

Resum del report sobre la recerca en física a Catalunya: 1996–2002

David Jou*†

Societat Catalana de Física. Institut d'Estudis Catalans

Introducció

En el report que aquí resumim, promogut i finançat per l'Institut d'Estudis Catalans i la Direcció General de Recerca del Departament d'Universitats, Recerca i Societat de la Informació, i continuació del publicat per l'IEC el 1997, estudiem l'evolució de la recerca en física a Catalunya els anys 1996–2002, ambdós inclosos. Considerem els recursos humans (investigadors i grups de recerca), les activitats de recerca i els seus resultats (línies de treball, publicacions, impacte, patents) i els recursos econòmics dedicats a aquestes tasques.

Recursos humans: investigadors i grups

El problema metodològic essencial rau a delimitar amb prou claredat els temes i investigadors, cosa que resulta difícil pel caràcter interdisciplinari d'algunes branques de la física, que se superposen a la química, l'enginyeria, la biologia o la geologia, per exemple. Hem preferit acceptar un cop més el repte d'aquesta complexitat, més que no pas cenyir-nos a una especificació administrativa del camp, més operativa i còmoda, però que amaga la riquesa i diversitat d'interessos de la física. També hem tingut en compte que un altre report de la recerca està dedicat a tecnologies de la informació i les comunicacions, motiu pel qual no hem incorporat físics que treballen en els aspectes més aplicats d'aquestes àrees. En definitiva, la demarcació ha obeït en bona part a criteris de publicació d'articles en revistes relacionades amb la física.

La llicenciatura en Física es desenvolupa a les universitats de Barcelona (UB) i Autònoma de Barcelona (UAB), però altres universitats, com ara la Politècnica de Catalunya (UPC) i la de Girona (UdG), tenen també departaments de física i participen en l'ensenyament d'altres titulacions i en l'oferta de tercers cicles de Física. Altres universitats, com ara la Rovira i Virgili (URV) o

*David Jou (Sitges, 1953) és doctor en Física per la Universitat Autònoma de Barcelona (1978) i actualment és catedràtic de Matèria Condensada a la Universitat Autònoma de Barcelona.

†Amb la col·laboració de Ramon Vilaseca, catedràtic de Física Aplicada a la Universitat Politècnica de Catalunya i Francesc Salvat, catedràtic de Física Atòmica i Nuclear a la Universitat de Barcelona.

la Ramon Llull (URL), no tenen departaments de física, però inclouen físics en altres departaments —química i enginyeria— o en centres com per exemple l'Observatori de l'Ebre. Diversos centres del CSIC a Catalunya apleguen també un nombre considerable d'investigadors en física, en un context fortament interdisciplinari.

Formació: llicenciatura i doctorat

La preocupació per la manca de vocacions envers els estudis de física, constatada recentment al nostre país, es presenta a tota la Unió Europea i als Estats Units. En efecte, durant els darrers anys els estudis de Física han experimentat la competència de les titulacions d'Enginyeria de Telecomunicacions, Enginyeria Electrònica i Enginyeria Informàtica i Enginyeria de Materials. Tot i això, una anàlisi detallada de l'evolució dels estudis manifesta fluctuacions considerables, però no pas una tendència nítida a la baixa. En la taula 1 indiquem el nombre d'estudiants que han acabat la llicenciatura en Física en el període considerat.

S'observa un descens molt marcat el curs 1997–98, un de no tan gran el 2000–01, i una represa posterior. Un estudi ampliat al període 1990–2003 indica, però, que fluctuacions d'aquesta mena ja es podien observar anteriorment. Dintre d'aquest context, el que sembla una anomalia és el pic pronunciat d'estudiants el curs 1996–97, més que no pas el descens posterior. El nombre recent de llicenciats, 183 l'any 2002, encara està molt per sota dels 239 llicenciats de 1995, però supera el nombre de llicenciats d'altres cursos del període 1990–95.

Pel que fa al tercer cicle, el nombre de tesis doctorals llegides durant aquest període oscil·la entre un mínim de 42 (el curs 1997–98) i un màxim de 68 (el 2001–02). Observem, al començament, una minva en el nombre de tesis llegides, relacionada potser amb la saturació de les universitats i amb una agilització del mercat laboral. Un cert nombre d'estudiants fan un màster de tercer cicle, però no una tesi doctoral, de manera que el nombre real d'estudiants de tercer cicle és superior al que podrien suggerir les xifres de lectures de tesis. Alguns programes de doctorat en física d'universitats catalanes (considerats programes de qualitat pel Ministeri i la Generalitat)

Universitat/Curs	1996-97	1997-98	1998-99	1999-2000	2000-01	2001-02
UB	312	151	150	138	109	134
UAB	62	51	42	73	48	49
Total	374	202	192	211	157	183

Taula 1: Nombre d'estudiants que han acabat la llicenciatura en Física

atreuen estudiants de fora de Catalunya, tant d'Espanya com d'altres llocs. Convindria, però, augmentar l'ambició dels programes i convertir-ne alguns en referència internacional.

Recerca: distribució de grups i investigadors per centres

Hem comptat el nombre d'investigadors que formen part dels diversos grups, a partir de les pàgines web dels departaments, i els hem desglossat, indicativament, en doctors i doctorands. Els resultats, per centres, són presentats en la taula 2.

A la UAB hem inclòs els membres de l'Institut de Física d'Altes Energies (IFAE) i del Laboratori de Llum Sincrotró. Entre claudàtors, hem indicat el nombre de doctors i de doctorands en el report anterior (1990-95). Podem constatar l'increment importantíssim del nombre d'investigadors, malgrat que en el report anterior temíem trobar-nos davant d'una perspectiva de saturació. Alguns factors que ho expliquen són el dinamisme en la creació de nous instituts de recerca, els diversos programes de reincorporació de doctors com ara el programa REIN del Ministerio de Ciencia y Tecnología, o el programa de Recuperació de Doctors i Tecnòlegs de la Direcció General de Recerca, les iniciatives de contractació de personal investigador no vinculat a la docència —el programa Ramón y Cajal del Ministerio de Ciencia y Tecnología i el programa de contractes de la Institució Catalana de Recerca i Estudis Avançats (ICREA), impulsat pel Departament d'Universitats, Recerca i Societat de la Informació—, i les beques i projectes europeus.

En el report anterior vam indicar la fundació, el 1991, de l'IFAE, iniciativa que agrupava investigadors en partícules elementals i altes energies i que en potencia, en principi, les interrelacions i la presència internacional. Durant el període considerat cal deixar constància de la creació d'altres instituts i centres de recerca, iniciatives que impulsen la col·laboració entre grups i tenen un impacte econòmic pel que fa a equipaments, infraestructures i contractació de personal. El 1996, es fundà l'Institut d'Estudis Espacials de Catalunya (IEEC), per iniciativa conjunta de la Fundació Catalana per a la Recerca, la UB, el CSIC, la UAB i la UPC. En aquesta mateixa especialitat, la UB ha creat un Centre Especial de Recerca en Astrofísica, Física de Partícules i Cosmologia, que engloba diferents investigadors dels departaments d'Astronomia i Meteorologia, d'Estructura

i Constituents de la Matèria i de Física Fonamental, i és una unitat associada del CSIC a través de l'Institut de Ciències de l'Espai del CSIC.

Un altre centre constituït durant aquest període (2002) és el Centre Especial de Recerca en Bioelectrònica i Nanobiociència, que aplega grups de recerca de la UB (Electrònica, Biofísica i Bioenginyeria) i de l'Institut d'Investigacions Biomèdiques August Pi i Sunyer. Podríem afegir encara el Centre Universitari de la Visió, constituït pel Departament d'Òptica i Optometria de la UPC, més abocat a aspectes mèdics que no pas pròpiament físics, i la fundació recent de l'Institut de Ciències Fotòniques (ICFO), el 2003, a la UPC, que contribuirà al desenvolupament d'aquesta àrea tan important. També el 2003 es va crear el Centre de Referència de la Generalitat de Catalunya en Materials Avançats per a l'Energia (CERMAE), integrat per grups de la UB, la UPC, UAB i l'ICMAB.

Una rellevància excepcional, pel que fa a les expectatives que genera, té l'aprovació, a principi del 2002, del projecte d'una gran instal·lació de llum de sincrotró, que constituirà la infraestructura científica més gran instal·lada mai a Catalunya, amb vocació internacional. Cal esperar que sigui un revulsiu per a la recerca en microelectrònica i nanoelectrònica, en estructura de macromolècules i en ciència de materials, i que impulsarà una activitat industrial capdavantera en àrees com ara l'electrònica i la farmacèutica.

Recerca: distribució d'investigadors i grups per àrees de recerca

Per tal de tenir una visió més detallada de la recerca cal examinar la distribució d'investigadors per especialitats. Per a això hem adoptat la classificació PACS (Physics and Astronomy Classification Scheme). Els resultats són presentats en la taula 3.

Com en el report de 1990-95, s'observa el predomini d'investigadors en ciències de materials. Altes energies, una especialitat amb gran tradició a Barcelona, ha estat lleugerament depassada per física estadística i termodinàmica i per òptica, àrees que ja en el report anterior manifestaven una taxa elevada de creixement. Una atribució diferent dels especialistes en cosmologia i gravitació hauria pogut ser incloure'ls en l'apartat d'astronomia i astrofísica; per això, hem preferit indicar-ne explícitament el nombre d'investigadors en lloc de donar-lo directament agregat dins de l'apartat d'Altes Energies. Si

	UB	UAB	UPC	UdG	URL	URV	CSIC	Total
Doctors	232	106	90	14	7	10	56	515 [385]
Doctorands	174	60	73	13	5	6	44	375 [213]
Total	406	166	163	27	12	16	92	890 [594]

Taula 2: Nombre d'investigadors (doctors i doctorands) per centres; entre claudàtors, els nombres corresponents al report de 1990–95

Matèria condensada (materials)	208	CSIC (67) UB (68) UAB (36) UPC (15) URV(8) UdG (10)
Altes energies	91	
Partícules i camps	(76)	UB (22) UAB-IFAE (54)
Cosmologia i gravitació	(15)	UB (15)
Física estadística i termodinàmica	114	UB (58) UAB (14) UPC (42)
Òptica	94	UB (21) UAB (26) UPC (47)
Física nuclear	38	UB (13) UAB (13) UPC (12)
Astronomia i astrofísica	68	CSIC (10) UB (37) UPC (11) IEEC (7) URL (3)
Fluids	23	URV (8) UB (3) UPC (12)
Electrònica	106	UB (86) UAB (20)
Biofísica	37	UAB (15) UB (22)
Oceanografia	25	CSIC (17) UAB (2) UdG (6)
Atmosfera	36	URL (2) UB (28) UdG (6)
Terra	36	UB (16) URL (7) CSIC (7) UPC (6)
Laboratori sincrotró	14	UAB (14)
Total investigadors	890	

Taula 3: Nombre d'investigadors per àrees temàtiques segons la classificació PACS

haguéssim incorporat plenament l'enginyeria electrònica, la presència de l'àrea d'electrònica hauria estat molt superior.

A continuació, el report descriu detalladament les línies de recerca en física a Catalunya, per grans àrees temàtiques, en aquest període. Ometem aquí aquesta secció, molt llarga, que el lector podrà consultar a la pàgina web de l'IEC.

Resultats: publicacions i patents

Els resultats de la recerca en física s'acostumen a publicar en revistes, actes de congressos i llibres; els de caràcter més aplicat poden donar lloc a informes tècnics i patents. L'avaluació de la recerca és un tema molt complex, que ha de tenir en compte diversos indicadors, com ara la quantitat d'articles i el seu impacte, les comunicacions a congressos, els llibres, la transferència de tecnologia, el nombre de tesis doctorals i de postdoctors, la captació de recursos econòmics i participació en projectes internacionals. Aquí estudiem alguns d'aquests aspectes.

Examinem en primer lloc les publicacions en les revistes internacionals de més impacte i visibilitat internacional. En la taula 4 recollim el nombre d'articles publicats en les revistes de física de més impacte que han aparegut entre 1996 i 2002, amb algun autor pertanyent a algun centre de recerca català. Per tal de facilitar la

comparació amb el report anterior, hi incloem el nombre corresponent de publicacions en el període 1990–95.

Cal dir que ens hem limitat a revistes d'índex d'impacte superior a la unitat, i amb més de deu articles publicats per investigadors de les universitats catalanes. Aquesta darrera restricció explica que no figurin a la llista revistes de geofísica, meteorologia ni biofísica, camps amb un nombre considerable de revistes especialitzades, en què els articles dels diversos grups es dispersen i no arriben als deu articles en cada revista, encara que el nombre total sigui considerable. També és escàs el nombre d'articles apareguts a *Nature* i *Science*, que mereixen, però, un esment especial a causa de l'elevat índex d'impacte. Durant el període considerat, han aparegut dos articles a *Nature* (el 1998 i el 2001), i dos a *Science* (el 1997 i el 2000), tots ells d'investigadors de la UB.

De la taula anterior destaca immediatament un increment considerable en el nombre d'articles publicats en la majoria de les revistes, especialment en *Physical Review Letters* i *Applied Physics Letters*. Una altra característica remarcable és que bona part dels articles han estat fets en el marc de col·laboracions internacionals. Com que, en general, hi ha hagut un increment mundial en el nombre de publicacions, cal examinar si aquest increment absolut també representa un increment en la proporció relativa de participació en les diverses revistes. Aquest és l'objectiu de la taula 5.

Revista	Impacte 1993	Impacte 2001	1985–89		1990–95		1996–2002	
			Espanya	Cat.	Espanya	Cat.	Espanya	Cat.
<i>Phys. Rev. Lett.</i>	7,11	6,67	56	10	148	22	708	128
<i>Nucl. Phys. B</i>	4,54	6,23	49	9	225	45	386	56
<i>Astrophys. J.</i>	3,39	5,92	84	11	296	58	679	82
<i>Phys. Lett. B</i>	3,08	4,37	263	40	670	194	830	187
<i>Phys. Rev. D</i>	3,01	4,36	128	33	165	54	542	142
<i>J. Chem. Phys.</i>	3,62	3,15	47	6	80	12	737	168
<i>Appl. Phys. Lett.</i>	3,50	3,85	22	4	130	16	396	95
<i>Phys. Phys. Lett.</i>	2,78	2,26	34	4	93	25	170	40
<i>Phys. Rev. A</i>	2,27	2,81	145	37	312	54	328	49
<i>Phys. Rev. E</i>	–	2,23	0	0	125	31	705	195
<i>Z. Phys. C</i>	2,22		96	14	128	34		
<i>Astron. Astrophys.</i>	2,12	2,28	241	16	518	47	336	29
<i>J. Phys. A</i>	2,06	1,45	60	8	154	31	299	43
<i>Phys. Rev. C</i>	1,97	2,70	28	0	83	13	214	40
<i>J. Appl. Phys.</i>	1,78	2,13	80	13	306	65	608	119
<i>Nucl. Phys. A</i>	1,75	2,07	77	10	168	22	262	44
<i>Class. Quant. Grav.</i>	1,49	1,98	14	4	66	25	119	43
<i>Mod. Phys. Lett. A</i>	1,40	1,12	0	0	31	19	43	7
<i>Physica A</i>	1,18	1,30	39	12	67	26	155	54
<i>Nucl. Instr. Meth. B</i>	1,16	1,04	25	3	132	19	191	22
<i>Phys. Lett. A</i>	1,15	1,22	87	15	170	39	219	27
<i>Opt. Commun.</i>	1,11	1,35	42	13	125	33	215	56
<i>Appl. Opt.</i>	0,91	1,46	50	1	152	20	213	41
<i>J. Math. Phys.</i>	0,90	1,15	76	16	98	15	138	23
<i>J. Magn. Magn. Matter</i>	–	1,33			275	44	503	60
<i>Physica C</i>	2,30	0,81	36	13	137	58	122	56

Taula 4: Nombre d'articles publicats en algunes de les revistes de física de més impacte

La taula 5 indica les contribucions relatives de Catalunya (en tant per mil) i del conjunt d'Espanya (en tant per cent) al total d'articles publicats en les respectives revistes. En gairebé tots els casos es veu un increment notable en aquest paràmetre, de vegades en un factor 4 (en revistes d'impacte especialment elevat com ara *Phys. Rev. Lett.*, *J. Chem. Phys.*, *Appl. Phys. Lett.*).

El nombre total de publicacions dels diversos centres es recull en la taula 6. Com que cada departament dona els articles en què han participat els seus autors, i com que hi ha col·laboracions entre diverses universitats, un nombre significatiu d'aquests articles estan repetits en dues o més universitats o departaments; una correcció estimativa d'aquesta redundància ens porta a un nombre net d'uns 3.800 articles. En el període 1990–95, el nombre total d'articles era 2.155, segons les bases de dades de l'ISI. L'increment, doncs, és lleugerament superior a l'increment proporcional en el nombre d'investigadors, cosa que indica un manteniment de la productivitat, en articles per doctor i per any (1,2 articles per doctor i per any, com en el report del període 1990–95).

Pel que fa a llibres, en el període esmentat, hem localitzat set llibres de recerca en anglès (un de magnetisme, un de processos estocàstics, un de relativitat general i

ones gravitatòries, dos de sistemes complexos, dos de termodinàmica), a més d'uns deu volums d'actes de congressos i diversos números especials de revistes internacionals amb científics catalans com a editors invitats; cal comptar també diversos llibres de text, en català o en castellà, i sis llibres de divulgació en català.

L'impacte de les publicacions, relacionat amb el nombre de citacions que reben, és un indicador de la influència de la recerca. Una possibilitat d'avaluar-lo es basa en l'índex d'impacte de la revista en què han estat publicats els articles. Els resultats són un índex de 2,60 en el període 1990–95 i un índex de 3,14 en el període 1996–2002, de manera que l'índex mitjà ha pujat considerablement. Ara bé, els càlculs anteriors no permeten descobrir l'impacte real dels articles que estem considerant, ni els articles molt citats, que indiquen —amb de les precaucions que cal tenir sempre— les línies especialment fructíferes. En el report anterior ja dedicàrem una atenció considerable als articles més citats, que després ampliàrem en els articles amb Lluís Rovira i Pau Senra a la *Revista de Física* i a *Contributions to Science* i que analitzàrem amb profunditat en el llibre *Estudis bibliomètrics sobre la recerca en física a Catalunya*, publicat per l'Institut d'Estudis Catalans l'any 2001.

	Cat./Món (%)			Espanya/Món (%)		
	1985-89	1990-95	1996-2002	1985-89	1990-95	1996-2002
<i>Phys. Rev. Lett.</i>	1,14	1,65	6,39	0,64	1,11	3,53
<i>Europhys. Lett.</i>	2,76	9,35	12,0	2,34	3,48	5,09
<i>Nucl. Phys. B</i>	3,06	8,44	8,43	1,67	4,22	4,39
<i>Phys. Lett. B</i>	4,97	19,1	18,4	3,27	6,59	8,15
<i>Phys. Rev. D</i>	6,49	7,18	11,3	2,52	2,19	4,32
<i>Z. Phys. C</i>	9,00	18,0	47,9	6,17	6,78	14,7
<i>Nucl. Phys. A</i>	3,27	5,16	8,85	2,52	3,94	5,27
<i>Phys. Rev. C</i>	0,00	2,86	6,86	0,82	1,82	3,87
<i>Nuclear Inst. Meth.</i>	0,69	2,90	3,02	0,58	2,01	2,62
<i>Astrophys. J.</i>	1,61	5,26	5,30	1,23	2,69	4,39
<i>Astron. Astrophys.</i>	3,41	6,86	9,39	5,14	7,56	10,9
<i>Appl. Phys. Lett.</i>	0,16	1,23	5,18	0,32	1,00	2,16
<i>J. Appl. Phys.</i>	1,22	4,01	8,85	0,75	1,89	5,27
<i>J. Chem. Phys.</i>	1,56	2,67	10,0	1,23	1,78	4,42
<i>Phys. Rev. A</i>	5,03	5,31	5,13	1,97	3,07	3,44
<i>Phys. Rev. B</i>	1,41	5,64	7,76	1,50	2,67	4,13
<i>J. Magn. Magn. Matter</i>		6,76	8,06		4,23	6,76
<i>Class. Quant. Grav.</i>	5,04	16,5	19,4	1,77	4,36	5,36
<i>Appl. Optics</i>	0,22	3,42	6,23	1,12	2,60	3,24
<i>Opt. Commun.</i>	6,40	8,79	10,9	2,07	3,33	4,20
<i>J. Phys. A</i>	2,44	6,91	8,68	1,83	3,43	6,03
<i>Phys. Rev. E</i>	-	12,2	13,7	-	4,91	4,97
<i>Physica A</i>	9,16	9,70	14,2	2,98	2,50	4,09
<i>Phys. Lett. A</i>	3,53	6,50	4,42	2,05	2,83	3,59
<i>J. Math. Phys.</i>	7,59	5,43	7,97	3,60	3,55	4,78
<i>Physica C</i>			7,79			1,70

Taula 5: Proporción d'articles publicats a Catalunya i a Espanya respecte al total d'articles publicats en les revistes respectives

Indicarem aquí els trenta articles més citats, fins a l'abril de 2004, de la física a Catalunya, a partir de les dades de l'ISI Web of Knowledge (<http://isiknowledge.com>). Tal com vam fer en el report anterior, no ens referirem als autors, sinó tan sols als temes i als centres de recerca.

UB	2.060	UdG	110	UAB	869
URV	80	UPC	730	URL	60
CSIC	435	Total	4.346		

Taula 6: Articles de física publicats per diferents institucions en el període 1996-2002

El màxim absolut de citacions és un capítol d'un llibre sobre transicions de fase; els tres articles següents corresponen a estudis en magnetisme de materials, fets per tres grups de tres institucions diferents, la qual cosa mostra la maduresa d'aquesta disciplina a Catalunya. Les àrees de recerca dels articles de la taula 8 són: materials (6), física estadística i termodinàmica (5), partícules (5), òptica (4), cosmologia i gravitació (2), física matemàtica (1), i física nuclear (1).

En el report anterior, havíem aplegat una dotzena

d'articles citats més de cent vegades, llista que en el llibre esmentat (*Estudis bibliomètrics sobre la recerca en física a Catalunya*) vam ampliar fins a una cinquantena d'articles en què (tret de la primera referència de la llista) el més citat arribava tot just a les 300 citacions, mentre que ara tenim sis referències citades més de 400 vegades. Observem que de les 23 referències de la llista anterior n'hi ha set que pertanyen al període estudiat (publicades entre 1996 i 2002). Més encara, de les cinc referències més citades, quatre han estat publicades en el període estudiat. Això té un mèrit especial ja que, com és obvi, aquestes publicacions han tingut menys temps per ser citades que no pas publicacions anteriors. Els grans resultats de la física del període estudiat no s'acaben aquí. Altres articles d'aquest període han assolit més de 125 citacions; en particular, recordem, entre d'altres que probablement no hem pogut localitzar, els de la taula 8.

A efectes de comparació, en la taula 9, donem la llista dels 25 articles de física més citats d'Espanya. Per tal de tenir algun element mitjà de comparació, esmentarem també que a Espanya es publicaren 22.070 articles de física en el període 1993-2003, que aconseguiren una mitjana de 7,33 citacions/article, segons les dades de

Referència	Citacions	Àrea	Institució
<i>Phase transitions</i> , Academic, 1983	1984	Física estadística	UB
<i>Phys. Rev. Lett.</i> 76 (1996) 3830	537	Magnetisme	UB
<i>Phys. Rev. Lett.</i> 76 (1996) 1122	519	Magnetisme	ICMAB-CSIC
<i>J. Magn. Magn. Mat.</i> 192 (1999) 203	490	Magnetisme	UAB
<i>Nature</i> 391 (1998) 51	476	Cosmologia	UB
<i>Extended irrevers</i> , Springer, 1993	460	Termodinàmica	UAB
<i>Nuovo Cimento B</i> 36 (1976) 5	431	Òptica	UAB
<i>Phys. Rev. A</i> 26 (1982) 1589	325	Física estadística	UB
<i>Phys. Rev. Lett.</i> 74 (1995) 5036	308	Òptica	UPC
<i>J. Phys. Chem. B</i> 101 (1997) 9463	287	Materials	UAB
<i>Phys. Rep.</i> 51 (1979) 267	279	Física nuclear	UB
<i>Rep. Prog. Phys.</i> 51 (1988) 1105	276	Termodinàmica	UAB
<i>Z. Phys. C</i> 52 (1991) 13	260	Partícules elementals	UAB
<i>Phys. Rep.</i> 216 (1992) 253	247	Partícules elementals	UAB
<i>Phys. Lett. B</i> 223 (1989) 425	245	Partícules elementals	UB
<i>Zeta regularization</i> , Springer, 1994	244	Física matemàtica	ICE-CSIC
<i>Phys. Lett. B</i> 231 (1989) 519	239	Partícules elementals	UAB
<i>Phys. Rev. Lett.</i> 84 (2000) 2778	235	Gravitació	UB
<i>Acta Metall</i> 30 (1982) 297	219	Física estadística	UB
<i>J. Appl. Phys.</i> 63 (1988) 3538	206	Magnetisme	UB
<i>Lett. Nuov. Cim.</i> 17 (1976) 333	204	Òptica	UAB
<i>Nuovo Cimento B</i> 53 (1979) 1	200	Òptica	UAB
<i>Phys. Lett. B</i> 429 (1998) 169	200	Partícules elementals	UAB-UB

Taula 7: Articles de física procedents d'alguna institució de recerca de Catalunya, citats més de 200 vegades

<i>Europhys. Lett.</i> 35 (1996) 301	145	Magnetisme	UAB
<i>Nucl. Phys. B</i> 466 (2000) 3	142	Partícules elementals	UAB
<i>Nucl. Phys. B</i> 586 (2000) 141	141	Partícules elementals	UAB
<i>Phys. Rev. Lett.</i> 77 (1996) 3728	126	Partícules elementals	UAB
<i>Phys. Lett. B</i> 438 (1998) 255	125	Partícules elementals	UAB
<i>Phys. Rev. Lett.</i> 86 (2001) 3200	115	Física estadística	UPC

Taula 8: Altres articles de física procedents d'alguna institució de recerca de Catalunya publicats entre 1996 i 2002, citats més de 125 vegades

l'ISI Web of Knowledge, cosa que fa que puguem considerar articles molt citats els que han estat citats més de 75 vegades. Pel que fa al nombre mitjà de citacions per article, especificat per universitats, segons les dades de l'ISI Web of Knowledge, queda indicat en la taula següent. La universitat que assoleix, en física, un índex d'impacte més elevat a Espanya és la Universidad Autónoma de Madrid, seguida per la Universitat de València, la UAB i la UB, la Euskal Herriko Unibertsitatea (EHU) i la UPC.

Un altre indicador, més anecdòtic, és el d'articles de recerca que han aconseguit repercussió mediàtica internacional. El 1996, un article sobre el descobriment de l'efecte túnel magnètic en nanopartícules (*Phys. Rev. Lett.* 76 3830); el 1999, una aplicació de models difusius amb retard a la propagació de la cultura neolítica a Europa (*Phys. Rev. Lett.* 82 867); el 2001, un article sobre la supressió de soroll per l'addició de més soroll en sis-

temes no lineals (*Phys. Rev. Lett.* 86 950). També cal esmentar que investigadors de la UB obtingueren la Medalla Lars Onsager en física estadística (2002) i el Fred Scarf Award 1999 de l'American Geophysical Union a la millor tesi doctoral de ciències de l'espai i aeronòmia, i investigadors de l'ICMAB-CSIC guanyaren el Premi Duran Farell (2002), de Gas Natural, i el Premi Nacional d'Investigació Blas Cabrera (2001), del Ministerio de Ciencia y Tecnología.

Altres formes de presència internacional són la participació en projectes europeus, en comitès internacionals, en consells editorials, en conferències invitades, o en l'organització de congressos i de cursos, de programes de doctorat internacionals, o en premis internacionals. Podem destacar el lideratge i la participació en projectes europeus (com ara en nanotecnologia i qubits magnètics en computació quàntica, sensors nanoscòpics, microsistemes, fotònica) en el V Programa marc (1998–2002)

Article	Citacions	Àrea	Institució
<i>Eur. Phys. J C</i> 3 (1998) 1	2.113	Partícules	CIEMAT, Univ. de València
<i>Phase transitions</i> , Academic, 1983	1.984	Fís. estadística	UB
<i>Eur. Phys. J C</i> 15 (2001) 1	1.951	Partícules	CIEMAT, Univ. de València
<i>Phys. Rev. D</i> 54 (1996) 1	1.771	Partícules	CIEMAT, Univ. de València
<i>Phys. Rev. D</i> 50 (1994) 1173	1.070	Partícules	CIEMAT, Univ. de València
<i>Phys. Rev. L</i> 74 (1995) 4091	832	Quàntica	Univ. de Castilla-La Mancha
<i>Phys. Lett. B</i> 239 (1990) 1	661	Partícules	CIEMAT, Univ. de València
<i>Phys. Rev. D</i> 45 (1992) S1	608	Partícules	CIEMAT
<i>Phys. Rev. D</i> 66 (2002) 1	571	Partícules	CIEMAT, Univ. de València
<i>Phys. Rev. Lett.</i> 76 (1996) 3830	537	Magnetisme	UB
<i>Phys. Rev. Lett.</i> 76 (1996) 1122	519	Magnetisme	ICMAB-CSIC
<i>Phys. Rev. A</i> 31 (1985) 2672	517	Fís. estadística	UAM
<i>J. Magn. Magn. Mat.</i> 192 (1999) 203	490	Magnetisme	UAB
<i>Phys. Lett. B</i> 204 (1988) 1	488	Partícules	CIEMAT
<i>Nature</i> 391 (1998) 51	476	Cosmologia	UB
<i>Extended irrevers.</i> , Springer, 1983	460	Termodinàmica	UAB
<i>Phys. Lett. B</i> 170 (1986) 1	440	Partícules	CIEMAT
<i>Nucl. Instr. Meth. A</i> 289 (1990) 35	407	Partícules	CIEMAT
<i>Nature</i> 386 (1997) 256	385	Magnetisme	Univ. de Zaragoza
<i>Phys. Rep.</i> 83 (1982) 281	360		
<i>Phys. Lett. B</i> 329 (1994) 399	333	Partícules	Univ. de Santiago
<i>Phys. Lett. B</i> 302 (1993) 533	325	Partícules	Univ. de Santiago
<i>Phys. Rev. A</i> 26 (1982) 1589	325	Fís. estadística	UB
<i>Phys. Rev. Lett.</i> 74 (1995) 5036	308	Òptica	UPC
<i>Phys. Rev. Lett.</i> 71 (1993) 1852	292	Quàntica	UAM

Taula 9: Llista d'articles de física citats més de 300 vegades procedents d'alguna institució espanyola de recerca

de la Unió Europea.

Patents

El disseny d'aparells o de tècniques susceptibles d'aplicació directa porta al camp de les patents, un camp on la física ha estat massa poc present fins no fa gaire. La situació ha millorat des del report anterior, en dos aspectes: ha augmentat el nombre de patents sol·licitades i s'ha eixamplat el camp de col·laboració amb les empreses.

El Grup de Magnetisme del Departament de Física Fonamental de la UB ha aconseguit set patents internacionals i l'ICMAB n'ha aconseguit onze patents en el marc d'Espanya. El Grup de Física i Cristal·lografia de Materials de la URV ha obtingut dues patents. També hi ha grups d'Electrònica que n'han aconseguit algunes en materials per a sensors. Algunes d'aquestes patents sorgeixen de col·laboracions amb empreses espanyoles o internacionals. A aquestes patents, cal sumar-hi les sol·licitades des de Barcelona. Pel que fa als centres públics, la UPC ha presentat en aquest període 25 patents, i la UAB, la UDL i la UdG una patent cadascuna, amb un total de 28 patents sobre les 291 patents sol·licitades a Catalunya. Un estudi atent de les patents indica que la majoria no corresponen a departaments de Física, sinó més aviat a telecomunicacions, enginyeria informàtica o electrònica, àrees que no s'inclouen en aquest treball.

La interacció amb les empreses i la transferència de coneixement i de tecnologia s'ha eixamplat considerablement des del report anterior. Aquesta frontera activa i prometedora és impulsada amb iniciatives diverses, com ara els instituts universitat-empresa, els programes de col·laboració entre universitat i empresa, programes de desenvolupament i consolidació de xarxes temàtiques dinamitzadores de recerca i desenvolupament de transferència de tecnologia i xarxes europees mixtes universitat-empresa. Les relacions entre física i indústria es desenvolupen sobretot en els camps de materials, magnetisme, superconductivitat, electrònica, òptica, energia, i en algunes àrees més especialitzades, com ara instrumentació per al CERN o per a indústries aeronàutiques, o col·laboració matemàtica o informàtica amb empreses, que són examinades amb detall en el report.

Els recursos econòmics

Un paràmetre essencial en la recerca és el dels recursos disponibles. En aquesta secció analitzem el conjunt de subvencions atorgades en el període 1996–02, i en detalllem els receptors, per universitats, i les fonts de finançament. Aquesta és la part més difícil d'obtenir de tot el report i, per tant, la que està sotmesa a un marge d'error més gran. Les quantitats que indiquem corresponen als costos de projectes i d'infraestructures

Institució	Articles	Cit./article
UAM	2.173	11,09
EHU	825	6,84
Univ. de València	1.796	10,93
UPC	750	6,81
UAB	1.198	9,11
Univ. de Zaragoza	1.219	6,41
UB	2.036	8,28
Univ. de Santiago	626	6,25
CSIC (Cat)	450	7,40
UCM	1.952	6,18

Taula 10: Nombre de publicacions en física i impacte mitjà en diverses universitats d'Espanya, segons l'ISI Web of Knowledge

per a projectes i a convenis amb empreses, però no inclou el personal (tret dels professors visitants), ni els edificis, ni les beques, ni les despeses de mobilitat especials ni els doctorats de qualitat. En el report anterior vam emprar un criteri anàleg a aquest, de manera que la comparació amb el report anterior és significativa.

En el càlcul del finançament per centres ens hem trobat amb la dificultat d'accedir als detalls sobre les quantitats corresponents a cada projecte concret. Tot i que les memòries d'alguns centres les especifiquen, molts d'altres donen només el balanç econòmic global del conjunt. En el cas de centres dedicats a activitats interdisciplinàries, el desconeixement de les quantitats concretes de cada projecte fa que l'assignació econòmica que atribuïm a la física tingui un marge considerable d'ambigüitat. A falta de dades més detallades, hem distribuït els fons proporcionalment al nombre d'investigadors, amb una ponderació d'un 1,5 en el cas de recerca experimental. Fetes aquestes excepcions, creiem que la taula 11 ofereix una descripció plausible i versemblant de les quantitats destinades als diferents centres.

Per tal d'interpretar l'evolució del finançament, convé tenir en compte l'increment del nombre d'investigadors, el fet que el període del present estudi aplega set anys en lloc dels sis anys de l'estudi anterior, i la inflació acumulada durant els set anys transcorreguts, que ha estat, en conjunt, de l'ordre del 15 %. El finançament per investigador i per any fou de 6.845 euros en el període 1990–95, i ha estat de 7.394 euros en el període 1996–2002. Si tenim en compte la inflació, i comptem en termes de moneda constant, la quantitat queda reduïda a 6.430 euros, referits a l'any 1996, lleugerament inferior a la quantitat del període 1990–95.

En definitiva, cal reconèixer que les diverses administracions implicades han fet un esforç considerable, que es mesura, més que no pas en un augment de la despesa mitjana per investigador (tret de l'actualització segons la inflació), en un increment d'investigadors i en una millora d'infraestructures. La quantitat total exigiria sumar, als finançaments donats aquí, els sous del personal,

Centre	1996–2002	1990–95
UB	18.280.000	8.474.000
UAB	9.670.000	6.009.000
UPC	5.100.000	3.666.000
URV	300.000	240.000
CSIC	6.020.000	5.169.000
URL	240.000	60.100
UdG	830.000	120.200
IEEC	660.000	-
Total	41.200.000	24.641.000

Taula 11: Distribució del finançament per centres en els períodes 1996–2002 i 1990–95, expressat en euros

les beques i les ampliacions d'edificis, que suposen despeses i inversions molt considerables. No obstant això, el finançament de projectes de recerca experimentals, que en general suposen més despesa, podem considerar que encara és baix, i fóra bo que es pogués incrementar en el futur immediat.

El finançament de la recerca a Catalunya prové de la Unió Europea, l'Administració central, la Generalitat de Catalunya, les universitats mateixes i els convenis amb empreses o amb institucions. Les estimacions es recullen a la taula 12.

Administració central	14.550.000	[12.860.000]
Generalitat	4.600.000	[2.825.000]
Unió Europea	12.670.000	[5.410.000]
Convenis	8.380.000	[3.185.000]
Universitats i altres	1.000.000	[360.000]
Total	41.200.000	

Taula 12: Distribució del finançament expressat en euros, segons les fonts

S'observa un increment notable del finançament, sobretot pel que fa a la Generalitat, la Unió Europea i els convenis amb empreses i institucions públiques i privades. Per fer una avaluació més ajustada de l'esforç de l'Administració central, cal recordar que es fa càrrec dels sous de la gran majoria dels investigadors (professors universitaris, membres del CSIC i un nombre important de becaris predoctorals). En termes relatius, resulta interessant l'increment del finançament procedent de la Unió Europea i dels convenis, que revela un augment en la capacitat d'iniciativa dels grups, tant en participació en projectes europeus com en aproximació a la indústria, dos aspectes molt necessaris per a una consolidació de la física.

Balanç i conclusions

En síntesi, creiem que el conjunt és molt positiu i que posa de manifest una empenta i una vitalitat molt considerables de la comunitat científica dedicada a la física a Catalunya. Efectivament, les dades més destacables són, a parer nostre, les següents:

1. El nombre d'estudiants en física experimenta fluctuacions considerables. Després d'una caiguda considerable el curs 2000–01, hi ha hagut una lleugera recuperació.
2. El nombre total d'investigadors ha augmentat considerablement respecte del període 1990–95, ja que ha passat d'uns 600 a uns 850. Cal tenir en compte la incorporació d'investigadors consolidats en contractes com els d'ICREA o del programa Ramón y Cajal, l'increment en nombre de doctors joves que vénen a fer una estada postdoctoral i el paper dinamitzador d'alguns nous instituts.
3. Pel que fa a institucions i infraestructures relacionades amb la física cal esmentar, seguint el precedent de l'Institut de Física d'Altes Energies, la fundació de l'Institut d'Estudis Espacials de Catalunya, el Centre Especial de Recerca en Bioelectrònica i Nanociència, l'Institut de Ciències Fotòniques, el Centre Especial de Recerca en Astrofísica, Física de Partícules i Cosmologia de la UB i el Centre de Referència en Materials Avançats per a l'Energia.
4. Per les seves repercussions futures cal destacar l'aprovació del projecte d'un gran laboratori de llum de sincrotró, que dinamitzarà àrees de la física com ara la ciència de materials, l'electrònica, la nanotecnologia i la biofísica, a més de ser un al·licient per al teixit industrial avançat.
5. Hi ha hagut un increment molt notable en el nombre total d'articles en revistes especialment rellevants i un increment en la proporció d'articles en relació amb el total d'articles de tot el món. La productivitat, però, s'ha mantingut al mateix nivell que en el període 1990–95, d'unes 1,2 publicacions per doctor i any.
6. Alguns articles apareguts durant el període estudiat han aconseguit un nombre molt important de citacions; en particular, n'hi ha quatre que superen les 450 citacions, cosa que encara no havia passat anteriorment en l'àmbit de la física a Catalunya. Altres articles han superat en poc temps les 150 citacions. L'impacte mitjà dels articles també ha ascendit. El nombre mitjà de citacions per article (en el període 1993–2003) se situa en 8,25, un valor homologable a escala internacional.
7. Ha augmentat la relació amb les empreses, tant públiques com privades, tant locals com multinacionals, especialment en ciència de materials, magnetisme, medi ambient, fluids, energia, òptica i electrònica. Ha augmentat el nombre de patents: des de 10 fins a unes 40.
8. El finançament per investigador i any ha passat de 6.845 euros en el període 1990–95 a uns 7.400 euros

en el període 1996–2002; ara bé, en tenir en compte la inflació acumulada durant els set anys del segon període, la quantitat rebuda per investigador i any val 6.450 euros en valor constant referit a 1996, quantitat, doncs, una mica inferior a la del període anterior.

9. Com que el nombre total d'investigadors ha augmentat considerablement, el finançament total dedicat a la recerca en física ha augmentat proporcionalment, cosa que posa de manifest un esforç apreciable per part de les administracions. Aquest esforç és encara més considerable si tenim en compte els sous dels investigadors. No obstant això, fóra bo poder incrementar, en el futur immediat, el finançament per a projectes de recerca experimentals.
10. Diversos físics de les universitats catalanes han liderat projectes europeus de col·laboració internacional, alguns dels quals incorporen empreses, en àrees com ara magnetisme, superconductivitat, electrònica i nanotecnologia, i astrofísica des de l'espai.
11. Les universitats són més sensibles a la necessitat de donar a conèixer la investigació que s'hi fa; els serveis de premsa són especialment actius i la presència de resultats de la recerca en els diaris ha crescut bastant.

La valoració força positiva expressada en els punts anteriors ha de servir per encoratjar a seguir en una línia de consolidació de la bona feina feta, sense perdre de vista, però, que encara queda molt a fer. Efectivament, encara queda força camí per arribar a una situació d'excel·lència, en què les aportacions de les nostres universitats a la física siguin àmpliament reconegudes mundialment, perquè els nostres programes de doctorat atreguin un gran nombre d'estudiants, perquè les nostres universitats figurin en els deu primers llocs en algunes de les especialitats a Europa, perquè la transferència de tecnologia sigui capaç de crear noves empreses o de dinamitzar i enfortir empreses ja existents, perquè les patents aconseguides siguin capaces de generar ingressos que contribueixin significativament al sosteniment d'instituts de recerca. Falta encara força camí perquè la física sigui vista pels inversors internacionals com un al·licient per instal·lar-se a Catalunya, o perquè sigui vista per la societat com un valor a tenir en compte en fer balanç de la creativitat del país.

Agraïments

Agraïm l'ajut del Sr. Llorenç Arguimbau, per la recerca de fonts d'informació, decisives per a l'elaboració d'aquest treball, i els comentaris de les diverses persones —president i Junta Directiva de la Societat Catalana de Física, directors de departaments de Física i de grups de recerca— que han llegit el report i ens han fet

arribar les seves crítiques i suggeriments, entre els quals hi ha Xavier Obradors, Jaume Masoliver, Juan Ramon Morante, Eduard Salvador, Ferran Sala, Jordi Torra,

Francesc Díaz, Santiago Royo, Joan Bagaria i Carmen Miguel.

Bibliografia

- APPLEQUIST, T. i SHAPIRO, D., Physics in a new era, *Physics Today*, **nov.**, 34-39 (2001).
- DIVERSOS AUTORS, *La recerca científica y tecnològica a Catalunya*, IEC i CIRIT (Barcelona, 1990).
- JOU, D., *Reports de la Recerca a Catalunya: Física 1990-1995*, IEC (Barcelona, 1997).
- SENRA, P. i ROVIRA, L., Estudis sobre la recerca en física a Catalunya. Els articles més citats, *Revista de Física*, **2**, 42 (1999).
- SENRA, P. i ROVIRA, L., Studies on physics research in Catalonia. The most cited papers, *Contr. to Science*, **2**, 237 (2000).
- ROVIRA, L. SENRA, P. i JOU, D., Bibliometric analysis of physics in Catalonia: towards quality consolidation?, *Scientometrics*, **49**, 233-256 (2000).
- ROVIRA, L. SENRA, P. i JOU, D., *Estudis bibliomètrics sobre la recerca en física a Catalunya*, Institut d'Estudis Catalans (2001).
- ROVIRA, L., CADEFAU, J., DURAN, M., ESPLUGA, X., JOU, D., LLOBET, A. i SENRA, P., *Mapa de excelencia en Física y Química de las universidades españolas*, Universitat de Girona (2003).
-