

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

Report elaborat per David Jou

DOCUMENT DE TREBALL

Si teniu cap comentari, podeu adreçar-vos a or@iec.cat

Barcelona, setembre 2014

Sumari

Abreviacions	3
1. INTRODUCCIÓ	6
2. RECURSOS HUMANS: INVESTIGADORS I GRUPS	6
2.1. <i>Definició del camp</i>	6
2.2. <i>Formació: llicenciatura i doctorat</i>	7
2.3. <i>Recerca: distribució de grups i d'investigadors per centres</i>	10
2.4. <i>Instituts de recerca</i>	14
2.4.1. Els Instituts del CSIC	15
2.4.2. Instituts del CERCA.....	16
2.4.3. Centres especials de recerca de les Universitats	18
2.4.4. Grans infraestructures de recerca: computació, sincrotró, observatoris.....	19
2.5. <i>Recerca: distribució d'investigadors i de grups per àrees de recerca</i>	20
3. RESULTATS: PUBLICACIONS I PATENTS	23
3.2. <i>Impacte de les publicacions</i>	32
3.5. <i>Patents</i>	35
4.6. <i>Empreses</i>	36
4. ELS RECURSOS ECONÒMICS	38
4.1. <i>Distribució per àrees i centres</i>	38
4.2. <i>Distribució del finançament segons les fonts</i>	40
5. BALANÇ I CONCLUSIONS	42
REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES.....	45
ANNEXOS	46

Abreviacions

€	euro
ACCÍÓ	Agència de suport a la innovació i a la internacionalització de l'empresa catalana
ACUP	Associació Catalana d'Universitats Públiques
AGAUR	Agència de Gestió d'Ajuts Universitaris i de Recerca
PAS	Personal d'administració i serveis
CERCA	Centres de Recerca de Catalunya
CERN	Centre Européen pour la Recherche Nucléaire (Ginebra)
CESCA	Centre de Supercomputació de Catalunya
CEU	Catedràtic d'Escola Universitària
CIDEM	Centre d'innovació i Desenvolupament Empresarial
CIN2	Centre d'Investigació en Nanociència i Nanotecnologia (ICN-CSIC)
CIP	Classificació Internacional de Patents
CIRIT	Comissió Interdepartamental de Recerca i Innovació Tecnològica
COST	European Cooperation in Science and Technology
CPG	Collaborative project (genèric)
CSIC	Consell Superior d'Investigacions Científiques
CU	Catedràtic d'Universitat
Dr	Doctor
EDP	Equivalent a dedicació plena
Energy	Programa <i>Energy</i> (de la UE)
EPO	European Patent Office
ERC	European Research Council
ESA	European Space Agency
EURATOM	Comunitat Europea de l'Energia Atòmica
FCR	Fundació Catalana per a la Recerca
GP	Graduat predoctoral
IAIC	Informe Anual sobre la Indústria a Catalunya
IARDiC	Informe Anual de l'R+D i de la innovació a Catalunya
IEEC	Institut d'Estudis Espacials de Catalunya
ICFO	Institut de Ciències Fotòniques
ICMAB	Institut de Ciències de Materials de Barcelona
ICN	Institut Català de Nanotecnologia

ICREA	Institució Catalana de Recerca i Estudis Avançats
IFAE	Institut de Física d'Altes Energies
IMB	Institut de Microelectrònica de Barcelona
IMIM	Institut Municipal d'Investigació Mèdica
INCO	<i>International Co-operation</i> (programa de la UE)
INE	Instituto Nacional de Estadística
Innovation	Programa <i>Researchand Innovation</i> (de la UE)
IRB	Institut de Recerca Biomèdica Barcelona
ISI	Institute for Scientific Information
IST	<i>Information society technologies</i> (programa de la UE)
LHC	<i>Large Hadron Collider</i>
LSIP	<i>Large-scale integrating project</i> (projecte integrat de gran escala)
MEC	Ministerio de Educación y Ciencia
OEPM	Oficina Española de Patentes y Marcas
OTRI	Oficina de transferència de resultats d'investigació
PCB	Parc Científic de Barcelona
PDI	Personal docent i investigador
PGC	Programa General de Conocimiento
PI	Personal investigador
PT	Personal tècnic
R+D	Recerca i desenvolupament
PCB	Parc Científic de Barcelona
PDI	Personal docent i investigador
PGC	Programa General de Conocimiento
PI	Personal investigador
PIC	Port d'Informació Científica
PT	Personal tècnic
R+D	Recerca i desenvolupament
R+D+I	Recerca, desenvolupament i innovació
SCI	Science Citation Index
SG	Starting grant (subvenció d'arrancada)
TEU	Professor titular d'Escola Universitària
TU	Professor titular d'Universitat

UAB	Universitat Autònoma de Barcelona
UB	Universitat de Barcelona
UdG	Universitat de Girona
UdL	Universitat de Lleida
UPF	Universitat Pompeu Fabra
URL	Universitat Ramon Llull
URV	Universitat Rovira i Virgili
XCDT	Xarxa de Centres de Difusió Tecnològica
XCT	Xarxa de Centres Tecnològics
XIT	Xarxa de Centres de Suport a la Innovació Tecnològica
XPTCAT	Xarxa de Parcs Científics i Tecnològics de Catalunya
XTT	Xarxa de Trampolins Tecnològics

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 2002 (accessibles al portal web de l'Institut), estudiem l'evolució de la Física a Catalunya en els anys 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 de 1997 (anys 1990-1995) i 2002 (anys 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 de 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 seguits 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 i un Institut de Recerca –tasca que no sempre és fàcil. Hem adoptat una visió àmplia de la Física, però no hem incorporat els temes d'Electrònica més aplicada i industrial, ja que aquesta està inclosa en el Report de Tecnologies i Ciències de la Informació, 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 alguns grups relativament petits, però el gruix del personal i de l'activitat estarà comptada en el Report corresponent. L'obtenció de les dades ha estat més simple que en els Reports anteriors, gràcies a la bona feina de l'Observatori de la Recerca de l'Institut d'Estudis Catalans, al qual expresso el meu agraïment. Malgrat això, algunes dades,

especialment les relacionades amb patents i la part econòmica, resulten encara difícils d'obtenir amb detall. Com que l'especificació de línies de recerca es fa feixuga per excés de detall, l'hem portada als apèndixs, a diferència dels dos Reports anteriors.

2.2. Formació: llicenciatura i doctorat

Pel que fa a la docència, la llicenciatura en 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 en 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 en física. D'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 Consell Superior d'Investigacions Científiques (CSIC) a Catalunya apleguen també un nombre considerable d'investigadors en física, tot i que dintre d'un context fortament interdisciplinari.

En estudiar l'evolució del nombre d'estudiants de física, cal tenir en compte la instauració del grau en Física, que ha anat substituint la llicenciatura. En els anys 1990 els estudis en 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 en física en el període considerat, segons el Instituto Nacional de Estadística (Estadística de la Enseñanza Universitaria en España).

TAULA 2.1. Nombre d'estudiants que han acabat la llicenciatura en física

Universitat	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
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 de 1999-2000 o els 183 de 2001-2002 i molt per sota dels 295 llicenciats de 1995. En tot cas, el nombre d'estudiants que es van llicenciar en Física va passar per un mínim cap als anys 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 al Departament de Física de la UAB com a pla pilot experimental. En l'ocasió de l'inici dels Graus, s'ha aprofitat per a 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 en 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 a un treball més personal per part dels estudiants. 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. Continuen iniciatives dels Departaments per fer conèixer la seva oferta, com ara els Dissabtes de la Física a la UAB.

TAULA 2.2. Tesis doctorals en física llegides a les universitats catalanes

Universitat	2002/3	2003/4	2004/5	2005/6	2006/7	2007/8	2008/9
UAB	12	8	6	8	21	15	17
UB	25	29	20	28	19	33	17
UdG				2	1	2	
UdL						1	1
UOC				1		1	
UPC	13	8	5	13	7	19	19
UPF			1				
URL		1		1	1		
URV							
Universitats catalanes	50	46	52	63	49	71	54
Universitats espanyoles	286	300	247	315	272	242	299

TAULA 2.3. Tesis doctorals en física llegides en els períodes 1996/2002, 2002/2009

Universitat	1996/2002	2002/2009
UB	146	171
UAB	74	107
UPC	90	94
URV	8	0
UdG	6	5
URL	0	3
Total	324	380

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. El nombre total de tesis per any es manté constant, en aproximadament unes cinquanta-cinc.

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 en Universitats europees.

Els programes de doctorat en física d'algunes universitats catalanes (considerats programes de qualitat pel Ministeri 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 de Marroc o 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 entre programes i el procés general d'internacionalització han fet augmentar l'ambició dels programes, fomentant per exemple la participació d'experts externs de la universitat (investigadors del CSIC i dels Instituts del CERCA, professionals destacats, etc.) i convertint-ne 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 diversos màsters amb vocació internacional es compta, per exemple, el Màster d'Astrofísica, física de partícules i cosmologia; el Màster en Teledetecció i sistemes d'informació geogràfica i formació en aplicacions del sistema GPS; màsters en Fotònica, Nanociència i nanotecnologia, Enginyeria en energia, Enginyeria biomèdica, Enginyeria electrònica: professional i recerca; Física avançada, Modelització matemàtica de sistemes de física i enginyeria, o l'Erasmus Mundus Doctorate in Environmental Pathways for Sustainable Energy Systems (SELECT +), en què participa l'Institut de Tècniques Energètiques 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 inclou 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 els nombres que hem pogut trobar d'aquesta manera. Evitar solapaments en el recompte del nombre d'investigadors (o dels indicadors econòmics) entre les universitats i els instituts de recerca, ha estat una de les grans dificultats que hem trobat en fer aquest treball. En el cas d'investigadors que formen part simultàniament d'Universitats (o CSIC) i d'algun institut, com IFAE, IEEC i ICFO, els hem comptat amb un factor $\frac{1}{2}$ a les Universitats (o CSIC) i un factor $\frac{1}{2}$ als Instituts esmentats. Admetem que és una opció discutible, ja que podria fer 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 de 1990-1995 al 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 activitat de recerca, més que no pas amb activitat de docència, i b) és un increment relacionat, en una part considerable, amb la internacionalització de la recerca, tal com ho comentarem amb detall en els paràgrafs posteriors.

TAULA 2.4. Nombre total d'investigadors en física a les Universitats i Instituts de recerca de Catalunya

Any	Doctors	No doctors	Total
2009	700	485	1185
2002	515	375	890
1995	385	213	595

Els nombres d'investigadors, detallats per centres, són presentats a les taules 2.5a i 2.5b. En les dues línies superiors hi ha les dades de 2009 i en les dues inferiors, a efectes de comparació, les del report de 2002.

TAULA 2.5A. Investigadors per institucions (Universitats)

Investigadors		UB	UAB	UPC	UdG	URV	UDL	URL	UPF
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	--

TAULA 2.5B. Investigadors per institucions (Instituts)

Investigadors		CSIC	IECC	IFAE	ICFO
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

La comparació entre les dades de 2009 i les de 2002 ha de ser comentada curosament. En el Report de 2002 no hi figuraven els instituts del CERCA: els investigadors de l'IFAE havien estat sumats als de la UAB, i 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, 22 tècnics), IECC (123 doctors, 70 doctorands, 28 tècnics), ICFO (115 doctors, 110 doctorands, 13 tècnics). Ara bé, una part considerable dels investigadors d'aquests Instituts formen part també de les Universitats o del CSIC. En el cas de l'IEEC, també hi ha investigadors que formen part de les Universitats, però no de Departaments de Física, sinó de Matemàtiques, enginyeria electrònica, teoria del senyal, etc. En aquest cas hem comptat un factor $\frac{1}{2}$, suposant que la dedicació dels

investigadors era aproximadament $\frac{1}{2}$ a l'IEEC. En el cas dels doctorands, les tesis seran llegides a les Universitats, però els hem comptat segons els directors de tesi (que no coneixem amb tot detall, i que hem tractat, doncs, proporcionalment al nombre de doctors dels diversos centres). En el cas de No Doctors, la majoria són doctorands, però també inclou un nombre significatiu de tècnics (enginyers, personal tècnic: uns 20 a l'IFAE, 30 a l'ICMAB, 13 a l'ICFO, 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, l'IFAE o l'ICFO). La disminució d'investigadors a la UAB és deguda a que el 2002 hi havíem inclòs els membres de l'IFAE, i 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 UAB. L'increment en la UPC també s'ha de matisar. Els recomptes de 1996 i de 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 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 és degut a que un nombre considerable de tesis estan assignades als instituts de recerca, tot i que seran llegides a les Universitats.

També resulta il·lustrativa la llista de grups de recerca consolidats de la Direcció General de Recerca, que en la convocatòria de 2005 aplegà 49 grups relacionats amb la física (vint-i-nou grups en la convocatòria de 1997), i en la convocatòria de 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 2009 respectivament, de la següent forma: UB (18-18), UAB (6-5), UPC (8-10), UDG (1-2), CSIC (5-5), IEEC (5-9), ICFO (2-5), IFAE (1-1). 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 de 2009 no proporciona explícitament les àrees de coneixement dels projectes.

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), els diversos programes de contractació d'investigadors: ICREA (Institut Català de Recerca i Estudis Avançats: 8 IFAE, 8 ICFO, 1 UAB, 3 UB, 6 IEEC, 5 ICMAB), ICREA Acadèmia (4 UAB), Ramon 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; Beatriu de Pinós (1 IEEC); a escala europea, es compta amb diverses beques ERC Advanced Investigator Starting Grants (1 IFAE, 8 ICFO), Advanced Investigators Grants (1 IFAE, 2 ICFO), Marie Curie (7 programa marc) (1 IFAE, 3 ICFO, 4 IEEC, 2 UB). A aquest centenar 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 Consell Superior d'Investigacions Científiques (CSIC) i dels Centres de Recerca de Catalunya (CERCA). En els centres del CSIC ens referim a l'Institut de Ciència de Materials de Barcelona (ICMAB), a l'Institut de Ciències de l'Espai (que també forma part de l'IECC), i, en la part corresponent a la Física, de l'Institut de Ciències del Mar, pel que fa a l'oceanografia física, i de l'Institut Jaume Almera, pel que fa a geofísica. No parlarem, en canvi, de l'Institut de Microelectrònica, que és analitzat en el report sobre Electrònica. En els centres CERCA tenim en compte l'Institut de Física d'Altes Energies (IFAE), l'Institut d'Estudis Espacials de Catalunya (IEEC), i l'Institut de Ciències Fotòniques (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 centres de computació i el sincrotró.

2.4.1. Els Instituts del CSIC

L'Institut de Ciències de Materials de Barcelona (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 (Departaments de Cristal·lografia, de Materials Magnètics i Òxids Funcionals, de Teoria i Simulació de Materials, de Materials Moleculars i Supramoleculars, de Nanociència Molecular i de Materials Orgànics (Nanomol), de Materials nanoestructurats, de Materials Superconductors i nanoestructurats a gran escala), tenim en compte com a especialment propers a la física el Departament de Materials optoelectrònics 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 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'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 participat en un 22 % per l'ICMAB i un 12 % per la UAB.

L'Institut de Ciències de l'Espai (ICE), contribueix a millorar la capacitat científica i tecnològica del CSIC, tot reforçant la seva presència en iniciatives espacials. El 1996 va ser fundat com a institut de formació i el 2008 adquirí el seu 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 altres Instituts 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 Jaume Almera està dedicat a geologia i geofísica, i tracta temes de física relacionats amb la cristal·lografia i amb 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), l'ICFO (fundat el 2002), i la fundació de l'Institut Català de nanociència i nanotecnologia (20XX). Aquests Instituts han permès sumar esforços de les diverses universitats en els camps de la física d'altres energies, de la recerca espacial, de la fotònica, 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, i impulsar la participació d'empreses catalanes en projectes tecnològics internacionals, i adaptar-se a la interdisciplinarietat científica i tecnològica amb 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 Instituts.

L'IFAE és un consorci de la Generalitat de Catalunya i la UAB, formalment constituït el 1991, que es dedica a física d'interaccions fonamentals i partícules elementals, astrofísica de partícules, i informació quàntica. 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 CERN de Ginebra, amb participació en el projecte ATLAS, però també al Fermi National Accelerator Laboratory de Chicago, el Lawrence Berkeley Laboratory de Califòrnia, i als laboratoris japonesos sobre neutrins (K2K, KEK) prop de Kamioka. El 2004, en col·laboració amb el DURSI (Departament d'Universitats, Recerca i Societat de la Informació de la Generalitat de Catalunya) i el CIEMAT, va establir al campus de la UAB el Port d'Informació Científica, per al processament massiu de les grans quantitats de dades procedents dels resultats dels experiments del LHC al CERN.

L'Institut d'Estudis Espacials de Catalunya 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 són 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 Institut de Ciències del Cosmos (ACE-ICC-UB) de la UB, 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 Recerques Aeronàutiques i Espacials de la UPC (CTE-CRAE-UPC), i l'Institut de Ciències de l'Espai del CSIC (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 Europea de l'Espai (ESA), en les missions INTEGRAL, PLANK, GAIA, LISA, WSO, MAX, GRI, METOP, i SMOS. Des de 2006 gestiona l'Observatori Astronòmic del Montsec, que està dotat amb instruments per a la realització d'observacions astronòmiques d'alt nivell. Des de 2006, l'IEEC també participa en els projectes de telescopis a la Base franco-italiana Concòrdia, a l'Antàrtida, en la xarxa ARENA (Antarctic Research, a European Network for Astrophysics), en els telescopis IRAIT (International Robotic Antarctic Infrared Telescope) i ICE-T (International Concordia Explorer Telescope). Compta amb uns 67 membres permanents, d'àrees diverses; 20 postdocs, 46 doctorands, i 17 tècnics.

L'Institut de Ciències Fotòniques (ICFO), va ser fundat el 2002 per un conveni de la UPC i el Govern de la Generalitat, per a desenvolupar la recerca en fotònica, bàsica i aplicada a camps com salut, energia, informació, seguretat i ambient. El 2005 es va traslladar a Parc Tecnològic Mediterrani de Castelldefels (PTM-UPC), on compta amb un edifici propi de 8400 m², construït amb el suport de la Generalitat de Catalunya, del Govern d'Espanya, de fons de la Unió Europea, de la Fundació Privada Cellex, de la Fundació Privada Mir-Puig, de l'Obra Social de la Caixa i de Catalunya Caixa. 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 Bio Òptica, Nano Òptica, Òptica Quàntica i Òptica no Lineal. Forma part de diverses xarxes internacionals de recerca, com la xarxa d'excel·lència Phoremest en nanofotònica (un consorci d'uns trenta-cinc centres promogut per la Comissió Europea); i el QUEDEDIS, sobre informació quàntica, impulsat per l'European Science Foundation. Entre 2003-2008 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 data de fundació de l'Institut Català de Nanociència i Nanotecnologia, 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 diversos Departaments d'una o varies Universitats. Relacionats amb la recerca en Física hi ha els següents Centres: Centre Especial de Recerca en Bioelectrònica i Nanobiociència (constituït el 2002), que 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'Institut de Tècniques Energètiques 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, etc. També a la UPC, en el camp espacial, hi ha el Centre de Recerques Aeronàutiques i Espacials (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 superconductivitat, cèl·lules fotovoltaïques, piles de combustible, tecnologia d'hidrogen i 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, part de les activitats dels quals estan força relacionades amb la física.

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

El Port d'Informació Científica (PIC), localitzat al campus de la UAB, fou constituït el 2004 per l'IFAE, UAB, DURSI i CIEMAT (Centro para la Investigación en Energía, Medio Ambiente y Tecnología), dedicat especialment a Altes energies, Astrofísica, Cosmologia, i Imatgeria Mèdica, a més d'algunes aplicacions a 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 del Large Hadron Collider del CERN. El GRID-UAB començà amb un clúster de seixanta-quatre nodes de computació (anomenat Cheaha), triplicat en potencia el 2008.

Durant el període 2003-2009 ha avançat i culminat la construcció del Sincrotró ALBA-CELLS (Consorci per a la Construcció, Equipament i Exploració del Laboratori de Llum Sincrotró), finançat a parts iguals per la Generalitat i el Govern central, i situat a Cerdanyola, 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 de 2012. És la infraestructura científica més gran instal·lada mai a Catalunya (un anell accelerador d'uns docents cinquanta metres de longitud, amb un consum de vuit megawatts). El sincrotró ha suposat una inversió multimilionària (uns cent vint 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 geomagnetisme, ionosfera, sismologia, activitat solar i 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'Institut d'Estudis Espacials de Catalunya, pretén cobrir aquest dèficit, amb el telescopi més gran de Catalunya (el Joan Oró, de vuitanta centímetres 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, 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.

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

Àrea	UB	UAB	UPC	UdG	URV	UDL	URL	UPF
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 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

TAULA 6B. Investigadors per institucions (Universitats) i àrees

Àrea	CSIC	IECC	IFAE	ICFO
Astronomia i astrofísica	18-10	22-18	4-7	0
Física aplicada	9-9	0	0	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

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 en aquest Report els que es dediquen a electrònica més aplicada, que és l'objecte d'un altre Report.

L'ICCC té 5 doctors i 3 no doctors, i el PCB 8 doctors i 6 no doctors.

TAULA 2.7. Personal docent i investigador en física de les universitats catalanes, el 2009

Àrea	
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 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

Àrea	Doctors	No doctors
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

La comparació amb els reports anteriors no és directa, ja que allà hi vam emprar les àrees de la UNESCO i les del PCS, entre que aquí hem emprat les llistes de les àrees de coneixement emprades per l'Administració. En el Report de 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,

a la Taula 4.1 recollim el nombre d'articles de recerca publicats entre 2003 i 2009 en les diverses àrees de la Física, un dels autors dels quals, com a mínim, correspongui a institucions de recerca situades a Catalunya, i el valor mitjà de citacions rebudes per articles de Física publicats a Catalunya (no en aquest període sinó en el conjunt dels anys anteriors) dividida per 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 2003 i 2009

**SCIENCE CITATION INDEX (SCI): ARTICLES
(CATALUNYA, 2003-2009)**

Categoria	Total	C/N
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 els períodes 1990-1995 (2.155 articles) i 1996-2002 (3.700 articles). Entre 1995 i 2009, la física (amb 11.721 articles, als quals es podria sumar part dels 2146 articles sobre Ciències de l'espai i part dels 4051 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 Medicina Clínica (32.461 articles), Química (17.479 articles) i Enginyeria (14.708 articles).

L'increment d'articles entre el període 2003-2009 i el període 1996-2002 és considerablement superior a l'increment en 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 de 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 de 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 en nombre d'investigadors ha vingut en una part considerable per increment en personal més plenament dedicat a la recerca, amb molt poques obligacions docents, tant pel que fa als investigadors Universitaris dels programes ICREA, Ramón y Cajal, Juan de la Cierva, Marie Curie i ajuts molt competitius de l'ERC, com pel que fa als investigadors dels Instituts de recerca. En canvi, en els períodes anteriors, una gran majoria dels investigadors eren també docents, cosa que té els seus 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 física de materials); en segon lloc, molt igualades, Astronomia i astrofísica, Física de la matèria Condensada, i Física pluridisciplinàries; 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 Termodinàmica són comptats en els apartats de Física de la matèria condensada i en Física aplicada. Dintre de temes multidisciplinàries hi ha articles de computació quàntica, o de biofísica. Alguns estudis relacionats amb òptica estan també relacionats amb 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
Nature 34,48	7.175	125	26	6.218	174	52
Nature Physics* 15,49				546	18	10
Science 29,75	6.583	74	24	5.914	149	55
Physical Review Letters 7,53	20.268	708	128	24.854	1.400	538
Nuclear Physics B 4,34	6.535	386	56	2.854	162	39
Astrophysical Journal 7,36	15.588	679	82	17.102	934	153
Physics Letters B 5,08	10.232	830	187	6.626	462	134
Journal of Chemical Physics 3,09	16.684	737	168	18.630	990	219
Applied Physics Letters 3,55	18.455	396	95	33.500	763	216
Physical Review B 3,48	33.006	1.346	253	38.621	1.952	414
Europhysics Letters 2,89	3.312	170	40	2.280	119	27
Physical Review A 2,87	9.814	328	49	14.673	707	227
Physical Review E 2,40	14.331	705	195	16.423	964	279
European Physical Journal C** 2,75	1.978	236	71	2.565	234	39
Astronomy and Astrophysics 4,18	10.023	336	29	12.768	1.719	201
Journal of Physics A 1,58	4.988	299	43	3.764	204	38
Physical Review C 3,45	5.828	214	40	6.213	412	83
Physical Review D 4,92	12.703	542	142	16.201	1.140	475
Journal of Applied Physics 2,07	19.135	608	119	25.007	788	176
Nuclear Physics A 1,70	4.945	262	44	4.099	228	53
Classical and Quantum Gravity 3,03	2.260	119	43	3.355	165	44
Modern Physics Letters A 1,07	2.017	43	7	1.919	60	15
Journal of Physics Condensed Matter 1,96	6.865	319	36	9.458	411	63
Nuclear Instrumentation Methods B 1,16	7.111	191	22	7.932	220	21
Physics Letters A 2,00	6.156	219	27	7.065	188	19
Optics Communications 1,32	5.165	215	56	5.913	207	32
Applied Optics 1,41	6.592	213	41	6.698	231	43
Journal of Mathematical Physics 1,32	2.885	138	23	2.775	132	22
Physica C 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. (**) Nom anterior: Zetischrift für Physik C

La comparació entre 2002 i 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... Hi ha disminucions en algunes revistes, com *Nuclear Physics B*, *Physics Letters A*, *Physica C*, *Optics Communications*, o *Europhysics Letters*, però molt menys significativa que els augments que acabem d'esmentar.

En la taula 3.4 presentem el nombre d'articles publicats en les diverses àrees, desglossats d'any en any. En Astronomia i astrofísica, en Òptica i Meteorologia i atmosfera, el nombre de publicacions va creixent de forma sostinguda d'any en any; en d'altres àrees, hi ha fluctuacions, pujades i baixades, però en tots els casos el nombre de publicacions el 2009 és clarament superior al de publicacions del 2003.

Al costat del nom de la revista hi hem posat el seu índex d'impacte el 2009. La taula anterior recull 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 era molt petit, tenim, per exemple, les revistes de reviews *Review of Modern Physics* (33,14), *Physics Reports* (17,75), *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*, etc).

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

SCIENCE CITATION INDEX (SCI): ARTICLES (CATALUNYA, 2003-2009)

Categoria	2003			2004			2005		
	N	C	C/N	N	C	C/N	N	C	C/N
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

SCIENCE CITATION INDEX (SCI): ARTICLES (CATALUNYA, 2003-2009)

Categoria	2006			2007			2008			2009		
	N	C	C/N	N	C	C/N	N	C	C/N	N	C	C/N
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 taula de documents publicats que, a més d'articles, té en compte llibres, actes de congressos, publicacions en arxius oberts, i d'altres, que donem a la taula 3.4.

TAULA 3.4. Nombre de documents científics (articles, més llibres, més actes de congressos), publicats per any i per categoria temàtica

SCIENCE CITATION INDEX (SCI): DOCUMENTS (CATALUNYA, 2003-2009)

Categoria	2003			2004			2005		
	N	C	C/N	N	C	C/N	N	C	C/N
	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

SCIENCE CITATION INDEX (SCI): DOCUMENTS (CATALUNYA, 2003-2009)

Categoria	2006			2007			2008			2009		
	N	C	C/N	N	C	C/N	N	C	C/N	N	C	C/N
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 Phys Rev Lett, Phys Rev D, Phys Rev B, Phys Rev E, Phys Rev A, i Applied Physics Letters. En comparació, aquelles en què fou més elevada el període anterior foren Phys Rev B, Phys Rev E, Phys Lett B, J Chem Phys, Phys Rev D, Phys Rev L, Appl Phys J. La preeminència del Phys Rev Lett és nova i important, conseqüència de la tradició de partícules elementals i de l'impuls de la física estadística i 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 (Astr. & Astr.), a causa de la participació en projectes internacionals relacionats amb els observatoris europeus instal·lats a les Illes Canàries.

3.2. Impacte de les publicacions

L'impacte de les publicacions, relacionat amb el nombre de citacions que reben en les publicacions especialitzades, és un dels indicadors estàndard de la influència de la recerca. Una forma genèrica 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 la ISI Web of Science (<<http://isiknowledge.com>>). El conjunt de citacions rebudes en el període 2005-2009 per revistes d'institucions catalanes es 210780, però no es refereix a les revistes publicades 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 corresponents inclosos en la taula. Es pot comprovar que passem des de 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.

A la taula 3.3 podem veure que, per impacte relatiu, destaquen les àrees d'astronomia i astrofísica, multidisciplinàries, i 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, 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, enllà d'anècdotes puntuals, permeten identificar les línies de més visibilitat i influència en un moment donat. En el període 1995-2009, Rovira i col·laboradors identifiquen 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 4051 articles). En el report 1990-1996 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* (1999) vam ampliar fins a una cinquantena d'articles en què el més citat arribava tot just a les quatre-centes citacions.

En el període 1997-2002 vam comptar sis referències citades més de quatre-centes vegades. En l'Apèndix 2 apleguem 67 articles citats més de 200 vegades. D'ells, 3 han estat citats més de 750 vegades, 7 entre 500 i 749, 35 entre 250 i 499, 24 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: 31 de física teòrica i partícules, 17 de física de la matèria condensada i física de materials, 15 d'astronomia i astrofísica, 3 de física de la Terra, 1 de física atòmica, molecular i nuclear. En predomini (en la llista de l'Apèndix 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 X, 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 a articles d'institucions catalanes. No es tracta, doncs, de citacions als articles apareguts aquell mateix any. Per a anys més recents, veiem que el nombre mitjà de citacions disminueix, bàsicament perquè la proporció d'articles de menys de cinc anys (habitualment els més citats) es redueix, i hi ha hagut menys temps per citar-los.

En la taula 3.5 donem els articles citats més de 500 vegades. A 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

Referència	Citacions	Àrea	Institució
Physical Review Letters 90, 227902 (2003)	940	Física quàntica	UB
Internat J Geom Meth Modern Phys 4, 115 (2007)	792	Gravitació	IIEC
Nature 423, 850 (2003)	756	Magnetisme	UAB
Astrophys J Suppl Ser 16, 38 (2006)	724	Cosmologia	IIEC
Physical Review D 68, 123512 (2003)	713	Gravitació	IIEC
Astronomical J126, 2081 (2003)	623	Cosmologia	IIEC
Astronomical J 128, 502 (2004)	639	Cosmologia	IIEC
Nature Materials 4, 450 (2005)	546	Magnetisme	UB
Physical Review Letters 102, 181101 (2009)	541	Partícules	IIEC-CSIC
Physical Review D 71, 032001 (2005)	509	Partícules	IFAE-UAB

A efectes de comparació, en la taula 3.6 donem el quocient de citacions/articles d'aquest període a Catalunya i a d'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
USA	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 de Science Citation Index Expanded (SCI-E)

A continuació, s'indica la posició relativa de les universitats catalanes, entre les universitats de l'estat espanyol en recerca en física, en els rànquings I-UGR (<<http://www.rankinguniversidades.es>>): Universidad Autónoma de Madrid (1); Universitat de Barcelona (2); Universitat de València (3); Universidad de la Laguna (4); Universitat Autònoma de Barcelona (5); Universidad de Cantabria (6); Universidad Complutense de Madrid (7); Universitat Politècnica de Catalunya (8); Universidad del País Vasco (9); Universidad de Granada (10); Universitat de Girona (29); Universitat Rovira i Virgili (34); Pompeu Fabra (40). En el rànquing es consideren un total de 46 universitats.

3.5. Patents

En els dos Reports anteriors vam constatar que la innovació i la transferència tecnològica eren una de les facetes de la física a Catalunya en què el progrés ha estat més lent, i que més imperativament cal potenciar. En el Report 1996-2002 vam constatar un avenç notable respecte del període 1990-1995, amb un augment en el

nombre de patents (d'unes deu a unes quaranta), i de la relació amb empreses (públiques i privades, locals i multinacionals). El període examinat aquí 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, de l'IEEC. Es tracta, per exemple, de patents, en sensors fotoactivats per a gasos, determinació de fluxos energètics en gasos combustibles, de dispositius i instrumentació: (lent de contacte sensora per a monitorització no invasiva de pressió ocular, dispositiu magnetoelèctric per a escriure informació no volàtil, dispositius magnetoresistius per a detecció de peces metàl·liques, potenciòmetre basat en propietats magnetoresistives, analitzador termobaromètric, miniaturització d'un espectròmetre Mossbauer, limitador de corrent inductiu híbrid de metall normal i superconductor d'alta temperatura, espectròmetre Mossbauer amb piezotransductors d'estat sòlid); entre les patents de procediment i estructures: cintes superconductores multicapa, materials superconductors nanoestructurats amb gran densitat de centres d'ancoratge, material superconductor ceràmic, procediments d'obtenció de ceràmiques superconductores, 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 spin-off. IFAE en col·laboració amb el Centre Nacional de Microelectrònica, el Centre Diagnòstic UDIAT i EMSOR SA va iniciar el desenvolupament d'una màquina de biòpsia de mama en 3D en temps real; el prototipus va ser completat el 2008, i presentat al Saló d'Invencions de Ginebra, el mateix 2008, on guanyà la Medalla de Plata.

4.6. *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 Gimpera, centre de transferència de coneixement, tecnologia i

innovació de la UB, la bioincubadora d'empreses del Parc Científic de la UB, o l'Esfera UAB.

Un dels papers de l'IFAE i de l'IEEC 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 el problema 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 MAGIC i ha proporcionat d'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 aplicacions a imatgeria mèdica, un spin-off de l'IFAE és X-Ray IMATEK (IFAE) dedicada a aplicacions de fotosensors a exploracions mèdiques.

L'ICFO té una forta 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-EMETE Construcció d'edificis eficients en energia, CORNIG- Pantalles, ABB Sensors de camp, COSINGO- EPFL-INSERM Diagnosi de càncer, B BRAUN Producció d'imatges, i superfícies òptiques multifuncionals, Prysmian Group sensors fotònics. Una empresa spin-off 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.

ICMAB treballa des de fa temps amb l'empresa Carbuos Metàlics, 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, Lafarga Lacambra i Oxolutia. Aquesta darrera és una *spin-off* 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 assistida per

ordinador del vapor d'aigua atmosfèric.; participació industrial en el disseny i realització de miralls de telescopis (IRAT); o antenes de naus espacials, sensors i actuadors de temperatura: col·laboracions amb les empreses GMV S.A., amb seu a Madrid, de MIER Comunicacions i NTE, de Barcelona, i amb EADS-CASA Espacio. També en el tema de l'espai, el grup d'astronomia del Departament de Física Aplicada es dedica a recerca i transferència d'energia en l'àmbit de la navegació molt precisa i la localització (GPS, GALILEO, SBAS) i l'observació de la Terra (especialment, sondeig atmosfèric d'ionosfera i troposfera). La participació de l'IEEC en el projecte de construcció del LISA path finder de la ESA (consistent en el desenvolupament i construcció dels sistemes de mesura del soroll intern de l'aparell) s'ha fet conjuntament amb l'empresa NTE (Nuevas Tecnologías Espaciales)-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 aquesta secció 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. Ignorar algun projecte rellevant pot suposar canvis significatius.

En termes generals, i a efectes de comparació, 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 % de 2003 a 2008 a Catalunya, segons dades de l'informe anual de CERCA, atansant-se a la mitjana de la Unió Europea del 27, que és de 1,87 % del PIB, però 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 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 a anys posteriors a l'acabament de l'interval. Fer un càlcul més acurat resultava extremadament difícil.

TAULA 4.1A. Finançament per centres (Universitats) en el període 2002-2009 en milers d'euros

Centre	PE	PN	CC	Total
UAB				
Departament de 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
Total				
UPC				
Física Aplicada	73	1.917	449	2.438
Física i Enginyeria nuclear	454	2.525	2.193	5.173
UdG				
Departament de Física	21	580	53	655

La columna PE es refereix a projectes europeus, la PN a projectes nacionals (estatals espanyols), i la CC a contractes i convenis. A efectes de comparació amb el període anterior, donem les dades totals d'aquest període i, entre parèntesis, les del període 1996-2002: UAB 7.877 (9.570), UB 37591 (18.280), UPC 8.834 (5.100), UdG 655 (830). La disminució de la UAB és aparent, ja que en el Report 1996-2002 hi havíem comptat les subvencions rebudes per l'IFAE, que ara comptem a part.

TAULA 4.1B. Finançament per centres (instituts) en el període 2002-2009 en milers d'euros

IEEC	11.700
ICFO	37.110
IFAE	25.960
ICMAB	20.700

En el cas de l'ICFO, aquesta quantitat inclou també el manteniment i seguretat de l'edifici, que podríem situar a l'entorn d'uns 200 mil euros en aquest període. En el cas de l'ICMAB, es refereix a les despeses relacionades amb recerca en física, que ve a suposar un terç del total dels costos del pressupost.

El finançament total ha estat, doncs, de 150.427 milers d'euros, un augment espectacular respecte dels 41.200 milers d'euros 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 a activitats en física de les inversions en superordinadors, trobaríem que, amb molta diferència, aquest és el període que ha acumulat més altes inversions relacionades amb la física en tota la història de Catalunya.

Cal matisar, però, aquest increment, que inclou els sous d'investigadors postdoctorals procedents dels diversos programes que hem esmentat. Això ve a suposar un centenar de sous, a un cost mitjà d'uns 3 mil euros al mes, que fan en conjunt uns 25 200 mil euros. Tingut en compte això, més les despeses de manteniment esmentades abans (que, en el conjunt dels instituts, podríem estimar en uns 280 mil euros) quedaria uns 125.000 milers d'euros. Per comparar amb la despesa del període anterior, hauríem de restar la inflació acumulada en aquests set anys, que ve a ser de l'ordre del 15%, queda uns 104 250 milers d'euros, que de totes maneres és molt més gran que els 41 200 milers d'euros del període anterior. En termes relatius, referits a investigador i any, les dades són de 12,56 milers d'euros per investigador i any (uns 15 milers sense descomptar la inflació), mentre que en el període anterior (1996-2002) va ser de 7,4 milers d'euros. Cal tenir en compte, però, que com que l'increment de personal és, en bona part, referit a investigadors a temps complet, i que bona part d'aquests investigadors són experimentals, la despesa és més gran que en el cas dels investigadors a temps parcial.

Tant pel que fa a les Universitats com als Instituts, el desglossament anual, que no donem aquí, indica un lleuger increment entre 2003 i 2009.

4.2. Distribució del finançament segons les fonts

El finançament de la recerca prové de la generalitat de Catalunya, del Ministeri espanyol corresponent, de fons europeus o altres col·laboracions internacionals, i

d'empreses (aquí, comptarem també entre els fons europeus els procedents de l'ESA, (European space Agency). En aquest septenni es dugué a terme el VI Programa marc de la recerca, desenvolupament tecnològic i demostració de la UE (2002-2006) i, i s'inicià el VII Programa marc (2007-2012). Darrerament hi ha hagut també l'inici de mecenatge privat en quantitats significatives, especialment de la Fundació privada Cellex, la Fundació privada Mir-Puig, La Fundació La Pedrera-Catalunya Caixa.

En el cas de les universitats, tal com consta a la taula 4.X, veiem que la distribució total queda en 10 338 milers d'euros en projectes europeus, 35154 milers d'euros en projectes estatals i 9362 milers d'euros en convenis i contractes. Això suposa, respectivament, un 19 %, un 64 % i un 17 % aproximadament del finançament de recerca en física de les universitats.

En els Instituts del CERCA, l'esforç fundacional prové, majoritàriament, de Catalunya (finançat a través del DURSI, la CIRIT, o la FCR, 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. L'IFAE té durant alguns anys una aportació entre el 36 % i el 30 % de la Generalitat, i la resta està relacionada amb projectes estatals i internacionals, i amb empreses.

En el cas de l'IEEC, la Generalitat, a través de la FCR i de la CIRIT, contribueix gairebé en un 57 % el 2003, en un 16 % el 2004, i aproximadament entre un 8 % i un 5 % els anys posteriors. La contribució estatal és d'un 15 % el 2003, i puja a un 75 % el 2004, i es manté entre un 75 % i un 78 % entre 2005 i 2009. La contribució europea (programes de la UE més ESA) varia considerablement amb els anys: 17 % el 2003, 3 % el 2004, 13,7 % el 2005, 6 % el 2006, 11 % el 2007, ... Els contractes amb empreses també tenen un pes relatiu variable: el 9 % el 2003, gairebé irrellevants el 2004, un 5,8 % el 2005, un 15,5 % el 2006, un 7,3 % el 2007, ... També té ajuts relacionats amb la participació en projectes mundials, en col·laboracions, especialment, amb entitats dels Estats Units, (National Science Foundation, Atacama Cosmology telescope, Princeton University, i d'altres), tot i que en quantitats de l'ordre entre l'1% i el 3 %, i de forma ocasional.

L'IMAB rep la major part del seu finançament del CSIC (que cobreix les despeses de personal i d'edificis), en un 70 %. La CICYT (Comisión Interdepartamental

para la Ciencia y la Tecnología del Govern espanyol) hi aporta entre un 10 % i un 15 %, segons els anys, la Unió Europea 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 2 %.

5. BALANÇ I CONCLUSIONS

El balanç del període 2003-2009 representa un increment molt significatiu en pràcticament tots els aspectes respecte del període anterior (1997-2002), que havia suposat al seu torn un avenç important respecte del període precedent (1990-1996). Hi ha un augment del nombre d'investigadors que resultava difícil de preveure, donat l'increment ja prou notable entre 1990 i 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 aquesta darrera secció sintetitzem i fem un balanç de les principals observacions fetes d'aquest Report. 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, considerablement recolzada per les administracions implicades (situació que està canviant des de 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 en física experimenta una disminució cap als anys 2004-2007, amb una recuperació posterior. El nombre de tesis doctorals per any es manté a nivells similars al del període anterior (unes cinquanta cinc per any). A finals del període s'inicia el Grau de Física, en substitució de la Llicenciatura en Física. El Grau de Física i Matemàtiques aconsegueix ser el de més nota de tall de Catalunya, des dels seus inicis.

2) El nombre total d'investigadors, doctors més doctorands, ha augmentat considerablement respecte del període 1996-2002, tot passant d'uns nou-cents a uns mil cent, tot i que el 2002 ja es temia haver arribat a una saturació. Aquest creixement ha estat impulsat, en part, pel nou Institut de Ciències Fotòniques, fundat el 2002, i per la incorporació d'investigadors consolidats en contractes com d'ICREA, Ramón y Cajal, Juan de la Cierva, Marie Curie, i ajuts de la European Research Foundation a nous

investigadors amb nous projectes destacats. 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 potenciació dels Instituts del 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 l'ICFO, en el sentit que bona part dels membres dels primers són professors de les Universitats o investigadors o professors d'investigació del CSIC, mentre que a l'ICFO hi ha una proporció més gran d'investigadors contractats en funció dels projectes, i que no pertanyen a les Universitats ni el 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. Els Instituts del CSIC o els Centres de Recerca de les Universitat han continuat fent una bona feina en els seus àmbits, i potenciant-la en diversos aspectes.

4) Es destacable la construcció del sincrotró ALBA CELLS una gran infraestructura d'envergadura europea, que dinamitzarà àrees de la física com són ara ciència de materials, electrònica, nanotecnologia i biofísica, a més d'ésser un al·licient per al teixit industrial avançat.. A menor escala, pel que fa al cost econòmic, a inauguració de l'observatori del Montsec. El superordinador del GRID: computació.

5) Ha augmentat molt notablement el nombre total d'articles de recerca publicats en revistes internacionals. S'ha passat de 3700 articles en el període 1996-2002 a una 11.100 articles en el període 2003-2009. Això ha suposat un increment de productivitat, que ha passat d'uns 1,2 articles per doctor i any del 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; Tres articles han estat citats més de 750 vegades; 7 més entre 749 i 500 vegades; 67 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 d'ells més de 400 vegades) del període 1996-2002.

7) Destaca especialment el creixement del nombre d'articles publicats en les revistes d'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.

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 ha tingut un paper dinamitzador els instituts de recerca, facilitant, per exemple, la participació en projectes internacionals, al CERN o a la ESA, per exemple, 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: des d'unes quaranta a unes seixanta, però encara és insuficient si ens volem comparar amb la mitjana europea.

9) El finançament per investigador i any ha passat d'uns 7400 euros en el període 1996-2002, a uns 15000 euros en el període 2003-2009. Si descomptem els efectes de la inflació, hauríem de comptar uns 12500 euros, que suposa gairebé el doble del període anterior. Cal advertir que la incorporació de la majoria de nous membres ha estat d'investigadors a temps complet, sense obligacions docents, i una bona part dels quals estan dedicats a recerca experimental, de manera que el seu cost per investigador i any és més gran que en el cas d'investigadors amb obligacions docents.

10) Pel que fa al finançament total dedicat a la física, ha suposat, amb diferència, el període de més esforç total, a causa de la construcció de nous instituts i laboratoris, de la contractació de nous investigadors a temps complet amb fons europeus, estatals i nacionals,

Entre diversos temes pendents, hi ha una certa desconfiança de les Universitats envers els Instituts de Recerca, que on les condicions de recerca són bastant més favorables que no pas a les Universitats, on s'ha de treballar amb la pressió afegida d'una activitat docent considerable. Tot i això, hi ha força col·laboracions fructíferes entre els dos tipus de centres, amb benefici mutu, i una potenciació de diversos grups universitaris. S'ha fet un esforç gran per a millorar, amb inversions molt 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. Temes de recerca i innovació 4, 2005, Generalitat de Catalunya, Departament d'Innovació, Universitats i Empresa

CERCA, Centres de Recerca a Catalunya, març de 2010, Departament d'Innovació, Universitats i Empresa

Moreno, R, Centres de recerca a Catalunya, *Paradigmes. Economia productiva i coneixement*, 4 (2010) 227-235

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 ránquings I-UGR según campos y disciplinas científicas.*

<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 postdocs, 21 doctorands), Astronomia i Meteorologia (28 permanents, 4 interins), Estructura i Constituents de la Matèria (39 doctors permanents, 18 postdocs, 25 doctorands), Física Aplicada i Òptica (24 doctors permanents, 1 postdoc, 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) 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 postdoc, 21 doctorands, 5 tècnics), el Grup de Biofísica Molecular del Departament de Bioquímica i Biologia Molecular, de la Facultat de Medicina (3 doctors fixos , 4 postdocs, 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'Institut de Tècniques Energètiques (INTE) (13 doctors, 14 doctorands, 8 tècnics). Del Departament d'Òptica i Optometria hem considerat del 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 del Centre Universitari de la Visió, ja que són de caire més aplicat a la biologia.

A la UdG, 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. A la URL, la física es troba concentrada en l'Observatori de l'Ebre. A la URV, hem inclòs alguns membres dels grups de Física i Cristal·lografia de Materials, i d'Experimentació, Computació i Modelització en Mecànica de Fluids, de la Facultat de Química (els que treballen en temes més propers a la física).

Pel que fa al CSIC, hem considerat l'Institut de Ciència de Materials de Barcelona (ICMAB) (64 doctors permanents, 25 postdocs, 66 no doctors, 33 tècnics): (Departaments de Cristal·lografia, de Materials Magnètics i Òxids Funcionals, de Teoria i Simulació de Materials, de Materials Moleculars i Supramoleculars, de Nanociència Molecular i de Materials Orgànics (Nanomol), de Materials nanoestructurats amb 11 investigadors, de Materials Superconductors i nanoestructurats a gran escala, amb 7 doctors permanents, 5 postdocs, 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 (Grup 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), l'Institut de Ciències de l'Espai (14 investigadors permanents, 7 postdocs, 14 contractats a càrrec de projectes, 18 becaris doctorands, dos tècnics); com que tots ells 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, el Centre Nacional de Microelectrònica, ja que la seva contribució és analitzada en el Report de Tecnologies de la informació i les comunicacions ja esmentat.

Instituts del CERCA: Institut de Física d'Altes Energies (IFAE) (15 doctors, a més de 13 doctors de la UAB, 15 postdocs, 25 doctorands, 10 enginyers, 3 tècnics de recerca), Institut de Ciències Fotòniques (25 group leaders (7 d'ells ERC starting grants, i 2 ERC advanced grants) + 4 staff + 26 research fellows + 66 postdocs + 13 enginyers + 114 doctoral students). 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-ICC-UB (44 doctors, 30 estudiants, 9 tècnics: també hem atribuït un factor $\frac{1}{2}$ per a la UB i $\frac{1}{2}$ per a l'IEEC)); CERES-UAB (20 doctors, 18 no doctors; la gran majoria d'ells són d'Enginyeria química, enginyeria electrònica o gestió aeronàutica, o CNM; hem atribuït a aquest investigadors un coeficient $\frac{1}{2}$ per al 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, JI; Rico, E; et al., Entanglement in quantum critical phenomena, PHYSICAL REVIEW LETTERS 90, 227902 (2003) Times cited: 940

Skumryev, V; Stoyanov, S; Zhang, Y; Hadjipanayis, G; Givord, D; Nogues, J , Beating the superparamagnetic limit with exchange bias, NATURE 423, 850-853 (2003) Times cited: 756

Nojiri, S; Odintsov, SD , Modified gravity with negative and positive powers of curvature: Unification of inflation and cosmic acceleration, PHYSICAL REVIEW D 68 , 123512 (2003) Times cited: 713

Abazajian, K; Adelman-McCarthy, JK; Agueros, MA; et al. The first data release of the Sloan Digital Sky Survey, ASTRONOMICAL JOURNAL 126 , 2081-2086, 2003, Times cited: 623

Gomez, PL; Nichol, RC; Miller, CJ; et al., Galaxy star formation as a function of environment in the Early Data Release of the Sloan Digital Sky Survey, ASTROPHYSICAL JOURNAL 584, 210-227, 2003, Times cited: 400

Maspoch, D; Ruiz-Molina, D; Wurst, K; et al., A nanoporous molecular magnet with reversible solvent-induced mechanical and magnetic properties, NATURE MATERIALS 2,190-195, 2003, Times cited: 344

Jido, D; Oller, JA; Oset, E; et al., Chiral dynamics of the two $\Lambda(1405)$ states, NUCLEAR PHYSICS A 725, 181-200, 2003, Times cited: 334

Chimento, LP; Jakubi, AS; Pavon, D; et al., Interacting quintessence solution to the coincidence problem, PHYSICAL REVIEW D 67, 083513, 2003, Times cited: 270

Contino, R; Nomura, Y; Pomarol, A, Higgs as a holographic pseudo-Goldstone boson, NUCLEAR PHYSICS B 671,148-174, 2003, Times cited: 248

Guimera, R; Danon, L; Diaz-Guilera, A; et al., Self-similar community structure in a network of human interactions, PHYSICAL REVIEW E 68, 065103 2003, Times cited: 242

Alcaraz, J; Buscemi, L; Grabulosa, M; et al., Microrheology of human lung epithelial cells measured by atomic force microscopy, BIOPHYSICAL JOURNAL 84, 2071-2079, 2003, Times cited: 225

Nojiri, S; Odintsov, SD, Where new gravitational physics comes from: M-theory?, PHYSICS LETTERS B 576 , 5-11, 2003, Times cited: 211

Arutyunov, G; Frolov, S; Russo, J; et al., Spinning strings in AdS(5) X S-5 and integrable system, NUCLEAR PHYSICS B 671, 3-50, 2003, Times cited: 209

Any 2004

Abazajian, K; Adelman-McCarthy, JK; Agueros, MA; et al.,The second data release of the Sloan Digital Sky Survey, ASTRONOMICAL JOURNAL 128 , 502-512, 2004, Times cited: 639

Elizalde, E; Nojiri, S; Odintsov, SD ,Late-time cosmology in a (phantom) scalar-tensor theory: Dark energy and the cosmic speed-up, PHYSICAL REVIEW D 70 , 043539 2004, Times cited: 444

Putaud, JP; Raes, F; Van Dingenen, R; et al., European aerosol phenomenology-2: chemical characteristics of particulate matter at kerbside, urban, rural and background sites in Europe
ATMOSPHERIC ENVIRONMENT 38 , 2579-2595 2004, Times cited: 366

Astrakharchik, GE; 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, 2004, Times cited: 320

Latorre, JI; Rico, E; Vidal, G , Ground state entanglement in quantum spin chains: QUANTUM INFORMATION & COMPUTATION 4 , 48-92 Published: JAN 2004, Times cited: 292

Nojiri, S; Odintsov, SD, Final state and thermodynamics of a dark energy universe PHYSICAL REVIEW D 70, 103522 2004, Times cited: 250

Nojiri, S; Odintsov, SD, Modified gravity with $\ln R$ terms and cosmic acceleration, GENERAL RELATIVITY AND GRAVITATION 36 ,1765-1780 2004, Times cited: 249

Falcone, F; Lopetegui, T; Laso, MAG; et al., Babinet principle applied to the design of metasurfaces and metamaterials, PHYSICAL REVIEW LETTERS 93 ,197401, 2004, Times cited: 244

Barbieri, R; Pomarol, A; Rattazzi, R; et al., Electroweak symmetry breaking after LEP1 and LEP2 NUCLEAR PHYSICS B 703, 127-2004, Times cited: 237

Fu, CC; Willaime, F; Ordejon, P, Stability and mobility of mono- and di-interstitials in alpha-Fe, PHYSICAL REVIEW LETTERS 92, 175503 2004, Times cited: 208

Corral, A, Long-term clustering, scaling, and universality in the temporal occurrence of earthquakes: PHYSICAL REVIEW LETTERS 92, 108501, 2004, Times cited: 208

Querol, X; Alastuey, A; Ruiz, CR; et al. Speciation and origin of PM10 and PM2.5 in selected European cities, ATMOSPHERIC ENVIRONMENT 38, 6547-6555 2004, Times cited: 201

Any 2005

Krenke, T; Duman, E; Acet, M; et al., Inverse magnetocaloric effect in ferromagnetic Ni-Mn-Sn alloys, NATURE MATERIALS 4, 450-454 2005, Times cited: 546

Acosta, D; Adelman, J; Affolder, T; et al. Group Author(s): CDF Collaboration, Measurement of the J/ψ meson and b-hadron production cross sections in $p(\bar{p})$ collisions at $\sqrt{s}=1960$ GeV, PHYSICAL REVIEW D 71, 032001 2005, Times cited: 509

Abazajian, K; Adelman-McCarthy, JK; Agueros, MA; et al. The third data release of the Sloan digital Sky Survey, ASTRONOMICAL JOURNAL 129, 1755- 2005, Times cited: 477

Argyris, A; Syvridis, D; Larger, L; et al., Chaos-based communications at high bit rates using commercial fibre-optic links, NATURE 438, 343-346 2005, Times Cited: 446

Danon, L; Diaz-Guilera, A; Duch, J; et al. Comparing community structure identification, JOURNAL OF STATISTICAL MECHANICS-THEORY AND EXPERIMENT P09008 2005, Times cited: 409

Collin, D; Ritort, F; Jarzynski, C; et al., Verification of the Crooks fluctuation theorem and recovery of RNA folding free energies, NATURE 437 Issue: 7056 Pages: 231-234 2005, Times Cited: 340

Agashe, K; Contino, R; Pomarol, A, The minimal composite Higgs model, NUCLEAR PHYSICS B 719, 165-187 2005, Times cited: 363

Da Rold, L; Pomarol, A Chiral symmetry breaking from five-dimensional spaces, NUCLEAR PHYSICS B 721, 79-97 2005, Times cited: 356

Duch, J; Arenas, A: Community detection in complex networks using extremal optimization, PHYSICAL REVIEW E 72, 027104 2005, Times cited: 316

Buchmuller, W; Di Bari, P; Plumacher, M ,Leptogenesis for pedestrians, ANNALS OF PHYSICS 315, 305-351 2005, Times cited: 297

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, 2005, Times cited: 288

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, 2005, Times cited: 281

Nojiri, S; Odintsov, SD , Inhomogeneous equation of state of the universe: Phantom era, future singularity, and crossing the phantom barrier, PHYSICAL REVIEW D 72 Issue: 2 Article Number: 023003, 2005, Times cited: 261

Bustamante, C; Liphardt, J; Ritort, F, The nonequilibrium thermodynamics of small systems, PHYSICS TODAY Volume: 58 Issue: 7 Pages: 43-48 2005, Times cited: 253

Krenke, T; Acet, M; Wassermann, EF; et al., Martensitic transitions and the nature of ferromagnetism in the austenitic and martensitic states of Ni-Mn-Sn alloys, PHYSICAL REVIEW B Volume: 72 Issue: 1 Article Number: 014412 , 2005, Times cited: 248

Pavon, D; Zimdahl, W Holographic dark energy and cosmic coincidence, PHYSICS LETTERS B 628, 206-210, 2005, Times cited: 237

Nojiri, S; Odintsov, SD; Sasaki, M, Gauss-Bonnet dark energy, PHYSICAL REVIEW D 71 Issue: 12 Article Number: 2005, Times cited: 223

Elizalde, E; Nojiri, S; Odintsov, SD; et al. , Dark energy: Vacuum fluctuations, the effective phantom phase, and holography, PHYSICAL REVIEW D 71, 103504 2005, Times cited: 218

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 2005, Times cited: 216

Famaey, 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, 165-186 , 2005, Times cited: 213

Any 2006

Adelman-McCarthy, JK; Agueros, MA; Allam, SS; et al. The Fourth Data Release of the Sloan Digital Sky Survey, ASTROPHYSICAL JOURNAL SUPPLEMENT SERIES 162 , 38-48 ,2006, Times cited: 724

Brownlee, Don; Tsou, Peter; Aleon, Jerome; et al. Research article - Comet 81P/Wild 2 under a microscope, SCIENCE 314, 1711-1716, 2006, Times Cited: 395

Ahn, M. H.; Aliu, E.; Andringa, S.; et al., K2K Collaboration, Measurement of neutrino oscillation by the K2K experiment, PHYSICAL REVIEW D 74, 072003, 2006, Times cited: 355

Nojiri, Shin'ichi; Odintsov, Sergei D.; Sami, M., Dark energy cosmology from higher-order, string-inspired gravity, and its reconstruction, PHYSICAL REVIEW D 74, 046004, 2006, Times cited: 313

Abulencia, A.; Adelman, J.; Affolder, T.; et al., CDF Collaboration, Observation of $B(s)(0)B(s)(0)$ oscillations, PHYSICAL REVIEW LETTERS 97, 242003 2006, Times cited: 263

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, 135-143 2006, Times cited: 251

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 Issue: 4 Pages: 1621-2006, Times cited: 249

Albert, J; Aliu, E; Anderhub, H; et al., Variable very-high-energy gamma-ray emission from the microquasar LS I +61 303, SCIENCE 312, 1771-1773 2006, Times Cited: 249

Arenas, A; Diaz-Guilera, A; Perez-Vicente, CJ, Synchronization reveals topological scales in complex networks, PHYSICAL REVIEW LETTERS 96 , 114102, 2006, Times cited: 244

Agashe, Kaustubh; Contino, Roberto; Da Rold, Leandro; et al., A custodial symmetry for $Z_b(b)$, PHYSICS LETTERS B 641, 62-66 2006, Times cited: 240

Nojiri, Shin'ichi; Odintsov, Sergei D., Unifying phantom inflation with late-time acceleration: scalar phantom-non-phantom transition model and generalized holographic dark energy, GENERAL RELATIVITY AND GRAVITATION 38, 1285-1304 2006, Times cited: 240

Krenke, T; Acet, M; Wassermann, EF; et al., Ferromagnetism in the austenitic and martensitic states of Ni-Mn-In alloys, PHYSICAL REVIEW B 73, Article Number: 2006, Times cited: 225

Any 2007

Nojiri, Shin'ichi; Odintsov, Sergei 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 Date: FEB 06-11, 2006, INTERNATIONAL JOURNAL OF GEOMETRIC METHODS IN MODERN PHYSICS 4, Pages: 115-145 2007, Times cited: 792

Title: The Fifth Data Release of the Sloan Digital Sky Survey

Author(s): Adelman-McCarthy, Jennifer K.; Agueeros, Marcel A.; Allam, Sahar S.; et al.

Source: ASTROPHYSICAL JOURNAL SUPPLEMENT SERIES 172 Issue: 2

Pages: 634-644, 2007, Times cited: 453

Gajek, Martin; Bibes, Manuel; Fusil, Stephane; et al., Tunnel junctions with multiferroic barriers, NATURE MATERIALS 6, 296-302 2007, Times cited: 340

Schneider, Donald P.; Hall, Patrick B.; Richards, Gordon T.; et al. The sloan digital sky survey quasar catalog. IV. Fifth data release, ASTRONOMICAL JOURNAL 134, 102-117 2007, Times cited: 289

Cusco, Ramon; Alarcon-Llado, Esther; Ibanez, Jordi; et al., Temperature dependence of Raman scattering in ZnO, PHYSICAL REVIEW B 75, 165202 2007, Times cited: 240

Acin, Antonio; Brunner, Nicolas; Gisin, Nicolas; et al., Device-independent security of quantum cryptography against collective attacks, PHYSICAL REVIEW LETTERS 98, 230501 2007, Times cited: 220

Gutierrez, J.; Llordes, A.; Gazquez, J.; et al., Strong isotropic flux pinning in solution-derived YBa₂Cu₃O_{7-x} nanocomposite superconductor films, NATURE MATERIALS 6, 367-373 2007, Times cited: 215

Title: First-principles LDA plus U and GGA plus U study of cerium oxides: Dependence on the effective U parameter

Author(s): Loschen, Christoph; Carrasco, Javier; Neyman, Konstantin M.; et al.

Source: PHYSICAL REVIEW B 75 Issue: 3 Article Number: 035115 2007, Times cited: 202

Any 2008

Taminiau, T. H.; Stefani, F. D.; Segerink, F. B.; et al., Optical antennas direct single-molecule emission, NATURE PHOTONICS 2, 234-237 2008, Times cited: 260

Any 2009

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 2009, Times cited: 541

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 Volume: 323, 1688-1693 2009, Times Cited: 301

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- 2009, Times cited: 235

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, 597-622 2009, Times cited: 203

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. Adoptarem la perspectiva d'aquestes sis grans àrees com a base de la panoràmica sobre la física del període 2003-2009 que presentem tot seguit.

Pel que fa a la física quàntica, destaquen 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, llançat per l'ESA el 2006, en actiu fins a 2013, i el Kepler, llançat per la 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, 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 de 2009, el satèl·lit Planck de l'ESA el 2009, 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 o 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 dutes a terme per l'observatori Hubble, o per el Sloan Digital Sky Survey (del 2008 al 2011) o el Dark Matter Survey, o, a escala més puntual, l'observació més o menys directa dels efectes sobre la matèria fosca sobre una col·lisió de galàxies, el 2006.

En un marc més clàssic, la de la relativitat general einsteiniana, segueix l'interès per la detecció de les ones gravitatòries, amb estudis com els del LIGO (Laser Interferometer Gravitational-wave Observatory) entre el 2002 i el 2011 (amb una reactivació prevista per a 2014, i projectes en curs com el LISA (Laser Interferometer Space Antenna), 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 han dificultat molt la seva 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. Pek que fa a observacions de neutrins d'origen còsmic, destaca la instal·lació i posada en marxa de l'Ice Cube Neutrino Observatory ben a prop del Pol Sud, els primer resultats del qual es comencen a tenir el 2011. Pel que fa a les grans instal·lacions, destaca la inauguració del LHC (Large Hadron Collider) del CERN, inaugurat el setembre de 2008, però amb una posterior aturada de diversos mesos a causa d'una

avaría greu en el sistema de refrigeració amb heli líquid. El novembre de 2009 va ser posat novament en marxa, ara amb èxit, i el juliol de 2012 es 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 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 qual (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 d'altres progressos, podem esmentar els forts avenços dels làsers de semiconductors, utilització de làsers per a refredament de la matèria fins a temperatures ultrabaixes, òptica ultraràpida, biofotònica. S'han seguit desenvolupant fibres òptiques dopades convenientment per a 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 fullerenes, 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 nanopartícules per a 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 de materials ha estat el desenvolupament de metamaterials amb índex de refracció negatiu, cap a 2006. La possibilitat de desenvolupar recobriments que atorguessin invisibilitat al objectes ha cridat molt l'atenció del gran públic. Des de llavors, l'estudi de

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

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

3.2. Línies de recerca en física a Catalunya (en elaboració)

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 de materials, que també pot ésser considerat des d'altres classificacions, com ara física aplicada, física de l'estat sòlid, química de materials, química orgànica, o enginyeria de materials. És un camp amb un elevat nombre d'investigadors i de grups (taules 4 i 5), que es van consolidant i ampliant considerablement. Magnetisme i les seves aplicacions és el tema que capta l'atenció de més investigadors, seguit de superconductivitat i de l'estudi termodinàmic i estadístic de transicions de fase.

A la UB, els grups que treballen en ciència de materials són al 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 Nanoestructures), UB: d'Estructura i Constituents de la Matèria (Grup de transicions de fase i física de materials, física estadística i no lineal, física de sistemes complexos Materials: transicions de fase i propietats magnètiques i de transport, 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 (el 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, al Departament de Física Aplicada s'estudia aliatges amb memòria de forma, i les seves aplicacions a sistemes intel·ligents, especialment per amortir els efectes de terratrèmols ens edificis i infraestructures diverses, oscil·lacions de ponts sostinguts per cables, i 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 per materials piezoelèctrics per a dispositius de potència, i conductors elàstics, amb incorporació de nanotubs de carboni, i un altre grup que estudia oles característiques físiques de materials emprats en art (pigments de pintures antigues i actuals, ceràmiques antigues). Al Departament de Física i Enginyeria Nuclear, s'estudien aliatges moleculars, transicions de fase, propietats elèctriques de materials dielèctrics (a Terrassa), i materials i tecnologies d'anàlisi per a la construcció i de medi ambient. Hi ha també un Laboratori de Caracterització de Materials que treballa en cristalls líquids, fases semidesordenades, aliatges moleculars, fullerè 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 —i el tractarem més extensament en l'apartat de Física Estadística i no Lineal. També a la UPC hi ha un Departament de Ciència de Materials i Enginyeria Metal·lúrgica, que treballa, entre altres temes, en el desenvolupament de biomaterials, però que no hem inclòs en aquest treball, perquè el considerem més propi del Report d'Enginyeria.

Al Departament de Física de la UAB dos grups es dediquen a la física dels materials. Un estudia propietats magnètiques en materials constituïts per làmines fines paral·leles, i vidres i materials amorfs en general, i un altre termodinàmica de nanosistemes, en especial nanocalorimetria i 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 superconductores nanoestructurades, i el Grup de magnetisme, en nous òxids magnètics i espintrònica; i en 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 Mossbauer, compostos polimorfs per a 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 altres, mitjançant espectroscòpia Raman i el·lipsometria, així com en 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, a guies d'ona i a 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 de 85 % de partícules i 15 % de gravitació.

3.2.3. Partícules i camps

(UNESCO 2212 i 2208, PACS 10)

Al Departament de Física de la UAB hi ha el Grup de Fenomenologia de Partícules Elementals i el de Partícules i Astropartícules, que formen part del Grup de Física Teòrica, i de l'IFAE, que treballen en física del model estàndard i més enllà del model estàndard, estudiant prediccions comparables al 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, al Departament d'Estructura i Constituents de la Matèria el Grup d'Altes Energies, que treballa en introducció al model estàndard, teoria de cordes, informació i computació quàntiques, i física experimental (participen a l'experiment LHCb, del CERN, sobre ruptura de simetria entre matèria i antimatèria)

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, a l'experiment CDF de col·lisions protó-antiprotó al Fermilab (Estats Units d'Amèrica), en recerques en astronomia i astrofísica de raigs gamma: el disseny i

la preparació de CTA (Cerenkov telescopes arrays) i treballs al MAGIC (situat a l'observatori de El Roque de los Muchachos, a La Palma de les Illes Canàries, posat en marxa el 2003 per a la detecció de raigs còsmics i astropartícules de gran energia), i 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: DES (dark energy survey), i PAU (physics of the accelerating universe, 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'Institut de Ciències de l'Espai del CSIC, als 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 gauge, superfícies aleatòries, teories quàntiques topològiques i simetries d'equacions diferencials (a la UB), i vidres de spin, difusió anòmala, caos, teoria de la informació, simulació de sistemes físics (a la UPC).

Durant aquest període l'interès per 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 ha augmentat la seva 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 ones gravitatòries i teories de gravitació en universos membrana, i en altres temes més clàssics. Al Departament de

Física Fonamental de la UB, el Grup de Gravitació i Cosmologia Relativistes i Sistemes Estocàstics treballa en gravitació en models de branes i 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, que 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 microgravetat sobre fluids bifàsics (líquids amb bombolles gasoses, principalment) i sobre creixement de cristalls.

3.2.6. Astronomia i astrofísica

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

Els investigadors en aquesta àrea, de la UB, UAB, UPC i CSIC, també són membres de l'IEEC.

A la UB 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...

A la UPC, al Departament de Física Aplicada, el grup d'astronomia i astrofísica estudia evolució estel·lar, emprant 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 del 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, formació, refredament i estructura de nanes blanques), noves clàssiques (emissió de

raigs X i raigs gamma en noves, màsers d'aigua a Cefeu, condrites carbonàcies i cosmoquímica orgànica.

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

Hi ha relacions assídues amb grans instal·lacions internacionals (observatoris astronòmics de La Palma, Calar Alto, European Southern Observatory 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'observatori de raigs gamma INTEGRAL, l'interferòmetre global astromètric GAIA, el satèl·lit PLANCK SURVEYOR per a la determinació d'anisotropies de la radiació de fons, el projecte Physics of the Accelerating Universe (PAU) i el Dark Energy Survey (DES).

Els temes tractats a l'Observatori de l'Ebre (de la URL i relacionat amb projectes del CSIC) són geomagnetisme (variacions del camp geomagnètic, variacions magnètiques d'origen extern, caracterització magnètica de l'Antàrtida), ionosfera (forçament extern i intern, modelatge de paràmetres), sismologia (atenuació sísmica a partir d'ones de coda tomografia sísmica d'estructures terrestres), activitat solar i 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 2.3, 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 fenòmens de no equilibri, transicions de fase, i 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; al Departament d'Estructura i Constituents de la Matèria, el Grup de Transicions Estructurals de Fase estudia des del punt de vista teòric i experimental la dinàmica de transicions de fase, cinètica de processos d'ordenació, relaxació estructural en sistemes amorfs i formació de patrons estructurals i interacció entre càrregues i matèria. En el mateix Departament, el Grup de Processos Estocàstics investiga fluctuacions en sistemes extensos fora de l'equilibri.

A la UAB, el Grup de Física Estadística estudia termodinàmica estesa fora de l'equilibri, aspectes termodinàmics de models cosmològics, transport de calor i electricitat en nanosistemes i desenvolupaments en fonònica, i 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, al Departament de Física Aplicada, el Grup de Transicions de Fase, Polimorfisme i Metaestabilitat treballa en nanocalorimetria i transicions de fase i el Grup de Fluctuacions i Turbulència estudia formació de patrons, fluctuacions en sistemes extensos, dinàmica de reaccions químiques i propagació de fronts. El grup de física no lineal i sistemes fora de l'equilibri estudia autoorganització en sistemes complexos (sistemes biofísics, dispositius nanomètrics), temes de ciència de materials, acústica arquitectònica i mediambiental i eficiència energètica en edificis.

En el Departament de Física i Enginyeria Nuclear, el Grup de Simulació per Ordinador en Matèria Condensada i Sistemes Complexos 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), i a Terrassa treballen en dinàmica no lineal en sistemes fotònics i biològics. Alguns investigadors al Departament de Química Física de la UB estudien dinàmica no lineal, propagació d'ones en medis excitables, fronts de propagació amb fluctuacions, i alguns investigadors a la UdG i a la Universitat Internacional de Catalunya (UIC) treballen en sistemes de reacció-difusió hiperbòlics i aplicacions biològiques a propagació d'espècies i d'epidèmies.

Per a arrodonir la perspectiva dels estudis en termodinàmica caldria esmentar recerques més tecnològiques referides a màquines tèrmiques, bombes de calor, 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, 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 mateixa Universitat, a Terrassa, al 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, al Departament d'Òptica i Optometria, el Grup d'Òptica Aplicada treballa en enginyeria òptica (senyors, instruments i sistemes), tecnologia de sistemes làser, òptica fisiològica i processament d'imatges. D'altra banda, al Campus Nord, al Departament del Senyal i Comunicacions hi ha un grup de fotònica amb interès per solitons en fibres òptiques, i altres grups que estudien sistemes òptics de seguretat, inversió lidar i atmosfera.

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

Física aplicada i òptica de la UB: 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 Spin-trònica \(GECFE\)](#) (Preparació i caracterització de capes fines d'òxids mitjançant Dipòsit amb Làser Pulsat 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), [Grup](#)

[de Física i Enginyeria de Materials Amorfs i Nanoestructurats \(FEMAN\)](#) (Producció i caracterització de materials amorfs i sub-cristal·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), [Optical Trapping Lab - Grup de Biofotònica \(BiOPT\)](#) (Pinces òptiques hologràfiques, Manipulació i mesura de forces, Estudi de processos biològics en cèl·lules vives).

ICFO: nanofotònica, nanooptoelectrònica, nanofotònica molecular, fotònica quàntica amb àtoms i sòlids, fotònica nano-quàntica, nanoòptica plasmònica, fenòmens òptics no lineals, pinces òptiques, optoelectrònica, enginyeria quàntica de la llum, informació quàntica, gaos quàntics, ultrafreds, imatge avançada de fluorescència i biofísica, fotovoltaica orgànica nanoestructurada, biofotònica de molècules individuals, oscil·ladors òptics paramètrics, òptica ultraràpida.

3.2.9. Electrònica

(UNESCO 2203, PACS 41 i 72)

Com que hi ha un report dedicat a la tecnologia electrònica, aquí no ressenyem tota l'activitat en aquest camp. Així, no hem ni el Centre Nacional de Microelectrònica del CSIC ni diversos grups d'enginyeria electrònica de la UPC, UB ni de la ETSE de la UAB. Ens hem limitat al Departament d'Electrònica de la Facultat de Física de la UB.

A la UB, al Departament de Física Aplicada i Òptica, un grup treballa en capes fines de silici, amb aplicacions a plaques fotovoltaïques i al Departament d'Electrònica hi ha grups que investiguen en bioelectrònica i nanobioenginyeria (SIC-BIO), en sistemes d'instrumentació i comunicacions (SIC), en processat de senyal intel·ligent per sistemes sensors en bioenginyeria, grup de ràdio freqüència (GRAF), material electrònic i energia (M-2E), micro-nanotecnologies i nanoscòpies de dispositius electrònics i fotònics. Participen en el Centre d'Enginyeria de Microsistemes per a Informació i Control (CEMIC) i Centre de Recerca en Bioelectrònica i Nanociència (CBEN), de la UB.

A la UPC un grup del Departament de Física Aplicada explora el comportament de transductors piezoelèctrics. A l'ETSE de la UAB, els grups més afins a la física pròpiament dita treballen en transport en sistemes nanomètrics, dispositius quàntics i

aplicacions a microones, en la fiabilitat de dispositius electrònics i, una mica més aplicat, a 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.

Al Departament de Física Aplicada de la UPC, el grup de dinàmica no lineal de fluids estudia la transició a la turbulència, dinàmica no lineal d'ones, i formació d'estructures dissipatives, amb interès especial per sistemes geofísics (oceanografia,, dinàmica atmosfèrica, dinàmica mediambiental).

Al Departament de Física i Enginyeria Nuclear de la UPC s'estudia miscibilitat de mesofases desordenades; al Departament de Química Física i Inorgànica de la URV alguns investigadors treballen en turbulència, i al Grup de Física Estadística de la UB es treballa en alguns problemes relacionats amb els fluids, com viscoelasticitat i 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 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 els 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.

Al 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 semiconductor, 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, com s'ha indicat abans, el moviment molecular en fases condensades i els líquids quàntics, i 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 artificials, les seves aplicacions, riscos i impacte ambiental.

A la UAB, el Grup de Física de les 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, arrossegat 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 i de física estadística, d'òptica, de nanotecnologia ... A la UB (Departament de Física Fonamental): propietats elàstiques i elèctriques de DNA, plegament de proteïnes, motors moleculars, microreologia de cèl·lules vives, propietats elèctriques del DNA), a la UAB (Grup de Física Estadística): propagació d'epidèmies i d'espècies biològiques, simulació de propietats de macromolècules, canals iònics i membranes biològiques, en col·laboració amb l'ICMAB),

A la UPC (al Departament de Física Aplicada un grup estudia models físics dels éssers vius, i al 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 biomèdiques (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 producció d'imatges mèdiques amb tomografia d'emissió de fotons.

Forma part del Centre de Recerca en Bioelectrònica i Nanobiociència (CBEN-UB), juntament amb el Departament d'Electrònica de la UB (del qual ja hem ressenyat la recerca en bioelectrònica i nanobioenginyeria i en temes com la caracterització elèctrica a nanoescala, o la microrobòtica i nanomanipulació de mostres biomèdiques).

A la UAB, la Unitat de Biofísica Molecular de la Facultat de Medicina treballa en estructura i funció de detectors i transportadors en membranes o en plegament de proteïnes i diverses patologies relacionades amb el seu mal funcionament. 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 spinoff.

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 mesoscala, que incorporen les característiques orogràfiques i micrometeorològiques del paisatge, amb una atenció especial a la nostra zona mediterrània (en particular a tempestes convectives de gran intensitat que produeixen grans riuades, i que en són típiques), la propagació de contaminants atmosfèrics pel vent, l'anàlisi de sèries meteorològiques de xarxes, amb interès pels estudis de radar meteorològic. A l'Institut de Ciències de l'Espai del CSIC es treballa en l'ús òptim del GPS (sistema de posicionament global) per a mesures de la humitat i en la METOP (primera plataforma polar del nou sistema de predicció meteorològica europeu).

A l'Observatori de l'Ebre, la secció de meteorologia estudia les relacions entre clima i activitat solar, a més d'activitats observacionals. A la UPC, en física aplicada, i també en física i enginyeria nuclear, alguns investigadors estudien canvi climàtic i medi ambient, i sistemes espacials i percepció remota i, a la UdG, meteorologia i radiació solar, avaluació d'aerosols atmosfèrics, dispersió de contaminants, 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 a estudis observacionals de sismologia (Observatori Fabra) i dels acoblaments entre activitat solar i ionosfera terrestre (Observatori de l'Ebre). A la UB, al 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, l'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. Al Departament d'Astronomia i Meteorologia s'estudia l'origen i l'ocurrència de terratrèmols, ressonàncies d'estructures i activitat microsísmica.

El Grup de Modelització geofísica i geoquímica de l'Institut Jaume Almera (CSIC) treballa en simulació de processos geològics, desenvolupament de nous algorismes per a sensors remots, i geofísica de perforació i d'iamtegria de l'interior terrestre.

L'IEEC fa diversos estudis sobre teledetecció i sistemes d'informació geogràfica i participa en la missió SMOS del programa de ESA Earth Explorer, que estudia la humitat del sòl i la salinitat dels oceans.

A l'Observatori de l'Ebre hi ha una secció d'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 grup 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

capas marines superials, com a fenòmens d'escala planetària, com ara el Niño o l'oscil·lació de l'Atlàntic Nord.

Al Departament de Física de la UdG el Grup d'Anàlisi de Sistemes Ambientals treballa en limnologia física, turbulència, agregació de partícules i qualitat de l'aigua.

A la UPC, el Departament de Física el grup de dinàmica no lineal de fluids estudia temes en 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'Institut d'Estudis Catalans. 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 Ciències, 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 per nous mitjans docents informàtics i en xarxa i mètodes multimèdia per a l'ensenyament, i amb incidència creixent en la formació de professorat de Ciències. A començaments de l'any 2004 es va constituir a la UAB un centre per impulsar aquests estudis.

Física aplicada: propietats electròniques de materials nanoestructurats, simulació ordinadors en matèria condensada, materials amorfs i nanoestructures, dosimetria i radiofísica mèdica, sistemes no lineals i turbulència, capas fines i enginyeria de superfícies, superconductors, transicions de fase, propietats elèctriques i electròniques de materials, energia solar.

Temes: Astronomia i astrofísica: astrofísica estel·lar espacial, cosmologia observacional, medi interestel·lar i radiointerferometria.