

INSTITUT D'ESTUDIS CATALANS  
**REPORTS DE LA RECERCA A CATALUNYA**  
**2003-2009**  
**Física**

Report elaborat per David Jou

Aquest estudi ha comptat amb el suport i la col·laboració de la Generalitat de Catalunya, i ha estat realitzat sota la direcció i cura de la Secretaria Científica i de l'Observatori de la Recerca de l'IEC.

© 2014, Institut d'Estudis Catalans  
Carrer del Carme, 47. 08001 Barcelona

Primera edició: octubre del 2014  
Text revisat lingüísticament per la Unitat de Correcció del Servei Editorial de l'IEC

ISBN: 978-84-9965-201-6

DOI: 10.2436/15.0110.16.26



Aquesta obra és d'ús lliure, però està sotmesa a les condicions de la llicència pública de *Creative Commons*. Es pot reproduir, distribuir i comunicar l'obra sempre que se'n reconegui l'autoria i l'entitat que la publica i no se'n faci un ús comercial ni cap obra derivada. Es pot trobar una còpia completa dels termes d'aquesta llicència a l'adreça: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/deed.ca>.

## Sumari

Abreviacions .....	5
Resum .....	9
1. INTRODUCCIÓ .....	10
2. RECURSOS HUMANS: INVESTIGADORS I GRUPS .....	10
2.1. Definició del camp .....	10
2.2. Formació: llicenciatura i doctorat .....	11
2.3. Recerca: distribució de grups i d'investigadors per centres .....	15
2.4. Instituts de recerca .....	19
2.4.1. Els instituts del CSIC .....	19
2.4.2. Instituts del CERCA .....	20
2.4.3. Centres especials de recerca de les universitats .....	22
2.4.4. Grans infraestructures de recerca: computació, sincrotró, observatoris .....	23
2.5. Recerca: distribució d'investigadors i de grups per àrees de recerca .....	25
3. RESULTATS: PUBLICACIONS I PATENTS .....	29
3.1. Impacte de les publicacions .....	38
3.2. Patents .....	42
3.3. Empreses .....	43

---

4. ELS RECURSOS ECONÒMICS .....	45
4.1. Distribució per àrees i centres.....	46
4.2. Distribució del finançament segons les fonts .....	48
5. BALANÇ I CONCLUSIONS .....	50
REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES.....	54
ANNEXOS .....	55

## Abreviacions

ACE	Grup d'Astrofísica i Ciències de l'Espai
ALBA-CELLS	Consorci per a la Construcció, Equipament i Explotació del Laboratori de Llum de Sincrotró
ARENA	Antarctic Research, a European Network for Astrophysics
ATLAS	A Toroidal LHC Apparatus
BAIE	Associació Barcelona Aeronàutica i de l'Espai
BiOPT	Optical Trapping Lab - Grup de Biofotònica
BSC	Barcelona Supercomputing Center
C	citacions
C/A	citacions per article
C/N	citacions per nombre d'articles
Cat.	Catalunya
CBEN	Centre de Recerca en Bioelectrònica i Nanobiociència
CC	contractes i convenis
CDF	Detector de Col·lisions del Fermilab
CEHIC	Centre d'Estudis d'Història de les Ciències
CEMIC	Centre d'Enginyeria de Microsistemes per a Instrumentació i Control
CEPBA	Centre Europeu de Paral·lelisme de Barcelona
CERCA	Centres de Recerca de Catalunya
CERES	Centre d'Estudis i Recerca Espacials
CeRMAE	Centre de Referència en Materials Avançats per a l'Energia
CERN	Centre Europeu per a la Recerca Nuclear
CESCA	Centre de Supercomputació de Catalunya
CICYT	Comissió Interministerial de Ciència i Tecnologia
CIEMAT	Centre d'Investigacions Energètiques, Mediambientals i Tecnològiques
CIRIT	Comissió Interdepartamental de Recerca i Innovació Tecnològica
cm	centímetre
<i>COROT</i>	Convection, Rotation and Planetary Transits
CP	conjugació de càrrega, paritat
CRAE	Centre de Recerca Aeronàutica i Espacial
CREB	Centre de Recerca en Enginyeria Biomèdica
CREBEC	Centre de Referència en Bioenginyeria de Catalunya
CSIC	Consell Superior d'Investigacions Científiques
CTA	matrius de telescopis Txerenkov

CTE	Grup de Recerca en Ciències i Tecnologies de l'Espai
DES	Dark Energy Survey
DGR	Direcció General de Recerca
DNA	àcid desoxiribonucleic
DURSI	Departament d'Universitats, Recerca i Societat de la Informació de la Generalitat de Catalunya
ERC	Consell Europeu de Recerca
ESA	Agència Espacial Europea
Esp.	Espanya
etc.	etcètera
ETSE	Escola d'Enginyeria
EUA	Estats Units d'Amèrica
FCRI	Fundació Catalana per a la Recerca i la Innovació
FEMAN	Grup de Física i Enginyeria de Materials Amorfs i Nanoestructurats
GECFE	Grup d'Estructures en Capa Fina per a la Spintrònica
GPS	sistema de posicionament global
GRAF	Grup de Radiofreqüència
ICCUB	Institut de Ciències del Cosmos de la Universitat de Barcelona
ICE-CSIC	Institut de Ciències de l'Espai del Consell Superior d'Investigacions Científiques
ICE-T	International Concordia Explorer Telescope
ICFO	Institut de Ciències Fotòniques
ICMAB	Institut de Ciència de Materials de Barcelona
ICN	Institut Català de Nanotecnologia
ICREA	Institució Catalana de Recerca i Estudis Avançats
IEC	Institut d'Estudis Catalans
IIEC	Institut d'Estudis Espacials de Catalunya
IFAE	Institut de Física d'Altes Energies
IMB	Institut de Microelectrònica de Barcelona
INE	Institut Nacional d'Estadística
INTE	Institut de Tècniques Energètiques
INTEGRAL	International Gamma-Ray Astrophysics Laboratory
IRAIT	Telescopi Internacional Robòtic Infraroig de l'Antàrtida
ISI	Institute for Scientific Information
ITER	Reactor Experimental Termonuclear Internacional
LIGO	Observatori d'Ones Gravitatòries per Interferometria Làser
LISA	Antena Espacial d'Interferometria Làser

LHC	Large Hadron Collider
LHCb	Large Hadron Collider Beauty
m	metre
m <sup>2</sup>	metre quadrat
M-2E	Grup de Materials Electrònics i Energia
MAESTRO	«Methods and advanced equipments for simulation and treatment in oncology»
MAGIC	Telescopi de Raigs Gamma per Emissió de Radiació Txerenkov a l'Atmosfera
MEC	Ministeri d'Educació i Ciència
MIND	Grup de Micronanotecnologies i Nanoscòpies per a Dispositius Electrònics i Fotònics
MW	megawatt
N	nombre d'articles
NANOMOL	Departament de Nanociència Molecular i Materials Orgànics
NASA	Administració Nacional d'Aeronàutica i de l'Espai
NTE	Nuevas Tecnologías Espaciales
OR-IEC	Observatori de la Recerca de l'Institut d'Estudis Catalans
PACS	<i>Physics and Astronomy Classification System</i>
PAU	Physics of the Accelerating Universe
PCB	Parc Científic de Barcelona
PE	projectes europeus
PIB	producte interior brut
PIC	Port d'Informació Científica
PMT	Parc Mediterrani de la Tecnologia
PN	projectes nacionals
SA	societat anònima
SCI	<i>Science Citation Index</i>
SCI-E	<i>Science Citation Index - Expanded</i>
SELECT +	Erasmus Mundus Doctorate in Environmental Pathways for Sustainable Energy Systems
SG	Starting Grant
SIC	Grup de Sistemes d'Instrumentació i Comunicacions
SIC-BIO	Grup de Bioelectrònica i Nanobioenginyeria
SMOS	Satèl·lit d'Humitat Terrestre i Salinitat en els Oceans
STORM	Stochastic Optical Reconstruction Microscopy
TeV	teraelectró volt
UAB	Universitat Autònoma de Barcelona
UB	Universitat de Barcelona
UdG	Universitat de Girona

---

UdL	Universitat de Lleida
UE	Unió Europea
UNESCO	Organització de les Nacions Unides per a l'Educació, la Ciència i la Cultura
UOC	Universitat Oberta de Catalunya
UPC	Universitat Politècnica de Catalunya
UPF	Universitat Pompeu Fabra
URL	Universitat Ramon Llull
URV	Universitat Rovira i Virgili
WMAP	Sonda Wilkinson d'Anisotropia de Microones



## Resum

L'informe pretén donar una visió general de les dades del període 2003-2009 relacionades amb l'evolució de la física a Catalunya. S'hi analitzen els recursos humans (investigadors i grups de recerca); les activitats de recerca i els resultats (línies de treball, publicacions, impacte i patents), i, finalment, els recursos econòmics dedicats a aquestes tasques. En general, es destaca un increment molt significatiu en pràcticament tots aquests aspectes respecte als períodes anteriors, 1996-2002 i 1990-1995. Pel que fa als recursos humans, l'augment en el nombre d'investigadors està relacionat amb la creació de nous instituts de recerca i amb la internacionalització creixent. Quant als resultats, es destaca un augment en el nombre total d'articles de recerca publicats en revistes internacionals, especialment en les revistes amb un índex d'impacte més elevat. En referència al finançament dedicat a la física, se subratlla l'augment de la inversió en la construcció de nous instituts i laboratoris, així com en la contractació de nous investigadors a temps complet amb fons europeus, estatals i nacionals. Finalment, l'informe es tanca amb el balanç i les conclusions, i amb un annex que inclou la llista dels centres de recerca analitzats, els articles publicats entre el 2003 i el 2009 citats més de 200 vegades i els temes de la recerca en física de la primera dècada del segle XXI.

## 1. INTRODUCCIÓ

En aquest report sobre la recerca en física a Catalunya, continuació dels publicats per l'Institut d'Estudis Catalans (IEC) el 1997 i el 2005 (accessibles en el portal web de l'IEC), estudiem l'evolució de la física a Catalunya en el període 2003-2009, 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. Seguim la mateixa estructura que en els reports del 1997 (període 1990-1995) i el 2005 (període 1996-2002), per tal de facilitar la comparació de les dades corresponents, a fi d'avaluar el progrés assolit en aquest interval. Els resultats manifesten un progrés molt gran en pràcticament tots els aspectes considerats i posen en relleu una etapa que podem qualificar, fins i tot, de brillant i excepcional. El període examinat es clou tot just quan es comencen a notar els efectes de la crisi econòmica iniciada a finals del 2007, amb la inquietud fonamentada que trunquin o facin retrocedir el notable avenç assolit en els darrers vint anys.

## 2. RECURSOS HUMANS: INVESTIGADORS I GRUPS

### 2.1. *Definició del camp*

Els criteris metodològics emprats en aquest report segueixen els adoptats en els reports anteriors. En l'annex 1 proporcionem la llista de departaments i instituts que hem tingut en compte en aquest treball, amb el nombre d'investigadors que els hem atribuït, tot procurant evitar comptar dues vegades els investigadors que formessin part alhora d'una universitat (o del Consell Superior d'Investigacions Científiques [CSIC]) i d'un institut de recerca —tasca que no sempre és fàcil. Hem adoptat una visió àmplia de la física, però no hi hem incorporat els temes de l'electrònica més aplicada i industrial, ja que està inclosa en el report «Tecnologies de la informació i de les comunicacions», al qual pot acudir el lector interessat. En el cas de la nanociència i la nanotecnologia,

objecte també d'un report d'aquesta sèrie, tindrem en compte aspectes propers a la física bàsica, però el gruix del personal i de l'activitat estarà comptat en el report corresponent. L'obtenció de les dades ha estat més simple que en els reports anteriors, gràcies a la bona feina de Llorenç Arguimbau, de l'Observatori de la Recerca de l'Institut d'Estudis Catalans (OR-IEC), a qui expresso el meu agraïment. També agraeixo els comentaris i aportacions de diversos investigadors com a resposta a la primera versió d'aquest report, que va ser exposada durant un mes a l'atenció dels científics que hi poguessin estar interessats. Malgrat això, algunes dades, especialment les relacionades amb patents i la part econòmica, resulten encara difícils d'obtenir en detall. Com que l'especificació de línies de recerca es fa feixuga per excés de detall, l'hem portada als annexos, a diferència dels dos reports anteriors.

## **2.2. Formació: llicenciatura i doctorat**

Pel que fa a la docència, la llicenciatura de física es desenvolupa a Catalunya a les universitats de Barcelona (UB) i Autònoma de Barcelona (UAB), però altres universitats, com la Politècnica de Catalunya (UPC) —que el 2011 ha iniciat un grau d'enginyeria física, molt proper a la física— i la de Girona (UdG), també tenen departaments de física i participen en l'ensenyament d'altres titulacions i en l'oferta de tercers cicles de física. Altres universitats, com la Rovira i Virgili (URV) o la Ramon Llull (URL), no tenen departaments de física, però inclouen físics en altres departaments —química i enginyeria— o en centres com l'Observatori de l'Ebre. Diversos centres del CSIC a Catalunya apleguen també un nombre considerable d'investigadors en física, tot i que dintre d'un context fortament interdisciplinari.

Quan s'estudia l'evolució del nombre d'estudiants de física, cal tenir en compte la instauració del grau de física, que ha anat substituint la llicenciatura. En la dècada dels noranta, els estudis de física van experimentar la competència de les titulacions d'enginyeria de telecomunicacions, enginyeria electrònica, enginyeria informàtica i enginyeria de materials, que, d'antuvi, presenten unes possibilitats laborals més immediates i unes expectatives econòmiques més reditícies que la física. 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 2.1 indiquem el nombre d'estudiants que

han acabat la llicenciatura de física en el període considerat, segons l'Institut Nacional d'Estadística (INE) (Estadística de la Enseñanza Universitaria en España).

TAULA 2.1  
*Nombre d'estudiants que han acabat la llicenciatura de física*

<i>Universitat</i>	<i>2003</i>	<i>2004</i>	<i>2005</i>	<i>2006</i>	<i>2007</i>	<i>2008</i>	<i>2009</i>
UB	114	81	94	94	101	105	105
UAB	39	50	30	25	24	22	15
Total	153	131	124	119	125	127	120

Font: INE.

Aquestes xifres són considerablement menors que els 211 estudiants del curs 1999-2000 o els 183 del 2001-2002, i estan molt per sota dels 295 llicenciats del 1995. En tot cas, el nombre d'estudiants que es van llicenciar en física va passar per un mínim en el període 2006-2009.

El curs 2006-2007 es van començar a implantar els graus i, en particular, el grau de física (dos cursos abans, ja havia començat en el Departament de Física de la UAB com a pla pilot experimental). En ocasió de l'inici dels graus, s'ha aprofitat per establir dobles titulacions de física i matemàtiques, i de física i química. La primera, en especial, ha esdevingut una de les titulacions de les universitats catalanes amb nota d'accés més elevada, cosa que contribueix al prestigi de la titulació. Això contrasta amb la baixa nota d'accés per a la llicenciatura de física, ja que l'oferta de places és més àmplia que la demanda, cosa que no passa amb les dobles titulacions esmentades, que tenen una oferta reduïda i exigent.

La introducció de les directrius del Pla de Bolonya ha tingut també efectes: més treballs de curs, treballs de final de grau, pràctiques en empresa, etc., que poden ser considerats favorables, ja que han forçat un treball més personal per part dels estudiants, però han demanat un increment d'hores en la feina dels professors. L'avaluació continuada sembla haver tingut un cert efecte en la reducció del nivell de fracàs i d'absentisme, que era molt elevat, a causa, en part, de la laxitud en l'exigència de presentar-se a convocatòries. A més, continuen les iniciatives dels departaments per fer conèixer la seva oferta, com ara els Dissabtes de la Física a la UAB.

En les taules 2.2 i 2.3 apleguem dades sobre les tesis doctorals realitzades durant aquest període i les comparem amb el període anterior. Les tesis doctorals són

presentades a les universitats, però els instituts de recerca també contribueixen a la seva realització en un nombre significatiu de casos.

TAULA 2.2  
*Tesis doctorals de física llegides a les universitats catalanes*

<i>Universitat</i>	2002-2003	2003-2004	2004-2005	2005-2006	2006-2007	2007-2008	2008-2009
UAB	12	8	9	15	21	17	21
UB	25	29	20	28	19	33	17
UdG				2	1	2	
Universitat de Lleida (UdL)						1	1
Universitat Oberta de Catalunya (UOC)				1		1	
UPC	13	8	5	13	7	19	19
Universitat Pompeu Fabra (UPF)			1				
URL		1		1	1		
URV							
Universitats catalanes	50	46	35	60	49	73	58
Universitats espanyoles	286	300	247	315	272	242	299

Font: Ministeri d'Educació i Ciència (MEC).

TAULA 2.3  
*Tesis doctorals de física llegides en els períodes 1996-2002 i 2002-2009*

<i>Universitat</i>	1996-2002	2002-2009
UB	146	171
UAB	74	103
UPC	90	84
URV	8	0
UdG	6	5
URL	0	3
Total	324	366

Font: MEC; «Física», a *Reports de la recerca a Catalunya: 1996-2002*.

Tenint en compte que el període 1996/1997 - 2001/2002 abraça sis anys i el període 2002/2003 - 2008/2009 abraça set anys, veiem un ritme constant a la UB, un lleuger increment a la UAB i una lleugera disminució a la UPC. La mitjana de tesis per any es manté constant: aproximadament unes 55. Aquestes dades també tenen en compte les tesis de física llegides en el marc de programes de ciències de materials.

Pel que fa al tercer cicle, el període que considerem presenta novetats organitzatives, que duen, de bon començament, a una proliferació de programes de doctorat i de màster. Aquesta proliferació ha estat podada a causa del nombre insuficient d'estudiants matriculats en bastants programes, que han de tancar si no assoleixen un nombre mínim d'estudiants. Així, hi ha hagut una sèrie d'estratègies de reagrupació de programes per poder assolir el nombre mínim d'estudiants. Hi ha, també, un increment de la proposta de programes internacionals per atreure estudiants estrangers, i, d'altra banda, una tendència bastant acusada d'estudiants catalans d'anar a fer el màster a universitats europees.

Els programes de doctorat de física d'algunes universitats catalanes (considerats programes de qualitat pel MEC i la Generalitat de Catalunya, i receptors de diversos ajuts per a la seva potenciació) atreuen estudiants de fora de Catalunya, tant d'Espanya com d'altres llocs. Fa uns deu anys, entre els estudiants de fora predominaven els del Marroc o l'Amèrica del Sud; en els darrers deu anys ha augmentat, en canvi, el nombre d'estudiants procedents de països de la Unió Europea. La competència i el procés general d'internacionalització han fet augmentar l'ambició dels programes, que han fomentat, per exemple, la participació d'experts externs a la universitat (investigadors del CSIC i dels instituts dels Centres de Recerca de Catalunya [CERCA], professionals destacats, etc.) i s'han convertit alguns en referència internacional en alguna especialitat. Una iniciativa en aquest sentit fou la posada en marxa de la International Graduate School of Catalonia el 2002, amb l'objectiu d'afavorir la internacionalització dels estudis de doctorat. Entre els diversos màsters amb vocació internacional es compta, per exemple, el d'Astrofísica, física de partícules i cosmologia; Teledetecció i sistemes d'informació geogràfica i formació en aplicacions del sistema GPS (sistema de posicionament global); Fotònica; Nanociència i nanotecnologia; Enginyeria de l'energia; Enginyeria biomèdica; Enginyeria electrònica: professional i recerca; Física avançada; Modelització matemàtica de sistemes de física i enginyeria, o l'Erasmus Mundus Doctorate in Environomical Pathways for Sustainable Energy Systems (SELECT +), en què participa l'Institut de Tècniques Energètiques (INTE) de la UPC.

### **2.3. Recerca: distribució de grups i d'investigadors per centres**

Hem obtingut el nombre d'investigadors que formen part dels diversos grups a partir de diverses fonts. La més fiable i detallada és, com en els reports anteriors, acudir a les pàgines web i les memòries anuals dels diversos departaments i instituts. Hem desglossat els investigadors en doctors i no-doctors (que inclouen doctorands i, en menys quantitat, tècnics de recerca), desglossament relativament indicatiu, ja que alguns dels doctorands han llegit la tesi, o alguns doctors han marxat a estades postdoctorals. En l'annex 1 donem les xifres que hem pogut trobar d'aquesta manera referides bàsicament a l'any 2009. Evitar solapaments en el recompte del nombre d'investigadors (o dels indicadors econòmics) entre les universitats i els instituts de recerca no universitaris, i fins i tot entre els instituts de recerca de les universitats i els departaments de les mateixes universitats, ha estat una de les grans dificultats que hem trobat per fer aquest treball. En el cas dels investigadors que formen part simultàniament d'universitats (o del CSIC) i d'algun institut, com l'Institut de Física d'Altes Energies (IFAE), l'Institut d'Estudis Espacials de Catalunya (IEEC) i l'Institut de Ciències Fotòniques (ICFO), els hem comptat amb un factor  $\frac{1}{2}$  a les universitats (o el CSIC) i un factor  $\frac{1}{2}$  als instituts. Admetem que és una opció discutible, ja que podria semblar que estiguéssim fent minvar el paper de les universitats per posar en relleu el dels instituts. Certament, no hem tingut pas aquesta intenció. Ens ha fet la impressió que convenia que els instituts tinguessin una visibilitat adient al dinamisme que han suposat en aquest període. En la taula 2.4 donem, en primer lloc, el nombre total d'investigadors (doctors i no-doctors). L'increment respecte del període anterior és considerable, de l'ordre d'un 27 %. Encara que tant en termes absoluts com relatius l'increment sigui inferior al que va tenir lloc entre els períodes 1990-1995 i 1996-2002, que va ser gairebé de l'ordre del 50 %, té dues característiques que el fan especialment rellevant: *a*) bona part de l'increment està relacionat amb l'activitat de recerca, més que no pas amb l'activitat de docència, i *b*) és un increment relacionat, en una part considerable, amb la internacionalització de la recerca, tal com ho comentarem en detall en els paràgrafs posteriors.

TAULA 2.4  
*Nombre total d'investigadors en física a les universitats  
i instituts de recerca de Catalunya*

<i>Any</i>	<i>Doctors</i>	<i>No-doctors</i>	<i>Total</i>
2009	700	485	1.185
2002	515	375	890
1995	385	213	595

Font: Elaboració pròpia, a partir de les memòries i dels llocs web dels grups i centres de recerca.

Les xifres d'investigadors, detallades per centres, són presentades en les taules 2.5a i 2.5b. En les dues línies superiors hi ha les dades del 2009, i en les dues inferiors, a l'efecte de comparar-les, les del 2002.

TAULA 2.5A  
*Investigadors per institucions (universitats)*

<i>Investigadors</i>		<i>UB</i>	<i>UAB</i>	<i>UPC</i>	<i>UdG</i>	<i>URV</i>	<i>UdL</i>	<i>URL</i>	<i>UPF</i>
Totals 2009	Doctors	235	87	105	18	7	11	8	9
Totals 2009	No-doctors	160	60	65	12	2	2	2	2
Totals 2002	Doctors	232	106	90	14	10	—	7	—
Totals 2002	No-doctors	174	60	73	13	6	—	5	—

Font: Elaboració pròpia, a partir de les memòries i dels llocs web dels grups i centres de recerca.

TAULA 2.5B  
*Investigadors per institucions (instituts)*

<i>Investigadors</i>		<i>CSIC</i>	<i>IEEC</i>	<i>IFAE</i>	<i>ICFO</i>
Totals 2009	Doctors	65	55	35	65
Totals 2009	No-doctors	45	35	30	70
Totals 2002	Doctors	56	0	0	0
Totals 2002	No-doctors	44	0	0	0

Font: Elaboració pròpia, a partir de les memòries i dels llocs web dels grups i centres de recerca.



La comparació entre les dades del 2009 i les del 2002 ha de ser comentada curosament. En el report de 1996-2002 no figuraven els instituts del CERCA: els investigadors de l'IFAE havien estat sumats als de la UAB; els de l'IEEC, comptats en les universitats, i l'ICFO tot just acabava de ser fundat. El nombre d'investigadors dels instituts del CERCA és, segons les seves pàgines web, el següent: IFAE, 50 doctors, 25 doctorands i 22 tècnics; IEEC, 123 doctors, 70 doctorands i 28 tècnics, i ICFO, 115 doctors, 110 doctorands i 13 tècnics. A l'IFAE i l'IEEC una part considerable dels investigadors formen part també de les universitats o del CSIC, mentre que a l'ICFO pràcticament la totalitat dels investigadors doctors són investigadors ICREA (Institució Catalana de Recerca i Estudis Avançats), investigadors postdoctorals contractats amb càrrec a projectes i personal propi de l'institut. En el cas de l'IEEC, també hi ha investigadors que formen part de les universitats, però no dels departaments de física, sinó de matemàtiques, enginyeria electrònica, teoria del senyal, etc. En aquest cas hem comptat un factor  $\frac{1}{2}$ , suposant una mitja dedicació dels investigadors a l'IEEC, aproximadament. En el cas dels doctorands, les tesis seran llegides a les universitats, però els hem comptat segons els directors de tesi (que no coneixem en tot detall, i que hem tractat, doncs, proporcionalment al nombre de doctors dels diversos centres). En el cas dels no-doctors, la majoria són doctorands, però també inclouen un nombre significatiu de tècnics (enginyers i personal tècnic: uns 15 a l'IFAE, 30 a l'Institut de Ciència de Materials de Barcelona [ICMAB], 13 a l'ICFO i 31 a l'IEEC). No hi hem inclòs el personal d'administració, perquè no participa directament en la recerca, però no podem oblidar la seva contribució imprescindible per al funcionament de les coses; comptem aproximadament un centenar de persones dedicades a aquestes tasques.

L'augment molt lleuger a la UB està, de fet, per sota del real, ja que hem comptat amb un factor  $\frac{1}{2}$  els investigadors que també formen part d'algun institut (com l'IEEC o l'IFAE). La disminució d'investigadors a la UAB és deguda al fet que el 2002 hi havíem inclòs els membres de l'IFAE, i també una quinzena de membres relacionats amb la construcció del sincrotró i que ara ja no estan a la UAB, ja que el sincrotró ja ha començat les seves activitats i té una entitat pròpia, ben diferenciada de la UAB, anàlogament a l'IFAE, que, tot i això, té vincles molt estrets amb la universitat. L'increment a la UPC també s'ha de matisar. Els recomptes del 1995 i del 2002 es van basar en bona part en articles, i potser per això el nombre d'investigadors que havíem inclòs era més petit, potser perquè la seva recerca era publicada en revistes de matèries molt més aplicades, o perquè era un treball directament més aplicat i sense publicacions.

Això incrementa considerablement el recompte de física aplicada i d'òptica. Pel que fa a la reducció en el nombre de no-doctors a la UB i la UAB, es deu al fet que un nombre considerable d'ells estan assignats als instituts de recerca, tot i que llegiran les tesis a les universitats.

També resulta il·lustrativa la llista de grups de recerca consolidats de la Direcció General de Recerca (DGR), que en la convocatòria del 2005 aplegà 49 grups relacionats amb la física (29 grups en la convocatòria del 1997), i en la convocatòria del 2009, 64 grups, entre grups consolidats i grups emergents. La gran majoria d'aquests grups tenen algun investigador estranger doctor, que contribueix a l'increment en el nombre d'investigadors que hem comentat anteriorment. Per centres, els grups consolidats es distribueixen, el 2002 i el 2009, respectivament, de la següent manera: UB, 18 i 18; UAB, 6 i 5; UPC, 8 i 10; UdG, 1 i 2; CSIC, 5 i 5; IEEC, 5 i 9; ICFO, 2 i 5, i IFAE, 1 i 1. Per àrees de coneixement, el 2005 n'hi ha 5 d'astronomia i astrofísica; 13 de física aplicada; 4 de física atòmica, molecular i nuclear; 8 de matèria condensada; 8 de física de la Terra; 7 de física teòrica, i 4 d'òptica. La convocatòria del 2009 no proporciona explícitament les àrees de coneixement dels projectes i poden tenir dimensions molt diferents.

L'increment del nombre d'investigadors respecte del 2002 ha estat gran, i està força relacionat amb la creació de nous instituts de recerca vinculats amb la física (que comentarem en l'apartat 2.4) i els diversos programes de contractació d'investigadors: ICREA (8 IFAE, 8 ICFO, 1 UAB, 3 UB, 6 IEEC, 5 ICMAB, 8 ICCUB [Institut de Ciències del Cosmos de la Universitat de Barcelona]), ICREA Acadèmia (4 UAB), Ramón y Cajal (5 IFAE, 8 ICFO, 1 UAB, 8 UB, 6 IEEC, 3 ICMAB), Juan de la Cierva (4 IFAE, 11 ICFO, 3 IEEC, 2 UB), Torres Quevedo i Beatriu de Pinós (1 IEEC); a escala europea, es compta amb diverses beques ERC (Consell Europeu de Recerca) Starting Grants (1 IFAE, 2 ICCUB, 8 ICFO), Advanced Investigators Grants (1 IFAE, 2 ICFO) i Marie Curie (dins del VII Programa Marc; 1 IFAE, 3 ICFO, 4 IEEC, 2 UB). A aquest centenar llarg d'investigadors, cal afegir-hi una cinquantena d'investigadors doctors contractats amb càrrec a projectes.

## **2.4. Instituts de recerca**

Pel que fa als instituts de recerca relacionats amb la física, parlem dels centres del CSIC i de les institucions que tenen consideració de CERCA. En els centres del CSIC ens referim a l'ICMAB; a l'Institut de Ciències de l'Espai (ICE) (que també forma part de l'IEEC), i a la part corresponent a la física de l'Institut de Ciències del Mar, pel que fa a l'oceanografia física, i de l'Institut de Ciències de la Terra Jaume Almera, pel que fa a la geofísica. No parlarem, en canvi, de l'Institut de Microelectrònica de Barcelona (IMB), que és analitzat en el report «Tecnologies de la informació i de les comunicacions». En els centres CERCA tenim en compte l'IFAE, l'IEEC i l'ICFO. A part d'aquests centres, també esmentem alguns centres especials de recerca de les universitats, que potencien la col·laboració entre diversos departaments sobre temes concrets, i algunes grans infraestructures de recerca que contribueixen a la potencialitat de la recerca en física a Catalunya, com els centres de computació i el sincrotró.

### **2.4.1. Els instituts del CSIC**

L'ICMAB fou fundat l'any 1986. Es dedica a la ciència de materials bàsica i aplicada, en els seus aspectes físics i químics: dels vuit departaments que el componen (Cristal·lografia; Química de l'Estat Sòlid; Materials Magnètics i Òxids Funcionals; Teoria i Simulació de Materials; Materials Moleculars i Supramoleculars; Nanociència Molecular i Materials Orgànics [NANOMOL]; Materials Nanoestructurats, i Materials Superconductors i Nanoestructurats a Gran Escala), tenim en compte com a especialment propers a la física el Departament de Materials Nanoestructurats i el de Materials Superconductors i Nanoestructurats a Gran Escala. Des del 2012, tot i que ja no entra en el període examinat, aquest grup lidera el projecte europeu Eurotapes, el projecte més gran de la Unió Europea (UE) en materials superconductors i les seves aplicacions, amb un pressupost de 20 milions d'euros, 13,5 dels quals procedents de la UE. El 2005 s'hi inauguraren els locals dels laboratoris MATGAS, dedicats a l'estudi de materials i de gasos, propietat en un 66 % de la companyia Carburos Metálicos, i en què participen l'ICMAB, amb un 22 %, i la UAB, amb un 12 %.

L'ICE contribueix a millorar la capacitat científica i tecnològica del CSIC, tot reforçant-ne la presència en iniciatives espacials. El 1996 va ser fundat com a institut en formació i el 2008 adquirí l'estatus actual. S'imbrica en l'IEEC i està situat al campus de la UAB.

A més d'aquests dos instituts relacionats molt directament amb recerques físiques, el CSIC també té dos instituts més algunes de les recerques dels quals estan relacionades amb la física. Pel que fa a l'Institut de Ciències del Mar, té un Departament d'Oceanografia Física que estudia la dinàmica de l'oceà i la seva incidència en el clima de la Terra. L'Institut de Ciències de la Terra Jaume Almera està dedicat a la geologia i la geofísica, i tracta temes de física relacionats amb la cristal·lografia i amb els processos geofísics, en el Grup de Modelització Geofísica i Geoquímica.

#### **2.4.2. Instituts del CERCA**

Mereix un esment especial en el període 2003-2009 la consolidació d'instituts de recerca com l'IFAE (fundat el 1991), l'IEEC (fundat el 1996) i l'ICFO (fundat el 2002), i la fundació de l'Institut Català de Nanotecnologia (ICN) (2003), anomenat Institut Català de Nanociència i Nanotecnologia a partir del 2012. Aquests instituts han permès sumar esforços de les diverses universitats en els camps de la física d'altres energies, la recerca espacial, la fotònica i la nanotecnologia; assolir una massa crítica d'investigadors; disposar de millor accés a infraestructures i finançament; augmentar la participació en programes internacionals; atreure investigadors estrangers molt actius; impulsar la participació d'empreses catalanes en projectes tecnològics internacionals, i adaptar-se a la interdisciplinarietat científica i tecnològica amb una flexibilitat administrativa que permeti fer front a les exigències variables de les diferents fases dels projectes. És una dinàmica que ha impulsat fortament la recerca en física, però que no ha de fer oblidar la intensa activitat de molts altres grups de les universitats no relacionats amb els instituts.

L'IFAE és un consorci de la Generalitat de Catalunya i la UAB, formalment constituït el 1991, que es dedica a la física d'interaccions fonamentals i partícules elementals, l'astrofísica de partícules i la informació quàntica (fins al 2008). Té el seu propi personal i, a més, personal dels grups de Física Teòrica i d'Altes Energies del Departament de Física de la UAB. Està estructurat en dues divisions: Experimental i

Teòrica. Potencia la presència internacional, especialment al Centre Europeu per a la Recerca Nuclear (CERN) de Ginebra, amb participació en el projecte ATLAS (A Toroidal LHC Apparatus), però també al Fermi National Accelerator Laboratory de Chicago i als laboratoris japonesos sobre neutrins (K2K, KEK), prop de Kamioka. El 2004, en col·laboració amb el Departament d'Universitats, Recerca i Societat de la Informació de la Generalitat de Catalunya (DURSI) i el Centre d'Investigacions Energètiques, Mediambientals i Tecnològiques (CIEMAT), va establir al campus de la UAB el Port d'Informació Científica (PIC), per al processament massiu de les grans quantitats de dades procedents dels resultats dels experiments del Large Hadron Collider (LHC) al CERN.

L'IEEC participa en el desenvolupament, la promoció i la difusió de projectes relacionats amb la tecnologia espacial i la recerca científica de l'espai. Una part de les seves activitats és de física fonamental (cosmologia, astrofísica, gravitació, astropartícules), una altra és d'observació de la Terra des de satèl·lits (meteorologia, oceanografia, ecologia, navegació) i un tercer aspecte és de tecnologia espacial i instrumentació científica (instrumentació de satèl·lits i de telescopis). Està constituït per quatre unitats: el Grup d'Astrofísica i Ciències de l'Espai i ICCUB de la UB (ACE-ICCUB), el Centre d'Estudis i Recerca Espacials de la UAB (CERES-UAB), el Grup de Recerca en Ciències i Tecnologies de l'Espai i el Centre de Recerca Aeronàutica i Espacial de la UPC (CTE-CRAE-UPC) i l'ICE-CSIC. Les seves línies d'estudi són la Terra (atmosfera, oceà, litosfera) i el cosmos (física solar, planetologia, sistemes planetaris extrasolars i medis interplanetaris, física estel·lar i galàctica i cosmologia). Ha potenciat la participació en col·laboracions internacionals, sobretot relacionades amb missions de l'Agència Espacial Europea (ESA), en les missions INTEGRAL, Planck, Gaia, LISA, WSO, MAX, GRI, MetOp i SMOS. Des del 2006, gestiona l'Observatori Astronòmic del Montsec, que està dotat amb instruments per a la realització d'observacions astronòmiques d'alt nivell. Des del 2006, l'IEEC també participa en els projectes de telescopis a la base francoitaliana Concordia, a l'Antàrtida; en la xarxa ARENA (Antarctic Research, a European Network for Astrophysics), i en els telescopis IRAIT (Telescopi Internacional Robòtic Infraroig de l'Antàrtida) i ICE-T (International Concordia Explorer Telescope). Compta amb uns 55 doctors i uns 35 no-doctors.

L'ICFO va ser fundat el 2002 per un conveni de la UPC i el Govern de la Generalitat, per desenvolupar la recerca en fotònica, bàsica i aplicada a camps com la salut, l'energia, la informació, la seguretat i l'ambient. El 2005 es va traslladar al Parc

Mediterrani de la Tecnologia (PMT) de Castelldefels, on actualment compta amb un edifici propi de 14.000 m<sup>2</sup>, construït amb el suport de la Generalitat de Catalunya, del Govern d'Espanya, de fons de la UE, de la Fundació Privada Cellex i de la Fundació Privada Mir-Puig. En els set anys considerats en aquest report, s'ha situat entre els millors instituts del món del seu àmbit de recerca. A l'ICFO es desenvolupen una cinquantena de projectes en les branques de bioòptica, nanoòptica, òptica quàntica i òptica no lineal. Forma part de diverses xarxes internacionals de recerca, com la xarxa d'excel·lència PhOREMOST en nanofotònica (un consorci d'uns 35 centres promogut per la Comissió Europea) i el QUEDEDIS, sobre informació quàntica, impulsat per la Fundació Europea de la Ciència. Entre el 2003 i el 2008 publica 585 articles, amb 14,8 citacions/article i un índex H de 44.

El foment decidit de la nanociència i la nanotecnologia pot ser datat, simbòlicament, en la fundació de l'ICN, el 2003, tot i que aquesta fundació no es fa en el buit, sinó sobre l'activitat d'uns grups que des de feia anys anaven treballant en aquestes temes, amb resultats molt apreciats, però amb menys visibilitat que ara.

### **2.4.3. Centres especials de recerca de les universitats**

Els centres especials de recerca de les universitats fomenten la col·laboració entre grups de diferents departaments d'una universitat o de diverses. Relacionats amb la recerca en física, hi ha els següents centres:

A la UB, el 2007 es van iniciar les activitats de l'ICCUB (constituït el 2006), per a la recerca fonamental en cosmologia i per a les aplicacions tecnològiques de les ciències del cosmos en general. Aplega investigadors dels diversos departaments de la Facultat de Física, i també de Matemàtica Aplicada i de Química Orgànica, i és l'instrument de participació de la UB en l'IEEC.

El Centre Especial de Recerca en Bioelectrònica i Nanobiociència (CBEN, constituït el 2002) aplega diversos grups de recerca de la UB (Electrònica, Biofísica i Bioenginyeria) i de l'Institut d'Investigacions Biomèdiques August Pi i Sunyer. El seu objectiu és promoure la recerca interdisciplinària entre física/enginyeria i biologia/medicina, tot integrant aspectes bàsics i aplicacions clíniques i industrials. Juntament amb el Centre de Referència en Enginyeria Biomèdica (CREB) de la UPC, han impulsat la creació del Centre de Referència en Bioenginyeria de Catalunya

(CREBEC), aprovat l'any 2003, que aplega bioelectrònica, biofísica, microbiologia i nanotecnologia.

En el camp de l'energia, hi ha l'INTE de la UPC, creat el 1971, especialitzat en estudis energètics, radiacions ionitzants, física i tecnologia de detectors i acceleradors de partícules, amb docència en enginyeria d'energia, enginyeria biomèdica, enginyeria nuclear, radiació sincrotró i acceleradors; disposa de laboratoris d'anàlisi radioquímica, dosimetria de radiacions, tecnologia d'hidrogen, etcètera.

També a la UPC, en el camp espacial, hi ha el CRAE, que aplega una vuitantena d'investigadors de diversos departaments i especialitats a l'entorn de problemes relacionats amb les tecnologies aeroespacials, tan importants en l'estratègia industrial actual. Gairebé la meitat de membres del CRAE formen part també de l'IEEC. 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.

També el 2003 es va crear el Centre de Referència en Materials Avançats per a l'Energia (CeRMAE), de la Generalitat de Catalunya, integrat per grups de la UB, la UPC, la UAB i l'ICMAB, i dedicat a la superconductivitat, les cèl·lules fotovoltaïques, les piles de combustible, la tecnologia d'hidrogen i la nanotecnologia.

#### **2.4.4. Grans infraestructures de recerca: computació, sincrotró, observatoris**

Un aspecte indirecte però molt rellevant en la capacitat de la recerca i la competitivitat de Barcelona a escala mundial ha estat el desenvolupament i la potenciació, durant aquest període, de grans estructures de computació i de la font de llum sincrotró ALBA, part de les activitats dels quals estan força relacionades amb la física.

El superordinador MareNostrum, del Barcelona Supercomputing Center (BSC), constituït el 2004, arrenca les seves activitats el 2005, al campus de Barcelona de la UPC; era aleshores el supercomputador més potent d'Europa, lloc que torna a assolir el 2006 després d'una ampliació de les seves capacitats. El BSC fou constituït el 2004 com una iniciativa conjunta de la UPC, la Generalitat de Catalunya i el MEC del Govern d'Espanya. La llavor per a aquesta gran instal·lació procedeix, en part, de l'experiència prèvia del Centre Europeu de Paral·lelisme de Barcelona (CEPBA), de la UPC, i del Centre de Supercomputació de Catalunya (CESCA).

El PIC, localitzat al campus de la UAB, fou constituït el 2004 per l'IFAE, la UAB, el DURSI i el CIEMAT. Es dedica especialment a les altes energies, l'astrofísica, la cosmologia i la imatge mèdica, a més d'algunes aplicacions a la ciència de materials. El 2005 s'instal·là al campus de la UAB el centre GRID (UAB-CERN), per a projectes en què cal un accés distribuït a grans quantitats de dades, com les subministrades pels experiments de l'LHC del CERN. El GRID-UAB començà amb un clúster de seixanta-quatre nodes de computació (anomenat Cheaha), triplicat en potència el 2008.

Durant el període 2003-2009, ha avançat i s'ha culminat la construcció del Síncrotró ALBA-CELLS (Consorti per a la Construcció, Equipament i Explotació del Laboratori de Llum de Síncrotró), finançat a parts iguals per la Generalitat i el Govern central, i situat a Cerdanyola del Vallès, prop del campus de la UAB. Aprovat el projecte i el finançament el 2003, s'iniciaren els treballs de construcció el 2006, després de diversos anys de treball en el disseny del projecte i la formació d'un ampli equip d'experts. La inauguració oficial de la instal·lació fou el 2010, i l'obertura de les primeres línies de treball, el juny del 2012. És la infraestructura científica més gran instal·lada mai a Catalunya (un anell accelerador d'uns 250 m de circumferència, amb un consum de 8 MW). El síncrotró ha suposat una inversió multimilionària (uns 120 milions d'euros per a la construcció, més el manteniment anual), amb vocació internacional, ja que està pensat per servir els grups científics de l'Europa del sud. És previsible que aquesta instal·lació sigui un revulsiu per a la recerca en microelectrònica i nanoelectrònica, en estructura de macromolècules —sobretot proteïnes— i en ciència de materials, i que impulsi una activitat industrial capdavantera en àrees com l'electrònica i la farmacèutica.

A Catalunya hi ha una tradició astronòmica observacional considerable, que ha tingut com a elements emblemàtics els observatoris Fabra (1905) i el de l'Ebre (1905); el 2002 es començà a construir l'Observatori del Montsec, que es posà en funcionament el 2008. Els temes tractats a l'Observatori de l'Ebre (de la URL i relacionat amb projectes del CSIC) són el geomagnetisme, la ionosfera, la sismologia, l'activitat solar i el clima.

L'Observatori Fabra depèn de la Reial Acadèmia de Ciències i Arts de Barcelona i es dedica a l'astrometria, tot i que amb mitjans i objectius limitats. L'Observatori del Montsec, situat en un indret especialment adient per a l'observació astronòmica a causa de la seva sequedat i poca contaminació lumínica, i gestionat en



l'aspecte científic per l'IEEC, pretén cobrir aquest dèficit, amb el telescopi més gran de Catalunya (el Joan Oró, de 80 cm de diàmetre), no pas amb la intenció de competir amb els grans observatoris però sí de desenvolupar projectes de recerca en el camp de l'observació sistemàtica i en el desenvolupament de nova instrumentació, integrat en xarxes internacionals. El 2007 inicià les observacions mitjançant funcionament robotitzat. A una escala diferent, podem esmentar diversos observatoris d'aficionats que palesen la difusió de l'interès per les observacions astronòmiques, com ara l'Agrupació Astronòmica de Sabadell (fundada el 1960), o l'Associació Astronòmica de Sant Cugat - Valldoreix (fundada el 2009), que dinamitzen l'interès per l'astronomia observacional o teòrica.

### ***2.5. Recerca: distribució d'investigadors i de grups per àrees de recerca***

Per tal de tenir una visió més detallada de la recerca, cal examinar la distribució d'investigadors per especialitats i centres, que donem en les taules 2.6a i 2.6b. Ho farem tenint en consideració les àrees de coneixement utilitzades per l'Administració.

TAULA 2.6A  
*Investigadors per institucions (universitats) i àrees*

<i>Àrea</i>	<i>UB</i>	<i>UAB</i>	<i>UPC</i>	<i>UdG</i>	<i>URV</i>	<i>UdL</i>	<i>URL</i>	<i>UPF</i>
Astronomia i astrofísica	18-15	0	10-10	0	0	0	0	0
Física aplicada	45-35	25-20	80-40	13-7	7-2	11-2	0	9-2
Física atòmica, molecular, nuclear	13-15	15-5	0	0	0	0	0	0
Física de la matèria condensada	50-45	13-3	0	5-5	0	0	0	0
Física de la Terra	16-12	0	0	0	0	0	8-2	0
Física teòrica	35-30	22-21	0	0	0	0	0	0
Òptica	10-10	10-4	15-15	0	0	0	0	10-10
Biofísica	15-8	10-5	0	0	0	0	0	0
Totals								
2009 Doctors	235	80	105	18	7	11	8	9
2009 No-doctors	160	60	65	12	2	2	2	2
2002 Doctors	232	106	90	14	10	0	7	0
2002 No-doctors	174	60	73	13	6	0	5	0

Font: Elaboració pròpia, a partir de les memòries i dels llocs web dels grups i centres de recerca.

TAULA 2.6B  
*Investigadors per institucions (instituts) i àrees*

<i>Àrea</i>	<i>CSIC</i>	<i>IEEC</i>	<i>IFAE</i>	<i>ICFO</i>
Astronomia i astrofísica	18-10	22-18	4-7	0
Física aplicada	9-9	0	1-1	0
Física atòmica, molecular, nuclear	0	0	26-18	30-35
Física de la matèria condensada	24-20	0	0	0
Física de la Terra	14-15	12-4	0	0
Física teòrica	0	11-12	5	0
Òptica	0	0	0	35-35
Altres (matemàtiques, enginyeria)	0	10-0	0	0
Totals				
2009 Doctors	65	55	35	65
2009 No-doctors	45	34	30	70
2002 Doctors	56	0	0	0
2002 No-doctors	44	0	0	0

Font: Elaboració pròpia, a partir de les memòries i dels llocs web dels grups i centres de recerca.

En realitat, a la UPC hi ha uns 45 investigadors en àrees d'òptica, però molts d'ells treballen en temes d'optometria; per això, n'hem considerat tan sols uns 15. Hi ha, també, uns 140 investigadors en física aplicada, però no hem incorporat a aquest report els que es dediquen a l'electrònica més aplicada, que és l'objecte d'un altre report.

TAULA 2.7  
*Personal docent i investigador en física de les universitats catalanes (2009)*

<i>Àrea</i>	<i>Nombre d'investigadors</i>
Astronomia i astrofísica	18
Física aplicada	224
Física atòmica, molecular, nuclear	30
Física de la matèria condensada	59
Física de la Terra	16
Física teòrica	47
Òptica	60
Total	444

Font: Secretaria d'Universitats i Recerca de la Generalitat de Catalunya.

Aquesta llista inclou catedràtics i professors titulars d'universitat i d'escoles universitàries, lectors i associats. Caldria sumar-hi professors d'investigació i investigadors del CSIC (uns 65, en els camps que considerem en aquest report); investigadors contractats en els programes ICREA, Ramón y Cajal, Juan de la Cierva i Beatriu de Pinós (una vuitantena d'investigadors), o en els programes Marie Curie i ERC Research Grants (una vintena d'investigadors), i una seixantena d'investigadors contractats amb càrrec a projectes. A aquesta llista, també caldria afegir-hi una vintena d'investigadors en biofísica, que no estan inclosos en les àrees administratives recollides en la taula 2.8.

TAULA 2.8  
*Investigadors per àrees*

<i>Àrea</i>	<i>Doctors</i>	<i>No-doctors</i>
Astronomia i astrofísica	75	50
Física aplicada	220	155
Física atòmica, molecular, nuclear	85	45
Física de la matèria condensada	95	80
Física de la Terra	45	30
Física teòrica	70	70
Òptica	75	55
Biofísica	25	15
Altres	10	0
Total	700	485

Font: Elaboració pròpia, a partir de les memòries i dels llocs web dels grups i centres de recerca.

La comparació amb els reports anteriors no és directa, ja que allà hi vam emprar les àrees de l'Organització de les Nacions Unides per a l'Educació, la Ciència i la Cultura (UNESCO) i les del *Physics and Astronomy Classification System* (PACS), mentre que aquí hem fet servir les llistes de les àrees de coneixement emprades per l'Administració. En el report del 1996-2002, donàvem 208 investigadors de matèria condensada (materials), 114 de física estadística i termodinàmica, 23 de fluids i 106 d'electrònica. Ara, els investigadors corresponents es troben aplegats en les àrees de matèria condensada (175) i de física aplicada (375). Així, en aquestes àrees s'ha passat de 451 investigadors a 550. En astronomia i astrofísica donàvem 68 investigadors, mentre que ara n'hi ha uns 125. En el report anterior donàvem 38 investigadors de física nuclear i 91 d'altres energies. Els investigadors en aquests camps queden ara en les àrees de física atòmica, molecular i nuclear (130) i física teòrica (140): passem, doncs, de 129 a 270. Òptica passa de 94 a 130. Física de la Terra (75) estava present en el report anterior com a suma d'oceanografia (25), atmosfera (36) i física de la Terra (36).

### 3. RESULTATS: PUBLICACIONS I PATENTS

Tal com en els reports anteriors, examinem les publicacions en les revistes internacionals de més impacte i visibilitat. En primer lloc, per tenir una visió de conjunt, en la taula 3.1 recollim el nombre d'articles de recerca publicats entre el 2003 i el 2009 en les diverses àrees de la física, amb un autor, com a mínim, que correspongui a institucions de recerca situades a Catalunya, i el valor mitjà de les citacions rebudes pels articles de física publicats a Catalunya (no en aquest període, sinó en el conjunt dels anys anteriors) dividit pel nombre d'articles publicats en aquest període.

TAULA 3.1

*Articles de recerca en les diverses àrees de la física que tenen entre els autors algun investigador d'institucions de recerca de Catalunya, publicats entre el 2003 i el 2009*

*Science Citation Index (SCI): articles  
(Catalunya, 2003-2009)*

<i>Categoria</i>	<i>Total</i>	<i>C/N</i>
«Astron. & astrophys.»	1.301	31,7
«Biophysics»	694	21,03
«Mechanics»	462	15,42
«Meteo & atmosph.»	444	23,54
«Optics»	968	15,17
«Physics, applied»	1.599	15,72
«Atom., molec., nucl.»	964	17,88
«Condensed matt. »	1.312	17,68
«Fluids & plasmas»	408	19
«Mathematical»	689	18,28
«Multidisciplinary»	1.250	30,15
«Physics, nuclear»	258	17,88
«Particles & fields»	1.028	28,36
«Thermodynamics»	139	12,14
Total	11.156	

El primer que destaca és l'increment del nombre total d'articles (11.156), respecte del nombre d'articles publicats en els períodes 1990-1995 (2.155 articles) i 1996-2002 (3.700 articles). Entre el 1996 i el 2009, la física (amb 11.721 articles, als quals es podria sumar part dels 2.146 articles sobre ciències de l'espai i part dels 4.051 articles de ciències de materials, fins a sumar els 14.856 articles que hem tingut en compte entre aquest report i l'anterior) se situa com a quart camp amb més articles publicats a Catalunya en aquest període, per sota de la medicina clínica (32.461 articles), la química (17.479 articles) i l'enginyeria (14.708 articles).

L'increment d'articles entre el període 1996-2002 i el període 2003-2009 és considerablement superior a l'increment del nombre de doctors. En efecte, en els períodes 1990-1995 i 1996-2002, la productivitat, mesurada en articles per doctor i per any (s'entenia que els doctorands acostumen a publicar juntament amb els doctors que dirigeixen el seu treball), va ser d'1,2 articles per doctor i any; és a dir, l'increment de publicacions entre els dos períodes esmentats va correspondre, aproximadament, a l'increment en nombre del personal. En el període 2003-2009, en canvi, la productivitat

(és a dir, els 11.156 articles dividits per 700 doctors) ha estat d'uns 2,3 articles per doctor i per any. Així, hi ha hagut un notable augment de productivitat, relacionat amb el fet que l'increment del nombre d'investigadors ha vingut, en una part considerable, per l'increment del personal més plenament dedicat a la recerca, amb molt poques obligacions docents: investigadors universitaris dels programes ICREA, Ramón y Cajal, Juan de la Cierva, Marie Curie i ajuts molt competitius de l'ERC, i investigadors dels instituts de recerca. En canvi, en els períodes anteriors, una gran majoria dels investigadors eren també docents, cosa que té al·licients però que redueix la productivitat dels investigadors.

En segon lloc, ens fixarem en la distribució de publicacions segons les diferents àrees de recerca. Les àrees amb més publicacions són: en primer lloc, física aplicada (majoritàriament relacionada amb la física de materials); en segon lloc, molt igualades, astronomia i astrofísica, física de la matèria condensada i física pluridisciplinària, i en tercer lloc, partícules i camps i òptica. Pel que fa a les àrees amb menys publicacions, cal dir que la majoria d'articles relacionats amb la termodinàmica són comptats en els apartats de física de la matèria condensada i física aplicada. Dintre dels temes pluridisciplinaris, hi ha articles de computació quàntica o de biofísica. Alguns estudis relacionats amb l'òptica estan també relacionats amb la física atòmica i molecular, de manera que, si els suméssim, l'àrea d'òptica igualaria la de partícules i camps.

A continuació, analitzem el nombre d'articles publicats en les principals revistes de recerca de referència en física, cosa que aporta elements qualitius als purament quantitius de la taula 3.1 i ajuda a tenir una visió comparativa més explícita.

TAULA 3.2  
*Nombre d'articles publicats en diverses de les revistes de física de més impacte*

Revista	1996-2002			2003-2009		
	Total	Esp.	Cat.	Total	Esp.	Cat.
<i>Nature</i> 34,48	7.175	125	26	6.218	174	52
<i>Science</i> 29,75	6.583	74	24	5.914	149	55
<i>Nature Physics</i> * 15,49				546	18	10
<i>Physical Review Letters</i> 7,53	20.268	708	128	24.854	1.400	538
<i>Astrophysical Journal</i> 7,36	15.588	679	82	17.102	934	153
<i>Journal of Cosmology and Astroparticle Physics</i> ** 6,502				1.521	114	37
<i>Journal of High Energy Physics</i> 6,019	2.417	115	22	7.120	547	146
<i>Physics Letters B</i> 5,08	10.232	830	187	6.626	462	134
<i>Nuclear Physics B</i> 4,34	6.535	386	56	2.854	162	39
<i>Journal of Chemical Physics</i> 3,09	16.684	737	168	18.630	990	219
<i>Applied Physics Letters</i> 3,55	18.455	396	95	33.500	763	216
<i>Physical Review B</i> 3,48	33.006	1.346	253	38.621	1.952	414
<i>Europhysics Letters</i> 2,89	3.312	170	40	2.280	119	27
<i>Physical Review A</i> 2,87	9.814	328	49	14.673	707	227
<i>Physical Review E</i> 2,40	14.331	705	195	16.423	964	279
<i>European Physical Journal C</i> *** 2,75	1.978	236	71	2.565	234	39
<i>Astronomy and Astrophysics</i> 4,18	10.023	336	29	12.768	1.719	201
<i>Journal of Physics A</i> 1,58	4.988	299	43	3.764	204	38
<i>Physical Review C</i> 3,45	5.828	214	40	6.213	412	83
<i>Physical Review D</i> 4,92	12.703	542	142	16.201	1.140	475
<i>Journal of Applied Physics</i> 2,07	19.135	608	119	25.007	788	176
<i>Nuclear Physics A</i> 1,70	4.945	262	44	4.099	228	53
<i>Classical and Quantum Gravity</i> 3,03	2.260	119	43	3.355	165	44
<i>Modern Physics Letters A</i> 1,07	2.017	43	7	1.919	60	15
<i>Journal of Physics: Condensed Matter</i> 1,96	6.865	319	36	9.458	411	63
<i>Nuclear Instrumentation Methods B</i> 1,16	7.111	191	22	7.932	220	21
<i>Physics Letters A</i> 2,00	6.156	219	27	7.065	188	19
<i>Optics Communications</i> 1,32	5.165	215	56	5.913	207	32
<i>Applied Optics</i> 1,41	6.592	213	41	6.698	231	43
<i>Journal of Mathematical Physics</i> 1,32	2.885	138	23	2.775	132	22
<i>Monthly Notices of the Royal Astronomical Society</i> 5,10	6.043	379	51	9.689	696	71
<i>Superconductor Science and Technology</i> 2,69	1.637	44	29	2.200	76	50
<i>Physica C</i> 0,72	7.837	122	56	5.531	68	28

Font: OR-IEC, a partir de la base de dades *Science Citation Index - Expanded* (SCI-E).

\* Any d'inici: 2005.

\*\* Any d'inici: 2003.

\*\*\* Nom anterior: *Zetischrift für Physik C*.



La comparació entre el 2002 i el 2009 resulta impressionant, no tan sols per l'augment total d'articles, sinó també, especialment, pel que fa a l'increment de publicacions en les revistes de més impacte. A *Nature* i a *Science* el nombre d'articles es duplica, a *Physical Review Letters* i a *Physical Review A* es multiplica per quatre, a *Physical Review D* es multiplica per tres, a *Applied Physics Letters* i a *Physical Review C* es multiplica per dos, a *Astronomy and Astrophysics* es multiplica per més de sis, etc. Hi ha disminucions en algunes revistes, com *Nuclear Physics B*, *Physics Letters A*, *Physica C*, *Optics Communications* o *Europhysics Letters*, però molt menys significatives que els augments que acabem d'esmentar.

Al costat del nom de la revista, hi hem posat el seu índex d'impacte el 2009. En la taula 3.2 es recullen les mateixes revistes que havíem pres en consideració en els reports anteriors, tret de les revistes *Science*, *Nature* i *Nature Physics*, que abans no havíem considerat perquè pràcticament no hi havia articles de les institucions catalanes, a diferència del que passa ara. Entre les revistes que no hem tingut ara en compte, perquè el nombre d'articles d'institucions catalanes és molt petit, tenim, per exemple, les revistes de *reviews* *Reviews of Modern Physics* (33,14), on només s'ha publicat un article; *Physics Reports* (17,75), on només s'han publicat quatre articles, i *Reports on Progress in Physics* (11,44); les de *Nature Photonics* (22,87) i *Nature Materials* (29,03), o revistes tipus *annual reviews* (*Biophysics*, *Nuclear and Particle Science*, *Fluids*, etcètera).

En la taula 3.3 presentem el nombre d'articles publicats en les diverses àrees, desglossat any per any. En astronomia i astrofísica, en òptica i en meteorologia i atmosfera, el nombre de publicacions va creixent de manera sostinguda cada any; en altres àrees, hi ha fluctuacions, pujades i baixades, però en tots els casos el nombre de publicacions del 2009 és clarament superior al de publicacions del 2003.

TAULA 3.3  
*Nombre d'articles de física publicats, per any i per categoria temàtica*

SCI: articles (Catalunya, 2003-2009)

<i>Categoria</i>	<i>2003</i>			<i>2004</i>			<i>2005</i>		
	<i>N</i>	<i>C</i>	<i>C/N</i>	<i>N</i>	<i>C</i>	<i>C/N</i>	<i>N</i>	<i>C</i>	<i>C/N</i>
«Astronomy & astrophysics»	103	4.933	47,89	117	4.377	37,41	188	6.127	32,59
«Biophysics»	74	2.203	29,77	102	2.112	20,71	88	1.881	21,38
«Mechanics»	36	628	17,44	59	1.042	17,66	37	967	26,14
«Meteorology & atmospheric sciences»	35	824	23,54	38	1.761	46,34	50	1.099	21,98
«Optics»	69	900	13,04	119	2.399	20,16	124	2.600	20,97
«Physics, applied»	152	3.554	23,38	182	2.583	14,19	212	3.485	16,44
«Physics, atomic, molecular & chemical»	82	1.659	20,23	120	2.815	23,46	138	3.091	22,40
«Physics, condensed matter»	137	3.633	26,52	208	3.120	15,00	167	3.307	19,80
«Physics, fluids & plasmas»	44	1.292	29,36	53	1.285	24,25	52	1.398	26,88
«Physics, mathematical»	65	1.833	28,20	76	2.161	28,43	86	2.232	25,95
«Physics, multidisciplinary»	104	3.795	36,49	133	5.025	37,78	160	6.069	37,93
«Physics, nuclear»	33	1.042	31,58	24	531	22,13	46	543	11,80
«Physics, particles & fields»	92	3.593	39,05	100	4.060	40,60	134	5.079	37,90
«Thermodynamics»	12	139	11,58	17	285	16,76	12	218	18,17

## SCI: articles (Catalunya, 2003-2009)

<i>Categoria</i>	<i>2006</i>			<i>2007</i>			<i>2008</i>			<i>2009</i>		
	<i>N</i>	<i>C</i>	<i>C/N</i>	<i>N</i>	<i>C</i>	<i>C/N</i>	<i>N</i>	<i>C</i>	<i>C/N</i>	<i>N</i>	<i>C</i>	<i>C/N</i>
«Astron. & astrophys.»	185	6.776	36,63	195	5.162	26,47	251	5.263	20,97	262	5.232	19,97
«Biophysics»	104	2.321	22,32	102	2.532	24,82	111	1.500	13,51	113	1.664	14,73
«Mechanics»	89	1.423	15,99	62	841	13,56	85	835	9,82	94	688	7,32
«Meteo & atmosph.»	63	1.640	26,03	86	1.315	15,29	77	1.360	17,66	95	1.325	13,95
«Optics»	138	2.276	16,49	160	1.838	11,49	169	2.115	12,51	189	2.183	11,55
«Physics, applied»	213	3.166	14,86	256	4.331	16,92	281	3.794	13,50	303	3.265	10,78
«Atom., molec., nucl.»	168	2.876	17,12	147	2.231	15,18	151	2.081	13,78	158	2.054	13,00
«Condensed matt.»	194	2.893	14,91	197	4.137	21,00	212	2.755	13,00	197	2.677	13,59
«Fluids & plasmas»	52	941	18,10	57	779	13,67	71	777	10,94	79	775	9,81
«Mathematical»	101	1.426	14,12	108	1.747	16,18	116	966	8,33	137	922	6,73
«Multidisciplinary»	198	6.480	32,73	225	5.249	23,33	225	4.675	20,78	205	4.511	22,00
«Physics, nuclear»	36	629	17,47	36	605	16,81	33	402	12,18	50	658	13,16
«Particles & fields»	157	4.123	26,26	170	3.350	19,71	180	3.633	20,18	195	2.889	14,82
«Thermodynamics»	20	254	12,70	19	142	7,47	30	287	9,57	29	255	8,79

També disposem de la quantitat de documents publicats, que, a més dels articles, té en compte els llibres, les actes de congressos, les publicacions en arxius oberts i d'altres, que donem en la taula 3.4.

TAULA 3.4

*Nombre de documents científics (articles, llibres, actes de congressos i d'altres) publicats, per any i per categoria temàtica*

SCI: documents (Catalunya, 2003-2009)

<i>Categoria</i>	<i>2003</i>			<i>2004</i>			<i>2005</i>		
	<i>N</i>	<i>C</i>	<i>C/N</i>	<i>N</i>	<i>C</i>	<i>C/N</i>	<i>N</i>	<i>C</i>	<i>C/N</i>
«Astronomy & astrophysics»	109	5.989	54,94	126	7.248	57,52	196	8.691	44,34
«Biophysics»	99	2.401	24,25	172	2.329	13,54	143	2.157	15,08
«Mechanics»	38	1.315	34,61	62	1.046	16,87	36	965	26,81
«Meteorology & atmospheric sciences»	35	824	23,54	38	1.761	46,34	50	1.099	21,98
«Optics»	72	902	12,53	121	2.404	19,87	129	3.034	23,52
«Physics, applied»	155	3.558	22,95	184	2.635	14,32	215	3.846	17,89
«Physics, atomic, molecular & chemical»	86	1.776	20,65	124	2.874	23,18	145	3.319	22,89
«Physics, condensed matter»	141	4.550	32,27	209	3.120	14,93	167	3.307	19,80
«Physics, fluids & plasmas»	44	1.292	29,36	54	1.368	25,33	53	1.399	26,40
«Physics, mathematical»	66	2.005	30,38	79	2.247	28,44	88	2.237	25,42
«Physics, multidisciplinary»	112	4.323	38,60	139	5.708	41,06	172	8.474	49,27
«Physics, nuclear»	33	1.042	31,58	26	535	20,58	48	584	12,17
«Physics, particles & fields»	97	3.693	38,07	105	5.877	55,97	144	6.023	41,83
«Thermodynamics»	14	903	64,50	17	285	16,76	12	218	18,17

## SCI: documents (Catalunya, 2003-2009)

<i>Categoria</i>	<i>2006</i>			<i>2007</i>			<i>2008</i>			<i>2009</i>		
	<i>N</i>	<i>C</i>	<i>C/N</i>	<i>N</i>	<i>C</i>	<i>C/N</i>	<i>N</i>	<i>C</i>	<i>C/N</i>	<i>N</i>	<i>C</i>	<i>C/N</i>
«Astron. & astroph.»	191	7.886	41,29	204	5.534	27,13	265	5.556	20,97	276	6.522	23,63
«Biophysics»	137	2.418	17,65	147	2.983	20,29	159	1.902	11,96	151	1.747	11,57
«Mechanics»	92	1.426	15,50	64	850	13,28	87	841	9,67	96	690	7,19
«Meteo & atmosph.»	63	1.640	26,03	90	1.436	15,96	80	1.568	19,60	100	1.422	14,22
«Optics»	142	2.332	16,42	168	2.127	12,66	175	2.224	12,71	193	2.289	11,86
«Physics, applied»	225	3.421	15,20	264	4.436	16,80	291	3.979	13,67	312	3.333	10,68
«Atom., molec., nucl.»	174	3.102	17,83	153	2.341	15,30	155	2.193	14,15	166	2.187	13,17
«Condensed matt»	205	3.280	16,00	202	4.952	24,51	219	2.881	13,16	205	2.961	14,44
«Fluids & plasmas»	53	942	17,77	57	779	13,67	71	777	10,94	80	775	9,69
«Mathematical»	103	1.437	13,95	113	1.801	15,94	117	966	8,26	142	1.003	7,06
«Multidisciplinary»	203	7.166	35,30	240	5.834	24,31	235	5.687	24,20	217	5.217	24,04
«Physics, nuclear»	38	690	18,16	40	653	16,33	34	557	16,38	52	661	12,71
«Particles & fields»	164	5.858	35,72	177	3.416	19,30	191	4.358	22,82	207	3.253	15,71
«Thermodynamics»	20	254	12,70	20	151	7,55	32	296	9,25	30	256	8,53

Bona part dels articles han estat fets en el marc de col·laboracions internacionals, factor que indica una normalització gairebé total de la nostra recerca en aquest aspecte. 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.

Les revistes en què la participació catalana és més elevada són *Physical Review Letters*, *Physical Review D*, *Physical Review B*, *Physical Review E*, *Physical Review A* i *Applied Physics Letters*. En comparació, aquelles en què fou més elevada en el període anterior foren *Physical Review B*, *Physical Review E*, *Physics Letters B*, *Journal of Chemical Physics*, *Physical Review D*, *Physical Review L* i *Applied Physics J*. La preeminència del *Physical Review Letters* és nova i important, conseqüència de la tradició de partícules elementals i de l'impuls de la física estadística i la termodinàmica en els darrers anys. Per al conjunt d'Espanya, també les partícules i la física estadística tenen una presència especialment elevada, a més de l'astrofísica i astronomia, a causa de la participació en projectes internacionals relacionats amb els observatoris europeus instal·lats a les illes Canàries.

### 3.1. *Impacte de les publicacions*

L'impacte dels articles, relacionat amb el nombre de citacions que reben en les publicacions especialitzades, és un dels indicadors estàndard de la influència de la recerca. Una manera general i còmoda d'avaluar-lo es basa en l'índex d'impacte de la revista en què han estat publicats els articles (aquest índex és el nombre de citacions en els dos anys consecutius a la data de publicació, i es troba fàcilment en les bases de dades com la de l'*Institute for Scientific Information [ISI] Web of Science* [<http://isiknowledge.com>]). El conjunt de citacions rebudes en el període 2005-2009 pels articles d'institucions catalanes és de 210.780, però no es refereix als articles publicats en aquest període, sinó al conjunt d'articles publicats al llarg del temps. Per això, aquesta dada no resulta gaire il·luminadora respecte de l'impacte de la producció del període concret que estem considerant.

A partir de la taula 3.2, podem comparar l'evolució de l'índex d'impacte mitjà de les revistes en què han estat publicats els articles inclosos en la taula. Es pot

comprovar que passem del 4,15 mitjà del període 1996-2002 a 5,18 en el període 2003-2009, molt per sobre de l'índex mitjà de 2,60 del període 1990-1995.

En la taula 3.3 podem veure que, per impacte relatiu, destaquen les àrees d'astronomia i astrofísica, multidisciplinària i de partícules i camps; això està relacionat amb la participació en grans projectes internacionals d'acceleradors de partícules i de missions espacials, els resultats dels quals són molt esperats i tenen gran ressonància. Un segon grup està constituït per les àrees de biofísica i de meteorologia i atmosfera, que se situen per damunt d'àrees més típicament físiques com matèria condensada, física atòmica i nuclear i òptica. Caldria un estudi més detallat per esbrinar els articles més citats en cada àrea i quins temes contribueixen més al nombre de citacions.

També és interessant examinar quins són els articles més citats, ja que, més enllà d'anècdotes puntuals, permeten identificar les línies de més visibilitat i influència en un moment concret. En el període 1995-2009, l'OR-IEC (a partir de les dades de l'*ISI Web of Science*) identifica 243 articles altament citats en física (d'un total de 11.721 articles), 60 articles altament citats en ciències de l'espai (d'un total de 2.146 articles) i 55 articles altament citats de ciències de materials (entre 4.051 articles). En el report del 1990-1995, havíem aplegat una dotzena d'articles citats més de cent vegades, llista que en la monografia *Estudis bibliomètrics sobre la recerca en física a Catalunya* (2001) vam ampliar fins a una cinquantena d'articles, en què el més citat arribava tot just a les 400 citacions.

En el període 1996-2002 vam comptar 6 referències citades més de 400 vegades. En l'annex 2 apleguem 91 articles citats més de 200 vegades entre la data de publicació i finals del 2014. D'aquests, 11 han estat citats més de 750 vegades, 7 entre 500 i 749, 54 entre 250 i 499 i 19 entre 200 i 249, cosa que suposa un augment espectacular del nombre d'articles de més impacte. Per àrees de recerca, aquests articles es distribueixen de la següent manera: 38 de física teòrica i partícules; 25 de física de la matèria condensada i física de materials; 18 d'astronomia i astrofísica; 3 de física de la Terra, i 4 de física atòmica, molecular i nuclear. El predomini (en la llista de l'annex 2 dels articles més citats) d'articles sobre partícules elementals continua la tradició dels reports anteriors, tot i que no és perceptible en la taula 3.5, dels articles citats més de 500 vegades, on predominen els articles de cosmologia (tres dels quals relacionats amb la publicació de diverses trameses de resultats de la Sloan Digital Sky Survey, un altre amb resultats del telescopi orbital *Fermi* i dos més relacionats amb teories sobre gravitació modificada i teories alternatives a l'energia fosca). Tal com acostuma a

passar en les llistes d'articles molt citats, observem correlacions entre diversos articles —en temes i en autors— que posen de manifest línies de treball especialment fructíferes o afortunades, que convindria potenciar durant un cert temps per treure'n tant de rendiment com sigui possible.

Cal, també, que el públic arribi a conèixer l'esforç investigador dels nostres centres de recerca. Cal fer notar, en aquest sentit, l'esforç remarcable que estan fent els gabinets de premsa de les universitats per dur a terme aquesta funció i l'acolliment que dona la premsa a notícies sobre articles publicats en algunes revistes especialment conegudes, com *Nature* i *Science*.

En les taules anteriors s'ha donat el nombre total d'articles per any i el nombre total de citacions d'articles d'institucions catalanes. No es tracta, doncs, de citacions dels articles apareguts aquell mateix any.

En la taula 3.5 donem els articles citats més de 500 vegades des de la seva aparició fins al novembre del 2014. En l'annex 2 ampliem la llista a la referència explícita de tots els articles citats més de 200 vegades, inclosos els de la taula 3.5.



TAULA 3.5  
*Articles del període 2003-2009 citats més de 500 vegades*

<i>Referència</i>	<i>Citacions</i>	<i>Àrea</i>	<i>Institució</i>
<i>Phys. Lett. B</i> , 667, 1 (2008)	4.176	Partícules	UB
<i>Astrophys. J Suppl. Ser.</i> , 182, 543 (2009)	1.776	Cosmologia	IIEEC-CSIC
<i>Physical Review Letters</i> , 90, 227902 (2003)	1.040	Física quàntica	UB
<i>Astrophys. J</i> , 697, 1071 (2009)	959	Cosmologia	IIEEC-CSIC
<i>Internat. J Geom. Meth. Modern Phys.</i> , 4, 115 (2007)	946	Gravitació	IIEEC-CSIC
<i>Astrophys. J Suppl. Ser.</i> , 175, 297 (2008)	871	Cosmologia	IIEEC-CSIC
<i>Advances in Physics</i> , 56, 243 (2007)	857	Física quàntica	ICFO-UAB
<i>Nature</i> , 423, 850 (2003)	847	Magnetisme	UAB
<i>Phys. Rep.</i> , 469, 93 (2008)	805	Física estadística	UB, URV
<i>Physical Review D</i> , 68, 123512 (2003)	789	Gravitació	IIEEC-CSIC
<i>Astrophys. J Suppl. Ser.</i> , 162, 38 (2006)	767	Cosmologia	IIEEC-CSIC
<i>Astronomical J</i> , 128, 502 (2004)	689	Cosmologia	IIEEC-CSIC
<i>Astronomical J</i> , 126, 2081 (2003)	659	Cosmologia	IIEEC-CSIC
<i>Nature Materials</i> , 4, 450 (2005)	651	Magnetisme	UB
<i>Physical Review Letters</i> , 102, 181101 (2009)	591	Partícules/astrofísica	IIEEC-CSIC
<i>Physical Review D</i> , 71, 032001 (2005)	543	Partícules	IFAE
<i>Nature</i> , 438, 343 (2005)	539	Òptica/comunicacions	UPC
<i>Astronomical J</i> , 129, 1755 (2005)	507	Cosmologia	IIEEC-CSIC

Font: SCI.

A l'efecte de comparar-los, en la taula 3.6 donem els quocients citacions/articles d'aquest període a Catalunya i a altres indrets.

TAULA 3.6  
*Comparació internacional del quocient citacions/articles*

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
	C/A	C/A	C/A	C/A	C/A	C/A	C/A
Catalunya	45,33	33,07	35,10	34,73	27,39	23,28	21,87
Espanya	33,05	29,87	27,63	28,21	23,34	21,23	18,94
França	36,76	33,11	33,24	31,50	25,91	23,43	20,33
Regne Unit	48,33	46,17	44,13	39,46	35,91	29,94	25,65
EUA	54,47	50,60	44,18	39,92	34,82	32,35	26,36
Itàlia	32,03	28,44	29,16	26,18	24,07	21,26	19,61
Holanda	50,10	45,73	46,17	41,17	36,17	32,10	29,20
Dinamarca	44,63	46,57	44,11	37,97	44,14	33,37	27,11
Àustria	42,98	39,64	33,92	38,94	30,69	25,30	23,01
Alemanya	36,52	36,53	34,04	32,05	27,82	25,94	21,53

Font: OR-IEC, a partir de la base de dades SCI-E.

A continuació, s'indica la posició relativa de les universitats catalanes, entre les universitats de l'Estat espanyol que fan recerca en física, en els rànquings I-UGR (<http://www.rankinguniversidades.es>): Universitat Autònoma de Madrid (1), UB (2), Universitat de València (3), Universitat de la Laguna (4), UAB (5), Universitat de Cantàbria (6), Universitat Complutense de Madrid (7), UPC (8), Universitat del País Basc (9), Universitat de Granada (10), UdG (29), URV (34), UPF (40). En el rànquing es consideren un total de 46 universitats.

### 3.2. Patents

En els dos reports anteriors vam constatar que la innovació i la transferència tecnològica eren dues de les facetes de la física a Catalunya en què el progrés havia estat més lent, i que més imperativament calia potenciar. En el report del 1996-2002 vam constatar un avenç notable respecte del període 1990-1995, amb un augment en el nombre de patents (d'unes 10 a unes 40) i de la relació amb empreses (públiques i privades, locals i multinacionals). El període examinat ara suposa un nou pas

considerable en la direcció adient. Les universitats són ben conscients d'aquesta situació i han fet un esforç notable per incrementar la relació entre universitats i empreses.

Hem localitzat una cinquantena de patents relacionades amb la física, procedents del Departament d'Electrònica de la UB, de l'ICMAB, de l'ICFO, de l'IFAE i de l'IEEC. Es tracta, per exemple, de patents en sensors fotoactivats per a gasos, determinació de fluxos energètics en gasos combustibles, dispositius i instrumentació (lent de contacte amb sensor per a monitoratge no invasiu de pressió ocular, dispositiu magnetoelèctric per escriure informació no volàtil, dispositius magnetoresistius per a detecció de peces metàl·liques, potenciòmetre basat en propietats magnetoresistives, analitzador termobaromètric, miniaturització d'un espectròmetre Mössbauer, limitador de corrent inductiu híbrid de metall normal i superconductor d'alta temperatura, espectròmetre Mössbauer amb piezotransductors d'estat sòlid); entre les patents de procediment i estructures, hi trobem cintes superconductores multicapa, materials superconductors nanoestructurats amb gran densitat de centres d'ancoratge, material superconductor ceràmic, procediments d'obtenció de ceràmiques superconductores i procediments d'unió de ceràmiques superconductores. Hi ha també patents en codis informàtics de predicció d'error. A l'IFAE, com a aplicació dels progressos en sensors de radiació, han desenvolupat noves tècniques en imatgeria mèdica, que han dut a diverses patents i una empresa derivada. L'IFAE, en col·laboració amb l'IMB, UDIAT Centre Diagnòstic i EMSOR, SA, va iniciar el desenvolupament d'una màquina de biòpsia de mama en tres dimensions en temps real; el prototipus va ser completat el 2008 i presentat el mateix any al Saló Internacional dels Invents de Ginebra, on guanyà la Medalla de Plata.

### **3.3. *Empreses***

Hi ha hagut un increment en la fundació d'empreses per part de les universitats, que en bona part es concentra en temes d'informàtica, biologia i química, més que no pas de física. Totes les universitats han potenciat aquest àmbit, amb iniciatives com ara la Fundació Bosch i Gimpera, centre de transferència de coneixement, tecnologia i innovació de la UB; la Bioincubadora d'empreses del Parc Científic de Barcelona (PCB), o l'Esfera UAB.

Un dels papers de l'IEEC i de l'IFAE ha estat potenciar infraestructures científiques a Catalunya i, sobretot, la participació d'empreses catalanes (i espanyoles en general) en concursos de grans projectes internacionals en les àrees respectives de l'espai (aeronàutica, satèl·lits, telescopis) i dels acceleradors (imants, detectors). Poder presentar-se amb un soci científic que conegui bé l'àmbit és un ajut decisiu per a les empreses. Naturalment, perquè aquesta col·laboració sigui al més eficaç possible, cal la contractació de tècnics i enginyers capaços de dur a terme els projectes i de fer de pont amb les empreses. Per exemple, l'IFAE ha contribuït a les estructures científiques del Telescopi de Raigs Gamma per Emissió de Radiació Txerenkov a l'Atmosfera (MAGIC) i ha proporcionat assistència i direcció tècnica i administrativa a projectes com ara la construcció de cambres de buit de l'ATLAS, projecte amb un pressupost d'uns 3.000.000 d'euros distribuïts en cinc anys. Pel que fa a les aplicacions en imatgeria mèdica, una empresa derivada de l'IFAE és X-Ray Imatek (IFAE), dedicada a les aplicacions dels fotosensors en exploracions mèdiques. L'ICCUB vehicula la participació de la UB en el consorci BAIE (Associació Barcelona Aeronàutica i de l'Espai), que promou la presència d'indústria aeronàutica o aeroespacial a Barcelona i el seu entorn, dinamitzant així aquest camp tan rellevant.

L'ICFO té un fort component d'innovació i patents en microscòpia i manipulació òptica, en dispositius plasmònics i nanofotònics, en cèl·lules fotovoltaïques, en tecnologia de capes ultrafines, en sensors compactes per a ús en ambients hostils i en tecnologies làser avançades. Entre les seves col·laboracions amb indústries, destaquen les col·laboracions amb Nikon Centre d'Excel·lència STORM (Stochastic Optical Reconstruction Microscopy, per a microscòpia d'alta resolució), BASF (cèl·lules fotovoltaïques flexibles), COMSA-EMTE (construcció d'edificis eficients en energia), Corning (pantalles), ABB (sensors de camp), COSINGO-EPFL-INSERM (diagnosi del càncer), B. Braun (producció d'imatges i superfícies òptiques multifuncionals) i Prysmian Group (sensors fotònics). Una empresa derivada de l'ICFO és Radiantis (2005), que comercialitza llum làser multicolor per a aplicacions del medi ambient i per a la detecció remota en medis hostils.

L'ICMAB treballa des de fa temps amb l'empresa Carburos Metálicos, a través dels laboratoris MATGAS, l'edifici dels quals va ser inaugurat el 2005. També col·labora sovint amb empreses com el Centre Tecnològic LEITAT, La Farga Lacambra i OXOLUTIA. Aquesta darrera és una empresa derivada de l'ICMAB, i pretén convertir en innovació pràctica els resultats que s'aconsegueixin a l'ICMAB.

A l'IEEC s'ha treballat en transferència en programaris per a radars meteorològics, prediccions meteorològiques a microescala i tomografia del contingut de vapor d'aigua a l'atmosfera a través de senyals GPS; s'ha participat industrialment en el disseny i realització de miralls de telescopis (IRAIT), antenes de naus espacials, sensors i actuadors de temperatura: s'ha col·laborat amb les empreses GMV, SA, amb seu a Madrid; Mier Comunicacions i Nuevas Tecnologías Espaciales (NTE), de Barcelona, i amb EADS-CASA Espacio. També en el tema de l'espai, l'IEEC ha desenvolupat noves tècniques per sondar la ionosfera i la troposfera, per mesurar el nivell del mar a escala planetària i també el gruix de les capes de gel de la Terra. La participació de l'IEEC en el projecte de construcció del LISA Pathfinder de l'ESA (consistent en el desenvolupament i la construcció dels sistemes de mesura del soroll intern de l'aparell) s'ha fet conjuntament amb l'empresa NTE-SENER i ha representat, en conjunt, uns 4 milions d'euros en contractes industrials. Incidentalment, és curiós esmentar com a benefici econòmic indirecte de la recerca espacial la reactivació turística de la zona del Montsec estimulada per l'Observatori Astronòmic.

#### 4. ELS RECURSOS ECONÒMICS

En aquest apartat analitzem el conjunt de subvencions atorgades durant el període 2003-2009 per centres 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, ja que costa aplegar les informacions de les diverses institucions, eliminar duplicitats i esbrinar amb prou detall les fonts de finançament. Una anàlisi acurada requeriria un estudi més aprofundit que el que aquí es presenta.

Concretament, a l'hora d'interpretar les dades de les diverses entitats rellevants per a aquest report, cal tenir en compte que alguns dels instituts de recerca tenen personalitat jurídica pròpia, i, per tant, els seus pressupostos corresponen als costos totals. Això vol dir que els pressupostos inclouen tant les despeses associades al mateix funcionament de les entitats com els projectes de recerca pròpiament dits. Les primeres inclouen totes les despeses de funcionament (serveis generals, il·luminació, calefacció, manteniment d'espais, administració, etc.) així com els costos de tot el personal de plantilla, inclòs el d'administració i el docent, si escau. Les segones despeses corresponen a la recerca pròpiament dita, el finançament de la qual prové en la seva

major part de projectes externs competitiu. Així doncs, les xifres no es poden comparar amb les dades de subvencions que es refereixen a costos marginals (és a dir, associats a projectes que es destinen a executar recerca). Per poder comparar, hem donat tan sols els costos marginals també en el cas dels instituts, tal com es fa amb les universitats.

En termes generals, i a l'efecte de comparar-lo, cal esmentar que el percentatge de despesa en recerca en relació amb el producte interior brut (PIB) ha pujat des d'un 1,27 % a un 1,61 % del 2003 al 2008 a Catalunya, segons les dades de l'informe anual de CERCA, atansant-se a la mitjana de la UE-27, que és de l'1,87 % del PIB, però és encara força inferior a l'objectiu europeu (encara no assolit) de situar-se en un 3 % del PIB l'any 2020.

#### ***4.1. Distribució per àrees i centres***

Tal com vam fer en els reports anteriors, les quantitats que indiquem corresponen als costos de projectes i d'infraestructures per a projectes i a convenis amb empreses, però no inclouen el personal docent ni administratiu (tret dels professors visitants), ni els edificis, ni les beques predoctorals, ni les despeses de mobilitat especials, ni tampoc els doctorats de qualitat. Hem indicat els projectes concedits durant aquest interval. Cal tenir en compte, però, que els primers anys de l'interval es disposava de recursos generals per a projectes anteriors i que les quantitats concedides per a projectes durant els darrers anys seran en part destinades als anys posteriors a l'acabament de l'interval. Fer un càlcul més acurat resultava extremadament difícil.

TAULA 4.1A  
*Finançament competitiu obtingut pels departaments de les universitats  
 en el període 2002-2009 (en milers d'euros)*

<i>Centre</i>	<i>PE</i>	<i>PN</i>	<i>CC</i>	<i>Total</i>
UAB				
Física	1.021	5.826	1.030	7.877
UB				
Astronomia i Meteorologia	305	5.718	1.178	7.202
Electrònica	4.530	5.429	2.097	12.156
Estructura i Constituents	1.140	5.823	233	7.196
Física Aplicada i Òptica	2.072	2.634	673	5.379
UPC				
Física Aplicada	73	1.917	449	2.438
Física i Enginyeria Nuclear	454	2.525	2.193	5.173
UdG				
Física	21	580	53	655
Total	9.616	30.452	7.906	47.974

Font: OR-IEC.

La columna PE es refereix als projectes europeus, la PN als projectes nacionals (estatals espanyols) i la CC als contractes i convenis. A l'efecte de comparar-les, donem les dades totals del període analitzat i, entre parèntesis, les del període 1996-2002: UAB, 7.877 (9.570); UB, 37.591 (18.280); UPC, 8.834 (5.100), i UdG, 655 (830). La disminució de la UAB és aparent, ja que en el report del 1996-2002 hi havíem comptat les subvencions rebudes per l'IFAE, que ara comptem a part.

TAULA 4.1B  
*Finançament competitiu obtingut pels instituts en el període 2002-2009 (en milers d'euros)*

IEEC	7.910
ICFO	15.300
IFAE	21.660
ICMAB	20.700
Total	65.570

Font: OR-IEC.

En el cas de l'ICMAB, la taula 4.1b es refereix a les despeses relacionades amb la recerca en física, que vénen a suposar un terç del total dels costos del pressupost.

Com que els instituts estan formats en bona part per investigadors que es dediquen completament a la recerca, sense càrregues docents, tenen potser més facilitats per mobilitzar projectes internacionals, cosa que els aporta més finançament. D'altra banda, tots tenen un fort component de participació en projectes experimentals, siguin de laboratori (ICMAB, ICFO), en acceleradors (IFAE) o en satèl·lits i telescopis (IEEC), cosa que també contribueix a que el finançament sigui més alt que el de les universitats, on la proporció de recerca teòrica és una mica més gran.

El finançament total obtingut entre les universitats i els instituts representa un augment respecte del període 1996-2002. De fet, si tinguéssim en compte també els 120 milions d'euros de la construcció del sincrotró i la part proporcional de les activitats en física de les inversions en superordinadors, podríem tenir el miratge de concloure que, amb molta diferència, aquest seria el període que ha acumulat les inversions més altes relacionades amb la física en tota la història de Catalunya.

Això no obstant, cal tenir en compte que aquest increment es deu en gran part a les despeses de construcció i manteniment d'edificis i d'infraestructura, i als costos d'un nombre objectivament petit de personal de plantilla. La realitat objectiva és que, descomptant les despeses d'infraestructura com ara el sincrotró, la inversió catalana i estatal en despeses de recerca en física ha presentat només un increment moderat durant el període estudiat. En canvi, les entitats que executen recerca a Catalunya en l'àrea de la física han augmentat de manera molt significativa la seva capacitat de realització i d'atracció de projectes i recursos internacionals.

#### ***4.2. Distribució del finançament segons les fonts***

El finançament de la recerca prové de la Generalitat de Catalunya, del Ministeri espanyol corresponent, dels fons europeus o altres col·laboracions internacionals i d'empreses (aquí comptarem també entre els fons europeus els procedents de l'ESA). En aquest septenni es dugué a terme el VI Programa Marc de Recerca i Desenvolupament de la UE (2002-2006), i s'inicià el VII Programa Marc (2007-2013). Darrerament, hi ha hagut també l'inici del mecenatge privat en quantitats significatives, especialment de la Fundació Privada Cellex.

En el cas de les universitats, tal com consta en la taula 4.1a, veiem que la distribució total queda en 9.616 milers d'euros en PE, 30.452 milers d'euros en PN i



7.906 milers d'euros en CC. Això suposa, respectivament, un 19 %, un 64 % i un 17 % aproximadament del finançament de la recerca en física de les universitats.

En els instituts del CERCA, l'esforç fundacional prové, majoritàriament, de Catalunya (finançat a través del DURSI, la Comissió Interdepartamental de Recerca i Innovació Tecnològica [CIRIT] o la Fundació Catalana per a la Recerca i la Innovació [FCRI], segons els casos). La intenció és que, un cop posats en marxa, els instituts participin cada cop més activament en les convocatòries de fons estatals, de fons europeus i de contractes i convenis, i realment és així quan s'estudia la participació relativa. En l'ICFO, per exemple, la contribució total de la Generalitat evoluciona des d'un 95 % el 2003: 81 % el 2004, 79 % el 2005, 65 % el 2006, 52 % el 2007, 47 % el 2008 i 43 % el 2009, sempre en quantitats de costos totals (és a dir, l'aportació de la Generalitat no cobreix despeses de recerca, sinó només despeses estructurals i institucionals). L'IFAE té durant alguns anys una aportació d'entre el 20 % i el 25 % de la Generalitat (als costos marginals), i la resta està relacionada amb projectes estatals i internacionals i amb empreses.

En el cas de l'IEEC, el finançament ha estat proporcionat per la Generalitat. Primer a través de la FCRI i la CIRIT, i després per la DGR, en forma de contracte programa. A aquesta quantitat, cal afegir-hi els salaris dels investigadors ICREA. Les universitats (UB, UAB i UPC) i el CSIC hi han contribuït amb personal, i en el cas del CSIC i la UAB, amb infraestructura i funcionament. Els projectes competitius han estat gestionats per l'IEEC directament (el 50 % aproximadament, taula 4.1b) i per les quatre institucions esmentades (l'altre 50 %).

L'ICMAB rep la part més important del seu finançament del CSIC (que cobreix les despeses de personal i d'edificis), en un 45-50 %. La Comissió Interministerial de Ciència i Tecnologia (CICYT) del Govern espanyol hi aporta entre un 15 % i un 25 %, segons els anys; la UE, entre un 10 % i un 20 %; els contractes amb indústries, entre un 5 % i un 7 %, i la Generalitat de Catalunya, al voltant d'un 5-7 %.

## 5. BALANÇ I CONCLUSIONS

El balanç del període 2003-2009 representa un increment molt significatiu en pràcticament tots els aspectes respecte del període anterior (1996-2002), que havia suposat al seu torn un avenç important respecte del període precedent (1990-1995). Hi ha un augment del nombre d'investigadors que resultava difícil de preveure, per l'increment ja prou notable entre el 1990 i el 2002. Aquest augment ha estat relacionat, en part, amb els nous instituts i amb la internacionalització creixent, que ha permès atreure investigadors estrangers i recuperar investigadors d'aquí.

En aquest darrer apartat sintetitzem les principals observacions fetes en aquest report i en fem un balanç. Com en els dos reports anteriors, creiem que el conjunt és molt positiu i que posa de manifest una empenta molt considerable de la comunitat científica dedicada a la física a Catalunya, amb un suport important de les administracions implicades (situació que està canviant des del 2009, com a conseqüència de la crisi econòmica, però que encara no es posa de manifest en el període considerat). Les dades més destacables són, a parer nostre, les següents:

1) El nombre d'estudiants de física experimenta una disminució cap al període 2004-2007, amb una recuperació posterior. El nombre de tesis doctorals per any es manté en nivells similars als del període anterior (unes 55 per any). A finals del període s'inicia el grau de física, en substitució de la llicenciatura de física. El grau de física i matemàtiques aconsegueix tenir la nota de tall més alta de Catalunya, des dels inicis, cosa que en contribueix al prestigi.

2) El nombre total d'investigadors, doctors més doctorands, ha augmentat considerablement respecte del període 1996-2002, tot passant d'uns 900 a uns 1.100, tot i que el 2002 ja es temia haver arribat a una saturació. Aquest creixement ha estat impulsat, en part, pels instituts de recerca; per la incorporació d'investigadors consolidats en contractes com els ICREA, Ramón y Cajal, Juan de la Cierva i Marie Curie; els ajuts de l'ERC a nous investigadors amb nous projectes destacats, i l'augment de diners invertits en recerca per part del Govern central en general. Cal esmentar, a més, l'increment d'estades postdoctorals a les nostres universitats i el paper dinamitzador dels nous instituts, que han generat un nombre apreciable de contractes d'investigadors i de visitants que passen un temps llarg a les nostres universitats, vinculats al desenvolupament de projectes concrets.

3) Una de les diferències més apreciables respecte del període anterior ha estat el creixement i la potenciació dels instituts CERCA (IFAE, IEEC i ICFO). La relació dels instituts amb les universitats és diferent en els diversos casos. A l'IFAE i l'IEEC és més directa i intensa que a l'ICFO, en el sentit que bona part dels membres dels primers són professors de les universitats (a l'IFAE) o investigadors o professors d'investigació del CSIC (a l'IEEC), mentre que a l'ICFO pràcticament la totalitat dels investigadors són ICREA i contractats en funció dels projectes, i no pertanyen ni a les universitats ni al CSIC. Tot i que els instituts han suposat una innegable dinamització, també, en ocasions, han sorgit alguns recels en les universitats, pel temor que la potenciació dels instituts vagi en detriment de la potenciació de grups de recerca de les universitats que ja duen a terme recerques consolidades i internacionalment apreciades. Potser per això, les universitats també han potenciat la creació d'instituts propis (com ara l'ICCUB, fundat el 2006, o el CBEN de la UB, constituït el 2002), que estimulen les col·laboracions interdepartamentals dintre de la universitat i constitueixen l'instrument de participació en instituts interuniversitaris, com l'IEEC o l'IFAE. Els instituts del CSIC i els centres de recerca de les universitats que ja hi havia prèviament han continuat fent una bona feina en els seus àmbits, i potenciant-la en diversos aspectes.

4) És destacable la construcció del sincrotró ALBA-CELLS, una gran infraestructura d'envergadura europea, que dinamitzarà àrees de la física com són la ciència de materials, l'electrònica, la nanotecnologia i la biofísica, a més d'ésser un al·licient per al teixit industrial avançat. A menor escala, pel que fa al cost econòmic, cal esmentar la inauguració de l'Observatori del Montsec. També és remarcable i valuós l'increment de la capacitat de càlcul i de processament d'informació, amb la posada en marxa de centres com el BSC (2005), el PIC (2004) i el centre GRID, els dos darrers situats al campus de la UAB.

5) Ha augmentat molt notablement el nombre total d'articles de recerca publicats en revistes internacionals. S'ha passat de 3.700 articles, en el període 1996-2002, a uns 11.100 articles, en el període 2003-2009. Això ha suposat un increment de la productivitat, que ha passat d'uns 1,2 articles per doctor i any, en el període 1996-2002, a uns 2,2 articles per doctor i any. Aquest gran increment s'entén prou bé si es considera que l'augment de doctors s'ha produït bàsicament en la recerca, i gairebé gens en la docència; d'altra banda, els programes d'incorporació han permès seleccionar investigadors molt competitius.

6) Alguns articles apareguts durant el període estudiat han aconseguit, des de la seva publicació, un nombre molt important de citacions: 11 articles han estat citats més de 750 vegades, 7 més entre 749 i 500 vegades i 90 articles en total han estat citats més de 200 vegades. Aquestes dades suposen un salt molt gran respecte de la dotzena d'articles citats més de 100 vegades (quatre, més de 400 vegades) del període 1996-2002.

7) Destaca especialment el creixement del nombre d'articles publicats en les revistes amb un índex d'impacte més elevat, com *Nature*, *Science* i *Physical Review Letters*. Això suposa un salt no tan sols quantitatiu, sinó també qualitatiu, molt revelador. També ha augmentat l'impacte mitjà dels articles i l'esforç per publicar en revistes de més impacte i més ben situades en els rànquings de les diverses àrees de la física. També destaquen els articles apareguts en revistes d'astronomia i astrofísica (*Astronomical Journal*, *Astrophysical Journal*, *Astrophysical Journal Supplement Series*), en què la publicació de dades recents d'observacions astronòmiques o cosmològiques, relacionades amb telescopis terrestres o satèl·lits, ha dut a un gran impacte immediat.

8) Ha augmentat lleugerament, respecte del període anterior, la relació amb les empreses, tant públiques com privades, tant locals com multinacionals, especialment en ciència de materials, magnetisme, medi ambient, fluids, energia, òptica, electrònica i aeroespacial. Hi han tingut un paper dinamitzador els instituts de recerca, que han facilitat, per exemple, la participació en projectes internacionals, com ara al CERN o a l'ESA, en què la participació de les empreses locals es veu molt potenciada si poden disposar d'un soci científic vinculat estretament amb el projecte. Ha augmentat el nombre de patents: d'unes 40 a unes 60, però encara és insuficient si ens volem comparar amb la mitjana europea pel que fa a les activitats de recerca.

9) El finançament per investigador i any ha passat d'uns 7.400 euros, en el període 1996-2002, a uns 14.000 euros, en el període 2003-2009. Si descomptem els efectes de la inflació, hauríem de comptar uns 11.500 euros. Cal advertir que la incorporació de la majoria de nous membres ha estat com a investigadors a temps complet, sense obligacions docents, una bona part dels quals estan dedicats a la recerca experimental, de manera que el seu cost per investigador i any és més gran que en el cas dels investigadors amb obligacions docents.

10) Descomptades algunes inversions notables en construcció d'infraestructures, com ara el sincrotró, la inversió catalana i estatal en despeses de recerca en física ha

presentat només un moderat increment durant el període estudiat. Malgrat tot, les entitats que executen recerca a Catalunya en l'àrea de la física han augmentat de manera molt significativa la seva capacitat de realització i d'atracció de projectes i recursos internacionals, especialment projectes dels programes marc i l'ERC.

Entre els diversos temes pendents, hi ha una certa desconfiança de les universitats envers els instituts de recerca, en gran part deguda al desconeixement de les dades objectives i de les condicions de funcionament d'aquests últims. En termes generals, les condicions de recerca són més favorables als instituts que no pas a les universitats, on s'ha de treballar amb la pressió afegida d'una activitat docent considerable. Això no obstant, cal tenir en compte que l'activitat docent postgraduada també és molt important a alguns dels instituts i que, en general, la necessitat d'obtenció de projectes i recursos externs, sovint internacionals, hi és molt intensa. Tot i això, hi ha força col·laboracions fructíferes entre tots dos tipus de centres, amb benefici mutu, i una potenciació de diversos grups universitaris. S'ha fet un esforç gran per millorar, amb inversions considerables. Encara falten, però, resultats de gran visibilitat, fites històriques, tot i que hi ha certament resultats molt rellevants i grups molt competitius, grups, fins i tot, que actuen com a coordinadors de grans projectes internacionals.

**REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES**

- Centres de recerca a Catalunya*. Generalitat de Catalunya. Departament d'Innovació, Universitats i Empresa, 2005. (Temes de Recerca i Innovació; 4)
- CERCA Centres de Recerca de Catalunya*. Departament d'Innovació, Universitats i Empresa, 2010.
- MORENO, R. «Centres de Recerca de Catalunya». *Paradigmes: Economia Productiva i Coneixement*, núm. 4 (2010), p. 226-235.
- ROVIRA, Lluís; SENRA, Pau; JOU, David. *Estudis bibliomètrics sobre la recerca en física a Catalunya*. Barcelona: Institut d'Estudis Catalans, 2001. (Arxius de les Seccions de Ciències; 130)
- TORRES-SALINAS, D.; DELGADO LÓPEZ-CÓZAR, E.; ROBINSON GARCÍA, N.; TRIGUERO, I.; HERRERA, F. *Posiciones de las universidades españolas y de las comunidades autónomas en los rankings I-UGR según campos y disciplinas científicas* [en línia]. <<http://www.rankinguniversidades.es>>

## ANNEXOS

### *Annex 1*

#### **Grups inclosos en aquesta anàlisi**

Per tal d'especificar més inequívocament els grups inclosos —a fi que el report pugui ésser contrastat independentment per altres investigadors que s'ho proposin—, en aquest annex donem una llista de centres.

De la UB hem inclòs els grups dels cinc departaments que formen la Facultat de Física: Física Fonamental (38 doctors permanents, 24 postdoctorals, 21 doctorands), Astronomia i Meteorologia (28 permanents, 4 interins), Estructura i Constituents de la Matèria (39 doctors permanents, 18 postdoctorals, 25 doctorands), Física Aplicada i Òptica (24 doctors permanents, 1 postdoctoral, 18 doctorands) i Electrònica (31 permanents, 30 contractats), a més dels grups de Biofísica i Bioenginyeria de la Facultat de Medicina (que formen part dels departaments de Ciències Fisiològiques I i II) (10 doctors permanents, 2 postdoctorals, 10 doctorands) i del Grup de Geofísica de la Facultat de Geologia (emmarcat en el Departament de Geodinàmica i Geofísica).

A la UAB, considerem el Departament de Física (40 doctors permanents, 25 postdoctorals, 21 doctorands, 5 tècnics) i el Grup de Biofísica Molecular del Departament de Bioquímica i de Biologia Molecular de la Facultat de Medicina (3 doctors fixos, 4 postdoctorals, 14 doctorands, 1 tècnic).

A la UPC, considerem els departaments de Física i Enginyeria Nuclear (42 doctors, 10 doctorands), Física Aplicada (44 doctors, 10 no-doctors) i Òptica i Optometria (48 doctors, 10 doctorands), i en física de radiacions, l'INTE (13 doctors, 14 doctorands, 8 tècnics). Del Departament d'Òptica i Optometria hem considerat el Grup de Processament Òptic i Digital de la Imatge i Colorimetria (uns 5 doctors i 4 doctorands), però no els d'Anatomia i Fisiologia, Neurofisiologia de la Visió, Optometria ni Microscòpia Òptica, ni el Centre Universitari de la Visió, ja que són de caire més aplicat a la biologia.

A la UdG, hi hem inclòs els membres del Departament de Física (18 doctors, 12 doctorands), que formen part de la Facultat de Ciències i de l'Escola Politècnica Superior. A la URL, la física es troba concentrada en l'Observatori de l'Ebre. A la

URV, hi hem inclòs alguns membres dels grups de Física i Cristal·lografia de Materials, de la Facultat de Química, i d'Experimentació, Computació i Modelització en Mecànica de Fluids, de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química (els que treballen en temes més propers a la física).

Pel que fa al CSIC, hem considerat l'ICMAB (54 doctors permanents, 25 postdoctorals, 66 no-doctors, 33 tècnics i personal administratiu): departaments de Cristal·lografia, Química de l'Estat Sòlid, Materials Magnètics i Òxids Funcionals, Teoria i Simulació de Materials, Materials Moleculars i Supramoleculars, NANOMOL, Materials Nanoestructurats (11 investigadors) i Materials Superconductors i Nanoestructurats a Gran Escala (7 doctors permanents, 5 postdoctorals, 12 doctorands i 4 tècnics). De tot l'ICMAB, hem atribuït la meitat d'investigadors a la física (i els hem inclòs en el report) i l'altra meitat a la química, tal com ho vam fer en els reports anteriors. També considerem l'Institut de Ciències del Mar (Departament d'Oceanografia Física: 20 doctors, 13 no-doctors, 7 tècnics), l'Institut de Ciències de la Terra Jaume Almera (Grup de Modelització Geofísica i Geoquímica: 5 doctors, 9 no-doctors) i l'ICE (14 investigadors permanents, 7 postdoctorals, 14 contractats amb càrrec a projectes, 18 becaris doctorands, 2 tècnics); com que tots els investigadors de l'ICE formen part de l'IEEC, hem atribuït un factor  $\frac{1}{2}$  al CSIC i un factor  $\frac{1}{2}$  a l'IEEC. No hem inclòs, en canvi, l'IMB, ja que la seva contribució és analitzada en el report «Tecnologies de la informació i de les comunicacions», ja esmentat.

Pel que fa als instituts CERCA, l'IFAE té 17 doctors, a més de 15 doctors de la UAB, 15 postdoctorals, 25 doctorands, 10 enginyers i 3 tècnics de recerca, i l'ICFO, 25 líders de grup (7 d'ells ERC Starting Grants i 2 ERC Advanced Grants), 4 *staff*, 26 investigadors contractats, 66 postdoctorals, 13 enginyers i 114 estudiants de doctorat. L'IEEC està compost per quatre grups: CTE-CRAE-UPC (28 doctors, 6 doctorands, 1 tècnic), ICE-CSIC (33 doctors, 18 doctorands, 9 tècnics; els hem atribuït un coeficient  $\frac{1}{2}$  per al CSIC i  $\frac{1}{2}$  per a l'IEEC), ACE-ICCUB (44 doctors, 30 estudiants, 9 tècnics; també els hem atribuït un factor  $\frac{1}{2}$  per a la UB i  $\frac{1}{2}$  per a l'IEEC) i CERES-UAB (20 doctors, 18 no-doctors; la gran majoria d'ells són d'enginyeria química, enginyeria electrònica o gestió aeronàutica, o de l'IMB hem atribuït a aquests investigadors un coeficient  $\frac{1}{2}$  per a l'IEEC i un factor 0 per a la física).



**Annex 2****Articles publicats entre 2003-2009 citats més de 200 vegades**

ANY 2003

- VIDAL, G.; LATORRE, J. I.; RICO, E. [et al.]. «Entanglement in quantum critical phenomena». *Physical Review Letters*, 90, 227902. Citat 1.040 vegades.
- SKUMRYEV, V.; STOYANOV, S.; ZHANG, Y.; HADJIPANAYIS, G.; GIVORD, D.; NOGUÉS, J. «Beating the superparamagnetic limit with exchange bias». *Nature*, 423, p. 850-853. Citat 847 vegades.
- NOJIRI, S.; ODINTSOV, S. D. «Modified gravity with negative and positive powers of curvature: Unification of inflation and cosmic acceleration». *Physical Review D*, 68, 123512. Citat 789 vegades.
- ABAZAJIAN, K.; ADELMAN-MCCARTHY, J. K.; AGUEROS, M. A. [et al.]. «The first data release of the Sloan Digital Sky Survey». *Astronomical Journal*, 126, p. 2081-2086. Citat 659 vegades.
- GÓMEZ, P. L.; NICHOL, R. C.; MILLER, C. J. [et al.]. «Galaxy star formation as a function of environment in the Early Data Release of the Sloan Digital Sky Survey». *Astrophysical Journal*, 584, p. 210-227. Citat 427 vegades.
- MASPOCH, D.; RUIZ-MOLINA, D.; WURST, K. [et al.]. «A nanoporous molecular magnet with reversible solvent-induced mechanical and magnetic properties». *Nature Materials*, 2, p. 190-195. Citat 384 vegades.
- JIDO, D.; OLLER, J. A.; OSET, E. [et al.]. «Chiral dynamics of the two Lambda(1405) states». *Nuclear Physics A*, 725, p. 181-200. Citat 362 vegades.
- STOKBRO, K.; TAYLOR, J.; BRANDBYGE, M. [et al.]. «Theoretical study of the nonlinear conductance of Di-thiol benzene coupled to Au(111) surfaces via thiol and thiolate bonds». *Computational Materials Science*, 27, 1-2, p. 151-160. Citat 318 vegades.
- CHIMENTO, L. P.; JAKUBI, A. S.; PAVÓN, D. [et al.]. «Interacting quintessence solution to the coincidence problem». *Physical Review D*, 67, 083513. Citat 288 vegades.

- GUIMERÀ, R.; DANON, L.; DÍAZ-GUILERA, A. [et al.]. «Self-similar community structure in a network of human interactions». *Physical Review E*, 68, 065103. Citat 277 vegades.
- CONTINO, R.; NOMURA, Y.; POMAROL, A. «Higgs as a holographic pseudo-Goldstone boson». *Nuclear Physics B*, 671, p. 148-174. Citat 270 vegades.
- ALCARAZ, J.; BUSCEMI, L.; GRABULOSA, M. [et al.]. «Microrheology of human lung epithelial cells measured by atomic force microscopy». *Biophysical Journal*, 84, p. 2071-2079. Citat 265 vegades.
- NOJIRI, S.; ODINTSOV, S. D. «Where new gravitational physics comes from: M-theory?». *Physics Letters B*, 576, p. 5-11. Citat 218 vegades.
- ARUTYUNOV, G.; FROLOV, S.; RUSSO, J. [et al.]. «Spinning strings in AdS(5) X S-5 and integrable system». *Nuclear Physics B*, 671, p. 3-50. Citat 212 vegades.
- PASCUAL, J. I.; LORENTE, N.; SONG, Z. [et al.]. «Selectivity in vibrationally mediated single-molecule chemistry». *Nature*, 423, 6939, p. 525-528. Citat 203 vegades.

## ANY 2004

- ABAZAJIAN, K.; ADELMAN-MCCARTHY, J. K.; AGUEROS, M. A. [et al.]. «The second data release of the Sloan Digital Sky Survey». *Astronomical Journal*, 128, p. 502-512. Citat 681 vegades.
- ELIZALDE, E.; NOJIRI, S.; ODINTSOV, S. D. «Late-time cosmology in a (phantom) scalar-tensor theory: Dark energy and the cosmic speed-up». *Physical Review D*, 70, 043539. Citat 491 vegades.
- PUTAUD, J. P.; RAES, F.; DINGENEN, R. van [et al.]. «European aerosol phenomenology-2: chemical characteristics of particulate matter at kerbside, urban, rural and background sites in Europe». *Atmospheric Environment*, 38, p. 2579-2595. Citat 407 vegades.
- MASPOCH, D.; RUIZ-MOLINA, D.; VECIANA, J. «Magnetic nanoporous coordination polymers». *Journal of Materials Chemistry*, 14, 18, p. 2713-2723. Citat 359 vegades.
- ASTRAKHARCHIK, G. E.; BORONAT, J.; CASULLERAS, J. [et al.]. «Equation of state of a Fermi gas in the BEC-BCS crossover: A quantum Monte Carlo study». *Physical Review Letters*, 9, 200404. Citat 335 vegades.

- LATORRE, J. I.; RICO, E.; VIDAL, G. «Ground state entanglement in quantum spin chains». *Quantum Information & Computation*, 4, p. 48-92. Citat 332 vegades.
- FALCONE, F.; LOPETEGI, T.; LASO, M. A. G. [et al.]. «Babinet principle applied to the design of metasurfaces and metamaterials». *Physical Review Letters*, 93, 197401. Citat 288 vegades.
- NOJIRI, S.; ODINTSOV, S. D. «Modified gravity with  $\ln R$  terms and cosmic acceleration». *General Relativity and Gravitation*, 36, p. 1765-1780. Citat 267 vegades.
- NOJIRI, S.; ODINTSOV, S. D. «Final state and thermodynamics of a dark energy universe». *Physical Review D*, 70, 103522. Citat 262 vegades.
- BARBIERI, R.; POMAROL, A.; RATTAZZI, R. [et al.]. «Electroweak symmetry breaking after LEP1 and LEP2». *Nuclear Physics B*, 703, 127. Citat 255 vegades.
- FU, C. C.; WILLAIME, F.; ORDEJÓN, P. «Stability and mobility of mono- and di-interstitials in alpha-Fe». *Physical Review Letters*, 92, 17, 175503. Citat 238 vegades.
- QUEROL, X.; ALASTUEY, A.; RUIZ, C. R. [et al.]. «Speciation and origin of PM10 and PM2.5 in selected European cities». *Atmospheric Environment*, 38, p. 6547-6555. Citat 229 vegades.
- CORMA, A.; REY, F.; RIUS, J. [et al.]. «Supramolecular self-assembled molecules as organic directing agent for synthesis of zeolites». *Nature*, 431, 7006, p. 287-290. Citat 227 vegades.
- CORRAL, A. «Long-term clustering, scaling, and universality in the temporal occurrence of earthquakes». *Physical Review Letters*, 92, 108501. Citat 220 vegades.
- MAULTZSCH, J.; REICH, S.; THOMSEN, C. [et al.]. «Phonon dispersion in graphite». *Physical Review Letters*, 92, 075501. Citat 207 vegades.

ANY 2005

- KRENKE, T.; DUMAN, E.; ACET, M. [et al.]. «Inverse magnetocaloric effect in ferromagnetic Ni-Mn-Sn alloys». *Nature Materials*, 4, p. 450-454. Citat 651 vegades.
- ACOSTA, D.; ADELMAN, J.; AFFOLDER, T. [et al.]. «CDF Collaboration, Measurement of the  $J/\psi$  meson and b-hadron production cross sections in  $p(\bar{p})$  over-bar

- collisions at root  $s=1960$  GeV». *Physical Review D*, 71, 032001. Citat 543 vegades.
- ARGYRIS, A.; SYVRIDIS, D.; LARGER, L. [et al.]. «Chaos-based communications at high bit rates using commercial fibre-optic links». *Nature*, 438, p. 343-346. Citat 539 vegades.
- ABAZAJIAN, K.; ADELMAN-MCCARTHY, J. K.; AGUEROS, M. A. [et al.]. «The third data release of the Sloan digital Sky Survey». *Astronomical Journal*, 129, 1755. Citat 507 vegades.
- NOJIRI, S.; ODINTSON, S. D.; TSUJIKAWA, S. «Properties of singularities in the (phantom) dark energy universe». *Physical Review D*, 71, 6, 063004. Citat 495 vegades.
- DANON, L.; DÍAZ-GUILERA, A.; DUCH, J. [et al.]. «Comparing community structure identification». *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, P09008. Citat 461 vegades.
- AGASHE, K.; CONTINO, R.; POMAROL, A. «The minimal composite Higgs model». *Nuclear Physics B*, 719, p. 165-187. Citat 420 vegades.
- DUCH, J.; ARENAS, A. «Community detection in complex networks using extremal optimization». *Physical Review E*, 72, 027104. Citat 414 vegades.
- COLLIN, D.; RITORT, F.; JARZYNSKI, C. [et al.]. «Verification of the Crooks fluctuation theorem and recovery of RNA folding free energies». *Nature*, 437, 7056, p. 231-234. Citat 385 vegades.
- ALIU, E.; ANDRINGA, S.; AOKI, S. [et al.]. «K2K Collaboration, Evidence for muon neutrino oscillation in an accelerator-based experiment». *Physical Review Letters*, 94, 081802. Citat 384 vegades.
- DA ROLD, L.; POMAROL, A. «Chiral symmetry breaking from five-dimensional spaces». *Nuclear Physics B*, 721, p. 79-97. Citat 381 vegades.
- MALOMED, B. A.; MIHALACHE, D.; WISE, F.; TORNER, L. «Spatiotemporal optical soliton». *Journal of Optics B*, 7, R53-R72. Citat 362 vegades.
- BUCHMULLER, W.; DI BARI, P.; PLUMACHER, M. «Leptogenesis for pedestrians». *Annals of Physics*, 315, p. 305-351. Citat 324 vegades.
- AUBERT, B.; BARATE, R.; BOUTIGNY, D. [et al.]. «BaBar Collaboration, Observation of a broad structure in the  $\pi^+\pi^-J/\psi$  mass spectrum around 4.26 GeV/c(2)». *Physical Review Letters*, 95, 142001. Citat 318 vegades.

- NOJIRI, S.; ODINTSOV, S. D. «Inhomogeneous equation of state of the universe: Phantom era, future singularity, and crossing the phantom barrier». *Physical Review D*, 72, 2, 023003. Citat 290 vegades.
- KRENKE, T.; ACET, M.; WASSERMANN, E. F. [et al.]. «Martensitic transitions and the nature of ferromagnetism in the austenitic and martensitic states of Ni-Mn-Sn alloys». *Physical Review B*, 72, 1, 014412. Citat 289 vegades.
- BUSTAMANTE, C.; LIPHARDT, J.; RITORT, F. «The nonequilibrium thermodynamics of small systems». *Physics Today*, 58, 7, p. 43-48. Citat 287 vegades.
- PAVÓN, D.; ZIMDAHL, W. «Holographic dark energy and cosmic coincidence». *Physics Letters B*, 628, p. 206-210. Citat 260 vegades.
- NOJIRI, S.; ODINTSOV, S. D.; SASAKI, M. «Gauss-Bonnet dark energy». *Physical Review D*, 71, 12, 2005. Citat 252 vegades.
- FAMAEEY, B.; JORISSEN, A.; LURI, X. [et al.]. «Local kinematics of K and M giants from CORAVEL/Hipparcos/Tycho-2 data - Revisiting the concept of superclusters». *Astronomy & Astrophysics*, 430, p. 165-186. Citat 237 vegades.
- AUBERT, B.; BARATE, R.; BOUTIGNY, D. [et al.]. «BABAR Collaboration, Measurement of double charmonium production in  $e^{+}e^{-}$  annihilations at  $\sqrt{s}=10.6$  GeV». *Physical Review D*, 72, 031101. Citat 236 vegades.
- ELIZALDE, E.; NOJIRI, S.; ODINTSOV, S. D. [et al.]. «Dark energy: Vacuum fluctuations, the effective phantom phase, and holography». *Physical Review D*, 71, 103504. Citat 233 vegades.
- SCARANI, V.; IBLISDIR, S.; GISIN, N. [et al.]. «Quantum cloning». *Reviews of Modern Physics*, 77, p. 1225-1256. Citat 224 vegades.
- DESYATNIKOV, A. S.; KIVSHAR, Y. S.; TORNER, L. «Optical vortices and vortex solitons». A: WOLF, E. (ed.). *Progress in Optics*, 47, p. 291-391. Citat 207 vegades.

ANY 2006

- ADELMAN-MCCARTHY, J. K.; AGUEROS, M. A.; ALLAM, S. S. [et al.]. «The Fourth Data Release of the Sloan Digital Sky Survey». *Astrophysical Journal Supplement Series*, 162, p. 38-48. Citat 767 vegades.

- BROWNLEE, D.; TSOU, P.; ALEON, J. [et al.]. «Research article - Comet 81P/Wild 2 under a microscope». *Science*, 314, p. 1711-1716. Citat 427 vegades.
- NOJIRI, S.; ODINTSOV, S. D.; SAMI, M. «Dark energy cosmology from higher-order, string-inspired gravity, and its reconstruction». *Physical Review D*, 74, 046004. Citat 411 vegades.
- AHN, M. H.; ALIU, E.; ANDRINGA, S. [et al.]. «K2K Collaboration, Measurement of neutrino oscillation by the K2K experiment». *Physical Review D*, 74, 072003. Citat 384 vegades.
- ARENAS, A.; DÍAZ-GUILERA, A.; PÉREZ-VICENTE, C. J. «Synchronization reveals topological scales in complex networks». *Physical Review Letters*, 96, 114102. Citat 288 vegades.
- CAPOZZIELLO, S.; NOJIRI, S.; ODINTSOV, S. D. [et al.]. «Cosmological viability of f(R)-gravity as an ideal fluid and its compatibility with a matter dominated phase». *Physics Letters B*, 639, p. 135-143. Citat 282 vegades.
- ABULENCIA, A.; ADELMAN, J.; AFFOLDER, T. [et al.]. «CDF Collaboration, Observation of B(s)(0)B(s)(0) oscillations». *Physical Review Letters*, 97, 242003. Citat 276 vegades.
- COPPIN, K.; CHAPIN, E. L.; MORTIER, A. M. J. [et al.]. «The SCUBA half-degree extragalactic survey - II. Submillimetre maps, catalogue and number counts». *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 372, 4, p. 1621-2006. Citat 273 vegades.
- AGASHE, K.; CONTINO, R.; DA ROLD, L. [et al.]. «A custodial symmetry for Zb(b)over-bar». *Physics Letters B*, 641, p. 62-66. Citat 272 vegades.
- ALBERT, J.; ALIU, E.; ANDERHUB, H. [et al.]. «Variable very-high-energy gamma-ray emission from the microquasar LS I +61 303». *Science*, 312, p. 1771-1773. Citat 267 vegades.
- NOJIRI, S.; ODINTSOV, S. D. «Unifying phantom inflation with late-time acceleration: scalar phantom-non-phantom transition model and generalized holographic dark energy». *General Relativity and Gravitation*, 38, p. 1285-1304. Citat 262 vegades.
- WEIGLEIN, G. [et al.]. «Physics interplay of the LHC and the ILC». *Physics Reports*, 426, p. 47-358. Citat 261 vegades.

KRENKE, T.; ACET, M.; WASSERMANN, E. F. [*et al.*]. «Ferromagnetism in the austenitic and martensitic states of Ni-Mn-In alloys». *Physical Review B*, 73. Citat 250 vegades.

AGUILAR SAAVEDRA, J. A. [*et al.*]. «Supersymmetry Parameter analysis: SPA convention and project». *European Physical Journal C*, 46, p. 43-60. Citat 208 vegades.

#### ANY 2007

NOJIRI, S.; ODINTSOV, S. D. «Introduction to modified gravity and gravitational alternative for dark energy, 42nd Winter School of Theoretical Physics on Current Mathematical Topics in Gravitation and Cosmology Location: Ladek Zdroj, Poland». *International Journal of Geometric Methods in Modern Physics*, 4, p. 115-145. Citat 946 vegades.

LEWENSTEIN, M.; SANPERA, A.; AHUFINGER, V. «Ultracold atomic gases in optical lattices: mimicking condensed matter physics and beyond». *Advances in Physics*, 56, p. 243-379. Citat 857 vegades.

ADELMAN-MCCARTHY, J. K.; AGUEROS, M. A.; ALLAM, S. S. [*et al.*]. «The Fifth Data Release of the Sloan Digital Sky Survey». *Astrophysical Journal Supplement Series*, 172, p. 634-644. Citat 482 vegades.

GAJEK, M.; BIBES, M.; FUSIL, S. [*et al.*]. «Tunnel junctions with multiferroic barriers». *Nature Materials*, 6, p. 296-302. Citat 406 vegades.

MOLINA-TERRIZA, G.; TORRES, J. P.; TORNER, L. «Twisted photons». *Nature Physics*, 3, p. 305-310. Citat 337 vegades.

SCHNEIDER, D. P.; HALL, P. B.; RICHARDS, G. T. [*et al.*]. «The Sloan digital sky survey quasar catalog. IV. Fifth data release». *Astronomical Journal*, 134, p. 102-117. Citat 307 vegades.

CUSCÓ, R.; ALARCÓN-LLADÓ, E.; IBÁÑEZ, J. [*et al.*]. «Temperature dependence of Raman scattering in ZnO». *Physical Review B*, 75, 165202. Citat 303 vegades.

ACÍN, A.; BRUNNER, N.; GISIN, N. [*et al.*]. «Device-independent security of quantum cryptography against collective attacks». *Physical Review Letters*, 98, 230501. Citat 291 vegades.

- LOSCHEN, C.; CARRASCO, J.; NEYMAN, K. M. [*et al.*]. «First-principles LDA plus U and GGA plus U study of cerium oxides: Dependence on the effective U parameter». *Physical Review B*, 75, 035115. Citat 239 vegades.
- GUTIÉRREZ, J.; LLORDÉS, A.; GÁZQUEZ, J. [*et al.*]. «Strong isotropic flux pinning in solution-derived YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-x</sub> nanocomposite superconductor films». *Nature Materials*, 6, p. 367-373. Citat 238 vegades.
- TAMINIAU, T. H.; MOERLAND, R. J.; SEGERINK, F. B. [*et al.*]. « $\lambda/4$  Resonance of an optical monopole antenna probed by single molecule fluorescence». *Nano Letters*, 7, p. 28-33. Citat 207 vegades.

## ANY 2008

- AUSLER, C.; DOSER, M.; ANTONELLI, M. [*et al.*]. «Review of particle physics». *Physics Letters B*, 667, 1. Citat 4.176 vegades.
- ADELMAN-MCCARTHY, J. K.; AGUEROS, M. A. [*et al.*]. «The Sixth Data Release of the Sloan Digital Sky Survey». *Astrophysical Journal Supplement Series*, 175, p. 297-313. Citat 871 vegades.
- ARENAS, A.; DÍAZ-GUILERA, A.; KURTHS, J. [*et al.*]. «Synchronization in complex networks». *Physics Reports*, 469, p. 93-153. Citat 805 vegades.
- GONZÁLEZ-GARCÍA, M. C.; MALTONI, M. «Phenomenology with massive neutrinos». *Physics Reports*, 460, p. 1-129. Citat 386 vegades.
- TAMINIAU, T. H.; STEFANI, F. D.; SEGERINK, F. B. [*et al.*]. «Optical antennas direct single-molecule emission». *Nature Photonics*, 2, p. 234-237. Citat 317 vegades.

## ANY 2009

- ABAZAJIAN, K.; ADELMAN-MCCARTHY, J. K.; AGUEROS, M. A. [*et al.*]. «The Seventh Data Release of the Sloan Digital Sky Survey». *Astrophysical Journal Supplement Series*, 182, p. 543-558. Citat 1.776 vegades.
- ATWOOD, W. B.; ABDO, A. A.; ACKERMANN, M. [*et al.*]. «The Large Area Telescope on the Fermi Gamma-ray Space Telescope Mission». *Astrophysical Journal*, 697, p. 1071-1102. Citat 959 vegades.



- ABDO, A. A.; ACKERMANN, M.; AJELLO, M. [*et al.*]. «Measurement of the Cosmic Ray  $e^{+}+e^{-}$  Spectrum from 20 GeV to 1 TeV with the Fermi Large Area Telescope». *Physical Review Letters*, 102, 181101. Citat 591 vegades.
- GUEHNE, O.; TOTH, G. «Entanglement detection». *Physics Reports*, 474, p. 1-75. Citat 375 vegades.
- ABDO, A. A.; ACKERMANN, M.; ARIMOTO, M. [*et al.*]. «Fermi LAT Collaboration; Fermi GBM Collaboration , Fermi Observations of High-Energy Gamma-Ray Emission from GRB 080916C». *Science*, 323, p. 1688-1693. Citat 341 vegades.
- ABDO, A. A.; ACKERMANN, M.; AJELLO, M. [*et al.*]. «Fermi LAT Collaboration, Fermi Large Area Telescope Bright Gamma-ray Source List». *Astrophysical Journal Supplement Series*, 183, 46. Citat 250 vegades.
- ABDO, A. A.; ACKERMANN, M.; AJELLO, M. [*et al.*]. «Bright active galactic nuclei source list from the first three months of the Fermi large area telescope all-sky survey». *Astrophysical Journal*, 700, p. 597-622. Citat 224 vegades.

### *Annex 3*

#### **Temes de recerca**

Abans de comentar les línies de recerca en física a Catalunya, presentem una breu panoràmica dels progressos més remarcables durant el període 2003-2009, cosa que contribueix a emmarcar les recerques dutes a terme en el nostre país i a jutjar el grau de dinamisme i d'adaptació dels nostres grups d'investigadors a les noves tendències i temes de recerca.

#### **3.1. REPÀS DELS PROGRESSOS DE FÍSICA EN EL MÓN**

En grans línies, els temes prioritaris en les perspectives de la física en la primera dècada del segle XXI han estat: desenvolupament de tecnologies quàntiques, creació de nous materials, comprensió de sistemes complexos, exploració de l'Univers, unificació de les forces i aplicació de la física a la biologia.

Pel que fa a la física quàntica, destaca l'interès per temes molt fonamentals referents a la comprensió bàsica de l'entrellaçament de funcions d'ona de sistemes en interacció o del col·lapse de la funció d'ona i la seva aplicació a qüestions de tractament de la informació, encriptació i teleportació, amb un grau de control cada vegada més gran. Pel que fa a l'exploració d'idees quàntiques en situacions límit de la matèria, destaca l'estudi molt detallat i des de moltes perspectives de la condensació de Bose-Einstein. Finalment, cal al·ludir a sistemes de baixa dimensionalitat, com punts quàntics, nanotúbuls o sistemes bidimensionals, amb aplicacions creixents a la nanoelectrònica.

L'exploració de l'Univers ha estat marcada per una àmplia collita de resultats del telescopi espacial *Hubble*, entre els quals destaca l'observació de molts sistemes planetaris en formació en estrelles relativament properes i l'observació de galàxies extremadament distants en procés de formació. L'observació de sistemes planetaris ha estat un dels objectius dels satèl·lits *COROT* (Convection, Rotation and Planetary Transits), llançat per l'ESA el 2006, en actiu fins al 2013, i *Kepler*, llançat per l'Administració Nacional d'Aeronàutica i de l'Espai (NASA) el 2009. La formació d'estrelles i sistemes planetaris ha estat l'objectiu de l'observatori espacial *Herschel*,

llançat el 2009. L'exploració detallada de les fluctuacions del fons de microones a partir de les dades subministrades pel satèl·lit *WMAP* (Sonda Wilkinson d'Anisotropia de Microones), llançat per la NASA el 2001, ha donat informacions més detallades sobre l'edat, el contingut i la geometria de l'Univers, i sobre les oscil·lacions acústiques bariòniques. L'ha succeït, des del 2009, el satèl·lit *Planck* de l'ESA, que ha començat a proporcionar dades molt detallades el 2012.

L'observació de l'Univers s'ha eixamplat a nous dominis de longituds d'ona, com per exemple els raigs X i els raigs gamma, per a l'estudi dels darrers dels quals fou inaugurat el 2003 l'observatori MAGIC a les illes Canàries i el 2008 fou llançat per la NASA el satèl·lit *Fermi*: aquests sistemes permeten observar els fenòmens més violents de l'Univers, com nuclis actius de galàxies, col·lisions d'estrelles de neutrons o alguns altres mecanismes, encara poc coneguts, d'acceleració de partícules. Els estudis sobre matèria fosca i energia fosca han estat altres protagonistes de la física d'aquest període.

La distribució espacial de matèria fosca i la seva correlació amb les galàxies de matèria visible han estat observades pel *Hubble*, la Sloan Digital Sky Survey (del 2008 al 2011) o la Dark Matter Survey, o, a escala més puntual, l'observació més o menys directa dels efectes de la matèria fosca sobre una col·lisió de galàxies, el 2006.

En un marc més clàssic, el de la relativitat general einsteiniana, segueix l'interès per la detecció de les ones gravitatòries, amb estudis com els del LIGO (Observatori d'Ones Gravitatòries per Interferometria Làser), entre el 2002 i el 2011 (amb una reactivació prevista per al 2014), i projectes en curs com el LISA (Antena Espacial d'Interferometria Làser), el desenvolupament del qual ha hagut de ser posposat a causa de dificultats econòmiques. Ara com ara, no hi evidències fermes d'observacions. D'altra banda, el satèl·lit *Gravity Probe B*, enlairat el 2004, però amb uns petits defectes que n'han dificultat molt la tasca, ha verificat algunes prediccions subtils de la relativitat general respecte d'efectes geodèsics i d'arrossegament de marcs d'observació en sistemes ràpidament rotatoris.

En l'àrea de les partícules elementals i les altes energies, destaca l'observació de les oscil·lacions de neutrins atmosfèrics, és a dir, del pas de neutrins electrònics a neutrins muònics i tauònics. Aquest fenomen permet fer estimacions de les masses dels neutrins. Pel que fa a les observacions de neutrins d'origen còsmic, destaca la instal·lació i posada en marxa de l'Observatori de Neutrins IceCube, ben a prop del pol Sud, els primers resultats del qual es comencen a tenir el 2011. Pel que fa a les grans instal·lacions, destaca la inauguració de l'LHC del CERN, inaugurat el setembre del

2008, però amb una posterior aturada d'uns quants mesos a causa d'una avaria greu en el sistema de refrigeració amb heli líquid. El novembre del 2009 va ser posat novament en marxa, ara amb èxit, i el juliol del 2012 s'hi va anunciar la probable descoberta del bosó de Higgs, confirmada un any després. Entre altres estudis en partícules elementals, destaquen els experiments sobre violació de la simetria CP (conjugació de càrrega, paritat) en partícules amb quarks pesants, per esbrinar l'origen de la ruptura de simetria entre matèria i antimatèria, o els estudis sobre la transició de fase de matèria nuclear a plasma de quarks i gluons en col·lisions ultrarelativistes de ions pesants; l'obtenció del plasma esmentat (anunciada provisionalment al CERN el 2000) va ser confirmada (no al cent per cent, però sí amb considerable probabilitat) el 2005 a Brookhaven. En la recerca de la unificació de les interaccions, s'ha aprofundit en l'estudi de les diverses dualitats que en la teoria M relacionen les diferents teories de supercordes.

L'optoelectrònica i la fotònica han estat protagonistes en el camp de l'òptica. Entre altres progressos, podem esmentar el fort avenç dels làsers de semiconductors, la utilització de làsers per al refredament de la matèria fins a temperatures ultrabaixes, l'òptica ultraràpida i la biofotònica. S'han seguit desenvolupant fibres òptiques dopades convenientment per amplificar el senyal que transporten i tècniques d'imatgeria mèdica i microscòpia d'alta resolució.

En l'estudi de la matèria, han seguit els estudis en magnetisme i superconductors i l'interès per la nanotecnologia. Els sistemes que més novetat han suposat, però, han estat els nanotubs de carboni i el grafè, que, juntament amb els ful·lerens, han posat de manifest la riquesa sorprenent de la fisicoquímica del carboni, amb propietats tèrmiques, elèctriques i mecàniques de gran interès. Amb aquests materials, s'està aconseguint fabricar dispositius a escales nanomètriques amb prestacions molt prometedores. També s'ha treballat en la combinació de macromolècules orgàniques i nanopartícules per potenciar propietats relacionades amb la conversió de l'energia de la llum en electricitat (cèl·lules fotovoltaïques, fotosíntesi artificial). Aconseguir bateries i acumuladors de corrent capaços d'emmagatzemar molta energia i de carregar-se amb relativa rapidesa és un objectiu rellevant per al desenvolupament de cotxes elèctrics, o per a la potenciació d'energies renovables.

Un tema que ha atret força atenció, en els aspectes òptics i electromagnètics dels materials, ha estat el desenvolupament de metamaterials amb índex de refracció negatiu, cap al 2006. La possibilitat de desenvolupar recobriments que atorguin invisibilitat als objectes ha cridat molt l'atenció del gran públic. Des de llavors, l'estudi dels

metamaterials i les seves sorprenents propietats i aplicacions en camps diversos, com ara la producció i el control de microones, ha estat molt notable.

El novembre del 2006 va ser signat el protocol definitiu del projecte internacional ITER (Reactor Experimental Termonuclear Internacional) sobre fusió nuclear, i a finals del 2007 van començar les obres de construcció de la futura central, que sembla que no estarà acabada i operativa fins al 2019, a causa de retallades pressupostàries que han endarrerit el projecte.

### 3.2. LÍNIES DE RECERCA EN FÍSICA A CATALUNYA

A continuació descrivim l'evolució de les línies de recerca en física a Catalunya en aquest període. La recerca ha anat desenvolupant-se en funció de les descobertes internacionals, de les noves possibilitats instrumentals, de les relacions internacionals amb altres grups, dels instituts i d'altres factors, amb un gran dinamisme dels diversos grups.

#### 3.2.1. *Física de la matèria condensada. Física de materials*

(UNESCO 2211; PACS 60, 70 i 81)

La denominació *física de la matèria condensada* designa l'estudi dels materials, que també pot ésser considerat des d'altres classificacions, com ara la física aplicada, la física de l'estat sòlid, la química de materials, la química orgànica o l'enginyeria de materials. És un camp amb un elevat nombre d'investigadors i de grups (taules 2.6a i 2.6b), que es van consolidant i ampliant considerablement. El magnetisme i les seves aplicacions és el tema que capta l'atenció de més investigadors, seguit de la superconductivitat i de l'estudi termodinàmic i estadístic de transicions de fase.

A la UB, els grups que treballen en ciència de materials són en el Departament de Física Aplicada i Òptica (Grup de Capes Fines i Enginyeria de Superfícies, que treballa en biosensors, energia solar i espintrònica, i Grup de Física i Enginyeria de Materials Amorfs i Nanoestructurats [FEMAN]), d'Estructura i Constituents de la Matèria (Grup de Transicions de Fase i Física de Materials, que treballa en transicions de fase i propietats magnètiques i de transport; Grup de Física Estadística i No Lineal; Grup de Física de Sistemes Complexos, i Grup de Magnetisme, que treballa en efecte

túnel ressonant, partícules i clústers nanoscòpics i nanotecnologia per a bits magnètics per a computació quàntica) i d'Electrònica (Grup d'Enginyeria i Materials Electrònics, que treballa en síntesi de materials nanoestructurats, semiconductors i ceràmics, caracterització de dispositius per tècniques microscòpiques, fabricació de nanosensors i dispositius nanoelectrònics).

A la UPC, en el Departament de Física Aplicada s'estudien aliatges amb memòria de forma i les seves aplicacions a sistemes intel·ligents, especialment per amortir els efectes dels terratrèmols en edificis i infraestructures diverses, les oscil·lacions de ponts sostinguts per cables i l'acció del vent sobre molins generadors d'electricitat. Al mateix departament hi ha un grup de caracterització de materials conductors i dielèctrics, amb interès especial pels materials piezoelèctrics per a dispositius de potència i els conductors elèctrics, amb la incorporació de nanotubs de carboni, i un altre grup que estudia les característiques físiques dels materials emprats en l'art (pigments de pintures antigues i actuals, ceràmiques antigues). En el Departament de Física i Enginyeria Nuclear, s'hi estudien els aliatges moleculars, les transicions de fase, les propietats elèctriques dels materials dielèctrics (a Terrassa) i els materials i les tecnologies d'anàlisi per a la construcció i el medi ambient. Hi ha també un Laboratori de Caracterització de Materials que treballa en cristalls líquids, fases semidesordenades, aliatges moleculars, ful·lerè i desenvolupament de programari per a l'estudi de processos en materials. Al mateix departament, el Grup de Simulació per Ordinador en Matèria Condensada estudia el moviment molecular en fases condensades, així com els líquids quàntics (el tractarem més extensament en l'apartat de física estadística i no lineal). També a la UPC, hi ha un Departament de Ciència dels Materials i Enginyeria Metal·lúrgica, que treballa, entre altres temes, en el desenvolupament de biomaterials, però no l'hem inclòs en aquest treball perquè el considerem més propi del report «Enginyeria industrial».

En el Departament de Física de la UAB, dos grups es dediquen a la física dels materials. L'un estudia propietats magnètiques en materials constituïts per làmines fines paral·leles i vidres i materials amorfs en general, i l'altre, la termodinàmica dels nanosistemes, en especial la nanocalorimetria i la conducció tèrmica i elèctrica en nanosistemes de materials termoelèctrics.

A l'ICMAB, del CSIC, el Grup de Materials Superconductors i Nanoestructuració a Gran Escala treballa en el creixement de cintes i cables superconductors nanoestructurats, i el Grup de Magnetisme, en nous òxids magnètics,

espintrònica i propietats optoelectròniques de materials nanoestructurats. El Laboratori de Cristal·lografia i Difracció de Raigs X treballa en noves metodologies de resolució i refinament d'estructures cristal·lines, cristal·lografia de superfícies, nanotubs de carboni, tecnologia i aplicacions d'espectroscòpia Mössbauer i compostos polimorfs per a la indústria farmacèutica; el Grup d'Estructura Electrònica investiga en simulació per ordinador de nanoestructures i propietats electròniques i magnètiques; el Grup de Creixement Cristal·lí prepara capes primes de materials magnètics i conductors iònics, i el Grup de Propietats Òptiques investiga les propietats òptiques de semiconductors, materials orgànics i d'altres, mitjançant espectroscòpia Raman i el·lipsometria, així com el creixement de punts quàntics.

A la UdG estudien compòsits avançats, nanopartícules ceràmiques i superconductores, caracterització tèrmica de materials i modelització d'injecció de plàstics, mentre que a la URV alguns investigadors estudien dissolucions polimèriques i el Grup de Física i Cristal·lografia de Materials treballa en l'obtenció i caracterització de materials amb aplicacions en làsers d'estat sòlid, en guies d'ona i en òptica no lineal.

### **3.2.2. *Altes energies***

Considerem dins d'aquesta secció les recerques en partícules elementals i en gravitació i cosmologia. La proporció d'investigadors en aquestes dues àrees és del 85 % per a partícules i del 15 % per a gravitació.

### **3.2.3. *Partícules i camps***

(UNESCO 2212 i 2208; PACS 10)

En el Departament de Física de la UAB hi ha els grups de Fenomenologia de Partícules Elementals i de Partícules i Astropartícules, que formen part del Grup de Física Teòrica i de l'IFAE: treballen en física del model estàndard i més enllà del model estàndard, estudiant prediccions comparables a l'LHC (és a dir, de l'ordre de 10 TeV), i en temes de partícules en un context cosmològic, especialment en l'Univers primitiu (leptogènesi, bariogènesi, bosó de Higgs, camp de Higgs).

A la UB, en el Departament d'Estructura i Constituents de la Matèria i en el Departament de Física Fonamental es treballa en introducció al model estàndard, teoria de cordes, fenomenologia de partícules elementals, en el model estàndard i més enllà i en física experimental (participen a l'experiment LHCb del CERN i a l'experiment BaBar de l'SLAC National Accelerator Laboratory de Califòrnia sobre violació de la simetria CP i ruptura de simetria entre matèria i antimatèria). Investigadors de l'ICCUB participen en l'estudi de la fenomenologia de les diverses ruptures espontànies de simetries fonamentals de la física.

L'IFAE té un grup experimental; participa en els experiments ATLAS (CERN), amb la construcció de calorímetres i imants, en col·laboració amb empreses d'enginyeria; en l'experiment CDF (Detector de Col·lisions del Fermilab) de col·lisions protó-antiprotó al Fermi National Accelerator Laboratory de Chicago (EUA); en recerques en astronomia i astrofísica de raigs gamma, com ara el disseny i la preparació de matrius de telescopis Txerenkov (CTA) i treballs al MAGIC (situat a l'observatori del Roque de los Muchachos, a l'illa canària de La Palma, posat en marxa el 2003 per a la detecció de raigs còsmics i astropartícules de gran energia), i en treballs en astropartícules i física de neutrins, al T2K del Japó i al Laboratori Subterrani de Canfranc. Es treballa també en dos grans projectes de cosmologia: Dark Energy Survey (DES) i Physics of the Accelerating Universe (PAU, col·laboració espanyola coordinada per l'IFAE).

A la UB, un grup experimental participa en els experiments LHCb (CERN) i BaBar (SLAC), i a la UPC un grup participa en l'experiment TOF (CERN). També podrien ésser considerats en aquesta línia alguns estudis de col·lisions nuclears de ions pesants, que incloem en l'apartat de física nuclear.

### **3.2.4. Física matemàtica**

Vam comentar en el report anterior que si bé la física matemàtica, tradicionalment, havia estat dedicada a problemes relacionats amb les altes energies, el camp s'havia anat diversificant.

Actualment, es desenvolupa especialment a l'ICE-CSIC i en els departaments d'Estructura i Constituents de la Matèria de la UB i de Física i Enginyeria Nuclear i de Física Aplicada de la UPC. Destaquen els estudis sobre la funció zeta de Riemann i



altres funcions especials (amb un llibre molt citat sobre el tema), a l'IEEC; transformacions de contrast, superfícies aleatòries, teories quàntiques topològiques i simetries d'equacions diferencials, a la UB, i vidres de *spin*, difusió anòmala, caos, teoria de la informació i simulació de sistemes físics, a la UPC.

Durant aquest període, l'interès pels problemes de computació quàntica, més propers a la fonamentació de la teoria quàntica, s'ha consolidat administrativament amb grups reconeguts de recerca a la UB i la UAB, i n'ha augmentat la visibilitat.

### 3.2.5. *Gravitació i cosmologia*

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

La recerca en gravitació i relativitat general és minoritària, però està força ben representada en diverses línies capdavanteres, com les ones gravitatòries i teories de gravitació en universos membrana, i en altres temes més clàssics. A l'ICE (CSIC-IEEC), el Grup d'Astronomia d'Ones Gravitatòries treballa en la detecció d'ones gravitatòries, amb participació en el projecte internacional LISA Pathfinder, que es basarà en la distància relativa entre dues naus espacials. Pel que fa a la cosmologia, va atraient un nombre creixent d'investigadors, i cal tenir en compte la participació de membres del Grup d'Astronomia i Astrofísica i de l'ICCUB: treballen en l'estudi de supernoves distants, que el 1998 va posar de manifest l'expansió accelerada de l'Univers, i en temes de formació, evolució i distribució de galàxies. De fet, actualment es fa difícil separar nítidament aquests estudis dels d'astrofísica i astronomia, que esmentem a continuació.

A l'IEEC, alguns investigadors treballen en models d'energia fosca i gravetat modificada; un altre grup, en els efectes de la microgravetat sobre els fluids bifàsics (líquids amb bombolles gasoses, principalment) i sobre el creixement de cristalls.

### 3.2.6. *Astronomia i astrofísica*

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

Bona part dels investigadors en aquesta àrea, de la UB, la UAB, la UPC i el CSIC, també són membres de l'IEEC.

A la UB (en grups que formen part de l'ICCUB) es treballa en cosmologia (creixement i estructura interna d'halos de matèria fosca, energia fosca i expansió accelerada de l'Univers mitjançant observació de supernoves distants), nucleosíntesi primordial, formació i evolució de galàxies i els seus agrupaments, supernoves termonuclears (nucleosíntesi explosiva), medi interestel·lar (núvols moleculars, formació estel·lar), astronomia galàctica (models cinemàtics de la galàxia, observació i modelització de microquàsars), estudis de fotosfera solar i relació Sol-Terra, feixos de radiació prop de sistemes massius, etcètera.

A la UPC, en el Departament de Física Aplicada, el Grup d'Astronomia i Astrofísica estudia l'evolució estel·lar, emprant la simulació numèrica, amb modelització dels fenòmens hidrodinàmics, nuclears i electromagnètics, amb interès especial per la formació d'objectes compactes i per la dinàmica dels finals catastròfics.

A l'ICE-CSIC es treballa en formació d'estructures còsmiques de gran escala, física estel·lar (formació d'estrelles; observació i identificació d'estrelles de diversos tipus; nucleosíntesi en estrelles de carboni; models de sistemes planetaris, i formació, refredament i estructura de nanes blanques) i noves clàssiques (emissió de raigs X i raigs gamma en noves, màsers d'aigua a Cefeú, condrites carbonàcies i cosmoquímica orgànica).

Els estudis esmentats en els dos paràgrafs anteriors són complementats amb investigacions sobre física fonamental (constants fonamentals, universos membrana), microgravetat (efectes en fluids i en ciència de materials), geodèsia espacial i cosmoquímica orgànica.

Hi ha relacions assídues amb grans instal·lacions internacionals (observatoris astronòmics de La Palma, Calar Alto i l'Observatori Europeu del Sud de Xile, i es participa en el disseny de nous telescopis a l'Antàrtida) i amb missions espacials internacionals (amb contribucions a projectes de l'ESA, en especial l'International Gamma-Ray Astrophysics Laboratory [*INTEGRAL*]; el telescopi *MAGIC*; l'interferòmetre global astromètric *Gaia*; el satèl·lit *Planck Surveyor* per a la determinació d'anisotropies de la radiació de fons, i els projectes PAU i DES).

Els temes tractats a l'Observatori de l'Ebre (de la URL i relacionat amb projectes del CSIC) són el geomagnetisme (variacions del camp geomagnètic, variacions magnètiques d'origen extern, caracterització magnètica de l'Antàrtida), la ionosfera (forçament extern i intern, modelatge de paràmetres), la sismologia (atenuació

sísmica a partir d'ones de coda, tomografia sísmica d'estructures terrestres), l'activitat solar i el clima.

### 3.2.7. *Termodinàmica i física estadística i no lineal*

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

Aquesta àrea és molt diversa i ha tingut un creixement ràpid en els darrers quinze anys. Aquest creixement és explicable, en bona mesura, pel fet que hem incorporat en aquest grup les recerques en física no lineal, seguint la tendència marcada per la Societat Europea de Física, que agrupa la física estadística amb la no lineal. Aquí, a més, hi hem sumat la termodinàmica, molt propera en els seus interessos a la física estadística. Com ja hem comentat en l'apartat 2.5, alguns dels investigadors en termodinàmica haurien pogut ésser inclosos en ciència de materials, una frontera sempre activa i ambigua pel que fa a l'atribució dels investigadors. Els temes predominants han estat els fenòmens de no-equilibri, les transicions de fase i la física no lineal. A la UB, en el Departament de Física Fonamental, el Grup de Física Estadística treballa en moviment brownià anòmal, soroll no lineal i ressonància estocàstica, termodinàmica mesoscòpica i sistemes amb criticalitat autoorganitzada (com xarxes neuronals, xarxes tròfiques i de comunicacions, piles d'arròs i volcans); també cal referir-se a l'aplicació de la física no lineal a l'anàlisi econòmica, o a les noves branques de l'anomenada *econofísica*. En el Departament d'Estructura i Constituents de la Matèria, el Grup de Transicions de Fase estudia des del punt de vista teòric i experimental la dinàmica de les transicions de fase, la cinètica dels processos d'ordenació, la relaxació estructural en sistemes amorfs i la formació de patrons estructurals i la interacció entre càrregues i matèria. En el mateix departament, el Grup de Processos Estocàstics investiga les fluctuacions en sistemes extensos fora de l'equilibri.

A la UAB, el Grup de Física Estadística estudia la termodinàmica estesa fora de l'equilibri, els aspectes termodinàmics de models cosmològics, el transport de calor i electricitat en nanosistemes i els desenvolupaments en fonònica i la modelització matemàtica de moviments en sistemes biològics a diverses escales (virus i bacteris en cultius, propagació d'epidèmies, moviments de cerca d'aliments i migracions d'animals).

A la UPC, en el Departament de Física Aplicada, el Grup de Transicions de Fase, Polimorfisme i Metaestabilitat treballa en nanocalorimetria i transicions de fase, i el Grup de Turbulència, Fluctuacions i Difusió estudia la formació de patrons, les fluctuacions en sistemes extensos, la dinàmica de les reaccions químiques i la propagació de fronts. El Grup de Física No Lineal i Sistemes Fora de l'Equilibri estudia l'autoorganització en sistemes complexos (sistemes biofísics, dispositius nanomètrics), temes de ciència de materials, l'acústica arquitectònica i mediambiental i l'eficiència energètica en edificis. En el Departament de Física i Enginyeria Nuclear de la UPC, el Grup de Simulació per Ordinador en Matèria Condensada analitza el comportament atòmic de la matèria condensada (dissolucions iòniques, líquids iònics, moleculars i quàntics, en un ampli ventall de situacions), i un altre grup treballa en estadística de sistemes complexos i xarxes (criticalitat autoorganitzada, transport i correlacions en xarxes complexes, sincronització en models extensos i simulació de sistemes microbians d'interès biològic); a Terrassa treballen en dinàmica no lineal en sistemes fotònics i biològics. Alguns investigadors del Departament de Química Física de la UB estudien la dinàmica no lineal, la propagació d'ones en medis excitables i els fronts de propagació amb fluctuacions.

Per arrodonir la perspectiva dels estudis en termodinàmica, caldria esmentar recerques més tecnològiques referides a màquines tèrmiques, bombes de calor i cicles de refrigeració, tant a la UPC com a la URV, que no incloem en aquest report perquè considerem que estan bàsicament interessades en problemes d'enginyeria, tot i que no menystenen qüestions d'interès fonamental.

### 3.2.8. Òptica

(UNESCO 2209; PACS 42 i 78)

Igual que la termodinàmica i la física estadística, l'òptica ha estat una àrea de recerca amb una capacitat elevada de creixement. Làsers, òptica no lineal, fotònica, reconeixement d'imatges i fibres òptiques són els temes predominants en la recerca del conjunt de grups. La recerca en òptica s'ha anat consolidant, té relacions amb empreses i ha estat molt potenciada, indubtablement, per l'ICFO, fundat el 2002. A la UPC, a Terrassa, en el Departament de Física i Enginyeria Nuclear, el Grup d'Òptica no Lineal i Làsers investiga la generació de fenòmens no lineals en cristalls fotònics i

microcavitats, així com la dinàmica temporal i espaciotemporal dels làsers (làsers de semiconductor i de medi amplificador atòmic, solitons espacials, sincronització d'oscil·ladors caòtics). També a Terrassa, en el Departament d'Òptica i Optometria, el Grup d'Òptica Aplicada treballa en enginyeria òptica (sensors, instruments i sistemes), tecnologia de sistemes làser, òptica fisiològica i processament d'imatges. D'altra banda, al Campus Nord, en el Departament de Teoria del Senyal i Comunicacions, hi ha un grup de fotònica amb interès pels solitons en fibres òptiques, i altres grups que estudien sistemes òptics de seguretat, la inversió lidar i l'atmosfera.

En el Departament de Física de la UAB, el Grup d'Òptica estudia la biestabilitat òptica, els moduladors òptics de fase, els apoditzadors d'amplitud, el reconeixement de formes en moduladors òptics espacials i els làsers sense inversió, i recentment ha iniciat la recerca en el camp de l'òptica atòmica i quàntica.

A la UB, el Grup d'Informació Quàntica treballa en les relacions entre òptica quàntica i teoria de la informació. En el Departament de Física Aplicada i Òptica de la UB, hi ha els següents grups i temes d'estudi: Grup de Capes Fines i Enginyeria de Superfícies (processament amb làser i aplicacions biomèdiques, recobriments durs), Grup d'Energia Solar (desenvolupament de materials i dispositius fotovoltaics, estratègies d'eficiència energètica en edificis), Grup d'Estructures en Capa Fina per a la Spintrònica (GECFE) (preparació i caracterització de capes fines d'òxids mitjançant dipòsit amb làser polsat amb propietats funcionals, estructures i dispositius en capa fina per a les aplicacions en electrònica de *spin*, dispositius sintonitzables en alta freqüència basats en capes fines de materials ferroelèctrics i de materials superconductors d'alta temperatura crítica), FEMAN (producció i caracterització de materials amorfs i subcristal·lins en capa fina, en pols nanomètrica i capes nanoestructurades resultants de l'aplicació de tècniques de dipòsit en buit), Grup d'Enginyeria de Fronts d'Ona (codificació del front d'ona, propagació de feixos de llum altament focalitzats no paraxials, recerca en educació en òptica) i Optical Trapping Lab - Grup de Biofotònica (BiOPT) (pinces òptiques hologràfiques, manipulació i mesura de forces, estudi de processos biològics en cèl·lules vives).

A l'ICFO s'investiga un ampli ventall de temes de fotònica: nanofotònica, nanooptoelectrònica, nanofotònica molecular, fotònica quàntica amb àtoms i sòlids, fotònica nanoquàntica, nanoòptica plasmònica, fenòmens òptics no lineals, pinces òptiques, optoelectrònica, enginyeria quàntica de la llum, informació quàntica, gasos quàntics ultrafreds, imatgeria avançada de fluorescència i biofísica, fotovoltaica

orgànica nanoestructurada, biofotònica de molècules individuals, oscil·ladors òptics paramètrics i òptica ultraràpida.

### **3.2.9. *Electrònica***

(UNESCO 2203; PACS 41 i 72)

Com que hi ha un report dedicat a la tecnologia electrònica («Tecnologies de la informació i de les comunicacions»), aquí no ressenyem tota l'activitat en aquest camp. Així, no hem inclòs ni l'IMB del CSIC, ni diversos grups d'enginyeria electrònica de la UPC, la UB i l'Escola d'Enginyeria (ETSE) de la UAB.

A la UB, en el Departament de Física Aplicada i Òptica, un grup treballa en capes fines de silici, amb aplicacions a plaques fotovoltaïques, i en el Departament d'Electrònica, hi ha grups de Bioelectrònica i Nanobioenginyeria (SIC-BIO), Sistemes d'Instrumentació i Comunicacions (SIC), Processat de Senyal Intel·ligent per Sistemes Sensors en Bioenginyeria, Radiofreqüència (GRAF), Materials Electrònics i Energia (M-2E) i Micronanotecnologies i Nanoscòpies per a Dispositius Electrònics i Fotònics (MIND). Participen en el Centre d'Enginyeria de Microsistemes per a Instrumentació i Control (CEMIC) i el Centre de Recerca en Bioelectrònica i Nanobiociència (CBEN) de la UB.

A la UPC, un grup del Departament de Física Aplicada explora el comportament dels transductors piezoelèctrics. A l'ETSE de la UAB, els grups més afins a la física pròpiament dita treballen en el transport en sistemes nanomètrics, en els dispositius quàntics i les aplicacions a microones, en la fiabilitat dels dispositius electrònics i, de manera una mica més aplicada, en circuits i sistemes.

### **3.2.10. *Mecànica de fluids***

(UNESCO 2204; PACS 47)

En el Departament d'Estructura i Constituents de la Matèria de la UB, alguns investigadors fan treballs experimentals sobre inestabilitats hidrodinàmiques i estructures espacials en interfícies líquid-gas.

En el Departament de Física Aplicada de la UPC, el Grup de Dinàmica No Lineal de Fluids estudia la transició a la turbulència, la dinàmica no lineal d'ones i la formació d'estructures dissipatives, amb interès especial pels sistemes geofísics (oceanografia, dinàmica atmosfèrica, dinàmica mediambiental).

En el Departament de Física i Enginyeria Nuclear de la UPC s'estudia la miscibilitat de mesofases desordenades; en el Departament de Química Física i Inorgànica de la URV alguns investigadors treballen en turbulència, i en el Grup de Física Estadística de la UB es treballa en alguns problemes relacionats amb els fluids, com la viscoelasticitat i els ferrofluids. A la UPC hi ha un Departament de Mecànica de Fluids, dedicat a la fluïdotècnia (turbomàquines, sistemes de control de potència en circuits oleohidràulics i pneumàtics), que no hem inclòs en aquest treball ja que és més tècnic.

### **3.2.11. Física atòmica, molecular i nuclear**

(UNESCO 2207 i 2208; PACS 21 i 24)

La física atòmica i la molecular pròpiament dites estan usualment més desenvolupades a les facultats de química que no pas a les de física; però un cert nombre d'investigadors en òptica també estan centrats en les propietats físiques d'àtoms i molècules. Són, en canvi, típicament físics els temes relacionats amb la física nuclear: física nuclear bàsica, enginyeria de reaccions nuclears i radioactivitat ambiental.

En el Departament d'Estructura i Constituents de la Matèria de la UB, el Grup de Física Atòmica i Nuclear treballa en física nuclear i hadrònica (nous elements superpesants, teories efectives per a la interacció barió-barió i mesó-barió, equació d'estat de la matèria nuclear densa en estrelles de neutrons i en col·lisions de ions pesants), física nanoscòpica (gotes mesoscòpiques de líquids quàntics, punts quàntics en heteroestructures semiconductoras, condensats de Bose-Einstein), física de radiacions i teoria de fenòmens quàntics en sòlids.

A la UPC, el Departament de Física i Enginyeria Nuclear estudia el moviment molecular en fases condensades i els líquids quàntics; d'altra banda, treballa en temes de fusió nuclear i control de reactors nuclears, i analitza experiments del CERN. L'INTE estudia la radiació ionitzant d'origen natural o artificial, les seves aplicacions, els riscos i l'impacte ambiental.

A la UAB, el Grup de Física de Radiacions estudia aspectes de dosimetria de radiacions i de radioactivitat ambiental.

### 3.2.12. *Biofísica*

(UNESCO 2406; PACS 87)

La biofísica continua essent un camp en creixement, arrossegada en part pel gran impuls de la biologia molecular; la neurobiologia i, en particular, els seus models computacionals, i la biomedicina. Un nombre creixent d'investigadors d'altres àrees es va incorporant a temes relacionats amb problemes biològics o mèdics. Hi ha un interès creixent per l'estudi de problemes biofísics per part de grups de matèria condensada, física estadística, òptica, nanotecnologia, etcètera. En el Departament de Física Fonamental de la UB, s'hi estudien les propietats elàstiques i elèctriques de l'àcid desoxiribonucleic (DNA), el plegament de proteïnes, els motors moleculars i la microreologia de cèl·lules vives; en el Departament d'Estructura i Constituents de la Matèria de la UB es coordina la participació catalana en el programa europeu MAESTRO («Methods and advanced equipments for simulation and treatment in oncology»); en el Grup de Física Estadística de la UAB, s'hi estudia la propagació d'epidèmies i d'espècies biològiques, la simulació de propietats de macromolècules, els canals iònics i les membranes biològiques (en col·laboració amb l'ICMAB). A la UPC, en el Departament de Física Aplicada un grup estudia models físics dels éssers vius, i en el Departament de Física i Enginyeria Nuclear es fan estudis de dinàmica no lineal en sistemes biològics.

A la UB, la Unitat de Biofísica del Departament de Ciències Fisiològiques II treballa en bioenergètica cel·lular (metabolisme en models d'apoptosi, metabolisme de l'hepatòcit de rata) i en l'anàlisi de senyals i d'imatges biomèdics (modelització de sistemes fisiològics, processament de seqüències dinàmiques d'imatges gammagràfiques, estudi de la funció renal). La Unitat de Biofísica i Bioenginyeria del Departament de Ciències Fisiològiques I treballa en mecànica respiratòria, i més recentment ha impulsat la línia de la nanomecànica cel·lular i molecular i la producció d'imatges mèdiques amb tomografia d'emissió de fotons. Forma part del CBEN-UB, juntament amb el Departament d'Electrònica de la UB (del qual ja hem ressenyat la recerca en bioelectrònica i nanobioenginyeria).



A la UAB, la Unitat de Biofísica de la Facultat de Medicina treballa en l'estructura i la funció de detectors i transportadors en membranes, i en el plegament de proteïnes i diverses patologies relacionades amb el seu mal funcionament. Per la seva banda, a l'IFAE, com a aplicació dels progressos en sensors de radiació, han desenvolupat noves tècniques en imatgeria mèdica, que han dut a diverses patents i una empresa derivada

### **3.2.13. Física de l'atmosfera**

(UNESCO 2501 i 2509; PACS 86 i 92)

El grup més gran està format per investigadors de la UB (Departament d'Astronomia i Meteorologia). Els estudis realitzats per aquest grup combinen dades de satèl·lits amb models de predicció de dinàmica atmosfèrica en la mesoescala, que incorporen les característiques orogràfiques i micrometeorològiques del paisatge, amb una atenció especial a la nostra zona mediterrània (en particular, a les tempestes convectives de gran intensitat que produeixen grans riuades, i que en són típiques), la propagació de contaminants atmosfèrics pel vent i l'anàlisi de sèries meteorològiques de xarxes, amb interès pels estudis de radar meteorològic. A l'ICE-CSIC es treballa en l'ús òptim del GPS per a mesures de la humitat i en la *MetOp* (primera plataforma polar del nou sistema europeu de predicció meteorològica).

A l'Observatori de l'Ebre, la secció de meteorologia estudia les relacions entre el clima i l'activitat solar, a més de les activitats observacionals. A la UPC, en els departaments de Física Aplicada i de Física i Enginyeria Nuclear, alguns investigadors estudien el canvi climàtic i el medi ambient, i els sistemes espacials i la percepció remota, i a la UdG, la meteorologia i la radiació solar, l'avaluació d'aerosols atmosfèrics, la dispersió de contaminants i l'avaluació de la coberta de núvols.

### **3.2.14. Geofísica**

(UNESCO 2507; PACS 91)

Aquesta branca té una tradició llarga en el nostre país, sobretot pel que fa als estudis observacionals de sismologia (Observatori Fabra) i dels acoblaments entre l'activitat solar i

la ionosfera terrestre (Observatori de l'Ebre). A la UB, en el Departament de Geodinàmica i Geofísica de la Facultat de Geologia, les línies de recerca són: estudis de propietats físiques de la litosfera (a partir de mètodes electromagnètics, gravimètrics, sísmics i magnètics), tant en zones continentals com oceàniques; aplicació de mètodes GPS per a la quantificació de deformacions corticals, i sismologia aplicada a l'estudi de les propietats de la dinàmica d'allaus de neu i la seva detecció. En el Departament d'Astronomia i Meteorologia s'estudia l'origen i l'ocurrència de terratrèmols, les ressonàncies d'estructures i l'activitat microsísmica.

El Grup de Modelització Geofísica i Geoquímica de l'Institut de Ciències de la Terra Jaume Almera (CSIC) treballa en simulació de processos geològics, desenvolupament de nous algorismes per a sensors remots i geofísica de la perforació i de la imatgeria de l'interior terrestre.

L'IEEC fa diversos estudis sobre teledetecció i sistemes d'informació geogràfica, i participa en la missió *SMOS* (Satèl·lit d'Humitat Terrestre i Salinitat en els Oceans) del programa de l'ESA Earth Explorer.

A l'Observatori de l'Ebre hi ha una secció de ionosfera (forçament solar sobre la ionosfera, modelatge de paràmetres ionosfèrics) i una de sismologia (estudis d'atenuació sísmica, anàlisi de soroll sísmic ambiental, tomografia sísmica d'estructures terrestres).

En el Departament de Física Aplicada de la UPC, un grup estudia ciències de la Terra, dinàmica de fluids i turbulència geofísica.

### **3.2.15. Oceanografia**

(UNESCO 2510; PACS 86 i 92)

L'Institut de Ciències del Mar (CSIC) té el Departament d'Oceanografia Física, que estudia el comportament físic de l'oceà i la seva incidència en el clima de la Terra, tant pel que fa a la circulació a la Mediterrània occidental, amb atenció especial a la dinàmica de capes marines superficials, com a fenòmens d'escala planetària, com ara El Niño o l'oscil·lació de l'Atlàntic nord.

En el Departament de Física de la UdG, el Grup de Física Ambiental treballa en limnologia física, turbulència, oceanografia costanera i qualitat de l'aigua.

A la UPC, en el Departament de Física Aplicada, el Grup de Dinàmica No Lineal de Fluids estudia temes de turbulències de fluids estratificats, arrossegament de sediments, corrents de gravetat i sistemes en rotació.

No incloem, en canvi, altres grups de la UPC, com el Laboratori d'Enginyeria Marítima, que disposa d'un canal d'investigació i experimentació, perquè els seus estudis se centren en un camp més pròpiament d'enginyeria.

### **3.2.16. Història de la física**

En aquest camp hi ha pocs investigadors institucionalitzats, però se'ls pot sumar l'activitat de la Societat Catalana d'Història de la Ciència i de la Tècnica, filial de l'IEC. A la UAB hi ha el Centre d'Estudis d'Història de les Ciències (CEHIC), amb dos investigadors especialitzats en història de la física del segle XX i, en termes més particulars, en el desenvolupament de les diverses àrees de la física en l'Espanya de l'etapa franquista. També destaca la fundació del Servei d'Arxius de Ciència, que aplega informació sobre els arxius de científics catalans, sigui on sigui la seva localització concreta. A la UB, dos investigadors del Departament de Física Fonamental estudien alguns problemes de les relacions entre la física estadística i els orígens de la física quàntica.

Un altre camp a esmentar és la didàctica de la física (UPC, UAB, UB), amb interès pels nous mitjans docents informàtics i en xarxa i els mètodes multimèdia per a l'ensenyament, i amb una incidència creixent en la formació del professorat de ciències. A començaments de l'any 2004, es va constituir a la UAB un centre per impulsar aquests estudis.