Tract. Mod. Phys.*, *Phys. Lett. B.*, *Phys. Today*, *Europhys. Lett.*, *Phys. Rev. A*, *Few-Body Syst.*, *J. Phys. A-Math. Gen.*, *J. Phys. Soc. Jpn.*, *Ann. Phys. NY*, *J. Phys. I.*, *Physica D*, *Class. Quant. Grav.*, *Riv. Nuov. Cimento*, *Contemp. Phys.*, *Physica A*, *Phys. Lett. A*, *Progr. Theoret. Phys.*, *P. Roy. Soc. London A...*

Física nuclear: *Ann. Rev. Nucl. Part. S*, *Adv. Atom. Mole. Opt. Phys.*, *Nucl. Phys. B*, *Nucl. Fusion*, *Progr. Part. Nucl. Phys.*, *Atom. Data Nucl. Data*, *Phys. Rev. C*, *Nucl. Phys. A*, *Z. Phys. A-Hadron. Nucl.*, *Mod. Phys. Lett. A*, *J. Phys. G. Nucl. Partic.*, *Nucl. Instrum. Method. B*, *Int. J. Mod. Phys. A*, *Sov. J. Nucl. Phys...*

Tecnologia nuclear: *Progr. Nucl. Mag. Res. Sp.*, *Int. J. Radiat. Biol.*, *Nucl. Instrum. Meth. B i A*, *J. Nucl. Mater.*, *Radiochim. Acta*, *Fusion. Technol.*, *IEEE J. Nucl. Sci.*, *App. Radiat. Isotopes*, *Ann. Nucl. Energy...*

Mecànica i fluids: *Ann. Rev. Fluid Mech.*, *J. Mech. Phys. Solids*, *J. Rheol.*, *J. Fluid. Mech.*, *Phys. Fluids A*, *J. Non-Equilib. Thermodyn.*, *J. Phys. II*, *J. Non-Newton. Fluids*, *Mech. Mater.*, *Arch. Rat. Mech. Anal...*

Física atòmica, molecular i química: *Adv. Chem. Phys.*, *Adv. Atom. Mol. Opt. Phys.*, *J. Chem. Phys.*, *Chem. Phys. Lett.*, *J. Magnet. Reson.*, *Atom. Data Nucl. Data*, *J. Magn. Reson.*, *Int. J. Mass. Spectrom.*, *Chem. Phys.*, *J. Phys. B-At. Mol. Opt.*, *Mol. Phys...*

Oceanografia: *Oceanogr. Mar. Biol.*, *Progr. Oceanogr.*, *J. Geophys. Res.*, *Limnol. Oceanogr.*, *Deep Sea Research*, *J. Phys. Oceanogr.*, *J. Mar. Res.*, *Tellus. A*, *Mar. Geophys. Res...*

Meteorologia i atmosfera: *J. Climate*, *J. Geophys. Res.*, *B. Am. Meteorol. Soc.*, *Clim. Dynam.*, *J. Atmosph. Chem.*, *J. Atmosph. Sci.*, *Q. J. Meteorol. Soc.*, *Climatic Change...*

Ciència de materials: *Mat. Sci. Eng. R., Adv. Mater., Progr. Mater. Sci., Ann. Rev., Mater. Sci., Int. Mater. Rev., Chem. Mater., J. Mater. Res...*

- [14] A. PESTAÑA, «El sistema español de ciencia y técnica», *Investigación y Ciencia*, v. 243 (deseembre 1996), p. 6-13. Aquest treball indica, com a mitjanes de productivitat de la Unió Europea, 0,2 publicacions per investigador a jornada completa i per any, i 0,03 articles per milió de pessetes, valors molt baixos, deguts potser a una definició molt àmplia del camp d'investigadors.

Apèndix

Grups inclosos en aquest estudi, distribuïts per universitats, amb indicació del nombre d'investigadors

Universitat de Barcelona. Optimització de la recerca en geofísica: *a*) astrofísica (19); *b*) geofísica (6); *c*) física de l'atmosfera (11), física d'altres energies (18), materials i transicions estructurals (19), física de radiacions i dosimetria (6), física nuclear teòrica (15), òptica (10), materials amorfs (12), capes fines i enginyeria de superfícies (20), gravitació i cosmologia relativista (18), magnetisme (9), física estadística (11), enginyeria i materials electrònics (35), processos estocàstics (12), fluids (2), biofísica (5), termodinàmica (6), astrofísica *b* (investigadors en astrofísica no inclosos en el programa d'optimització de recerca en geofísica) (13), geofísica (geol.) (6). Total: 253 investigadors.

Universitat Autònoma de Barcelona. Fenomenologia de partícules elementals (8), altres energies (teòrica) (19), altres energies (experimental) (19), física estadística (11), magnetisme (10), electromagnetisme (7), òptica (20), física i tecnologia de materials (13), propietats òptiques de sòlids (8), física de les radiacions (19), nanoelectrònica (12), biofísica (8). Total: 154 investigadors.

Universitat Politècnica de Catalunya. Òptica aplicada (13), dinàmica de fluids (19), làsers i propietats elèctriques i òptiques (17), simulació per ordinador en matèria condensada (15), fluids (5), física atmosfera (11), nuclear (8), termodinàmica (6), física estadística i caos (4), materials (16). Total: 114 investigadors.

Universitat Rovira i Virgili. Física de materials (9), fluids (3). Total: 12 investigadors.

Universitat de Girona. anàlisi de sistemes ambientals (limnologia) (5), física de materials (7). Total: 12 investigadors.

CSIC. Ciències del cosmos (7), materials magnètics i superconductors (30), oceanografia física (12), sismologia (6). Total: 55 investigadors.

Universitat Ramon Llull. Observatori de l'Ebre (7).

Per tal d'ajudar a precisar els límits d'aquest estudi, és convenient especificar quins grups afins no hem inclòs en aquest treball: a la UPC, ens hem limitat als grups pertanyents als departaments de Física Aplicada, Física i Enginyeria Nuclear, i Òptica i Optometria; per aquest motiu, no hem inclòs els grups de mecànica i vibroacústica del Departament d'Enginyeria Mecànica ni els d'enginyeria hidràulica (afí a fluids), ni el de fotònica i òptica integrada del Departament de Teoria del Senyal (afí a òptica), ni el de superconductivitat, del Departament de Teoria del Senyal (afí a materials), ni els d'enginyeria tèrmica aplicada dels departaments d'Enginyeria de la UPC i de la URV (afins a termodinàmica), ni el grup de geofísica i enginyeria sísmica del Departament d'Enginyeria de la UPC, ni els grups de cristal·lografia de la Facultat de Geologia de la UB, de l'Institut Jaume Almera del CSIC i de l'Escola d'Enginyers Industrials de la UPC (afins els dos primers a ciència de materials i a biofísica el darrer), ni el CNM ni els grups de recerca en electrònica, considerats en un report paral·lel a aquest. La divisió entre aquests grups, nítida des del punt de vista administratiu, és més difusa des del punt de vista científic. Seran tinguts indubtablement en compte en reports paral·lels sobre geologia, biologia, electrònica o enginyeries.

