

# Estudis sobre la recerca en física a Catalunya: els articles més citats

Pau Senra\* i Lluís Rovira†

## Introducció

Molt sovint, el coneixement que el públic informat —fins i tot els especialistes— té de la recerca en un camp científic a Catalunya es limita a algunes dades molt genèriques sobre la subvenció total atorgada durant un cert període de temps per les diverses administracions (*input*), i a unes estadístiques més o menys detallades sobre el nombre total d'articles publicats (*output*). Convé, però, que tant els mateixos investigadors, com els polítics i la societat mateixa tinguin un coneixement com més ample millor dels resultats de la recerca per tal que pugui resultar clar quins són els beneficis de subvencionar-la, i per tal que vagi ocupant, de mica en mica, el lloc que li correspon en el nostre paisatge cultural, innovador i emprenedor.

Si bé hi ha algun antecedent en treballs anteriors sobre aproximacions bibliomètriques en física, en un marc proper com és l'Estat espanyol (J. R. Pérez, 1991), les mancances o restriccions en les dades d'aquests i el temps que ha transcorregut des que van ser publicats aconsellen nous estudis sobre aquesta temàtica.

L'objectiu d'aquest breu article és presentar un primer estudi sobre els articles de física més citats que s'han publicat a les universitats catalanes —i també els articles més citats d'investigadors catalans a l'estranger. La motivació inicial d'aquest treball ha estat el Report de la recerca en física a Catalunya (1990-1995), elaborat pel professor David Jou, dintre del Programa de reports sobre la recerca impulsat per l'Institut d'Estudis Catalans amb el suport de la CIRIT. En aquell report es presentava una llista d'aproximadament una dotzena d'articles citats més d'un centenar de vegades. Vam creure —encoratjats pel mateix autor del report— que era convenient estendre amb més profunditat i per a un interval més ampli aquella primera prospecció. L'esforç ha valgut la pena: el nombre d'articles molt citats que podem referenciar aquí és més del doble d'aquella llista inicial, cosa que ens ajuda a afinar i consolidar la

visió sobre aquest aspecte de la recerca.

L'estudi dels articles més citats no és purament anecdòtic. Segons W. Glänzel (1995), els indicadors basats en els articles més citats en l'àmbit de la física aporten una informació rellevant i addicional a les anàlisis bibliomètriques nacionals i regionals, habitualment basades en la mitjana de citació. En efecte, a més d'apuntar algunes línies de recerca especialment reeixides, els articles més citats acumulen un percentatge elevat del nombre total de citacions rebudes pel conjunt d'articles. Aquest fenomen acumulatiu és prou conegut en els estudis bibliomètrics generals, i ha estat també constatat pels nostres estudis sobre el cas concret de la física a Catalunya, com ho exposarem en aquest article (per exemple, el 1982 acumula en tres articles, recollits a la taula 1, el 40 per cent del total de citacions rebut per tots els articles publicats en aquell any). Per aquest motiu, el coneixement dels articles més citats resulta imprescindible per a una interpretació acurada de les dades globals, que quedaria seriosament afectada si només es basés en valors mitjans que ignoren els efectes acumulatius dels articles més citats.

## Objectius i mètode

Les dades globals sobre finançament de la recerca a Espanya en general i a Catalunya en particular posen de manifest una etapa de creixement notable, entre 1980 i 1992, en què pràcticament s'arriba a duplicar el tant per cent del PIB dedicat a recerca, seguida a partir de 1992 d'una etapa d'estagnació, deguda en part a restriccions pressupostàries relacionades amb les exigències del tractat de Maastricht per entrar en la zona de moneda única europea. Aquesta estagnació ens ha deixat en un nivell de despesa i de nombre d'investigadors per habitant que segueix sent inferior a la mitjana europea.

Pel que fa al resultat expressat en forma d'articles publicats (hi ha altres resultats, com ara patents o transferència de tecnologia, que no són objecte d'aquest estudi) és evident que hi ha un gran increment en el nombre d'articles publicats i del seu impacte mitjà (mesurat genèricament en citacions/article, o pel que fa a revistes, per l'índex d'impacte o citacions rebudes per article durant els dos anys següents a la seva publicació), que ens proposem estudiar en un breu article futur. En pre-

\*Pau Senra (Barcelona, 1972) és llicenciat en Física per la Universitat de Barcelona (1998) i actualment treballa a l'Observatori de la Comunicació Científica, Universitat Pompeu Fabra, psenra@gio.es.

†Lluís Rovira (Girona, 1968) és doctor en Biologia per la Universitat de Barcelona (1998) i actualment treballa a la CIRIT, Lrovira@correu.gencat.es.



**Analytical and numerical studies of multiplicative noise.** Sancho-JM Gunton-JD Katz-SL Miguel-MS  
 SANCHO-JM-1982-PHYS-REV-A-V26-P1589 **287**(2,10,21,23,18,21,40,34,22,14,12,23,11,10,11,7,8)

**An Experimental Method for the Observation of R.F. Transitions and Laser...** Alzetta-G Gozzini-A Moi-L  
 ORRIOLS-GALZETTA-G-1976-NUOVO-CIMENTO-B-V36-5 **253**(0,0,0,5,3,3,7,1,2,7,4,5,7,4,11,11,30,13,16,29,27,35,34)

**Parton distributions from a global qcd analysis of deep inelastic...** Laboratoris d'altres energies de la UAB  
 MORFIN-JG-1991-Z-PHYS-C-V52-P13 **239**(0,32,81,56,27,20,11,12)

**Sum rules for nuclear collective excitations.** Bohigas-O Martorell-J  
 BOHIGAS-O-1979-PHYS-REP-V51-P267236(3,18,21,15,21,11,10,14,11,12,9,21,8,7,10,14,4,6,10,11)

**Determination of the number of light neutrino species.** Grup1  
 DECAMP-D-1989-PHYS-LETT-B-V231-P519 **227**(1,96,66,29,11,7,4,10,2,1)

**Non-absorbing atomic coherences by coherent 2-photon transitions in a 3-level...** Arimondo-E Orriols-G  
 ARIMONDO-E-1976-LETT-NUOVO-CIMENT-V17-P333 **208**(1,0,0,2,2,3,6,2,1,8,7,5,7,7,15,18,13,11,17,23,21,16,23)

**Searches for new particles in Z decays using ALEPH detector.** Grup2  
 DECAMP-D-1992-PHYS-REP-V216-P253 **207**(5,0,0,33,33,41,44,35,16)

**Extended irreversible thermodynamics.** Jou-D Casasvazquez-J Lebon-G  
 JOU-D-1988-REPORTS-PROG-PHYS-V51-P1105 **200**(0,11,18,25,19,38,20,35,17,19,17)

**Superstring-inspired models.** Delaguila-F Blair-G Daniel-M Ross-GG  
 DELAGUILA-F-1986-NUCL-PHYS-B-V272-P413 **196**(3,31,8,7,13,11,2,1,2,3,5,0,0)

**Dynamical scaling of structure-function in quenched binary-alloys.** Lebowitz-JL Kalos-MH Marro-J  
 LEBOWITZ-JL-1982-ACTA-METALL-V30-P297 **196**(3,15,22,16,13,12,16,13,8,14,12,10,8,9,12,7,6)

**A vector meson dominance approach to scale invariance.** Bramón-A Etim-E Greco-M  
 BRAMÓN-A-1972-PHYS-LETT-B-V41-P609 **182**(0,14,30,21,14,14,10,9,8,14,6,11,9,4,4,4,4,3,0,0,0,2,0,00,1,0)

**Quantum energy-gap in 2 quasi-one-dimensional s#1 heisenberg antiferromagnets.** Verdaguer-M et al.  
 RENARD-JP-1988-J-APPL-PHYS-V63-P3538 **178**(0,7,12,23,33,16,34,24,11,10,8)

**Extended irreversible thermodynamics.** Jou-D Casasvazquez-J Lebon-G  
 JOU-D-1993-1996-SPRINGER-VERLAG **167**(2,7,33,31,37,57)

**Density functional calculation of stopping power of an electron-gas for slow ions.** Nieminen-RM et al.  
 ECHENIQUE-PM-1981-SOLID-STATE-COMMUN-V37-P779 **156**(2,3,4,2,6,5,7,9,8,10,10,14,10,12,17,8,13,16)

**Chiral lagrangians for massive spin-1 fields.** Ecker-G Derafael-E Gasser-J Leutwyler-H Pich-A  
 ECKER-G-1989-PHYS-LETT-B-V223-P425 **153**(0,12,16,14,23,11,20,26,22,9)

**Nonabsorption Resonances by Nonlinear Coherent Effects in a Three-Level System.** Orriols-G ORRIOLS-G  
 G-1979-NUOVO-CIMENTO-B-V53-P1 **148**(1,1,6,9,5,7,15,8,5,7,5,10,8,11,10,8,11,11,11,9)

**Neutrino mass and baryon-number nonconservation in superstring models.** Mohapatra-R Valle-J  
 MOHAPATRA-RN-1986-PHYS-REV-D-V34-P3457 **144**(0,14,11,4,10,8,10,5,5,12,10,13,42)

**QCD sum rules in the effective heavy quark theory.** Bagan-E Ball-P Braun-VM Dosch-HG  
 BAGAN-E-1992-PHYS-LETT-B-V278-P457 **136**(7,21,28,23,26,20,11)

**The Pole Mass in Perturbative QCD.** Tarrach-R  
 TARRACH-R-1981-NUCL-PHYS-B-V183-P384 **129**(2,12,6,7,5,1,1,3,6,3,6,8,5,12,17,12,15,8)

**A precise determination of the number of families with light neutrinos and of the z boson...** Grup1  
 DECAMP-D-1990-PHYS-LETT-B-V235-P399 **129**(62,43,11,5,2,1,4,0,1)

**The self-couplings of vector bosons: does LEP-1...** Derujula-A Gavela-MB Hernandez-P Masso-E  
 DERUJULA-A-1992-NUCL-PHYS-B-V384-P3 **127**(0,21,30,26,21,16,13)

**QCD - Renormalization for the Practitioner.** Pascual-P Tarrach-R  
 PASCUAL-P-1984-QCD-RENORMALIZATION **16**(0,2,10,7,10,12,5,8,6,15,6,9,14,5,7)

**An extension of the local equilibrium hypothesis.** Lebon-G Casasvazquez-J Jou-D  
 LEBON-G-1980-J-PHYS-A-V13-P275 **111**(11,6,14,11,7,11,8,5,9,6,4,3,5,4,2,3,1,1,0)

**Nonabsorption hyperfine resonances in a sodium vapour irradiated by a multimode...** Moi-L Orriols-G  
 ALZETTA-G-1979-NUOVO-CIMENTO-B-V52-P209 **102**(1,1,1,6,3,1,8,6,3,6,5,5,7,8,7,6,7,6,8)

**Thermodynamic analysis of thermal measurements in thermoelastic martensitic...** Planes-A  
 ORTIN-J-1988-ACTA-METALL-V36-P1837 **94**(2,9,6,7,13,13,8,9,15,3,9)

**The dynamics of first-order phase transitions, a Phase Transitions and critical...** San Miguel-M  
 GUNTON-JD-1983-PHASE-TRANSITIONS-CR-V8-P269 **93**(0,2,4,2,5,12,4,9,6,3,4,8,11,7,10,6)

**Zeta-Function Regularization is uniquely defined well.** Elizalde-E  
 ELIZALDE-E-1994-ZETA-REGULARIZATION **91**(6,8,28,19,30)

**Electronic energy transfer induced by collision between two...** Alzetta-G Kopystynska-A Moi-L Orriols-G  
 ALLEGRI-M-1976-OPT-COMMUN-V19-P96 **89**(0,3,6,2,7,9,6,7,2,5,7,3,4,3,4,3,5,1,2,2,1,4,3)

**The QCD Effective Action At Long Distances.** Espriu-D Derafael-E Taron-J  
 ESPRIU-D-1990-NUCL-PHYS-B-V345-P22 **89**(1,13,15,11,18,9,9,7,6)

Taula 1: Relació dels articles citats més de 100 vegades, on l'adreça de com a mínim un autor correspon a una institució catalana de recerca



guntar-nos, però, per l'impacte real d'aquests articles, resulta interessant esbrinar, entre altres aspectes, quins han estat els articles més citats dels que s'han publicat des de les universitats catalanes i també dels que han publicat científics catalans des de centres estrangers, per completar la panoràmica i, sobretot, per ser conscients de la magnitud i del flux d'investigadors cap a l'exterior que ha tingut lloc en alguns episodis de la nostra història recent.

Efectivament, una idea relativament difosa és que si bé ha anat augmentant el nombre d'investigadors, el nombre d'articles publicats i la productivitat per investigador, encara queda molt de camí a recórrer pel que fa a la part superior de l'espectre de la producció científica. Ens referim a publicacions en revistes d'alt impacte com ara *Physical Review Letters*, *Nature* o *Science*; publicació de *reviews* llargs en revistes influents —*Reviews of Modern Physics*, *Physics Reports*, *Reports on Progress in Physics*—; publicació de monografies en col·leccions de difusió prou àmplia, o publicació d'alguns articles que hagin resultat especialment influents internacionalment, i que hagin assolit grans quantitats de citacions.

Una altra limitació de la física a Catalunya és la manca de grans instal·lacions. Això repercuteix negativament en la seva presència internacional, tant pel que fa a projectes, com pel que fa a nombre i impacte d'articles. Per posar tan sols un exemple de com una gran institució pot tenir un pes important en l'impacte mitjà dels articles, podríem esmentar la recerca derivada de les 2 missions de la NASA: COBE (a la recerca de radiació tèrmica del Big Bang) i CGRO (Compton Gamma-Ray Observatory), que va encetar una línia d'estudi de les fonts d'altres energies a l'univers. Gràcies a aquestes dues missions, la NASA fou entre el 1993 i el 1995 la institució (amb un mínim de 30 articles altament citats) en recerca astronòmica i astrofísica amb més impacte mundial; es comptaren 2.521 citacions (Mitton, 1996).

Hem pretès acumular tota la informació possible sobre els articles d'alt impacte, per tal de poder esbrinar fins a quin punt és admissible la imatge d'una física de nivell mitjà força respectable, però amb poques publicacions àmpliament influents. Aquest impacte ha estat mesurat pel nombre total de citacions recollides a l'SCI (Science Citation Index). Aquesta base de dades recull les citacions en articles, però no en llibres ni en actes de congressos, de manera que el nombre total de citacions pot ser més alt, en realitat (i de vegades força més alt) que el de l'SCI. Per homogeneïtzar les dades i fer que els nostres resultats fossin verificables al màxim, ens hem limitat, com dèiem, a l'SCI, i no hem tingut en compte altres bases de dades, com per exemple SPIERS, molt habitual en física d'altres energies, i que inclou també citacions en actes i en *preprints*.

Pel que fa a articles publicats en universitats catalanes a partir de 1980, la recerca ha pogut ser relativament

sistemàtica i exhaustiva. En canvi, pel que fa a articles anteriors, o bé pel que fa a articles publicats per investigadors catalans a l'estranger, les dades són menys sistemàtiques, i una gran part de la taula 2 ha estat possible gràcies a converses amb nombrosos investigadors que ens han anat ampliant el repertori de pistes que després hem anat seguint i comprovant. També una font de dades que cal tenir en compte especialment en un futur proper és la base de dades del web dels investigadors catalans a fora de Catalunya, elaborada per la CIRIT, i que actualment aplega les dades i referències de publicacions de gairebé 80 investigadors d'àmbits variats que estan treballant a l'estranger ([www.gencat.es/cur/catalans.htm](http://www.gencat.es/cur/catalans.htm)). Arribar a obtenir les dades sobre els articles més citats és molt difícil. Per això, som conscients del caràcter parcial dels nostres resultats, i demanem que els lectors que coneguin algun article que hagués de figurar en aquesta llista ens ho faci saber. Amb això aconseguiríem, de mica en mica, anar dibuixant una imatge menys borrosa de la física que es fa, amb vista a les administracions, amb vista als mateixos físics de diferents àrees, i pot resultar útil per donar a conèixer al públic els resultats globals del nostre treball.

De l'extens estudi realitzat, ens hem limitat en particular a presentar els articles citats més de cent vegades, conscients, però, que hi pot haver articles de gran valor científic que no han arribat a aquest nombre de citacions, a causa del nombre relativament escàs d'investigadors en la seva àrea concreta o bé del poc temps que fa que s'han publicat. En la bibliografia, hi ha altres autors que consideren articles altament citats aquells que ho han estat un mínim de 10 vegades la mitjana de cites del subcamp, o també hi ha autors que consideren el nombre de cites d'un article amb relació al factor d'impacte de la revista (W. Glänzel, 1995). Efectivament, cal utilitzar amb moltes precaucions el nombre de citacions, ja que fluctua segons les àrees (distorsió que fa ser relativament injust respecte a algunes temàtiques), segons que el tema estigui de moda o no, segons l'esforç de l'autor per difondre'n el coneixement (i segons el poder de l'autor en un cert camp), o segons altres factors que poden anar en detriment de la mateixa qualitat de l'article (per exemple, el fet de contenir algun error o alguna afirmació polèmica que suscití debat). Un altre factor força freqüent que fa que recerques valuoses no arribin a produir un article molt citat és la dispersió de resultats en articles diversos. En algunes ocasions, però, aquesta dispersió és necessària a causa del progrés molt ràpid d'algun camp, que gairebé obliga els investigadors a publicar els seus resultats immediatament, sense esperar l'acumulació de diversos resultats, o bé l'edició de textos de revisió en actes de conferències o de cursos. En aquesta anàlisi ens hem trobat més d'una vegada en



**Modulation Spectroscopy.** CARDONA-M-1969-MODULATION-SPECTROSC-P117 689(10,5,25,35,35,21,31,28,26,24,18,22,16,13,17,20,28,20,27,22,16,27,25,22,21, 27,30,22,26,30)

**Electroreflectance at a semiconductor- Electrolyte Interface.** CARDONA-M-1967-PHYS-REV-V154-P696 625(12,46,47,45,36,35,39,24,25,12,19,7,12,21,19,15,19,15,19,14,22,14,21,12,18,9,10,12,16,4,13,3)

**Characterization of chaotic quantum spectra and universality of Level...** Giannoni-MJ Schmit-C BOHIGAS-O-1984-PHYS-REV-LETT-V52-P1 496(10,13,27,25,28,25,34,40,47,38,34,36,43,60,36)

**Optical properties of silver and cuprous Halides.** CARDONA-M-1963-PHYS-REV-V129-P69 388(4,5,11,9,10,13,4,13,19,15,20,14,6,12,14,7,20,16,9,11,13,10,10,12,11,19,6,7,5,5,5,13,11,6,9,14)

**Acoustic deformation potentials and heterostructure band offsets in semiconductors.** Christensen-NE CARDONA-M-1987-PHYS-REV-B-V35-P6182 293(7,37,35,36,25,27,25,26,25,18,21,11)

**Photoemission in solids. General Principles (Llibre).** CARDONA-M-1978-PHOTOEMISION-SOLIDS-V1 275(0,4,11,11,9,20,15,13,13,11,19,21,16,7,15,19,17,16,17,10,11)

**Chaotic motion and random matrix theories.** Giannoni-MJ BOHIGAS-O-1984-LECTURE-NOTES-PHYSIC-V209 275(2,3,10,20,14,20,21,24,20,25,33,29,19,18,17)

**Vibrational-spectra of Hydrogen in silicon and germanium.** CARDONA-M-1983-PHYS-STATUS-SOLIDI-B-V118-P463 244(1,3,10,11,16,17,15,12,27,23,18,30,17,11,9,24)

**Desorption, Decomposition, and Deuterium-Exchange Reactions of Unsaturated-Hydroca...** Somorjal-GA SALMERON-M-1982-J-PHYS-CHEM-US-V86-P341 212(3,12,12,15,22,7,22,14,19,10,11,12,12,9,14,7,11)

**Random matrix theories and chaotic dynamics.** Giannoni-MJ BOHIGAS-O-1991-LESHOUCHES-P87 197(1,6,23,29,35,41,36,26)

**Signals of a Phase-Transition in Nuclear Multifragmentation.** CAMPI-X-1988-PHYS-LETT-B-V208-P351 161(0,9,12,6,26,19,21,23,18,17,10)

**Determination of Surface-Topography of Biological Specimens at High-res...** Garcia-N Miranda-R et al. BARO-AM-1985-NATURE-V315-P253 153(3,14,15,23,25,23,17,12,4,7,2,3,2,3)

**Vibrational Modes of Hydrogen adsorbed on Pt (111):adsorption site and excitation mechanism.** BARO-AM-1979-SURFACE-SCI-V88-P384 152(0,7,11,13,12,11,15,8,6,18,9,6,5,4,4,4,7,5,5,2)

**Multifragmentation - Nuclei Break Up Like Percolation Clusters.** CAMPI-X-1986-J-PHYS-A-V19-P917 147(0,5,11,9,4,5,19,15,21,13,14,21,10)

**Relativistic band-structure and spin-orbita-splitting of zinc blonde-type semiconductors.** Christensen-NE CARDONA-M-1988-PHYS-REV-B-V38-P1806 142(0,7,23,12,7,18,20,14,21,9,12)

**Fluctuation properties of nuclear-energy Levels - Do Theory and Experiment Agree.** Bohigas-O Pandey-A HAQ-RU-1982-PHYS-REV-LETT-V48-P1086 134(1,4,5,7,7,12,13,7,9,10,9,7,11,8,10,6)

**Manifestations of Classical Phase-Space Structures in Quantum-Mechanics.** Tomsovic-S Ullmo-D BOHIGAS-O-1991-PHYS-REP-V223-P43 129(3,31,27,27,26,15)

**Nuclear Incompressibility - From Finite Nuclei to Nuclear-Matter.** Bohigas-O Krivine-H Martorell-J TREINER-J-1981-NUCL-PHYS-A-V371-P253 124(1,6,7,13,8,10,14,10,8,6,7,1,2,7,8,5,3,9)

**Aspects of Chaos in Nuclear-Physics.** Bohigas-O Weidenmuller-HA BOHIGAS-O-1988-ANN-REV-NUCL-PART-V38-P421 120(0,4,14,18,17,16,10,11,12,14,4)

**Thermal Evolution and Descomposition of Ethylene o Pt (111).** BARO-AM-1981-J-CHEM-PHYS-V74-P4194 115(2,8,8,4,11,14,7,9,10,12,9,1,4,1,2,4,5,4)

**Lifetime of Particles Containing b Quarks.** Delfino-MC Desangro-R et al. FERNANDEZ-E-1983-PHYS-REV-LETT-V51-P1022 109(0,0,0,2,49,27,20,2,2,0,1,2,1,2,0,1)

**(...) A signature of hard mass terms for a heavy top.** Pich. BERNABEU-J-1987-PHYS-LETT-B-V200-P569 102(1,1,0,9,7,14,22,25,7,7,9)

**X-ray analysis of the structural and dynamic properties of ...** Pernet-M Samaras-D Collomb-A Joubert-JC OBRADORS-X-1985-J-SOLID-STATE-CHEM-V56-P171 100(1,9,7,10,11,6,7,12,6,7,5,3,5)

**Imaging of Biomolecules with Scanning Tunneling...** Beebe-T Odriozola-J Wilson-T Ogletree-D Siekhaus-W SALMERON-M-1990-J-VAC-SCI-TECHNOL-A-V8-P653 90(3,27,23,8,12,8,4,3,2)

**The Preparation, Thermal-Stability and Adsorption Characteristics of the Non-Reconstruc...** Bonzel-HP FERRER-S-1982-SURF-SCI-V119-P234 90(1,2,2,10,7,6,4,4,11,10,10,5,4,4,4,2,4)

**Títol** Altres autors apart dels del codi CODI

**TOTAL DE CITES** (Cites desglossades per anys des de l'any de publicació fins al 1999, sense incloure)  
Per raons evidents d'espai ha calgut reduir tant el títol com el nombre de col·laboradors en alguns articles.

**Grup1:** Crespo-JM Delfino-M Fernandez-E Martinez-M Miquel-R Mir-L Orteu-S Pacheco-A Perlas-JA Tubau-E.  
**Grup2:** Alemany-R Crespo-JM Delfino-M Fernandez-E Gaitan-V Garrido-L Mir-LM Pacheco-A.



una situació d'aquestes.

Malgrat això, cal dir que l'anàlisi bibliomètrica de citacions dona una idea força encertada de la realitat científica qualitativa en un camp, ja que existeix una correlació significativa entre els indicadors bibliomètrics, especialment les citacions, i el judici dels experts en els tribunals de selecció (*peer review*) en l'àmbit de la física de la matèria condensada (Rinia, 1998). Aquest resultat no apareix quan només es té en compte el factor d'impacte de les revistes on es publiquen els articles del programes sotmesos a *peer review*, ni tampoc quan en comptes de recerca bàsica estem tractant temes de recerca aplicada.

Les limitacions esmentades no fan minvar —creiem— l'interès del nostre treball. En efecte, un coneixement detallat de la recerca en física —o en qualsevol altra àrea del saber— demana anàlisis diverses, des de diferents perspectives, que es basin en un aplec de dades consistent i en una anàlisi prou detallada.

## Resultats i discussió

Hem recollit, per aquest mètode, més d'una cinquantena de treballs, en la meitat dels quals s'esmenten universitats catalanes en l'adreça de l'autor (una part d'aquests treballs ha estat feta a l'exterior, durant estades de recerca), i s'han indicat a la taula 1. La resta correspon a investigadors catalans que treballen a l'estranger, i s'han indicat a la taula 2. Seguir les seves pistes resulta una mica més difícil, especialment pel que fa a articles en què no figuren ells com a primers autors.

## Anàlisi per revistes

Les revistes en què han aparegut els articles són indicades a la taula 3. La segona columna es refereix al nombre d'articles publicats amb nom d'institució catalana i la tercera als publicats per físics catalans a l'estranger. Entre parèntesis figura, al costat de cada revista, l'àrea en què l'SCI situa aquella revista (P: *Physics, general*; PN: *Physics, Nuclear*; PF: *Particles and Fields*; AP: *Applied Physics*; O: *Optics*; PC: *Physical-Chemistry*; CM: *Condensed Matter*).

Constatem que el màxim nombre d'articles més citats es troba a la secció de física general. En realitat, s'hi inclouen revistes molt heterogènies, fins i tot algunes que, com ara *Physics Letters B*, correspondrien més a la secció de partícules i camps. Quan tenim en compte això concloem que la física d'altres energies (teòrica més experimental) és la que té, a Catalunya, més presència en els articles més citats, d'acord amb el llarg esforç que s'ha dedicat a aquest tema des de mitjan anys 60.

En particular, els temes predominants són: física d'altres energies (teoria; 9 articles), física de partícules (experiment; 4 articles), física estadística (7 articles), òptica (5 articles), física matemàtica i física nuclear (1 article). El predomini d'altres energies és atribuïble a la tradició en aquest camp, iniciada cap al 1965 amb

| Revistes                   | IC | InC |
|----------------------------|----|-----|
| Phys. Lett. B(P)           | 5  | 2   |
| Nuclear Phys. B (PN)       | 4  | -   |
| Nuov. Cim. B (P)           | 3  | -   |
| Phys. Rep. (P)             | 2  | 1   |
| Acta Metall. (MS)          | 2  | -   |
| Phys. Rev. B (CM)          | -  | 4   |
| Phys. Rev. A (P)           | 1  | -   |
| Phys. Rev. D (PF)          | 1  | -   |
| Rep. Prog. Phys. (P)       | 1  | -   |
| Z. Phys. C (PF)            | 1  | -   |
| Lett. Nuov. Cim. (P)       | 1  | -   |
| J. Phys. A (P)             | 1  | 1   |
| J. Appl. Phys. (AP)        | 1  | -   |
| Opt. Commun. (O)           | 1  | -   |
| Phys. Stat. Sol. (CM)      | -  | 1   |
| Nature (G)                 | -  | 1   |
| J. Phys. Chem. (PC)        | -  | 1   |
| J. Chem. Phys. (PC)        | -  | 1   |
| Phys. Rev. Lett. (P)       | -  | 3   |
| Nucl. Phys. A (PN)         | -  | 1   |
| Surface Sci. (PC)          | -  | 2   |
| J. Solid State Chem. (PC)  | -  | 1   |
| J. Vac. Sci. Technol. (AP) | -  | 1   |
| Solid State Commun. (CM)   | 1  | -   |
| Ann. Rev. Nucl. Part. (PN) | -  | 1   |
| Llibres                    | 4  | 4   |

Taula 3: Distribució dels articles més citats segons les revistes. (IC: institució catalana; InC: institució no catalana)

els cursos del GIFT (Grupo Interuniversitario de Física Teòrica) i consolidada actualment amb l'IFAE (Institut de Física d'Altes Energies), situat a la UAB, però que té entre altres objectius estimular la relació entre els grups de la UAB i de la UB dedicats a aquest camp; una dedicació, doncs, de trenta anys, amb moltes connexions internacionals, que ha donat, com veiem, els seus fruits. La física estadística, el segon camp en nombre d'articles més citats, és un camp que ha experimentat un creixement rapidíssim des de 1975: els articles més citats estudien processos estocàstics, termodinàmica de no-equilibri, transicions de fase. Cal recordar el paper estimulant que ha pogut tenir en aquest camp l'Escola de Mecànica Estadística de Sitges, iniciada el 1969 i que se segueix celebrant cada dos anys, i les cinc sessions de l'Escola de Termodinàmica de Bellaterra, entre 1979 i 1990, entre altres iniciatives més diversificades. Finalment, pel que fa a l'òptica, els cinc articles corresponen a una mateixa línia de treball, relacionada amb làsers i espectrografia, i que anticipa alguns resultats que després han estat molt útils per al refredament de gasos amb làser.

El panorama és significativament diferent per als ar-



ticles publicats pels físics residents fora de Catalunya, on predominen temes relacionats amb la física nuclear (8 articles), la matèria condensada (4 articles sobre semiconductors i 3 sobre superfícies), microscòpia d'efecte túnel (2 articles)... També resulta evident el fet que els màxims absoluts de citacions es troben en els autors que han treballat a l'estranger (en concret, a Alemanya, en física de semiconductors, i a França, en física nuclear). Haver pogut trobar una línia fructífera en un moment adient ha fet que s'assolissin fites altíssimes en el nombre de citacions (més de 650 en un cas, i més de 500 en un altre). El nombre màxim de citacions assolit pels autors que han treballat més habitualment a les nostres universitats és considerablement inferior, tot i que frega, en un cas, les 300 citacions, fita molt considerable.

El nombre de llibres (de fet, un d'aquests es refereix a un capítol de llibre, però els altres tres són llibres d'autors) és també considerable. Els de la primera taula, estan dedicats a termodinàmica de no-equilibri, cromodinàmica quàntica, física matemàtica i un capítol de llibre sobre transicions de fase. Dels escrits a fora, n'hi ha un sobre fotoemissió en sòlids, un sobre moviment caòtic i matrius aleatòries, i també dos capítols (en llibres diferents) sobre aquest darrer tema.

### Distribució per àrees de l'SCI

Més interessant que la distribució per revistes és la distribució per àrees, que ens permetrà comparar entre àrees i amb certes dades internacionals. A l'apartat anterior ja hem comentat aquesta distribució temàtica. Ara hi tornem des d'una perspectiva diferent, proporcionada per la distribució d'àrees segons la classificació de l'SCI (que agrupa revistes en diversos epígrafs generals) i que presentem a la taula 4. A la segona columna indiquem, a efectes de comparació, el nombre total d'articles publicats per les universitats catalanes en l'àrea respectiva entre 1985 i 1995 i, en la tercera, el tant per cent d'articles molt citats que això suposa en l'àrea respectiva en el període concret examinat. En la quarta columna expressem el valor mitjà de l'índex d'impacte per a les revistes de la taula 3 incloses en cadascuna d'aquestes àrees.

És interessant explorar quin tant per cent d'articles representen els més citats respecte del total d'articles publicats. Per a aquesta anàlisi ens hem limitat a articles publicats a Catalunya en el període 1985-1995. El total d'articles publicats en aquest període en cada àrea de l'SCI figura en el Report sobre la recerca en física a Catalunya, i queda indicat a la tercera columna de la taula 4. A la segona columna figura el nombre d'articles de la taula 1 corresponents al període indicat. El quocient entre els valors de la segona columna i de la tercera columna figuren entre parèntesis a la tercera columna, que dóna, per tant, el percentatge d'articles citats més de cent vegades sobre el total d'articles.

Aquests valors poden ser comparats, amb les pre-

caucions del cas, amb les dades que figuren al Current Contents, extretes d'un cerca sistemàtica de l'SCI a escala mundial. Segons el Current Contents de juny de 1984 (volum 24), el nombre d'articles citats més de 50 vegades i de 100 vegades era, respectivament, del 0,7 % i del 0,3 % en el període 1961-1980. Aquesta mitjana es referia al conjunt de totes les ciències. Segons el Current Contents de novembre de 1983 (volum 23), el tant per cent d'articles citats més de 50 vegades i de 100 vegades en el període 1975-1979 era respectivament de 0,4 % i de 0,1 %. La comparació amb aquestes dades dóna uns resultats satisfactoris, especialment pel que fa a la secció *Physics* (física general), on el percentatge és netament superior als indicats en aquestes referències.

La quarta columna de la taula 4 recull l'índex d'impacte mitjà de les revistes de la taula 1 agrupades per les àrees respectives. La seva finalitat és recordar-nos que el comportament en citacions difereix segons les àrees, i que caldria tenir en compte aquest factor de correcció per a una comparació més acurada entre àrees. Constatem que hi ha fortes fluctuacions en el nombre de citacions. Així, veiem que cal esperar que un article de física general o de física de partícules rebi unes tres vegades més citacions que un d'òptica (en el conjunt de revistes que estem comparant), i unes dues vegades més citacions que un de física aplicada. Per això, el criteri que hem utilitzat en la selecció d'articles (és a dir, quedar-nos amb els articles citats més de cent vegades), i sobre l'arbitrarietat i càrrega simbòlica del qual ja hem advertit, queda més matisat amb aquestes dades, que utilitzem, una vegada més, com a recomanació de prudència en un ús excessivament automàtic i indiscriminat de la nostra llista.

### Evolució temporal

En les taules 1 i 2 no ens hem limitat a presentar el nombre total de citacions, sinó que les hem desglossat per àrees. Com calia esperar, això també permet una millor anàlisi de les diferents menes d'articles. En posarem alguns casos concrets. Alguns articles passen per una fase relativament llarga de poques citacions, fins que de cop i volta el tema concret es posa de moda, per un motiu o altre, i esclata el nombre de cites. Aquest és el cas, per exemple, del segon i del sisè articles de la taula 1. En particular, aquests articles han començat a ser molt citats des que els mètodes de refredament per làser començaren a donar resultats espectaculars i donaren lloc, fins i tot, a un Premi Nobel. Els articles en qüestió (i uns altres tres articles d'òptica, tots del mateix grup d'autors) foren en certa manera precursors d'aquest tema i ara en recullen els fruits, després d'una quinzena d'anys de poques citacions.

Un exemple diferent el proporcionen els articles relacionats amb els experiments del CERN (vegeu, per exemple, el cinquè article de la taula 1). En aquest cas, l'impacte és immediat: es tracta de dades molt espe-



|                         | Nombre d'articles<br>molt citats | Total art. cat. | % Imp. mitjà àrea |
|-------------------------|----------------------------------|-----------------|-------------------|
| Phys. (P)               | 7                                | 895(0,8)        | 3,20              |
| Phys. Part. Fields (PF) | 2                                | 249(0,8)        | 3,06              |
| Phys. Nucl. (N)         | 1                                | 161(0,6)        | 3,25              |
| Phys. Cond. Matt. (CM)  | 1                                | 489(0,2)        | 2,83              |
| Appl. Phys. (AP)        | 1                                | 475(0,2)        | 1,64              |
| Optics (O)              | 1                                | 69(0,6)         | 1,19              |
| Material Sci.(MS)       | 1                                | 508(0,2)        | 2,05              |

Taula 4: Percentatge d'articles citats més de cent vegades sobre el total d'articles publicats, desglossats per àrees. La darrera columna compara els índexs d'impacte de les diferents àrees

rades per una comunitat científica àmplia i expectant. La ràpida successió de dades cada vegada més precises i actualitzades fa, però, que les citacions decaiguin molt ràpidament, en aproximadament quatre anys.

Altres articles, com per exemple els de *review*, conserven durant més temps una presència considerable, però en un moment donat la seva influència minva a causa d'una publicació més recent dels mateixos autors i que atreu l'atenció dels que abans citaven l'article esmentat. Aquest és el cas del *review* i el llibre de termodinàmica de la taula 1. Incidentalment, la successió ràpida d'articles d'un mateix grup o de diversos grups és un dels factors principals que en moltes ocasions impedeixen que un article concret arribi a un gran nombre de citacions.

En altres casos, un article manté durant un cert nombre d'anys una atracció de citacions, però a la fi hi ha un canvi de paradigma que deixa aquell camp fora de la línia principal de les recerques. Segons M. Rodríguez (1994), l'obsolescència en la bibliografia científica en els països desenvolupats és d'uns 8 anys per a la disciplina de la física. En els països menys avançats, en general s'allarga el temps de citació pels efectes d'una recerca més local. Tot i que són aspectes coneguts, constitueixen un element més per analitzar els motius de l'ascens o el descens de cada article en concret, per a la comprensió dels quals cal un bon coneixement de l'àrea de recerca en qüestió.

### Internacionalització

Un altre dels aspectes que caldria considerar en la taula 1 és el grau d'internacionalització de la recerca feta a Catalunya. Veiem que dels 29 articles inclosos en l'esmentada taula, 7 han estat fets només per investigadors de les universitats catalanes, i tots els altres han estat fets en col·laboració. Naturalment, els articles fets només per investigadors d'aquí i que han estat molt citats no són menys internacionals que els altres, i poden ser conseqüència de col·laboracions internacionals anteriors.

Caldria analitzar fins a quin punt l'aspecte motor de cada article ha estat obra d'investigadors d'aquí, o si

bé la seva participació ha estat relativament passiva i el mèrit principal és atribuïble a la seva participació en un grup internacional potent. No tenim prou coneixement sobre aquest aspecte, que exigiria una profunditat d'anàlisi de cada cas concret que excedeix els propòsits d'aquest article.

Un altre aspecte és el dels països amb els quals s'han dut a terme aquestes col·laboracions. Hi destaca un considerable domini de col·laboracions europees (uns 24 articles), més que no pas americanes (uns 5 articles). També a la taula 2, que té com a objectiu recordar-nos la feina feta pels nostres col·legues en altres països, veiem que predominen destinacions europees (França i Alemanya) per sobre dels EUA. També hi hem inclòs científics catalans en altres universitats espanyoles.

### Conclusions

En una època sotmesa a una gran pressió per publicar, el nombre de publicacions va esdevenint un indicador cada vegada menys informatiu sobre la qualitat real de la recerca feta en un país. Resulta cada vegada més urgent, doncs, analitzar no tan sols el nombre d'articles, sinó també el seu impacte.

Cal que els investigadors assumeixin la idea que la publicació de l'article no exhaurix la recerca, sinó que cal un esforç de seguiment, de difusió de l'article, cosa que podria contribuir a fer-ne augmentar l'impacte, paràmetre de gran interès per a l'avaluació de la recerca. A més a més, són força comuns els casos en què un article ha estat utilitzat en un camp de recerca totalment aliè al seu camp d'origen, cosa que ha obert noves línies de recerca i de coneixement que poden motivar força els autors de l'article.

L'article posa de manifest un paper més important de les col·laboracions amb Europa que no pas amb els Estats Units. D'altra banda, subratlla també una concentració notable d'articles en alguns temes especials de grups o autors ben concrets. Per exemple, física nuclear i matrius aleatòries recull 5 publicacions; làser i bombig òptic, també 5 articles; efectes òptics i acústics en



semiconductors, 4 publicacions; experiments al CERN (LEP), 4 articles; termodinàmica de processos irreversibles, 3 publicacions, etc. Aquest fenomen és relativament freqüent en la bibliografia internacional, on les citacions s'acumulen en uns temes ben definits, i canviant amb el temps.

Hem tractat de defugir una excessiva personalització o una comparació que exaltés la competitivitat entre grups. L'objectiu d'aquest article és, sobretot, ajudar a acumular dades que proporcionin arguments en favor de la qualitat de la recerca en física feta a Catalunya, més que no pas a subratllar uns grups concrets en detriment d'altres. Per això hem tingut molt d'interès a subratllar, a la primera secció de l'article, les moltes precaucions que cal tenir en l'anàlisi de citacions, en la qual poden no ser visibles algunes línies de recerca de gran valor però que, per la seva dispersió en nombrosos articles, no hagin assolit un article concret que acumuli més d'un centenar de cites.

Aquesta anàlisi posa de manifest que el nombre relatiu d'articles citats més de cent vegades és satisfactori,

i es mou una mica per sobre dels valors mitjans internacionals, segons les dades a què hem pogut accedir. L'increment de suport donat a la recerca sembla, doncs, que ha tingut resultats ben acceptables, si més no pel que fa a aquest aspecte, molt concret, de la recerca. En un article posterior examinarem amb detall altres dades bibliogràfiques referents a l'impacte mitjà dels articles, per tal de posar a disposició del conjunt de físics de Catalunya els resultats del seu treball, encara tan poc conegut per la societat de què formen part.

## Agraïments

Agraïm al professor David Jou l'estímul inicial per a l'elaboració d'aquest estudi i nombroses discussions. També agraïm a altres investigadors, en especial Joan Martorell i Rolf Tarrach, que ens han atès, ens han donat pistes de referències molt citades, i ens han ajudat a valorar-les. Sense la seva aportació decisiva, aquest treball no hauria estat possible. També agraïm la tasca de la Núria Barrachina pel suport al processament de la informació de base.

## Bibliografia

- DIVERSOS AUTORS, *Llibre blanc de la recerca a Catalunya*, IEC-CIRIT (Barcelona, 1986).
- JOU, D., *Report sobre la recerca en física a Catalunya (1990-1995)*, IEC (Barcelona, 1996).
- VLACHY, J., ed. *Scientometrics, Czechoslovak Journal of Physics*, 36, (1986).
- GIRBAU, J. *et al.*, *Report sobre la recerca en matemàtiques*, IEC (Barcelona, 1998).
- GARFIELD, E., La ciencia en España desde la perspectiva de las citaciones (1981-1992), *Arbor CXLVII*, 111, 577 (1994).
- GARFIELD, E., The 250 Most-Cited Citation Classics from the essential decade 1955-1964, *Current Contents*, 3, vol. 5, (1985).
- GARFIELD, E., The Role of Undergraduate Colleges in Research. Part 2. Highest Impact Institutions and Most-Cited Papers, 1981-1982, *Current Contents*, 3, vol. 25, (1993).
- MAY, R. M., The Scientific Wealth of Nations, *Science*, 793, vol. 275, (1997).
- GÓMEZ, I. i BORDONS, M., Limitaciones en el uso de los indicadores bibliométricos para la evaluación científica, *Política Científica*, 21, vol. 46, (1996).
- ESCRIBANO, L. i VILADIU, C., Autoevaluación de las instituciones investigadoras: una perspectiva metodológica en la Universitat de Barcelona, *Política Científica*, 27, vol. 46, (1996).
- MITTON, S., Nasa soars Royal astronomers star; Astronomy and Astrophysics research: Institutions ranked by citations and citation impact, *ScienceWatch*, 1, vol. 7, núm. 6, (1996).
- RINIA, E. J., Comparative analysis of a set of bibliometric indicators and central peer review criteria evaluation of condensed matter physics in the Netherlands, *Research Policy*, 95, vol. 27, núm. 2, (1995).
- GLÄNZEL, W. *et al.*, A bibliometric study of highly cited European physics papers in the 80's, *Research Evaluation*, 113, vol. 5, núm. 2, (1995).
- PÉREZ ÁLVAREZ OSORIO, J. R., La producción de la universidad española en física reflejada en las publicaciones españolas y extranjeras, *Revista Española de Documentación Científica*, 428, vol. 14, núm. 4, (1991).
- RODRÍGUEZ GARCÍA, M., La comunidad científica de física: su identificación a través revista colombiana de física, *Revista Española de Documentación Científica*, 290, vol. 17, núm. 3, (1994).