

De l'Observatori Fabra al projecte *Sincrotró*: realitats i projectes de la física a Catalunya

David Jou, IEC
Catedràtic de Física de la Matèria Condensada
de la Universitat Autònoma de Barcelona

1. Introducció

Les relacions de Catalunya amb la física no han estat, històricament, gaire potents, tot i que cal no desdenyar diverses aportacions apreciables. En el segle XX aquesta relació es fa més rica, especialment en el darrer terç del segle, en què el seu conreu ha pres una embranzida considerable, per la seva importància crucial en moltes aplicacions tecnològiques i per l'empenta d'alguns investigadors que han creat escola i han afavorit les condicions de recerca. La història de la física a Catalunya ha estat estudiada per investigadors com Santiago Riera i Tuèbols i Jaume Agustí, pel que fa als segles XVIII-XIX, i Thomas Glick i Antoni Roca, pel que fa al primer terç del segle XX. Per a la informació sobre els darrers trenta anys, podem acudir al llibre blanc de la recerca a Catalunya (titulat *La recerca científica i tecnològica a Catalunya, 1990*), els *Reports de la recerca a Catalunya. Física* (1996 i 2004) i els *Estudis bibliomètrics sobre la recerca en física a Catalunya* (2001). Cal precisar que aquest text pretén subratllar grans línies sobre la història, el present i les perspectives de la física a Catalunya i no pas aprofundir en els detalls.

2. Antecedents: els segles XVIII i XIX

Comencem amb unes pinzellades històriques. El 1664, Vicenç Mut, a Mallorca, en un tractat sobre arquitectura militar, explicava, per primera vegada en el nostre país, la teoria de Galileu del tir de projectils. L'obra de Galileu fou seguida, a França, per Descartes i, a Anglaterra, per Newton, investigadors que prengueren el principi d'inèrcia com a punt de partida, però que diferiren en la interpretació del sistema solar. Descartes, que centrà el seu treball en física en l'òptica i en la mecànica de les col·lisions, proposà per al sistema solar un model de vòrtexs, en el qual la rotació del Sol arrossegava un fluid de partícules diminutes, les quals arrossegaven, al seu torn, els planetes; això evitava suposar el buit i haver de considerar forces a distància. En canvi, Newton formulà el principi general de la mecànica i basà el seu estudi del sistema solar en la formulació de la llei de la gravitació universal, en què suposava una acció a distància. Les idees cartesianes, per obra dels il·lustrats francesos, tingueren una influència considerable a Barcelona i dificultaren la implantació de les idees de Newton sobre la gravitació. És interessant recordar, encara que només sigui a tall d'anècdota, que en la biblioteca de Newton figuraven alguns llibres d'alquímia atribuïts a Ramon Llull, i que potser l'influïren en els seus treballs sobre la fusió dels sòlids i el transport de la calor.

Després de la Guerra de Successió, Catalunya perdé les universitats, que foren centralitzades en la nova Universitat de Cervera, entre el 1715 i el 1837. Aquesta universitat tingué poca activitat pel que fa a la recerca científica, però alguns esperits curiosos, en algunes escoles de Barcelona, se seguiren interessant per la física. Així, trobem explicacions detallades de l'òptica de Newton en l'obra del jesuïta Tomàs Cerdà, professor d'àlgebra i aritmètica i física al Col·legi de Nobles de Cordelles, a la Rambla, cap al 1762. Les teories newtonianes de la gravitació foren introduïdes a Espanya per Jordi Juan; el 1750, ja són difoses a Barcelona, a la Reial Acadèmia de Matemàtiques dels cossos d'artillers i d'enginyers. El 1786, J. A. Desvalls, marquès d'Alfarràs, i un dels fundadors, el 1770, de la Reial Acadèmia de Ciències i Arts de Barcelona, presentà una memòria detallada sobre el model newtonià del sistema planetari.

Pel que fa a les ciències físiques a Barcelona en el segle XVIII, destaca la tríada de Francesc Salvà i Campillo, Antoni Martí i Franquès i Francesc Santponç, vinculats a la Reial Acadèmia de Ciències i Arts. L'obra del primer és la que té més interès en relació amb la física del seu temps, marcada per l'estudi del vapor i de l'electricitat. Francesc Salvà i Campillo (1751-1828), químic, físic i metge, fou un dels científics més interessants de la Barcelona del seu temps, i hi introduí el model de Franklin de l'electricitat, analitzà les idees de Galvani i Humboldt sobre l'electricitat animal, i utilitzà els primers generadors electrostàtics i les primeres piles de Volta. Això el dugué al desenvolupament pioner d'un telègraf elèctric (1795), basat en la descàrrega de condensadors al llarg d'un fil que porta el senyal cor-

responent a una lletra. Aquest primer desenvolupament quedà truncat, ja que necessitava una vintena de cables i el senyal no arribava gaire lluny. També s'interessà per l'observació meteorològica, i dissenyà baròmetres i higròmetres, per tal d'estudiar com l'estat atmosfèric influïa en la salut pública. Pel que fa a l'estudi dels gasos, destaquen Martí i Franquès, que féu una determinació molt acurada de la composició de l'aire atmosfèric en el marc de la teoria de Lavoisier, i Francesc Santponç, que posà en marxa la primera màquina de vapor a Barcelona, tot i que la primera fàbrica amb màquines de vapor, la dels Bonaplata, no començà a funcionar fins al 1831.

El segle XIX fou especialment dur a Espanya: iniciat amb una guerra contra l'ocupació francesa i seguit amb repressions absolutistes i guerres civils entre carlins i liberals, que extenuaren el país amb una sagnia de diners i de vides. Al final del segle XIX, Barcelona és una ciutat industrial dedicada al tèxtil i a la indústria química, en un país molt agrari, amb males infraestructures de comunicació, amb deficiències energètiques i de primeres matèries, amb poca tradició científica en ciències exactes i amb un predomini de pensament neoescolàstic conservador. L'entitat amb més dedicació a la física fou, durant molts anys, la Reial Acadèmia de Ciències i Arts de Barcelona; el 1837, Barcelona recupera la Universitat —tot i que no s'hi podran llegir tesis doctorals, reservades a la Universitat de Madrid, fins al 1931—, i el 1851 és fundada l'Escola d'Enginyers, que serà la porta d'entrada a Barcelona de la termodinàmica i l'electromagnetisme mitjançant les obres didàctiques de Francisco de P. Rojas y Caballero. Recordem que les formulacions de Clausius del segon principi en termes de l'entropia i la unificació de les interaccions electromagnètiques en les equacions de Maxwell daten del 1865. La ciència a Barcelona es desenvolupa sobretot en medicina, química i ciències naturals, tot i que amb dificultats endèmiques.

3. Els dos primers terços del segle XX

En el primer terç del segle XX, la física experimenta un impuls considerable a Espanya i Catalunya. Des del punt de vista pràctic —més propi de l'enginyeria que de la física estricta— destaquen l'electrificació del país, amb la construcció de moltes centrals hidroelèctriques, i l'establiment de la xarxa telefònica. Des de la perspectiva acadèmica, el 1900 són fundades seccions de física a les universitats de Madrid, Barcelona i Saragossa. El 1904 destaca la inauguració dels observatoris astronòmics Fabra, a Barcelona, i de l'Ebre, a Roquetes, gràcies a la iniciativa privada de mecenes com Camil Fabra (en el primer cas) o els jesuïtes (en el segon), la construcció ràpida dels quals fou estimulada per l'afany d'observar l'eclipsi de Sol del 1905. Aquests observatoris havien tingut com a precursor el de Sant Feliu de Guíxols, finançat pel mecenes Rafael Patxot, amb equatorial, biblioteca i estació meteorològica. L'Observatori Fabra fou destinat a l'observació de planetes i cometes, i el de l'Ebre, a

l'observació de l'activitat solar i les seves repercussions en el magnetisme terrestre i la meteorologia. Un altre factor en aquest impuls fou la tasca de govern de la Mancomunitat, que fundà l'Escola Industrial, el Laboratori General d'Investigacions i Assaigs (1908) i l'Institut d'Estudis Catalans (1907), amb una secció de ciències a partir del 1911. La Mancomunitat també impulsà la millora d'infraestructures, amb l'electrificació dels trens de Sarrià, i les xarxes de telèfons i de biblioteques. És una època bastant estudiada pels historiadors de la ciència, especialment per Antoni Roca, per l'al·licient de documentar la introducció de la relativitat i de la mecànica quàntica en el nostre país.

En aquest període, destaquen les figures de Josep Comas i Solà, Eduard Fontserè i Esteve Terradas. Josep Comas i Solà (1868-1937), astrònom, començà les seves observacions a l'observatori de Sant Feliu i posteriorment dirigí durant molts anys l'Observatori Fabra, des d'on descobrí una dotzena d'asteroides, entre els quals destaquen els anomenats Hispania (1915), Alfonsina (1920) i Barcelona (1921). També fou el primer a parlar de la possibilitat d'una atmosfera de Tità, avui molt estudiada, i, segons ell, s'avançà a De Broglie a l'hora de postular un caràcter ondulatori de la matèria. Publicà en revistes estrangeres, desenvolupà la utilització de la fotografia per a la recerca i s'oposà a la teoria de la relativitat especial d'Einstein. Fou un divulgador actiu des de *La Vanguardia* i fomentà l'interès per l'astronomia, ben viu a Catalunya, com ho testimonien entitats com l'Agrupació Astronòmica de Sabadell, i creà la Sociedad Astronómica de España y América. Participà activament a la vida pública del seu temps, i fou, per exemple, un dels fundadors del Reial Automòbil Club de Catalunya. Comas i Solà fou succeït al front de l'Observatori Fabra pels professors Isidre Pòlit i Josep M. Codina, vinculats també a la Reial Acadèmia de Ciències i Arts.

Eduard Fontserè (1870-1970) començà les seves activitats ocupant-se del Servei Horari Oficial de Barcelona, a partir del 1891 fou catedràtic de la Universitat de Barcelona (UB) i membre de l'Institut d'Estudis Catalans i dirigí la Secció Meteorològica i Sísmica de l'Observatori Fabra. Fundà el Servei Meteorològic de Catalunya, integrat en xarxes internacionals; elaborà, en col·laboració amb Ramon Jardí, l'*Atlas internacional dels núvols i dels estats del cel*, que tingué difusió internacional, amb edicions en anglès, francès, alemany i català, previstes a la Conferència Meteorològica Internacional de Copenhagen, i promogué els estudis sísmològics.

Esteve Terradas (1883-1950), físic i enginyer, desenvolupà la seva activitat parcialment a Barcelona i a Madrid. Catedràtic a Saragossa i, posteriorment, a Barcelona, fou l'introduïdor més actiu de les noves idees de física estadística, de relativitat i de física quàntica a Barcelona: el 1908, en el congrés de l'Asociación Española para el Progreso de las Ciencias celebrat a Saragossa, presentà una ponència sobre la relativitat; el 1909, en el discurs d'ingrés a la Reial Acadèmia de Ciències i Arts, parlà de l'emissió de radiació per cossos fixos o en moviment, base de la teoria de la relativitat; el 1912 publicà una àmplia ressenya del llibre de Laue sobre la teoria de la relativitat, i el 1915 impartí un curs a l'IEC sobre «Els ele-

ments discrets de la matèria i de la radiació», una introducció a la mecànica quàntica. En el marc de l'IEC, promogué cursos d'alta divulgació —amb figures com Weyl, Sommerfeld, Hadamard, Levi-Civita— i la cèlebre visita d'Einstein a Barcelona el 1923, que tingué gran ressonància periodística. Durant aquesta època col·laborà en projectes d'enginyeria civil com la xarxa telefònica, el metro i l'aeroport. Després d'una etapa a Madrid, passà la Guerra Civil a l'Argentina i, a la tornada, el 1941, presidí l'INTA (Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial). Altres figures de la física en aquesta època són Josep M. Plans (1878-1934), un dels introductors de la teoria de la relativitat, amb l'obra *Nociones fundamentales de mecánica relativista* (1921), el primer tractat detallat i sistemàtic sobre teoria de la relativitat publicat a Espanya, i un llibre sobre càlcul diferencial amb aplicacions a la relativitat general (1924), i Miquel Masriera, físic i químic que féu la tesi doctoral a Alemanya i fou divulgador durant molts anys a *La Vanguardia*. Com a matemàtics interessats en branques clàssiques i modernes de la física, podem recordar Puig Adam i Rey Pastor. Els progressos en ciència també estimularen la relació amb la filosofia: Juan David García Bacca, d'origen navarrès, presentà el 1935 una tesi doctoral sobre l'enfocament lògic de la física moderna, la relativitat i els quàntums.

La Guerra Civil (1936-1939) suposà la destrucció de bona part d'aquests esforços i la destitució o l'exili d'un nombre considerable de professors. El Servei Meteorològic de Catalunya fou destruït, l'Institut d'Estudis Catalans fou prohibit, molts intel·lectuals foren empresonats o s'hagueren d'exiliar. La represa d'una certa normalitat, en una llarga postguerra agreujada per la Segona Guerra Mundial, fou difícil, tant per qüestions polítiques com econòmiques. Alguns físics originaris de Barcelona, com Josep Garcia Santesmases o Joaquim Català Alemany, es traslladaren a Madrid, on en aquella època extremament centralista hi havia més perspectives que a Barcelona, i tingueren un paper considerable.

No s'encetarà una certa normalitat fins a les acaballes dels anys seixanta, en què s'inicia una certa internacionalització. Alguns primers intents, tímids, es registren, per exemple, en el conreu de calorimetria per J. M. Vidal, en connexió amb l'escola de Marsella. El 1963 Espanya ingressa al Centre Europeu per a la Recerca Nuclear (CERN), però en surt el 1968 per suposades dificultats econòmiques. Aquesta sortida tindrà la compensació interna d'estimular la creació del Grupo Interuniversitario de Física Teórica (GIFT), que fomentarà i impulsarà l'estudi de la física de partícules i de la física quàntica, amb iniciatives de científics com Pere Pascual i Luis Garrido, i l'organització de congressos internacionals. Garrido fou un dels impulsors de la física quàntica a la Facultat de Ciències i, posteriorment, a partir del 1970, de la física estadística, amb la Conferència de Sitges de Mecànica Estadística, que encara se segueix celebrant cada dos anys. Els joves llicenciats dels anys seixanta sentiren la necessitat d'ampliar estudis a l'estranger, en especial a França, aprofitant les facilitats donades per la proximitat de París i per l'entusiasme de l'agregat cultural a l'Institut Francès de Barcelona. El grup de físics catalans de primera categoria que desenvolupà la seva recerca a París des de mitjan anys

seixanta fa una gran impressió: Lluís Bel, estudiós de la relativitat general i director de l'Institut Henri Poincaré; Oriol Bohigas i Joan Martorell, amb importants treballs de física nuclear; Eduardo de Rafael, Antoni Capella, Antoni Lloret i Xavier Campí, amb estudis sobre partícules elementals; altres investigadors tornaren a Barcelona a exercir la seva docència universitària. Altres investigadors anaren als Estats Units, com Manuel Cardona, àmpliament reconegut en la física de semiconductors, i que posteriorment desenvolupà la seva recerca a Stuttgart, on dirigí durant molts anys l'Institut Max Planck d'aquesta especialitat, o Miquel Salmeron, en física de materials.

4. El darrer terç del segle XX

En el repàs històric precedent hem destacat alguns noms —la llista, naturalment, podria ésser ampliada si féssim una anàlisi més detallada. En l'estudi sobre l'actualitat posarem l'èmfasi en institucions, personal, línies de recerca i dades bibliomètriques, però no donarem gaires noms, cosa que exigiria més perspectiva històrica.

Per començar, ens referirem a l'evolució de les institucions en el marc de les quals es produeix la docència i recerca en física. Cap al final dels anys seixanta, l'accés d'estudiants a la universitat augmenta moltíssim. Per a mitigar la massificació, el 1968, la Universitat de Barcelona fou complementada amb la Universitat Politècnica, formada per l'agrupació i ampliació de les escoles tècniques i facultats d'enginyeria que abans hi havia a la Universitat de Barcelona. El 1968 fou fundada la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB) —simultàniament a les universitats autònomes de Madrid i de Bilbao. Durant els anys noranta, es fundaren noves universitats a Barcelona —Pompeu Fabra, Ramon Llull, Internacional de Catalunya—, Girona, Tarragona-Reus i Lleida, i s'instal·laren a Barcelona, al campus de la UAB a Bellaterra, diversos instituts del Consell Superior d'Investigacions Científiques (CSIC) relacionats amb la física: el Centre Nacional de Microelectrònica, l'Institut de Ciència de Materials, l'Institut d'Intel·ligència Artificial i l'Institut de Visió per Ordinador, que mitiguen una mica el fort centralisme del CSIC i n'amplien les activitats a Barcelona, que abans estaven circumscrites a l'Institut de Ciències del Mar (oceanografia), l'Institut Jaume Almera (cristal·lografia i geofísica) i l'Institut de Química (estructura de proteïnes). Al final de la dècada dels noranta es creen els instituts de Física d'Altes Energies (1991), d'Estudis Espacials de Catalunya (1996), de Ciències Fotòniques (2002) i de Nanotecnologia (2003), i les universitats constitueixen diversos centres de referència en àrees com ara astrofísica, física de partícules i cosmologia, bioelectrònica i nanobiociència, bioenginyeria, visió, materials avançats per a l'energia. Altres iniciatives no vinculades directament a la física també en faciliten el progrés, com el CESCO —Centre de Supercomputació de Catalunya—, impulsat per la Fundació Catalana per a la Recerca, i el

Centre de Supercomputació amb l'ordinador Mare Nostrum, el més potent d'Europa en el moment que fou inaugurat, l'any 2005. Tot aquest impuls institucional ha estat importantíssim per al foment de l'ensenyament i la recerca en física. Aquestes iniciatives han contribuït a potenciar econòmicament i operativament els seus camps respectius, però convindria potenciar-ne amb més profunditat el grau d'interacció, en lloc de limitar-se a una simple juxtaposició d'iniciatives independents.

D'una rellevància excepcional, pel que fa a la magnitud i les expectatives que genera, és l'aprovació, al començament del 2002, del projecte d'una gran instal·lació de llum de sincrotró a Catalunya per part del Govern espanyol i del de la Generalitat, que hi contribuïran a parts iguals. Després de més de dotze anys de gestions de la comissió promotora, impulsada pel professor Ramon Pascual, fou aprovat aquest projecte, que constituirà la infraestructura científica més gran instal·lada mai a Catalunya: un anell accelerador d'uns dos-cents cinquanta metres de longitud, amb un consum d'uns vuit megawatts. El sincrotró, que suposarà una inversió multimilionària —uns cent vint milions d'euros per a la construcció, més el manteniment anual—, serà instal·lat al Vallès, prop del campus de la UAB, amb vocació internacional, ja que està pensat per a servir grups científics d'Espanya, França, Portugal i Itàlia, sobretot, atesa la saturació del gran sincrotró europeu de Grenoble. El juliol del 2006 es posà la primera pedra de l'edifici. Cal esperar que aquesta instal·lació sigui un revulsiu per a la recerca en micro i nanoelectrònica, en estructura de macromolècules —sobretot proteïnes— i en ciència de materials, i que impulsarà una activitat industrial de punta en àrees com l'electrònica i la farmacèutica.

Pel que fa al personal, cal destacar un gran creixement quantitatiu. Els grans impulsos foren, entre el 1970 i el 1980, el gran increment d'estudiants universitaris, que obligà a augmentar el nombre de professors, i des del 1982 fins al 2000, l'entrada d'Espanya a la Unió Europea, que obligà a invertir en grans projectes científics europeus, per a treure profit dels quals cal incrementar el nombre de científics a Espanya. Entre el 1980 i el 1992, el nombre d'investigadors a les universitats espanyoles es duplicà, però, tot i això, el nombre per cada miler d'habitants quedà encara per sota de la mitjana de la Unió Europea. Del 2000 ençà, el creixement té diverses causes: la creació de nous instituts de recerca —ja esmentats—, la creació de programes de contractació de doctors que tornen de l'estranger —contractes de l'Institut Català de Recerca i Estudis Avançats (ICREA), de la Generalitat, o del programa Ramón y Cajal, del Ministeri d'Educació i Ciència—, la participació en més projectes europeus, que comporten més investigadors visitants i més doctorands, atrets pel creixent atractiu internacional de Barcelona després dels Jocs Olímpics, i el projecte del sincrotró.

Per concretar algunes dades, podem dir que entre el 1990 i el 2002 es graduaren a les universitats catalanes uns dos mil sis-cents llicenciats i uns cinc-cents cinquanta doctors en física. El nombre d'estudiants en física experimenta fluctuacions considerables, i una tendència general a la baixa, lleugerament estabilitzada, característica compartida amb tot

Europa i els Estats Units, provocada, en part, per l'increment d'ofertes laboralment atractives basades en la física, com ara telecomunicacions o enginyeria informàtica, i en part per una minva del nivell de l'ensenyament i per un context social que afavoreix poc l'esforç a llarg termini. Les sortides professionals dels físics que acabaren la carrera entre 1988 i 1998 han estat estudiades recentment; si fa vint anys la sortida gairebé única era la docència, ara aquesta suposa tan sols la meitat de les sortides (entre secundària i superior), i hi ha sortides en tecnologia (electrònica, telecomunicacions, òptica), recerca, informàtica, indústria, serveis (finances, assegurances, consultories, medicina, meteorologia) i administració pública.

El nombre d'investigadors en física a Catalunya era, el 1996, uns sis-cents —quatre-cents doctors i dos-cents doctorands—, mentre que el 2002 havia passat a uns nou-cents —uns cinc-cents cinquanta doctors i tres-cents cinquanta doctorands. Cal comentar també el dinamisme de les societats catalanes de Física i d'Història de la Ciència i de la Tècnica, que es posà especialment de manifest en la celebració de l'any 2005 com a Any Mundial de la Física, i gràcies al qual es publica, des del 1991, la *Revista de Física* o estudis sobre temes com ara les sortides professionals de la física, i s'organitzen conferències i reunions, com ara les Trobades Científiques de la Mediterrània, a Menorca.

Pel que fa a la distribució d'investigadors segons les especialitats, destaca en primer lloc la física de materials, de la matèria condensada, i aplicada —amb uns dos-cents investigadors—, seguida de la física d'altres energies, la física estadística i termodinàmica, i l'òptica —aproximadament amb un centenar d'investigadors cadascuna—; a una certa distància segueixen l'electrònica, l'astrofísica, la física nuclear, la física de fluids, la biofísica, l'oceanografia, la física de l'atmosfera i la física de la Terra. El gran nombre d'investigadors en matèria condensada, molts d'ells en estats sòlids i ciències de materials i física aplicada, tot i que formen grups molt dispersos, és un aspecte que compartim amb molts països. Hi ha una tradició llarga en física d'altres energies, gràcies a l'impuls del GIFT, ja esmentat, mentre que el desenvolupament de la física estadística i la termodinàmica i de l'òptica és força més recent. Pel que fa a l'electrònica, el conreu d'aquesta especialitat s'ha vist impulsat per l'Institut de Microelectrònica del CSIC, dirigit per Francesc Serra Mestres, i per les escoles tècniques.

Les línies de recerca són molt diverses. En matèria condensada i física de materials destaquen els estudis de superconductivitat i magnetisme, materials amorfs, dinàmica de transicions i materials amb memòria, i propietats òptiques de sòlids. Els grups d'altres energies treballen en dos fronts: partícules i camps i relativitat i gravitació. En el primer es desenvolupen teories de camps efectives, física de quarks pesants, electrodinàmica quàntica a baixes energies, interaccions electrofebles, teories en xarxes, i computació quàntica, en el camp teòric; en el vessant experimental, cal destacar la participació en el projecte ALEPH al LEP del CERN i en el projecte ATLAS del futur LHC, i els estudis sobre neutrins, en col·laboració amb el Japó; en gravitació i cosmologia, reben atenció ones gravitatòries, models de gravitació en universos membrana, i efectes dissipatius en matèria fosca i energia fosca. Les recer-

ques en termodinàmica i física estadística estan dedicades a la termodinàmica de materials, de processos irreversibles, processos estocàstics amb memòria, caos, i hidrodinàmica de fluids complexos. Les d'òptica, a làsers, fibres òptiques i òptica no lineal, i a aplicacions com computació quàntica. L'astronomia i l'astrofísica estan centrades en l'anàlisi de la formació i l'evolució estel·lars, supernoves, vent solar, distribució de galàxies i cúmuls de galàxies, i evolució de galàxies; la física de l'atmosfera i els oceans se centra en l'estudi de núvols amb radar, variacions del nivell del mar amb satèl·lits, precipitacions excepcionals, dinàmica de la capa superficial del mar, i dinàmica de costes.

Els resultats de la recerca es poden mesurar en nombre i impacte de publicacions i de patents. Pel que fa a les primeres, es passà d'unes 920 en el període 1985-1989, a unes 2.550 en el període 1990-1995, i a unes 3.700 en el període 1996-2002. Aquest creixement correspon, aproximadament, a l'increment del nombre d'investigadors, amb una productivitat mitjana d'uns 1,2 articles per doctor i any. El pes relatiu de les publicacions en física a Catalunya respecte del total mundial passà de 0,22 % a 0,39 %. També creixé el nombre de citacions rebudes per article, que passà d'1,20 a 1,80 entre aquests períodes. En definitiva, podem destacar un augment del nombre de publicacions, més pes relatiu en el món i més impacte mitjà de les publicacions.

Per a identificar alguns dels camps amb més visibilitat internacional, podem acudir als articles més citats, que acumulen una fracció considerable del total de les citacions rebudes pel conjunt dels articles. Els camps que han assolit més articles molt citats són magnetisme i partícules elementals. Tres dels articles més citats corresponen a estudis en magnetisme de materials, fets per tres grups de tres institucions diferents, la qual cosa mostra la maduresa d'aquesta disciplina a Catalunya. En concret, dos dels articles sobre magnetisme —un sobre biaixos magnètics en estructures materials de moltes capes, amb la participació de Josep Nogués, i un d'efecte túnel quàntic magnètic, amb la participació de Javier Tejada— han estat citats més de vuit-centes vegades i són els articles més citats de la UAB i de la UB, respectivament. La llarga tradició en física d'altres energies ha donat força fruits, en particular una dotzena d'articles molt citats relacionats amb experiments al CERN, amb la participació d'un nombre considerable d'investigadors, entre els quals hi ha Enrique Fernández, que presidí durant dos anys la societat europea d'acceleradors de partícules. En gravitació, cal destacar un article citat més de tres-centes cinquanta vegades sobre universos membrana, amb la participació de Jaume Garriga. En cosmologia destaca la participació de Pilar Ruiz Lapuente, de la Universitat de Barcelona, en el primer article que indicà l'expansió accelerada de l'Univers. Física estadística, termodinàmica i òptica són altres camps amb una mitja dotzena d'articles molt citats cadascun. La referència més citada, més de mil vuit-centes vegades, és la d'un capítol d'un llibre sobre transicions de fase, amb la participació de Maximino San Miguel, de 1982. De les cinc referències més citades, quatre han estat publicades en el període 1996-2002, cosa que indica que aquestes publicacions s'han produït en

àmbits de gran impacte. Per impacte mitjà en física, en el període 1993-2003, les primeres universitats espanyoles són l'Autònoma de Madrid (11,09 per article), la de València (10,93), l'Autònoma de Barcelona (9,11) i la de Barcelona (8,28), cosa que posa de manifest la ressonància prou satisfactòria, però millorable, de la recerca en física de les universitats catalanes. El nombre mitjà de citacions per article de física a Catalunya (en el període 1993-2003) se situa en 8,25, un valor homologable a escala internacional, ja que és lleugerament superior a les mitjanes de França, Itàlia i Espanya, tot i que està per sota de països com Dinamarca o Holanda, de dimensions comparables però amb una tradició superior en recerca. Comentem, finalment, que diversos físics de les universitats catalanes han liderat projectes europeus de col·laboració internacional, àmplia, alguns dels quals incorporen empreses, en àrees com ara magnetisme, superconductivitat, electrònica i nanotecnologia, i astrofísica des de l'espai.

La relació amb les empreses i les activitats relacionades amb patents i desenvolupament segueix essent el gran desafiament de la física a Catalunya, ja que l'entorn industrial català destaca més en química, farmacèutica i metal·lúrgia que no pas en física. De totes maneres, ha augmentat la relació amb les empreses, tant públiques com privades, locals com multinacionals, especialment en ciència de materials, magnetisme, medi ambient, fluids, energia, òptica i electrònica. El nombre de patents relacionades amb la física ha augmentat, entre 1990-1995 i 1996-2002, des d'unes deu fins a unes quaranta. També han augmentat els contractes amb les administracions públiques —Medi Ambient, Indústria i Energia, Junta d'Aigües, Institut Cartogràfic... Com a anècdota significativa podem esmentar que l'oficina de subministraments del projecte ITER, el gran reactor experimental de fusió nuclear que serà construït a Cadarache, al sud de França, ha estat assignada a Barcelona. Cal esperar que el pes creixent de les tecnologies de la informació i les comunicacions, amb participació de la física, estimularà la permeabilitat dels físics cap als serveis i la indústria.

El finançament per investigador i any ha passat de 6.845 euros en el període 1990-1995 a uns 7.400 euros en el període 1996-2002; ara bé, en tenir en compte la inflació acumulada durant els set anys del segon període, la quantitat rebuda per investigador i any val 6.450 euros en valor constant referit al 1996, quantitat, doncs, una mica inferior a la del període anterior. Com que el nombre total d'investigadors ha augmentat considerablement, el finançament total dedicat a la recerca en física ha augmentat proporcionalment, fet que posa de manifest un esforç apreciable per part de les administracions. Aquest esforç és encara més considerable si tenim en compte els sous dels investigadors, no inclosos en l'avaluació dels projectes considerats, i els edificis dels instituts. Això no obstant, fóra bo poder incrementar, en el futur immediat, el finançament per a projectes de recerca experimentals.

Finalment, pel que fa a la divulgació dels coneixements en física, relativament migrada abans dels anys vuitanta —tret de noms especials com ara Josep Comas i Solà, Miquel Masriera o Lluís Miravittles—, ha crescut considerablement, amb un cim especialment visi-

ble en el suplement de ciència i tecnologia de *La Vanguardia*, entre el 1982 i el 1994, i suplementes menys espectaculars visualment, però també rics en continguts, en altres diaris, o amb alguns programes de televisió i de ràdio. Actualment, suplementes de premsa i programes de ràdio i televisió han estat patint un retrocés, amb una desatenció considerable de les autoritats públiques. Tot i això, les universitats són més sensibles a la necessitat de donar a conèixer la investigació que s'hi fa; els serveis de premsa són especialment actius i la presència de resultats de la recerca en els diaris ha crescut bastant. De fet, diversos articles de física amb participació de científics catalans han estat destacats per la premsa internacional. També els científics participen directament en la divulgació, amb conferències o amb llibres destinats a un públic general: Francesc Nicolau, Xavier Duran, Santiago Riera i Tuèbols, Eduard Salvador, Josep M. Trigo, Antoni Lloret, Josep Enric Llebot, Jorge Wagensberg, David Jou i M. Baig. El conreu de la història de la ciència, i en especial de la física, que ja tenia a Barcelona una certa tradició amb les aportacions dels arabistes Josep M. Millàs Vallicrosa i Joan Vernet, ha estat impulsada cap als anys noranta per Manuel Garcia Doncel i el Centre d'Estudis d'Història de la Ciència, amb investigadors com Santiago Riera i Tuèbols, Antoni Roca, Xavier Roqué i Luis Navarro Veguillas.

5. Conclusions

Creiem que el conjunt és molt positiu i que posa de manifest una empena i una vitalitat molt considerables de la comunitat científica dedicada a la física a Catalunya, que ha tingut un progrés molt remarcable en els darrers cinquanta anys, malgrat que partia d'una tradició puntualment i individualment meritòria, però força migrada en termes generals. Hi ha ajudat força, naturalment, l'interès creixent dels poders públics per la recerca, l'increment de facilitats de comunicació i l'augment del pes de la física en activitats de gran pes econòmic. El gran increment en nombre d'investigadors, nombre de publicacions, índex d'impacte de publicacions, patents, i fons destinats a la recerca són dades molt rellevants. Aquesta valoració positiva ha de servir per a encoratjar a seguir en una línia de consolidació de la bona feina feta, sense perdre de vista, però, el que encara queda per fer.

El paper de l'Institut d'Estudis Catalans en la física no passa pas per competir amb les universitats, sinó per complementar-les. Una contribució d'interès és l'elaboració dels *Reports de la recerca*, que permeten tenir una visió panoràmica de l'estat i l'evolució de la recerca. En aquesta línia, també ens sembla interessant estimular publicacions sobre aspectes concrets de la història de la recerca a Catalunya —per posar un exemple, un estudi sobre el grup de físics catalans que en els anys seixanta marxaren a França i s'hi establiren— i estudis bibliomètrics —per exemple, un seguiment dels articles i llibres més citats, amb comentaris dels mateixos autors, que serveixin per a subratllar les recerques més citades i puguin

formar la base de futurs estudis d'història de la física als Països Catalans—; fomentar iniciatives conjuntes entre les universitats catalanes, i entre aquestes i d'altres del nostre àmbit lingüístic —com ara seminaris concrets—; organitzar alguns cicles de conferències sobre temes científics d'interès humanístic, que puguin estimular la nostra cultura —uns cicles semblants als del Collège de France, que de mica en mica anessin creant una tradició i esdevinguessin una referència—; publicar monografies sobre aspectes físics relacionats amb el territori —com ara la limnologia de l'estany de Banyoles, l'oceanografia del mar català, la sismologia dels Pirineus, les rissagues menorquines, el delta de l'Ebre—, en què es proporcionï una panoràmica de la recerca publicada, en català, castellà, anglès o altres llengües, pels investigadors sobre aquests temes, i assessorar els poders públics sobre temes de possible interès general —com ara el canvi climàtic.

Com a darrer comentari, creiem convenient subratllar que encara cal fer força camí per a arribar a una situació d'excel·lència, en què les aportacions de les nostres universitats a la física siguin àmpliament reconegudes mundialment, no tan sols com a aplicacions o variacions valuoses d'idees sorgides a fora, sinó també, en alguns casos, com a contribucions que influeixin de manera apreciable camps amplis de recerca. Falta encara força camí perquè els nostres programes de doctorat atreguin un gran nombre d'estudiants, perquè les nostres universitats figurin en els deu primers llocs en algunes de les especialitats a Europa, perquè el pas dels investigadors postdoctorals per les nostres universitats sigui una referència rellevant en el seu currículum, perquè la transferència de tecnologia sigui capaç de crear noves empreses o de dinamitzar i enfortir empreses ja existents, perquè les patents aconseguides siguin capaces de generar ingressos que contribueixin significativament al sosteniment d'instituts de recerca, perquè la física sigui vista pels inversors internacionals com un al·licient rellevant per a instal·lar-se a Catalunya, o perquè sigui vista per la societat com un valor a tenir en compte en fer balanç de la creativitat del país. Hi ha altres factors més imponderables —com ara la bona fortuna d'algun descobriment especialment remarcable—, que esdevenen, però, més probables com més gran és l'esforç global realitzat en recerca.

Bibliografia

- AGUSTÍ I CULLELL, Jaume. *Ciència i tècnica a Catalunya en el segle XVIII: La introducció de la màquina de vapor*. Barcelona: Institut d'Estudis Catalans, 1983. (Arxius de la Secció de Ciències; 65)
- Centenari de la naixença d'Albert Einstein: Jornades d'homenatge organitzades per la Societat Catalana de Ciències Físiques, Químiques i Matemàtiques*. Barcelona: Institut d'Estudis Catalans, 1981. (Arxius de la Secció de Ciències; 61)
- La recerca científica i tecnològica a Catalunya, 1990*. Barcelona: Institut d'Estudis Catalans: Generalitat de Catalunya, 1990.

- GLICK, Thomas F. *Einstein y los españoles: Ciencia y sociedad en la España de entreguerras*. Madrid: Alianza, 1986.
- JOU, David. *Reports de la recerca a Catalunya. Física (1990-1995)* [en línia]. Barcelona: Institut d'Estudis Catalans, 1996. <<http://www.iec.cat>>.
- JOU, David; VILASECA, Ramon; SALVAT, Francesc. *Reports de la recerca a Catalunya. Física (1996-2002)* [en línia]. Barcelona: Institut d'Estudis Catalans, 2005. <<http://www.iec.cat>>.
- LLOSA, Josep [coord.]. *La llicenciatura en Física: perfil de la professió. Estudi d'inserció laboral* [en línia]. Barcelona: Societat Catalana de Física, 2006. <<http://www.scg-iec.org/perfilprofessional>>.
- RIERA I TUÈBOLS, Santiago. *Ciència i tècnica a la Il·lustració: Francesc Salvà i Campillo (1751-1828)*. Barcelona: La Magrana, 1985.
- *Història de la ciència a la Catalunya moderna*. Vic: Eumo; Lleida: Pagès Editors, 2003.
- ROVIRA, Lluís; SENRA, Pau; JOU, David. *Estudis bibliomètrics sobre la recerca en física a Catalunya*. Barcelona: Institut d'Estudis Catalans, 2001. (Arxius de les Seccions de Ciències; 130)
- ROVIRA, Lluís; CADEFAU, Joan; DURAN, Miquel; ESPLUGA, Xavier; JOU, David; LLOBET, Antoni i SENRA, Pau, *Mapa de excelència en Física y Química de las Universidades españolas*. Girona: Universitat de Girona, 2003
- VERNET, Joan; PARÉS, Ramon [dir.]. *La ciència en la història dels Països Catalans*. Barcelona: Institut d'Estudis Catalans; València: Universitat de València, 2004.