

Resum del report sobre la física a Catalunya 1990-95

David Jou*

Institut d'Estudis Catalans i Departament de Física UAB

Introducció

Resumim aquí les dades més rellevants del meu treball *Reports de la Recerca a Catalunya. Física*, (Institut d'Estudis Catalans, Barcelona, 1997) que fou presentat recentment. Aquest que es divideix en tres seccions (recursos humans, resultats científics i recursos econòmics) té voluntat de continuïtat, a fi d'acumular 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.

Recursos humans: investigadors i grups

No parlarem aquí de les precisions metodològiques referents a la definició del camp estudiat, i que poden ser trobades al *Report*. Cal dir, però, que resulta pràcticament impossible definir el camp de la física de manera que dugui a una identificació inequívoca de temes de recerca i d'investigadors i que, per això, és imprescindible explicar ben clarament els criteris de demarcació, com s'ha fet en el treball original.

Els grups de recerca inclosos en l'estudi foren 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 500 articles publicats en revistes científiques. Cap d'aquestes fonts no dona agrupacions coincidents i 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, fou elaborada una llista nominal d'investigadors i de grups.

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 prengué en consideració els grups de biofísica, ni els d'oceanografia, ni els acollits a les facultats de Química, aquest nombre es reduïria a una quarantena de grups. D'aquests,

*David Jou (Sitges, 1953) és doctor en Física per la UAB (1978), catedràtic de Física de la Matèria Condensada a la UAB i membre de l'Institut d'Estudis Catalans. Treballa en termodinàmica i mecànica estadística de no-equilibri.

	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

Taula 1: Distribució d'investigadors per centres. Total: 385 doctors + 213 llicenciats = 598 investigadors

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 10 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 total d'investigadors, cap a la meitat del 1995, és de l'ordre de 600, desglossats en uns 390 doctors i uns 210 doctorands, la majoria dels quals han publicat, com a mínim, un article. El desglossament en doctors i doctorands és merament indicatiu, ja que les dades de què disposem fan difícil saber-ne amb certesa la condició, però cal tenir en compte aquesta dada per 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.

Aquest nombre és més elevat que en altres estimacions efectuades, sigui en el *Llibre Blanc de la Recerca* (que recull uns 200 investigadors en física en menció directa i uns 250 si incloem els citats en menció indirecta), sigui 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. 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 serà el subjecte d'un report a part.

Entre el 1988 i el 1994 s'ha produït un gran creixement en el nombre d'investigadors, que podríem situar entre un 45 % i un 55 % respecte al nombre d'investigadors del 1988. Així, podríem dir que el nombre d'in-

investigadors ha passat d'uns 400 a uns 600 en aquest període, o, més detalladament, d'uns 260 doctors i 140 doctorands a final del 1989 a uns 390 doctors i 210 doctorands a final 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.

Presentem a continuació dues distribucions d'investigadors per temes segons les grans àrees temàtiques del Physics and Astronomy Classification System. Indiquem també en quins centres es troben.

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 ¹	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)

Taula 2: Distribució d'investigadors per àrees temàtiques

El retrat de la distribució d'investigadors per àrees dona 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 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. L'electrònica constituiria una 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.

El predomini en matèria condensada i en òptica queda accentuat pel fet que la majoria dels grups de la UPC que hem inclòs en aquest estudi pertanyen a

¹No 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.

aquestes especialitats. Cal utilitzar amb prudència les dades que donem aquí, ja que delimitacions diferents en la frontera entre la física i la 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.

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 ara la quantitat d'articles i el seu impacte, que explorem a continuació.

Publicacions

Examinem en primer lloc les publicacions en les revistes internacionals de més impacte i difusió internacional. En la taula 3 recollim el nombre d'articles publicats en les revistes de física de més impacte, on han aparegut, entre el 1990 i el 1995, més de 10 treballs amb algun autor pertanyent a algun centre de recerca català.

Les columnes E/M i C/M indiquen, respectivament, el tant per cent de publicacions espanyoles respecte al total i el tant per mil de les publicacions de Catalunya respecte al total. 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 del conjunt d'Espanya.

Si, en lloc de referir-nos a unes revistes concretes, atemem al total d'articles identificats com a articles de física en el Science Citation Index, tenim la taula 4.

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 assolit és encara inferior a aquell que podríem aspirar per la nostra població. Així, per exemple, i a efectes 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 de l'ordre del 5 per mil de mitjana, encara considerablement superior a la contribució present de Catalunya (d'uns 6 milions d'habitants). Cal recordar, però, que el nombre de científics per cada miler d'habitants és a Espanya i a Catalunya de l'ordre de la meitat que 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'aquí és lleugerament superior a la mitjana europea.

Revista	1985-89		1990-95		1985-89		1990-95	
	I 1993	E C	E C	E C	E/M C/M	E/M C/M	E/M C/M	E/M C/M
Phys.Rev.Lett.	7,11	56 10	148 22	0,64 1,14	1,11 1,65			
Nucl.Phys.B	4,54	49 9	225 45	1,67 3,06	4,22 8,44			
J.Chem.Phys. ²	3,62	47 6	80 12	1,23 1,56	1,78 2,67			
Appl.Phys.Lett.	3,50	22 4	130 16	0,32 0,16	1,00 1,23			
Astrophys.J.	3,39	84 11	296 58	1,23 1,61	2,69 5,26			
Phys.Rev.B	3,16	234 22	701 148	1,50 1,41	2,67 5,64			
Phys.Lett.B	3,08	263 40	670 194	3,27 4,97	6,59 19,08			
Phys.Rev.D	3,01	128 33	165 54	2,52 6,49	2,19 7,18			
Europhys.Lett.	2,78	34 4	93 25	2,34 2,76	3,48 9,35			
Physica C	2,30	36 13	137 58	1,26 4,56	1,70 7,18			
Phys.Rev.A	2,27	145 37	312 54	1,97 5,03	3,07 5,31			
Phys.Rev.E ²	-	0 0	125 31	-	4,91 12,18			
Z.Phys.C	2,22	96 14	128 34	6,17 9,00	6,78 18,00			
Astron.Astrophys.	2,12	241 16	518 47	5,14 3,41	7,56 6,86			
J.Phys.A	2,06	60 8	154 31	1,83 2,44	3,43 6,91			
Phys.Rev.C	1,97	28 0	83 13	0,82 0,00	1,82 2,86			
J.Appl.Phys.	1,78	80 13	306 65	0,75 1,22	1,89 4,01			
Nucl.Phys.A	1,75	77 10	168 22	2,52 3,27	3,94 5,16			
Cass.Quant.Grav.	1,49	14 4	66 25	1,77 5,04	4,36 16,52			
Mod.Phys.Lett.A	1,40	0 0	31 19	0 0	4,66 2,86			
J. Mag.Mag.Mat.	1,31	54 3	287 48	1,71 0,96	4,47 7,47			
Physica A	1,18	39 12	67 26	2,98 9,16	2,50 9,70			
Nucl.Instr.Meth.B	1,16	25 3	132 19	0,58 0,69	2,01 2,90			
Phys.Lett.A	1,15	87 15	170 39	2,05 3,53	2,83 6,50			
Opt.Comm.	1,11	42 13	125 33	2,07 6,40	3,33 8,79			
Appl.Opt.	0,91	50 1	152 20	1,12 0,22	2,60 3,42			
J.Math.Phys.	0,90	76 16	98 15	3,60 7,59	3,55 5,43			

Taula 3: Nombre d'articles publicats en algunes de les revistes de física de més impacte. I indica impacte, E Espanya, C Catalunya i M món

	Publicacions		% respecte al total	
	1985-89	1990-95	1985-89	1990-95
Catalunya	918	2.555	0,224	0,390
Espanya	4.628	12.793	1,128	1,961

Taula 4: Comparació del nombre total de publicacions en física a Catalunya i Espanya

La distribució del conjunt de publicacions per àrees de recerca, segons la distribució del Science Citation Index queda recollida a la taula 5.

Aquesta llista té l'avantatge que és fàcil de reproduir, cosa 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. La física general inclou, així, revistes

²En 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, inclòs.

³En l'apartat de "Física atòmica, molecular i química" 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.

Àrea	1985-1989			1990-1995		
	Total	E	C	Total	E	C
Astronomia i astrofísica	32906	616	61	48841	1653	221
Mecànica	17455	69	11	33601	315	63
Meteorol. i ciències atmosf.	16850	53	6	25878	217	51
Ciència i tecnologia nuclear	35285	173	26	45314	554	67
Oceanografia	12967	69	22	17023	273	113
Òptica	26533	268	37	47168	824	132
Física general	84963	1117	280	108239	2406	615
Física aplicada	66017	472	165	116199	1434	310
Física atòm., molec. i químic. ³	35656	492	98	48368	1138	212
Matèria condensada	54619	827	110	95295	2289	379
Fluids i plasmes	8143	60	7	18349	383	75
Física matemàtica	8799	150	34	20010	557	123
Física nuclear	21852	217	28	33353	767	133
Partícules i camps	13062	291	82	23845	552	167

Taula 5: Distribució de publicacions per àrees temàtiques segons la classificació de l'SCI

típiques de partícules elementals, de gravitació, de física estadística, o de termodinàmica. Una llista més propera a la panoràmica que hem fet segons els investigadors, és presentada en el report original.

Per calcular la productivitat mitjana és usual expressar el nombre d'articles per doctor i per any, o el nombre d'articles per investigador a jornada completa i per any. Per obtenir aquests indicadors cal tenir en compte certes precaucions pel que fa als articles i pel que fa als investigadors, i que duen a 1,2 articles per doctor i per any. Pel que fa a investigadors a jornada completa (definit com l'investigador que dedica les 40 hores setmanals de treball exclusivament a recerca), 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, de l'ordre de 0,3 publicacions per investigador a jornada completa i per any. Aquest nivell és degut al fet que, de mitjana, hi ha a Europa més tècnics i 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 més prioritaris que no pas la publicació.

Crida l'atenció l'alt increment d'articles en totes les àrees, que es multipliquen, de 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.

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 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 també és escàs. En particular, entre el 1990 i el 1995, els títols apareguts, sense comptar els *proceedings*

o actes de congressos, són vuit en anglès i un en francès. Pel que fa a llibres de text, són dos en castellà, i quatre en català. Pel que fa a publicacions de caràcter 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 compta actualment amb uns 275 associats.

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, sinó també l'impacte mitjà dels articles, el qual havia crescut entre 1981-85 i 1988-92 en un 17%, per només un creixement del 14% dels articles francesos, o un 13% dels articles dels EUA i el 10% dels articles italians; fou superat aquest increment relatiu tan sols pel d'Alemanya, avaluat en un 21%.

L'impacte mitjà dels articles de les revistes esmentades a la taula, 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. 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 quines són les àrees i problemes concrets on les aportacions han estat més significatives.

En la taula 6 presentem una anàlisi no exhaustiva dels articles més citats de diversos grups entre els publicats a partir del 1970. 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. Utilitzar un nombre de tall, com ara 100, és una qüestió de comoditat, però no fa justícia, ja que el nombre mitjà de citacions depèn fortament dels camps de recerca.

Referència	Àrea	Cita.
- Phys. Rev. A 26 (1982) 1589	Física estadística	255
- Phys. Lett B 231 (1989) 519	Altes energies	230
- Phys. Rep 5 (1979) 267	Física nuclear	216
- Rep. Progr. Phys. 51 (1988) 1105	Física estadística	215
- Phys. Rev. Lett. 51 (1983) 1022	Altes energies	195
- Phys. Lett B 41 (1972) 609	Altes energies	167
- Nuovo Cimento B 36 (1976) 5	Optica	125
- Nuovo Cimento B 53 (1979) 1	Optica	122
- Nuclear Physics B 183 (1981) 384	Altes energies	120
- Phys. Lett. B 278 (1992) 457	Altes energies	115
- Nucl. Phys. B 384 (1992) 3	Altes energies	115
- Lettere al Nuovo Cimento 17 (1976) 333	Optica	115
- Astron Astrophys 46 (1976) 229	Astrofísica	115
- J. Phys. A 13 (1980) 275	Física estadística	101

Taula 6: Alguns articles citats més de 100 vegades des de la seva publicació fins al mes de juny del 1996

A més de les publicacions en revistes de difusió internacional, l'organització de congressos internacionals és una altra manera apreciable de donar a conèixer el dinamisme dels nostres grups de física. L'organització de congressos és relativament freqüent. Alguns, com ara la Conferència de Sitges de Mecànica Estadística (iniciada fa més de 25 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 ben bé 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 figura en el consell editorial de revistes internacionals, o en els consells de direcció d'organismes internacionals, nombre molt escàs. Finalment, cal esmentar alguns èxits puntuals, com ara l'observació de l'efecte túnel magnètic, que han rebut atenció a *Nature*, *Science* i *Physics Today*.

L'aportació catalana al conjunt total de publicacions de física espanyoles és de l'ordre del 19%, percentatge que es manté gairebé estable en aquests deu anys: en el període 1985-89 és de l'ordre del 19,84% i en el període 1990-95, de l'ordre del 19,96%, proporció superior a la purament demogràfica, que és d'un 16%. Un estudi de la producció científica (no restringida a física) de les universitats espanyoles és resumit a la taula 7, que posa de manifest el paper rellevant de les universitats catalanes dintre del context espanyol.

	1981-92	1990-95	I (81-92)
U. de Barcelona	7100	6224	3,9
U. Complutense de Madrid	6572	5575	3,1
U. Autònoma de Madrid	7216	4642	5,8
U. Autònoma de Barcelona	4612	4363	3,4
U. Politècnica de Madrid	742	992	2,6
U. Politècnica de Catalunya	709	791	1,7

Taula 7: Producció científica a diverses universitats. I indica l'impacte

Si 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.

Patents

Les relacions amb la indústria s'han anat incrementant en aquest període, però encara no són prou intenses. Per ara, el nombre de patents dels departaments de Física

encara és 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 ja estan 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, una petita part del nombre total de patents que realment es fa 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 90 projectes de col·laboració amb la indústria (uns 30 a la UPC, 40 a la UB i 20 a la UAB, aproximadament). Resulta aclaridor i suggerent 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, acondicionadors 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, etc. En òptica, aplicacions del làser a polimentació de superfícies, metrologia òptica, perforació de paper, mesura de perfils, 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, etc. En ciències de la terra i de l'atmosfera, estudis de sismicitat, de risc de pluviositat, de processament d'imatges obtingudes per satèl·lit, etc. 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 la rodalia de les centrals nuclears, en el riu Ebre i en el litoral de la Mediterrània, etc. En física teòrica, desenvolupament d'algorismes informàtics basats en xarxes neuronals per a aplicacions de màrqueting, de predicció de consum, etc. En definitiva, un ventall ampli i suggerent d'aplicacions, que convindria incrementar.

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

col·laboració amb la universitat.

Els recursos econòmics

Un altre dels paràmetres essencials en la recerca és la dels recursos disponibles. En aquesta secció presentem el conjunt de subvencions atorgades en el període 1990-95, i en detalllem els receptors, per temes de recerca i per universitats, i les fonts. La principal dificultat per obtenir dades ben precises sobre el finançament rebut per la física és la globalitat de les informacions donades en els anuaris de les universitats o de les administracions. 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, sinó també cursos de formació, o convenis amb la Unió Europea. Per això cal insistir en el caràcter indicatiu d'aquestes dades.

Les quantitats indicades inclouen: programes de recerca, subvencionats per fonts catalanes, estatals o europees; infraestructures de recerca, i contractes i convenis amb indústries. 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:

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

Taula 8: *Quantitats aproximades rebudes en el període 1990-95 en milions de pessetes. (Total: 3.950 milions de pessetes)*

S'observa 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 ajuts específics per a viatges. Calculem que entre els conceptes b i c, i en el període considerat, s'han dedi-

cat a la física uns 150 milions més, aproximadament. La quantitat total rebuda per la recerca en física seria, doncs, d'uns 4.100 milions de pessetes aproximadament, és a dir, d'una mica més d'un milió per investigador i per any.

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 mateixes universitats, 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 Dirección General de Investigación Científica y Técnica del Ministerio d'Educación (DGICYT), a través del *Programa General de Promoción del Conocimiento*, i de la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CITYT), en especial a través dels programes de *Nuevos materiales* (MAT), *Tecnología de la Información y las Comunicaciones* (TIC), de *Física de Altas Energías* (AEN), de *Tecnologías avanzadas de la producción* (TAP), i de *Medio ambiente y recursos naturales* (AMB), especialment. Pel que fa a la Generalitat, la CIRIT coordina la contribució a la recerca dels diversos departaments (Comissionat per a Universitats, Indústria i Energia, Medi Ambient, etc.). 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 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, etc.) 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, Fissió), el de recursos i tecnologies marines (MAST), els de clima i medi ambient (CLIMATE, ENVIRONMENT), el de biotecnologia, pel que fa a alguns aspectes de la biofísica, i l'espacial, pel que fa a ciències de la Terra i del cosmos. Finalment, les universitats desenvolupen 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 per optar a un ajut extern. Les dades globalitzades aproximades, en milions de pessetes, són presentades a la taula 9.

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

Taula 9: Finançament global segons fonts de finançament

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, podrien ser obtinguts tenint 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 2.400 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.

Relació amb la indústria

Mereixen un breu comentari les relacions de la física amb la indústria, que constitueixen, dintre del 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 2.400 articles de recerca indica un elevat predomini de la recerca bàsica sobre la recerca aplicada. 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 dedicades a estimular la relació entre investigadors i industrials, i a canalitzar la part administrativa dels contractes. També alguns programes de la CICYT, intenten estimular les activitats de desenvolupament i de transferència de tecnologia.

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, etc.), 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, etc.). 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 cal preveure que augmenti considerablement si s'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.

Balanç i conclusions

Les principals conclusions del *Report* poden ser resumides en els punts següents. 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 de l'increment en el nombre d'investigadors. El període s'ha caracteritzat per la consolidació d'unes àrees, per l'expansió d'altres i per una ampliació de la infraestructura. 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 el de grups de qualitat de la DGR, etc.) representen un esforç, esperem que a la llarga reeixit, per 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 comunicativa, pràcticament invisible. Seria molt recomanable, tant de cara al públic com a les empreses i 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.

Personal investigador

El nombre d'investigadors en física (doctors i doctorands) és de l'ordre dels 600 a final del 1995, comparat amb poc més de 400 a final del 1989. Aquest creixement no ha estat encara absorbit per la universitat, que només ha incrementat els seus efectius en un 30 % du-

rant el mateix període. El ritme d'incorporació a places més o menys estables, que fou de l'ordre d'uns 30 investigadors per any entre el 1988 i el 1993, ha disminuït darrerament de manera 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 és deguda a la presència creixent de doctorands estrangers.

Caldria fer créixer, amb rigor i sense precipitacions, el nombre de places d'investigadors i de tècnics no vinculats directament a la docència, ja sigui en el CSIC (la presència del qual a Catalunya caldria seguir incrementant), ja sigui 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 i incrementar les possibilitats de retorn dels investigadors després de les seves estades postdoctorals, cosa que demanaria, per exemple, incrementar el nombre de beques del programa de reinserció, però que difícilment té solució si no s'incrementen 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.

Grups

Hi ha una gran diversitat pel que fa al nombre d'investigadors per cada grup. El nombre mitjà d'investigadors per grup és de l'ordre de dotze, força raonable. 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 més personal tècnic per optimitzar-ne l'ús i el manteniment. També caldria assegurar l'increment i la pervivència de bones biblioteques especialitzades. Una relació més gran entre grups afins seria convenient per impulsar la presència de Catalunya entre els centres de prestigi o de referència, cosa que és més difícil d'assolir si els grups són petits o estan poc coordinats.

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, com 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 a nivell de titulats de

grau mitjà, sinó també a nivell d'enginyer superior o de físic. 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 d'investigadors actual en ciència bàsica.

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 1985-89 a un 3,90 per mil en el període 1990-95. Tot i això, aquesta participació és encara significativament més baixa a la d'un 5,5 per mil 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 de l'ordre d'1,2 publicacions per doctor i per any, o bé 0,9 publicacions per investigador amb dedicació completa i per any.

Impacte

No hi ha estudis detallats sobre l'impacte real dels articles. Seria convenient un esforç cienciomètric 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 *reviews* és encara molt escassa, per sota del que seria d'esperar atesa la grandària del nombre d'investigadors. Caldria incentivar anys sabàtics per 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.

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 suport bàsic a aquelles reunions internacionals de caràcter periòdic i amb més prestigi i tradició. 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 la presència en els comitès d'avaluació de projectes europeus.

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 general, 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 dona un quocient entre nombre de patents i nombre d'articles un ordre de magnitud inferior a la mitjana europea.

Cal, a escala política, insistir perquè les multinacionals que s'installen a Catalunya no limitin els seus centres a la producció sinó que hi vagin installant, en la mesura que puguin, 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 Sra. 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 la UPC, Rolf Tarrach, degà de la Facultat de Física de la UB, Fernando López Aguilar, director del Departament de Física de la UB, 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 es troben els membres de la junta directiva de l'SCF. He intentat, fins on m'ha estat possible, incorporar els seus suggeriments, que han enriquit les versions successives 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.