



MATÈRIA EN MOVIMENT

Coordinat per Jesús Navarro i Jorge Velasco*

ELS ÉSSERS HUMANS SEMPRE HEM VOLGUT SABER DE QUÈ ESTÀ FET EL MÓN EN QUÈ VIVIM. EN L'ÈPOCA MODERNA, HEM ANAT OBTENINT RESPOSTES CADA VEGADA MÉS GENERALS I MÉS SATISFACTÒRIES, GRÀCIES A AQUESTA ACTIVITAT SOCIAL ACUMULATIVA QUE ANOMENEM CIÈNCIA. PEL QUE FA A LA COMPOSICIÓ I A L'ESTRUCTURA MÉS ÍNTIMES DE LA MATÈRIA, LA FÍSICA NUCLEAR I DE PARTÍCULES REPRESENTA LA PUNTA DE LLANÇA D'AQUEST ESFORÇ COL·LECTIU. AVUI DISPOSEM D'UN MARC CONCEPTUAL AVANÇAT PER ABORDAR L'ESTUDI DE PRÀCTICAMENT QUALSEVOL FENOMEN FÍSIC QUE S'ESCAU A L'UNIVERS, EL RESUM DEL QUAL, LA TEORIA ESTÀNDARD DE LES PARTÍCULES ELEMENTALS, REPRESENTA UN DELS AVENÇOS INTEL·LECTUALS CULMINANTS DEL SEGLE XX. EN EL MÓN DELS NUCLIS ATÒMICS I DE LES PARTÍCULES ELEMENTALS VAN DEDICATS LA MAJOR PART DELS ARTICLES D'AQUEST MONOGRÀFIC. L'AVENÇ DEL CONEIXEMENT TAMBÉ HA PORTAT ÈXITS MÉS PRÀCTICS, I UN DELS SEGÜENTS ARTICLES IL·LUSTRARÀ CERTES APLICACIONS MÈDIQUES. COM VEUREM EN LES PÀGINES QUE SEGUEIXEN, ENCARA QUE APARENTMENT ELS QUARKS I EL WEB NO POSSEEIXEN RES EN COMÚ, TOTS DOS HAN SORGIT DEL MATEIX ESFORÇ INVESTIGADOR HUMÀ. I ÉS QUE EL SUPORT A LES ACTIVITATS CIENTÍFIQUES HA DE SER UNA PREMISSA ESSENCIAL DE QUALSEVOL PROGRAMA DE GOVERN MODERN, PERQUÈ ÉS INDISPENSABLE PER A LES ACTIVITATS TECNOLÒGIQUES I PER AL SOSTENIMENT I MILLORA DE LA NOSTRA QUALITAT DE VIDA. L'OPORTUNITAT D'AQUEST MONOGRÀFIC VA SORIR A PROPÒSIT D'UNA EFEMÈRIDE. EL 1950, EL PROFESSOR JOAQUÍN CATALÀ VA FUNDAR A LA FACULTAT DE CIÈNCIES DE VALÈNCIA UN LABORATORI, ASSOCIAT AL CSIC, PIONER EN L'ESTUDI DE LA FÍSICA NUCLEAR I DE PARTÍCULES A ESPANYA. L'INSTITUT DE FÍSICA CORPUSCULAR (IFIC), CENTRE MIXT DE LA UNIVERSITAT DE VALÈNCIA I DEL CSIC, ÉS HEREU DIRECTE D'AQUESTA INICIATIVA. PER AIXÒ AQUEST MONOGRÀFIC INCLOU TAMBÉ UN ARTICLE HISTÒRIC, GLOSSANT ELS ESMENTATS ESTUDIS PIONERS A LA UNIVERSITAT DE VALÈNCIA DELS ANYS CINQUANTA.

*IFIC, Centre Mixt CSIC – Universitat de València.



Dreta: imatge d'una interacció elemental registrada per un detector de partícules: els cercles menuts són electrons.

ZOOLOGIA DE PARTÍCULES

Antoni Pich*

PARTICLE ZOOLOGY. OUR PRESENT UNDERSTANDING OF THE BASIC CONSTITUENTS OF MATTER AND THE INTERACTION BETWEEN THEM IS REVIEWED BRIEFLY. THE EXISTENCE OF THREE DIFFERENT FAMILIES OF FUNDAMENTAL PARTICLES SEEMS TO RELATE TO THE MATTER-ANTIMATTER ASYMMETRY OF THE UNIVERSE.

De què està feta la matèria? Quins són els seus constituents últims? Aquesta pregunta ha estat sempre present al llarg de la història i el concepte de constituent elemental ha anat evolucionant paral·lelament al desenvolupament del coneixement científic. En la cultura grega, a partir d'Empèdocles, la resposta eren els quatre elements bàsics: aire, aigua, terra i foc. Vint-i-cinc segles després, Dimitri Mendeleiev va establir la taula periòdica, una classificació de tots els elements químics (més de 100 en l'actualitat) en famílies que tenen les mateixes propietats. El model grec és conceptualment superior, per la seva simplicitat, però és erroni ja que no explica les propietats de la matèria. La classificació de la taula periòdica és correcta i és la base de la química, però té un nombre massa elevat de constituents elementals per a poder ser considerada com l'explicació fonamental del món físic.

El desenvolupament posterior de la física atòmica, molecular i nuclear ens ha permès comprendre que les regularitats de la taula periòdica són degudes a l'existència d'una subestructura més simple. Els àtoms són núvols d'electrons amb càrrega elèctrica negativa orbitant al voltant d'un nucli amb una càrrega elèctrica igual però positiva; al seu torn, el nucli és format per protons i neutrons, tots dos anomenats nucleons. Els neutrons, amb propietats semblants a les del protó, però sense càrrega elèctrica, estableixen els nuclis pesants, perquè contribueixen a l'atracció forta entre els

nucleons sense incrementar la repulsió electromagnètica. Els diferents elements químics corresponen a àtoms amb un nombre diferent d'electrons. Els isòtops químics són àtoms amb idèntiques propietats químiques (nombre Z d'electrons i protons), però amb un nombre diferent de neutrons en el nucli i per tant amb masses diferents. La interacció electromagnètica entre els electrons i el nucli atòmic, regida per les lleis de la mecànica quàntica, és, doncs, responsable de l'estructura atòmica i per tant de totes les propietats químiques, biològiques, etc., és a dir, de l'entorn macroscòpic que ens envolta.

Tenim, doncs, una explicació extremadament simple i rigorosa de la matèria, en termes de tan sols tres partícules elementals, electró, protó i neutró, i dues interaccions bàsiques, electromagnètica i forta (la gravetat és menyspreable en el món microscòpic). Aquesta descripció representa un dels progressos conceptuals més importants del coneixement científic, però és incompleta com ara veurem.

El 1928 P. A. M. Dirac va demostrar teòricament que la combinació dels principis de la mecànica quàntica amb la teoria de la relativitat especial implicava necessàriament l'existència de l'antimatèria: tota partícula ha de tenir la corresponent antipartícula amb idèntiques propietats, però amb la càrrega oposada. Quatre anys més tard es descobria el positró (l'antielectró) en els raigs còsmics que cauen sobre la Terra.

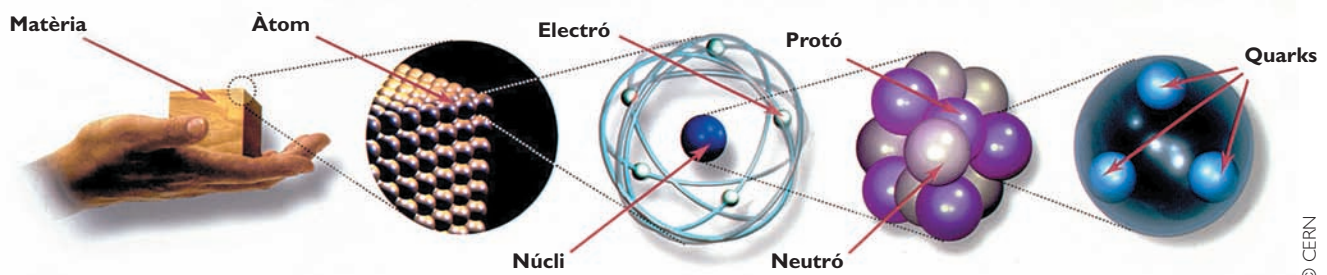


Figura 1: Els constituents elementals de la matèria.

© CERN

El descobriment de l'antiprotó i de l'antineutró no arribaria fins els anys cinquanta quan els primers acceleradors de partícules foren capaços de produir-los.

Des dels primers estudis de la radioactivitat natural, els científics s'havien topat amb un problema aparentment irresoluble dins del marc teòric conegut. Alguns nuclis són capaços de transmutar-se en un nucli diferent, canviant la càrrega nuclear en una unitat, emetent radiació β (que consisteix en un electró o en un positró). Aquest fenomen correspon a una transmutació, dins del nucli, entre els dos tipus de nucleó, és a dir un neutró es desintegra en un protó i un electró, o un protó es transforma en un neutró i un positró. Hi ha per tant una força addicional de molt baixa intensitat, denominada interacció feble, que és capaç de canviar la identitat dels nucleons. El problema és que en aquest procés de transmutació sempre desapareix energia, en contradicció amb el principi de conservació més ferm de la ciència.

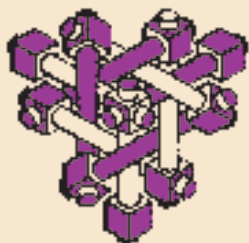
El 1930 W. Pauli va inventar una solució estrambòtica: en la desintegració β és produïda una tercera partícula, el neutrí, que s'escapa amb l'energia que manca. El neutrí no té ni càrrega elèctrica, ni interacció forta i per tant és una mena de fantasma indetectable. Com que té només interacció feble, un neutrí és capaç de travessar un núvol d'hidrogen tan gran com l'univers sense topar amb un sol àtom. De fet Pauli pensava que mai ningú seria capaç de detectar un neu-

trí. I es va enganyar. La primera observació d'un anti-neutrí es va fer als anys cinquanta, col·locant un detector en una barraca al costat d'un reactor nuclear que produïa un gran nombre de neutrons. Com que els neutrons es desintegren, del reactor s'escapaven 10^{13} antineutrins per segon i cm^2 , dels quals es van poder observar en el detector els senyals (interaccions) de tan sols unes desenes. També el Sol és una font molt intensa de neutrins, a causa de les reaccions nuclears originades al seu si. Cada segon, 10^{12} neutrins solars travessen el nostre cos sense que les nostres cèl·lules noten, afortunadament, la seua presència. També de nit ens arriben, travessant la Terra! La detecció d'aquests neutrins ens permet estudiar l'interior del Sol i els seus mecanismes de funcionament.

Quatre partícules (neutrí, electró, protó i neutró) i llurs corresponents antipartícules semblen, doncs, suficients per a descriure el nostre món. Tanmateix, hi ha un altre nivell de sub-

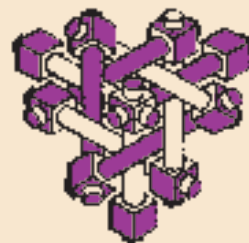
**«QUATRE PARTÍCULES
(NEUTRÍ, ELECTRÓ, PROTÓ I NEUTRÓ)
I LLURS CORRESPONENTS
ANTIPARTÍCULES SEMBLEN,
DONCS, SUFICIENTS PER
A DESCRIBRE EL NOSTRE MÓN.»**

estructura dins dels nucleons. El protó i el neutró pertanyen a una nombrosa família de partícules amb interaccions fortes, denominades *hadrons*. Primer es van descobrir els pions en els raigs còsmics i després els acceleradors començaren a produir un gran nombre de noves partícules, totes elles inestables, que es desintegren ràpidament. Els hadrons no són elementals; són compostos per unes entitats més menudes: els *quarks*. Les forces que uneixen els quarks són tan intenses que estan sempre confinats dintre dels



Online English

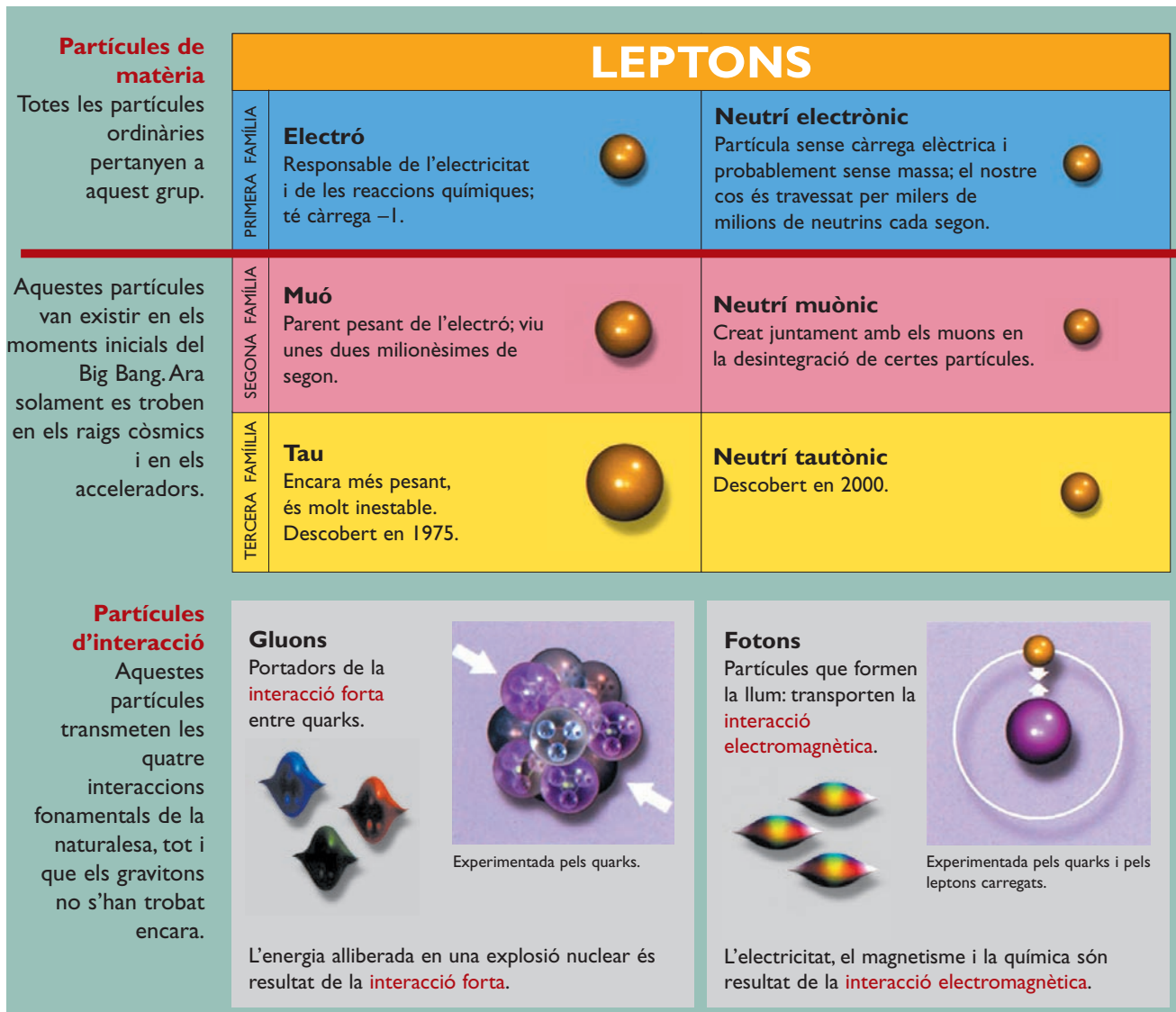
Traducció i edició de texts en Anglès
Revisió d'articles i projectes
Cursos d'Anglès per
a Universitaris i Investigadors



Barraclough-Donnellan

C/ Hernán Cortés 6-2^a, Burjassot 46100, València.

E-mail ole.2@accessosis.es / INLINE@alehop.com Tel. (34) 96 364 5211



© CERN

Figura 2: Els constituents elementals de la matèria: els leptons.

hadrons, seguint unes regles peculiars degudes a la dinàmica de la interacció forta. Els hadrons corresponen a estructures formades per tres quarks (barions), per tres antiquarks (antibarions) o per un quark i un antiquark (mesons). Dins dels nucleons descobrim dos tipus de quarks, denominats *u* (*up*) i *d* (*down*). Un protó és un estat *uud* i un neutró té la composició *udd*. Els quarks tenen, doncs, una càrrega elèctrica fraccionària: $+2/3$ el *u* i $-1/3$ el *d*. Les possibles combinacions d'aquests dos tipus de quarks i els respectius antiquarks originen una gran varietat d'hadrons.

Finalment tenim una taula de constituents elementals que, com la d'Empèdocles, té només quatre entitats bàsiques: dos *quarks* (*u* i *d*) i dos *leptons* (neutrí i electró). La moderna teoria quàntica de camps dona

una descripció rigorosa de la seva dinàmica. Les interaccions fortes dels quarks són governades per les lleis de la cromodinàmica quàntica, mentre que la teoria unificada electrofeble descriu correctament les altres dues interaccions. És una descripció simple i poderosa, però un altra vegada incompleta.

Als anys quaranta va aparèixer als raigs còsmics un cosí de l'electró: el *muó*. Al 1975, a l'accelerador de Stanford, es va descobrir el leptó *tau*. El muó i el tau són idèntics a l'electró, però molt més pesants (200 i 3.000 vegades més, respectivament). Són inestables i acaben transformant-se en electrons. I per no quedar-se a soles, també el neutrí (electrònic) té dos cosins: els *neutrins muònic* i *tauònic* (la primera observació directa del *neutrí tauònic* s'ha produït

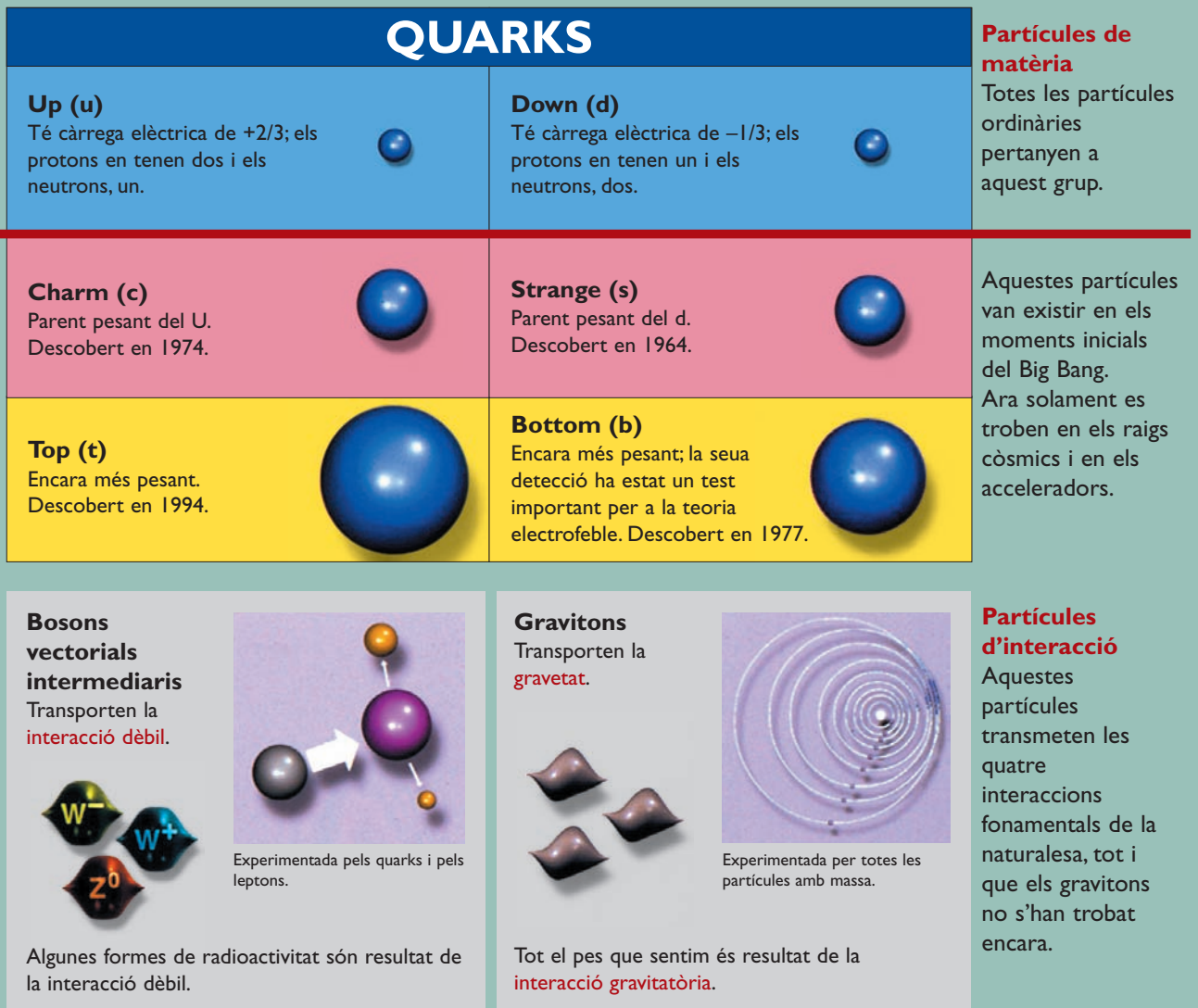


Figura 3: Els constituents elementals de la matèria: els quarks.

recentment). Els quarks també presenten una repetició similar. Hi ha tres quarks diferents amb càrrega $+2/3$, *u*, *c* (*charm*) i *t* (*top*), i tres amb càrrega $-1/3$, *d*, *s* (*strange*) i *b* (*beauty*). Les nombroses combinacions possibles de tots aquests quarks donen lloc a centenars de partícules hadròniques: un veritable zoològic de noves formes de matèria que és necessari investigar.

D'altra banda, les diverses forces tenen els seus propis *quanta* o unitats bàsiques de transmissió de la interacció. La força electromagnètica és deguda a l'intercanvi de *fotons*; els fotons formen la llum, les ones de ràdio i televisió, els raigs X, etc. La interacció forta ve mitjançada per 8 *gluons*; com els fotons, són *quanta* sense massa ni càrrega elèctrica i donen lloc a interaccions de llarg abast, viatjant a la velocitat de la

llum. La interacció feble és de molt curt abast i es produeix per l'intercanvi de 3 *quanta* molt massius, els bosons W^\pm i Z^0 , que han estat descoberts i investigats en el CERN durant els últims deu anys. A més a més, es pensa que també la gravitació té el seu *quanta*, naturalment anomenat *gravitó*. Paradoxalment, la primera interacció coneguda, la gravitació, és a hores d'ara un gran problema. Se sap que el fotó i els bosons W^\pm i Z^0 estan estretament relacionats per una simetria que es trenca a baixes energies; en condicions de major temperatura la interacció electromagnètica i la feble es confonen i no fan més que una sola interacció: l'electrofeble. Igualment, a temperatures encara més grans hi haurà una unificació d'aquesta interacció amb la interacció forta, i hi ha teories per descriure

El Big Bang

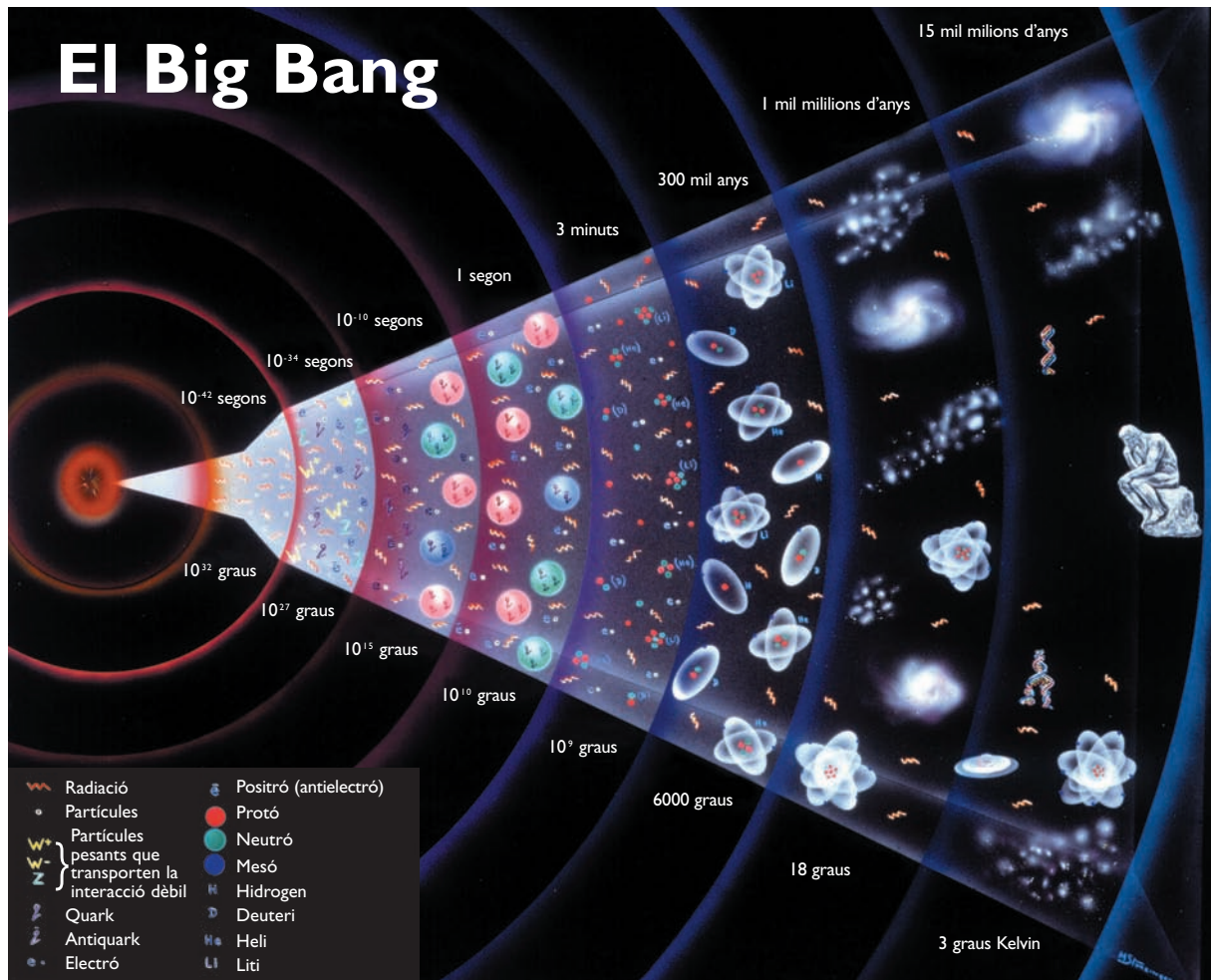


Figura 4: L'evolució de l'univers, des del Big Bang fins als nostres dies.

aquesta unificació, així com evidències en aquest sentit. La unificació amb la gravetat, però, és més complicada tant des del punt de vista teòric com experimental. Les temperatures per observar la hipotètica unificació són enormes, com les que existien a l'inici del Big Bang. Vet aquí un altre aspecte interessant i insospitat fa unes desenes d'anys: el món microscòpic dels constituents elementals i el món macroscòpic de l'univers es troben cara a cara. Per això els grans acceleradors de partícules poden donar una idea de com es comportava la matèria en les condicions que existien just després del Big Bang.

La física actual es troba en una situació prou semblant a la de la química en la segona meitat del segle XIX. La taula de constituents elementals de la matèria té ara tres famílies d'objectes bàsics, amb dos quarks i dos leptons cadascuna (més les corresponents antipartícules), que descriuen perfectament tots els fenòmens coneguts. La dinàmica de les tres forces involucra l'intercanvi de dotze quanta addicionals. La nova prolifera-

ció d'entitats elementals ens torna a plantejar la mateixa pregunta: hi ha una subestructura més simple? Tampoc coneixem quina dinàmica determina les diferents masses dels constituents. La teoria actualment acceptada prediu l'existència d'un quantum addicional, relacionat amb la generació d'escapes de massa: el bosó de *Higgs*. El descobriment d'aquesta partícula, l'última anella del marc teòric conegut, serà l'objectiu del nou accelerador LHC que ara es comença a construir en el CERN. També desconeixem per què existeixen tres famílies de constituents, però sembla que això té alguna relació amb la pràctica absència d'antimatèria en el nostre univers. Pensem que en els primers 10^{-10} segons després del Big Bang es va produir una petita asimetria entre matèria i antimatèria. L'antimatèria s'hauria aniquilat amb la matèria, fenomen que va produir radiació energètica (fotons i gluons), i l'excés de matèria hauria originat el nostre univers tal com l'observem.

*IFIC, Centre Mixt CSIC – Universitat de València.

NUCLIS EXÒTICS: *PER ARDUA AD ASTRA*

W. Gelletly*, B. Rubio**, L. M. Garcia-Raffi***

EXOTIC NUCLEI: *PER ARDUA AD ASTRA*. ATOMIC NUCLEI, THE TINY OBJECTS AT THE HEARTS OF ATOMS, MAKE UP 99.8 % OF THE MATTER IN OUR UNIVERSE. IT IS THE COLLISIONS BETWEEN NUCLEI WHICH FUEL THE STARS AND LEAD TO THE CREATION OF CHEMICAL ELEMENTS. IF WE ARE TO UNDERSTAND OUR UNIVERSE AND THE WORLD WE LIVE IN WE MUST UNDERSTAND THIS DOMINANT FORM OF MATTER. TO DO THIS WE MUST STUDY REACTIONS BETWEEN THEM. UNTIL NOW WE HAVE ONLY BEEN ABLE TO USE STABLE NUCLEI FOR THIS PURPOSE. SOON WE WILL BE ABLE TO USE A WIDE RANGE OF UNSTABLE, RADIOACTIVE NUCLEI. SOME OF THE EXCITING PROSPECTS THIS OPENS UP ARE DISCUSSED HERE.

Els nuclis dels àtoms són entitats petites, de tan sols 10^{-14} m de diàmetre i amb un pes de només 10^{-26} kg, però són el cor dels àtoms i molècules que formen part de tu, de mi i de tot el que coneixem a l'univers. Constitueixen el 99,8% de tota la matèria en el nostre món diari i és l'energia alliberada, quan se'n fusionen dos d'ells la que alimenta els estels i els fa lluir. Els elements químics que constitueixen el nostre cos i tot allò que ens envolta són produïts per mitjà de reaccions nuclears que tenen lloc al cor dels estels, exceptuant el cas de l'hidrogen i l'heli que van ser produïts en el Big Bang que va tenir lloc quan es va crear l'univers. Per tant, sembla que tant els primers passos de la nostra creació com la calor provinent del sol que ens escalfa, ens va nodrint i fa possible la vida a la Terra són el resultat de les reaccions nuclears. És per tot això que és important que es conega com són els nuclis i com es comporten.

Els àtoms i les seues combinacions anomenades molècules que constitueixen el nostre món material tenen un petit però massiu nucli al seu cor. Els nuclis són constituïts per protons i neutrons (denominats tots ells conjuntament nucleons per ser constituents del nucli) i els àtoms es mantenen lligats per l'atracció entre els protons del nucli, carregats elèctricament amb càrrega positiva i un nombre igual d'electrons carregats negativament en òrbita al seu voltant. Com podem estudiar aquests objectes diminuts que estan lligats de forma tan extraordinàriament forta? La resposta és equiva-

lent a disparar una "bala nuclear" contra el nucli per desfer-lo en trossos. Per fer això, es requereix una "pistola" (un accelerador de partícules) que pot tenir prop de 100 m de llargària. El projectil és, per descomptat, un altre nucli que accelerem fins que arribe a tenir una gran velocitat. Una volta hem fet blanc en el nucli que fa de diana, hem d'analitzar tots els trossos –partícules, raigs gamma, raigs X, etc.– que resulten de la col·lisió. Mesurarem les masses, les velocitats, etc., i tractarem de resoldre el trencaclosques i, així, saber com són els nuclis i com es comporten.

Portem fent això 70 anys més o menys, des que creàrem el primer accelerador i ara tenim màquines funcionant arreu del món i que ens permeten accelerar tot tipus de nuclis que existeixen en la Terra fins a velocitats molt per damunt de les necessàries per a la física nuclear. Què hem après utilitzant aquestes màquines i com hem aplicat el coneixement adquirit? Hem après que els nuclis canvien si els escalfem o si els fem girar com si es tractara d'una baldufa a gran velocitat o si canviem el nombre de neutrons (N) i de protons (Z) que contenen. Una manifestació molt senzilla d'aquest últim punt es mostra en la figura 1, on els nuclis estables que podem trobar a la Terra són representats per quadrats negres i es mostra el nombre de protons i neutrons que contenen. Aquests estan al mig d'un mar de nuclis inestables radioactius. Vegem que només un nombre limitat de combinacions de protons i neutrons produeixen nuclis estables. Evi-

**«ELS ELEMENTS QUÍMICS
QUE CONSTITUEIXEN
EL NOSTRE COS I TOT ALLÒ
QUE ENS ENVOLTA SÓN PRODUÏTS
AL COR DELS ESTELS.»**

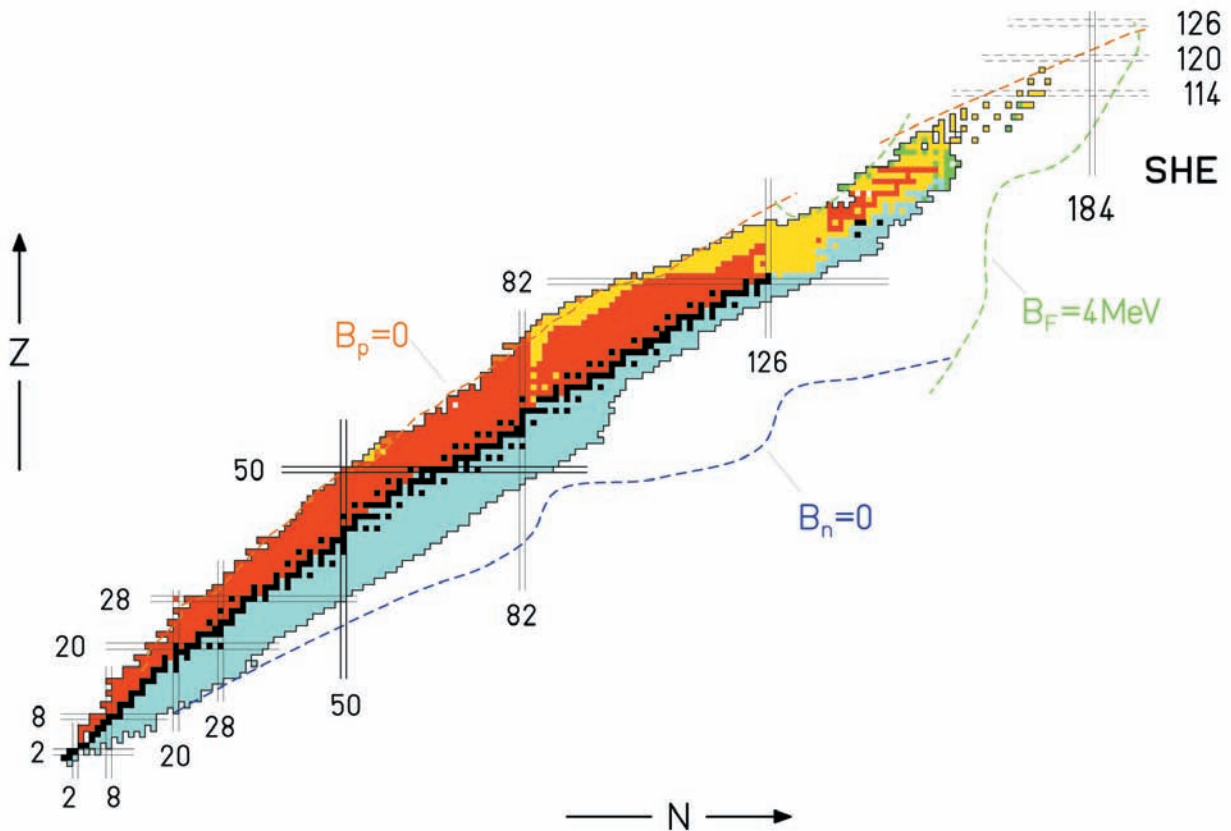


Figura 1: Aquesta figura mostra els nuclis estables i de vida mitjana molt llarga, representats pels quadrats de color negre, en funció del nombre de protons (Z) i neutrons (N). Un gran nombre (~6-7000) d'altres espècies pot existir dins les línies marcades com $B_p=0$ i $B_n=0$, però són espècies radioactives i es desintegren, quan són creades, cap a un nucli estable. Les línies horitzontal i vertical indiquen els valors de Z i N que estan associats amb una estabilitat extra (vegeu el text).

© S. Hofman

dentment, només podem utilitzar aquest petit grup de nuclis estables com les “bales nuclears” de què parlàvem adés.

El que hem après al llarg d'aquests anys ens ha permès respondre aquestes preguntes per què lluen els estels? Què escalfa l'interior de la Terra? Com i on es formen els elements que la constitueixen? Quina edat té? Responent aquestes preguntes, en la nostra recerca hem anat més enllà del que imaginaven els alquimistes de l'edat mitjana, que somniaven de crear or i argent a partir de metalls menys valuosos. Amb reaccions nuclears hem creat àtoms de qualsevol material basant-nos en altres, però, per descomptat, en quantitats molt petites i moltes vegades tractant-se de nuclis radioactius. Encara que no siga exactament el que els

alquimistes pensaven, sens dubte és un gran avenç per a la humanitat.

L'activitat de recerca, motivada fonamentalment pel desig d'entendre millor els fonaments i la naturalesa de la matèria, ha produït de forma inesperada, com sol ocórrer amb tot progrés científic, nombroses i variades aplicacions. Hem creat eines que s'utilitzen en altres camps científics, hem expandit el progrés de la ciència cap a altres horitzons, com la física de partícules, i, de moltes formes, hem transformat la nostra vida diària. Entre els seus “plançons” es troben

**«LA QÜESTIÓ QUE HAURIA EXCITAT
ELS ALQUIMISTES I QUE
ENCARA FASCINA ELS QUÍMICS ÉS:
QUANTS ELEMENTS PODEM CREAR?
EN ALTRES PARAULES: QUIN ÉS
L'ÚLTIM ELEMENT QUE PODEM CREAR?»**

les fonts intenses de neutrons basades en reactors nuclears o reaccions d'espallació i la llum intensa i brillant i els raigs X de les instal·lacions de radiació de sincrotró que ens permeten estudiar tant els mate-

rials d'ús comú com la matèria viva. També podem utilitzar els acceleradors per a implantar àtoms en materials, manipulant-los i modificant-ne les propietats com és el cas del silici i el seu paper fonamental en el desenvolupament de la revolució de la informàtica i les comunicacions. És també possible utilitzar els acceleradors en la datació del carboni per a determinar l'antiguitat d'allò que en un cert període de la història va ser matèria viva. La llista és interminable. La medicina s'ha beneficiat dels avenços en física nuclear tant en la diagnòsi de les malalties com en alguns tipus de teràpies. De mitjana, una sisena part dels ciutadans europeus necessitarà teràpia amb radiació en algun moment de la seua vida. Les reaccions nuclears alimenten els reactors nuclears que produeixen el 30% de la potència elèctrica a Europa. Com que no emeten gasos contaminants, no contribueixen a l'efecte hivernacle. Avui dia, l'ús dels reactors nuclears ve impedit per la dificultat de processar els residus radioactius. Si aquest problema es poguera resoldre de manera satisfactòria, per a la societat seria urgent construir més reactors nuclears i així evitar la pol·lució atmosfèrica. Per cert, és ben possible que siga de nou la física nuclear la que done la solució a aquest problema, utilitzant reaccions nuclears per a transformar els residus radioactius de vida mitjana i llarga en residus radioactius de vida més curta i per tant, que es puguem emmagatzemar de manera més segura per a la població (ja existeixen projectes per a construir acceleradors que puguem complir aquesta funció).

Tornant a la figura 1, vegem que els 283 nuclis estables són una petita proporció dels aproximadament 7.000 nuclis representats a la figura. Els altres nuclis són radioactius o inestables. Això el que vol dir és que, si són creats, es desintegren directament o indirectament en nuclis estables. Com que vivim en un planeta fred, no hi ha prou energia perquè es creen de manera natural aquests anomenats "nuclis exòtics". Hem de recórrer, de nou, als nostres acceleradors i crear-los artificialment. En altres parts de l'univers, dins de les olles de pressió que són els estels, formen part d'un procés continu de creació i desintegració. En les espectaculars explosions d'estels anomenades supernoves, els nostres telescopis ens asseguren que es formen espècies més exòtiques encara que apareixen uns segons i després es desintegren deixant a l'espai residus d'elements pesants que estaran presents després en la condensació del gas i del pols que dona pas a la formació de nous estels. Si existeix algun

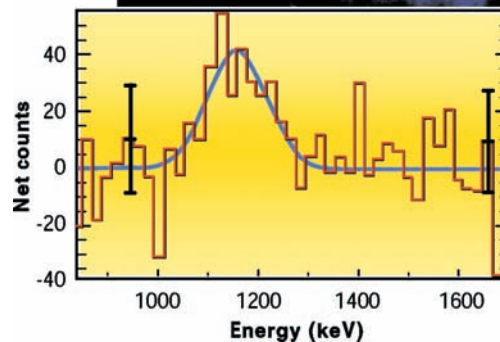
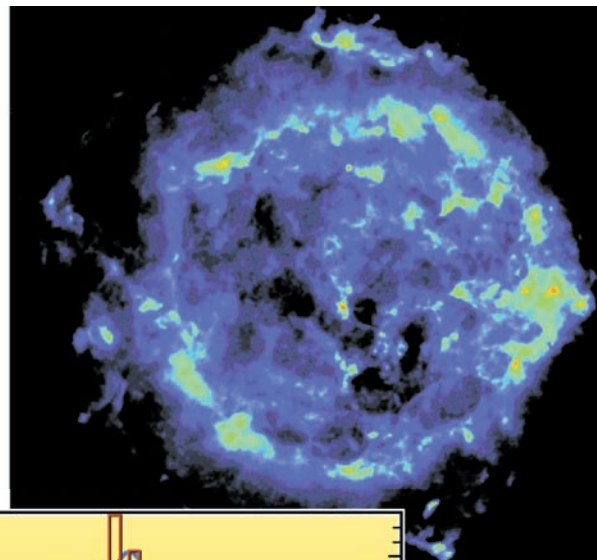


Figura 2: Ací veiem una imatge dels raigs X emesos pels residus remanents en expansió resultants d'una vella supernova (la gran explosió que marca la fi d'un estel gegant), situada a la constel·lació de Casiopea. Quan apuntem en eixa direcció un detector de raigs gamma muntat en un satèl·lit posat en òrbita a l'espai, veiem el senyal que es mostra en la figura. Aquest senyal té exactament l'energia d'un intens raig gamma emès en la desintegració radioactiva del ^{44}Ti , un element relativament pesant, format en la fase final de la vida de l'esmentat estel.

tipus d'escepticisme al voltant de la veracitat d'aquestes idees, hi ha algunes evidències directes que demostren que aquest tipus de coses passen a l'espai, com podem veure en la figura 2. Per a entendre què és el que nosaltres veiem amb els nostres telescopis hem d'estudiar els nuclis exòtics, però aquesta no és l'única raó per a fer-ho. Hi ha moltes qüestions en física nuclear que requereixen aquest esforç també. Per exemple, com canvia el comportament del nucli a mesura que canviem el balanç entre neutrons i protons? Com estan distribuïts els protons i neutrons a l'interior d'un nucli exòtic? Quina grandària i forma tenen? Quins són els límits de l'existència del nucli? Com podem respondre totes aquestes qüestions?

La impressionant llista d'assoliments que hem contactat fins ara prové de l'ús de les 283 espècies esta-

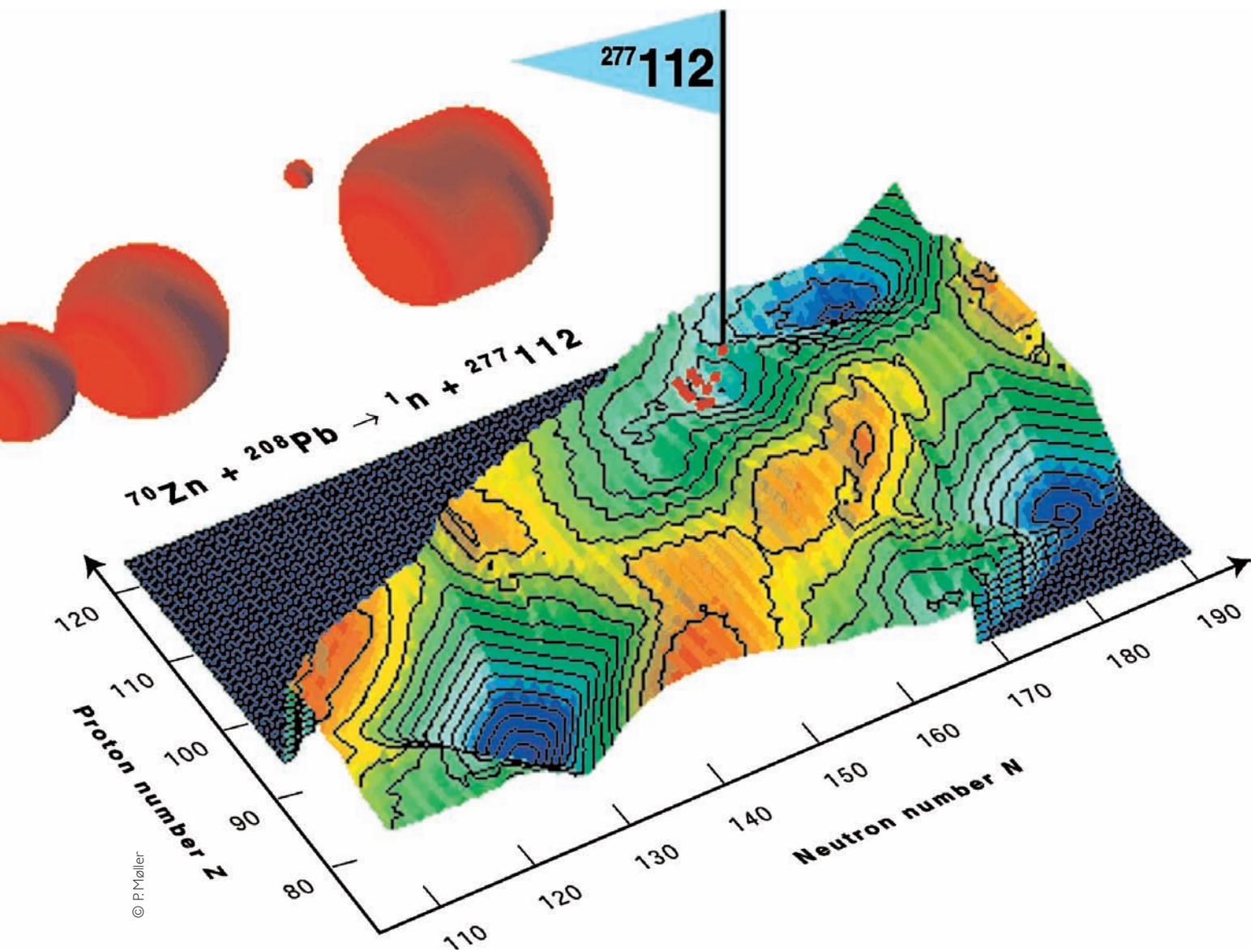


Figura 3: La figura mostra el resultat del càlcul de l'energia total (massa) del nuclis pesants en funció de Z i N. Les regions que tenen forma de depressió o vall (de color més fosc en la figura) corresponen a nuclis particularment estables. Aquests nuclis superpesants estan extraordinàriament lligats i poden viure durant segons, dies i, fins i tot, anys. Els extraordinaris esforços fets al laboratori del G.S.I. a Alemanya durant molts anys han donat lloc a l'obtenció de l'element Z=112, representat per una bandera en la figura.

bles de la figura 1, però la recerca continua. En els últims anys ha estat evident que podem crear i accelerar nuclis exòtics; en la figura 1 es veu que tenim prop de 7.000 candidats per ser accelerats. Donada aquesta quantitat enorme de nuclis susceptibles de ser utilitzats com a projectils en reaccions nuclears, no cal molta imaginació per a entreveure que això pot transformar la física nuclear i obrir expectatives de somni en altres àrees de la ciència.

La qüestió que hauria excitat els alquimistes i que encara fascina els químics és: quants elements podem crear? En altres paraules: quin és l'últim element que podem crear? Durant molt de temps es pensava que no es podien crear elements més enllà de l'urani (Z=92), l'últim element que té una vida mitjana comparable amb l'edat de la Terra. La raó era molt clara; cada protó té una càrrega elèctrica positiva que repel·leix els altres. A mesura que afegim pro-

tons al nucli, aquesta força destructiva creix ràpidament i, fins i tot, si creem un altre nucli amb més protons, el que esperem és la fissió d'aquest en dos nuclis amb menys protons de forma espontània. Però la nostra simple idea ignora una cosa que hem après en el nostre estudi dels nuclis; que hi ha certs valors del nombre de protons Z i del nombre de neutrons N , anomenats "números màgics", que afegeixen estabilitat al nucli. Si aquest efecte (figura 3) és prou important, pot retardar la fissió i, malgrat el nucli, es desintegrarà alpha i viurà durant un període de temps relativament llarg. Si això funciona, hauria d'haver-hi elements "superpesants" amb $Z \geq 114$ que serien gairebé estables i tindrien propietats químiques poc usuals. A la part superior de la figura 3 veiem el tipus de reacció realitzada en el GSI per a la producció dels elements fins a $Z=112$. Es fan xocar dos nuclis molt pesants de la forma més "suau" possible. En un nombre extraordinàriament petit d'ocasions, com a resultat d'aquesta col·lisió, es produeix la fusió d'aquests nuclis, amb l'emissió d'un neutró i quedant com a residu l'element superpesant.

Aleshores, es desintegra per emissió alpha, i tenint en compte que aquest tipus de desintegració és molt característica de l'espècie nuclear, serveix com a eina per a la seua identificació. Aquesta era la situació fa 18 mesos enrere. En aquell moment, es va anunciar per part d'un grup d'investigadors al laboratori de Berkeley, a Califòrnia, la síntesi d'alguns àtoms de l'element $Z=118$, i a Dubna (Rússia) recentment s'anunciava la síntesi de diverses espècies d'elements entre $Z=112$ i $Z=116$. Cap d'aquests últims descobriments ha estat confirmat, però evidentment afegeix "llenya al foc" de la nostra qüestió. Totes aquestes evidències suggereixen la idea que la nostra suposició que existeixen elements superpesants amb vida "llarga" és correcta, però utilitzant com a projectils i com a dianes els nuclis estables, malgrat que arribem al valor correcte de Z , encara estarem lluny del valor desitjat de N . Aleshores, com podem abastar aquests nuclis superpesants? La resposta està en la utilització de feixos de nuclis exòtics amb molts neutrons extra com a projectils. Si som capaços de crear un feix intens de ^{94}Kr , que té 8 neutrons més del normal, possiblement abastarem un

d'aquests nuclis superpesants situat al cor del que s'ha vingut a anomenar "illa de nuclis superpesants" en les nostres reaccions.

Una altra qüestió molt semblant a l'anterior és: quants neutrons podem afegir a un nombre fix de protons sense que el nucli "proteste" i els deixi anar immediatament? La natura sembla dir: no hi ha límit! Amb els nostres telescopis veiem objectes que són descrits com una immensa bola de neutrons, un nucli gegant format només per neutrons. Però aquests objectes estan lligats per la força de la gravetat i la seua existència no respon a la nostra qüestió. En els nuclis lligats que hi ha a la Terra, pensem que hi ha un límit, però no tenim ni idea d'on és, ni quin és el nucli més lleuger amb el màxim nombre possible de neutrons. En el cas de $Z=50$ (l'element estany) les estimacions varien fins a més de 30 neutrons. L'única forma d'esbrinar-ho és tractar de crear-los i cercar on és el límit. Per sota d'aquest límit esperem trobar nuclis molt rics en neutrons, amb estructures poc habituals com corfes o halos de neutrons allunyats d'un cor de protons i neutrons dens.

**«SI SOM CAPAÇOS
D'ENTENDRE ELS
NUCLIS EXÒTICS COM HEM
ENTÈS ELS 283 NUCLIS QUE
HEM TROBAT A LA TERRA
HAUREM FET UN GRAN PAS
EN LA COMPRESIÓ
DEL NOSTRE MÓN.»**

Si produïm feixos de nuclis exòtics de bona qualitat, serem capaços de començar a donar resposta a moltes d'aquestes qüestions i aplicar-les a la medicina clínica, els estudis de materials i a la conservació del medi ambient, així com a la física nuclear i a l'astrofísica. Tota la nostra experiència passada suggereix, no obstant això, que noves i més radicals idees vindran com a conseqüència de la disponibilitat dels feixos radiactius.

Arreu del món, els científics i els enginyers treballen intensament per dissenyar i construir acceleradors que ens permetran fer tot això. Som al començament d'un nou ressorgiment de la física nuclear. Si som capaços d'entendre els nuclis exòtics com hem entès els 283 nuclis que hem trobat a la Terra hauréem fet un gran pas en la comprensió del nostre món. Qui sap quantes sorpreses ens durem amb els nuclis exòtics!



* School of Physics and Chemistry, University of Surrey, U.K.

** IFIC, Centre Mixt CSIC-Universitat de València

*** Dep. de Matemàtica Aplicada, Universitat Politècnica de València

ACCELERADORS DE PARTÍCULES: “ELS SUPERMICROSCOPIS”

Joan Bordàs*, Àngels Faus-Golfe** i Ramón Pascual*

PARTICLE ACCELERATORS: “THE SUPER-MICROSCOPES”. WE DESCRIBE THE IMPORTANCE OF ACCELERATORS IN PARTICLE PHYSICS, THEIR BASIC PRINCIPLES, DIFFERENT TYPES AND USES. WE INCLUDE A DETAILED STUDY OF ONE OF THE MAIN APPLICATIONS, NAMELY SYNCHROTRON RADIATION.

Acceleradors i detectors de partícules són els microscopis que permeten endinsar-se en allò de més profund de la matèria. La sonda o projectil és una partícula dotada de l'energia necessària per tal que la seua longitud d'ona siga comparable a la grandària dels detalls que es vulguen estudiar. Com més gran siga l'energia de la sonda, menor serà la seua longitud d'ona, tal com es pot deduir de la relació de Broglie. La naturalesa posa al nostre abast diversos tipus de projectils, alguns de molt gran energia. Per exemple, les partícules emeses per certs elements radioactius poden tenir energies fins uns pocs MeV⁽¹⁾. Llençant aquests projectils sobre els àtoms es va poder descobrir l'existència dels nuclis, que tenen dimensions de l'ordre del fermi (10^{-15} m). Per conèixer l'estructura de les partícules elementals cal disposar d'energies superiors al GeV. La radiació còsmica conté partícules amb energies que poden arribar als 10^{20} eV, una energia enorme que és un milió de vegades l'energia assolida en els acceleradors actuals. Però els raigs còsmics tenen molts inconvenients pel seu ús com a projectils: tipus de partícula desconegut, intensitat feble, gran dispersió en energia,... Per aquesta raó a principis dels anys trenta es construïren els primers acceleradors de partícules, per tal d'obtenir feixos intensos i controlables de projectils amb una energia coneguda. El progrés realitzat des de llavors ha estat considerable. A més a més, concentrant una gran

quantitat d'energia en un petit volum, aquesta es pot materialitzar en noves partícules: és una conseqüència de la famosa equació d'Einstein $E=mc^2$. En aquest sentit, els “microscopis” que dèiem adés són una mica especials: molt sovint es tracta de destruir les estructures, creant-ne de noves per aprofundir en el coneixement de l'estructura íntima de la matèria.

Els acceleradors més senzills són els *electroestàtics*, que es basen en l'aplicació d'una diferència de potencial entre una font de partícules carregades i una fita fixa. El primer d'aquests acceleradors es va construir el 1932, i accelerava ions pesants fins 600 keV. Un gran nombre d'aquest tipus d'acceleradors encara està en servei i el seu principal mèrit és accelerar qualsevol tipus de partícula carregada amb una petita dispersió d'energia. L'alta tensió és, però, el seu límit a causa dels fenòmens de descàrrega. Aquest inconvenient desapareix utilitzant per accelerar un camp elèctric variable d'alta freqüència o de radiofreqüència

**«CONCENTRANT UNA GRAN
QUANTITAT D'ENERGIA
EN UN PETIT VOLUM, AQUESTA
ES POT MATERIALITZAR
EN NOVES PARTÍCULES:
ÉS UNA CONSEQÜÈNCIA
DE LA FAMOSA EQUACIÓ
D'EINSTEIN $E=MC^2$.»**

sobre la trajectòria que recorre la partícula. És el que es coneix amb el nom d'*accelerador lineal* basat en camps de *radiofreqüència*. El primer, construït l'any 1931, va accelerar ions de mercuri a 1.26 MeV. Aquesta tecnologia estava limitada en l'època perquè no es podien assolir altes freqüències. Però la posada a punt del radar en la Segona Guerra Mundial dóna accés a freqüències més elevades. En 1948 es va construir un accelerador lineal de protons a 32 MeV

(1) Un aclariment sobre les unitats. L'energia adquirida per un electró sotmès a una diferència de potencial d'un volt és l'electró-volt (eV), i aquí utilitzarem els múltiples kilo (10^3), Mega (10^6), Giga (10^9) i Tera (10^{12}).



© CERN



Figura 1: En la part inferior apareix E.O. Lawrence amb un ciclotró de demostració que li cap en la mà, i en la part superior apareix una vista aèria dels voltants del CERN, entre la frontera de França i Suïssa. La línia blanca indica en cada cas la circumferència dels acceleradors. El LEP no es veu en la figura sinó que està en un túnel que segueix la línia blanca, però a uns 100 metres sota terra. La circumferència té uns 27 km. Davant del LEP, per a comparar, apareix l'aeroport de Ginebra.

utilitzant freqüències de 200 MHz. Des de llavors les freqüències no han fet sinó augmentar. Aquest camp elèctric d'alta freqüència està polsat per limitar la potència mitjana dissipada. El feix procedent d'un accelerador lineal serà per tant polsat. En l'actualitat s'utilitzen sobretot com a injectors d'altres acceleradors.

El mateix any 1932 aparegueren els acceleradors circulars. En el *ciclotró* s'utilitza un camp magnètic uniforme i independent del temps per accelerar partícules carregades, que es mouen en un pla perpendicular al camp magnètic descrivint una espiral, el radi de la qual augmenta amb l'energia. Els ciclotrons produeixen un feix continu, però la seua energia està limitada a una petita fracció de la massa dels projectils. A hores d'ara són els acceleradors més utilitzats en medicina, però s'han abandonat per a la investigació en física. El problema és que la trajectòria de les partícules és una espiral, cada vegada més gran, per la qual cosa cal un camp magnètic en un volum cada vegada major. L'alternativa és utilitzar electroimants, repartits al llarg de la trajectòria, per tal de donar una acceleració centrípeta a les partícules i mantenir-les en una òrbita tancada. El primer *sincrotró* es va construir al 1952, i accelerava partícules dins 3 GeV. En l'actualitat s'arriben a energies d'un TeV per protons.

En els dos tipus d'acceleradors considerats, la fita és sempre fixa. L'energia disponible per a la creació de noves partícules és una petita fracció de l'energia del projectil, mentre que la resta es troba en forma d'energia cinètica després de la col·lisió. Es pot guanyar molta més energia si la fita està també en moviment i si la col·lisió és frontal o quasi frontal. Aquest nou tipus d'accelerador es diu *col·lisionador*, i és el que s'utilitza actualment en física d'altres energies. Per a dues partícules d'igual massa i energia es pot doblar l'energia de la col·lisió. Per exemple, un col·lisionador protó antiprotó de 630 GeV és equivalent a un sincrotró de protons de fita fixa de 212 TeV. Al CERN està instal·lat el LEP (*Large Electron Positron*). Va començar a funcionar el 1989 fent col·lidir electrons i positrons a 45 GeV per feix. L'energia ha anat augmentant fins als actuals 103 GeV per feix. A finals del 2000 serà desmantellat per ubicar al seu túnel el nou LHC (*Large Hadron Colli-*

der), on es produiran col·lisions protó protó a 7 TeV per feix. Desafortunadament, augment d'energia significa també augment de grandària i per tant augment de costos. Els primers ciclotrons eren petits, i el seu inventor fins i tot en va construir un de demostració que li cabia en la mà, i que està representat a la figura. Es pot comparar amb la figura 1, on apareix una vista aèria dels voltants del CERN que té una circumferència d'uns 27 km. El nivell tecnològic necessari per a desenvolupar aquests acceleradors és cada vegada més alt. En el cas del LHC tots els imants seran superconductors que arribaran a camps magnètics de 9 tesles. Això farà que el tipus de funcionament siga totalment diferent del de LEP, on solament una petita proporció dels imants són superconductors. D'altra banda cal dir que d'aquest nivell se beneficia tant la indústria com la societat en general, l'exemple més significatiu és el del *world wide web*, que va nàixer com un mitjà de comunicació per als físics i que avui utilitza tothom. Encara que sembla increïble, aquest gran aparell és molt sensible a efectes externs insospitats. Per

exemple, el pas dels trens d'alta velocitat o fins i tot de les marees lunars s'han de tenir en compte per calibrar i controlar l'energia de les partícules.

Abans d'entrar en un accelerador com el LEP (vegeu figura 2), les partícules ixen d'una font de ions, electrons, positrons o protons, i passen pels sistemes d'injecció, que les acceleren abans d'entrar

en la cambra de buit. Aquesta és com una canonada per la qual circulen les partícules. S'hi ha de fer el buit per evitar que les partícules accelerades col·lidesquen amb les partícules de l'aire. El buit és de 10^{-9} tor, comparable al buit lunar. La cambra està envoltada d'un camp magnètic guia que fa que les partícules giren en una òrbita tancada, i per un camp focalitzador per tal que es mantinguen al voltant de l'òrbita ideal, per la qual cosa han de fer oscil·lacions laterals (radials i verticals). Tota partícula carregada perd energia en ser sotmesa a una acceleració. Així, en cada revolució la partícula perd una fracció de la seua energia en forma de llum: és el que es coneix com radiació sincrotró, sobre la qual tornarem a parlar a la fi d'aquest article. Aquesta pèrdua indesitjable d'energia, inversament proporcional a la massa de la partícula accelerada, s'ha de

**«EL PAS DELS TRENDS
D'ALTA VELOCITAT O FINS I TOT
DE LES MAREES LUNARS
S'HAN DE TENIR EN COMPTE
PER CALIBRAR I CONTROLAR
L'ENERGIA DE LES PARTÍCULES.»**



© CERN

Figura 2: Interior del túnel de LEP. En la part de baix es veuen els diferents elements que componen l'accelerador (en blau en primer pla es veu un quadrupol), mentre que dalt apareix un home utilitzant el sistema de transport per a desplaçar-se per dins del túnel.

compensar cada volta amb cavitats de radiofreqüència. El que es fa és donar una acceleració periòdica que agrupa les partícules en paquets, fent que oscil·len també longitudinalment. Les partícules circulen, doncs, en feixos formats per un o més paquets, amb una velocitat pròxima a la de la llum en el buit, oscil·lant en totes les direccions i emetent radiació sincrotró. Per les oscil·lacions transversals l'amplitud de les oscil·lacions ve donada per les dimensions de la cambra de buit.

Una partícula no viatja sola, doncs, sinó que ho fa en paquets, en companyia d'unes 10^9 partícules idèntiques en un volum d'un mil·límetre cúbic aproximadament. Si totes les partícules tenen càrregues del mateix signe, la repulsió electroestàtica s'oposa a mantenir-les en un volum petit. Afortunadament, en grans energies de prop d'un GeV els efectes relativistes dominen i aquesta repulsió desapareix. Un altre problema tècnic és que la cambra de buit és metàl·lica. Per això cada partícula carregada del paquet produeix un camp magnètic en el metall que pertorbarà el moviment dels altres paquets de partícules emmagatzemats que vinguen darrere. Aquest efecte és similar al que experimenta un vaixell quan segueix el deixant d'un altre, i com en aquest cas

totes les partícules oscil·len col·lectivament amb una amplitud que augmenta ràpidament amb el temps. S'ha d'actuar amb mecanismes per controlar i suprimir aquestes oscil·lacions pertorbadores. En un col·lisionador com el LEP circulen per la cambra de buit electrons i positrons, que, per tant, segueixen direccions oposades. I ací ve la part més interessant: com fer que col·lidesquen? Els feixos es mantenen en les òrbites ideals, i es fan coincidir en certs punts d'interacció que és on es col·loquen els detectors. Contràriament al que es pot pensar, és difícil fer que col·lidesquen: els paquets d'electrons i positrons es creuen sense sentir més que una distorsió mútua que modifica les òrbites respectives. Aquest efecte és important a densitats de corrent grans i limita el que s'anomena la lluminositat del feix i per tant el nombre d'interaccions que es poden produir. Ocasionalment, en cada creuament de feixos, un electró arriba a estar tan a prop d'un positró que es produeix la col·lisió, fet que dona lloc a una dispersió, com si es tractara de dues boles de billar, o bé produint una aniquilació que origina noves partícules. La part delicada és, per tant, aconseguir el màxim de col·lisions en les zones dissenyades, on els detectors recolliran els productes de la col·lisió. En el futur

accelerador LHC es faran col·lidir dos feixos de protons, per la qual cosa s'han de construir dues cambres de buit diferents, fent que en cadascuna els protons viatgen en sentit contrari, i establint punts de creuament dels dos feixos.

Com hem esmentat adés, els acceleradors circulars tenen un efecte no desitjat pels primers usuaris: l'energia de les partícules accelerades es perd en forma de *radiació sincrotró*. Aquesta pèrdua consisteix en un feix de llum molt intens, emès cap endavant en un con que té un angle d'obertura d'unes desenes de microradians, distribuït en un continu de longituds d'ona, des de l'infraroig llunyà fins a la regió dels raigs X, i polaritzat en el pla de l'òrbita i d'una llúïssor que supera la de les fonts convencionals en un factor més gran que 10^8 . Com que la llum és la sonda més utilitzada en l'estudi de la matèria en pràcticament totes les disciplines científiques, no és sorprenent que aquesta "pèrdua" s'haja convertit en un instrument essencial per a la recerca fonamental ni que siga aplicada en camps molt diversos. Per això clourem aquest article amb unes referències no exhaustives a aquestes aplicacions.

Per donar una idea de la seua importància, diguem que avui dia els usuaris de la llum de sincrotró ja no utilitzen parasitàriament els acceleradors de la física nuclear, sinó que han construït sincrotrons dedicats exclusivament a la producció de llum. Tos els països avançats (i no tan avançats) tenen fonts pròpies i participen en projectes d'abast continental. Una mirada a la distribució europea de fonts de llum sincrotró mostra que al sud de la línia que uneix París (França) amb Trieste (Itàlia), no hi ha cap font nacional, fet que mostra la urgent necessitat de construir-ne una. La radiació sincrotró és actualment una eina imprescindible en camps tan diversos com la recerca avançada en cosmètica i en indústria alimentària; en catalitzadors i en problemes de contaminació; en fibres artificials i en productes farmacèutics; en microelectrònica i en micromecànica. La llista d'exemples no s'acaba, però amb aquests exemples ja es pot veure que la capacitat de la radiació sincrotró va molt més enllà de ser una eina per a la pura recerca aplicada. L'accés fàcil a una font de llum de sincrotró és imprescindible en qualsevol

camp de la recerca competitiva com la que fan els països del nostre entorn.

Per esmentar algun exemple d'aplicació en ciència bàsica, ens referirem només a la biologia. La radiació sincrotró ha permès estudiar els canvis conformacionals de macromolècules biològiques en dissolució, emprant tècniques de dispersió de raigs X amb resolució temporal, atesa l'estructura temporal d'aquesta radiació. Un camp en expansió és el relacionat amb complexos biològics que formen estructures bidimensionals, com les membranes; els experiments de difracció de raigs X a petit angle proporcionen informació directa sobre la dinàmica estructural d'aquests sistemes en funcionament, per

exemple quan transporten ions o petites molècules a través d'una membrana. Consideracions similars es poden fer en el cas d'estudis de dinàmica estructural de moltes altres molècules fibroses, com ara el DNA o el teixit muscular. Un exemple espectacular de la potència de la radiació sincrotró és la manera com ha transformat la solució de l'estructura atòmica de sistemes biològics usant cristalls de molècules

macrobiològiques. La resolució d'una estructura necessitava anys de treball, mentre que ara les tècniques de radiació sincrotró permeten fer-ho, de manera quasi rutinària, en qüestió d'hores. Aquest enorme progrés, després de la finalització del projecte del genoma humà, permet contemplar de forma realista el pas al següent repte científic: la determinació de l'estructura d'aproximadament les 100.000 proteïnes codificades pel genoma humà. Aquesta disciplina, que ara es coneix com la "proteòmica", és probable que es convertisca en una de les grans conquestes del segle XXI i la radiació sincrotró serà una de les eines centrals i indispensables per al seu èxit. El futur de la radiació sincrotró com a instrument de recerca serà tan brillant com la intensitat de les pròpies fonts.



**«LA RADIACIÓ SINCROTRÓ
ÉS ACTUALMENT UNA EINA
IMPRESINDIBLE EN CAMPS
TAN DIVERSOS COM LA
RECERCA AVANÇADA EN
COSMÈTICA I EN INDÚSTRIA
ALIMENTÀRIA.»**

*Institut de Física d'Altes Energies, Universitat Autònoma de Barcelona.

**IFIC, Centre Mixt CSIC Universitat de València.

LA GRAN AVENTURA DEL LEP

María José Costa i Mezquita*, Joan A. Fuster i Verdú*

THE LEP ADVENTURE. LEP, THE $e^+ e^-$ COLLIDER AT CERN, HAS BEEN SUCCESSFULLY OPERATING SINCE 1989. DURING THE FIRST SIX YEARS LEP HAS BEEN RUNNING AT AN ENERGY LEVEL OF AROUND 91 GEV, WHICH HAS GRADUALLY INCREASED UP TO 209 GEV IN 2000. MORE THAN FOUR MILLION EVENTS HAVE BEEN COLLECTED BY EACH OF THE FOUR DETECTORS COLLECTING DATA AT LEP: ALEPH, DELPHI, L3 AND OPAL. THE RESULTS OBTAINED HAVE TESTED THE STANDARD MODEL OF ELEMENTARY PARTICLES TO VERY HIGH PRECISION AND SET STRINGENT LIMITS TO ALTERNATIVE MODELS. THE DATA HAS BEEN CAREFULLY CHECKED FOR EVIDENCE OF THE HIGGS BOSON AND THIS IS STILL ONE OF THE MAJOR GOALS OF PRESENT ANALYSES. THE YEAR 2000 IS THE LAST YEAR OF THE LEP OPERATION AND PREPARATION OF THE NEW HADRON COLLIDER LHC WILL START, WHICH WILL REACH ENERGY LEVELS OF 14 TEV BY THE BEGINNING OF 2005.

Gener de 1989, a sis mesos que el LEP (*Large Electron Positron machine*), el major col·lisionador circular d'electrons i positrons, $e^+ e^-$, mai construït, comence a funcionar. L'accelerador es troba al Laboratori Europeu de Física de Partícules, CERN, a Ginebra. Està situat a una fondària mitjana de 90 m i la seua circumferència és de 27 km.

Les aniquilacions $e^+ e^-$ constitueixen un marc ideal per tal de realitzar experiments d'altres energies ja que tot el que s'observa en els detectors és producte de la col·lisió de les partícules accelerades, en aquest cas l'electró i la seua antipartícula, el positró. La suma de les energies que cada feix transporta es transforma, a través de la interacció electró-positró, en tots aquells estats de matèria que la natura permet a aquest llinar energètic ($E=mc^2$). L'accelerador LEP s'ha construït al límit de la seua tecnologia i molt possiblement serà l'últim accelerador circular $e^+ e^-$ que es construesca.

Per tal de superar les energies projectades en el LEP, fins a uns 100 GeV per feix, és necessari un altre tipus d'accelerador, vista la inviabilitat del preu i la impossibilitat d'augmentar indefinidament la circumferència de les òrbites que els feixos recorren. A diferència dels acceleradors $e^+ e^-$, en els col·lisionadors hadrònics les partícules que s'acceleren, hadrons en general, són partícules compostes d'altres de més elementals, els quarks i gluons, que són les que sofreixen la interacció. Açò condiciona la interpretació experimental dels esdeveniments i la fa molt més complicada que en el cas $e^+ e^-$. D'altra banda, el pro-

cés que limita l'augment de l'energia de LEP per damunt del centenar de GeV per feix és minúscul en aquestes màquines. Per exemple, en el cas de protons és 10^{13} vegades menor. Per això ja es comença a pensar en els pròxims acceleradors com a acceleradors hadrònics. En concret al CERN en aquests moments es planifica la construcció del LHC (*Large Hadron Collider*) el qual, aprofitant el mateix túnel que el LEP, podrà assolir una energia per feix de 7 TeV.

Pel que fa a les qüestions de física de partícules que es plantegen afrontar i eventualment resoldre, en el cas del LEP giren a l'entorn de l'estructura del denominat model estàndard de les interaccions electrofebles i fortes, les interaccions que principalment senten els leptons i els quarks. Continuarà sent el model estàndard vàlid a les distàncies en què el LEP penetrarà? Existeix el bosó de Higgs? Hi haurà tres generacions de quarks i leptons? Per què? Quants neutrins lleugers existeixen? Arribarem a entendre per què les masses de les partícules són les que són? Aquestes, entre d'altres, són les preguntes a les quals s'espera que el LEP done llum.

En una primera fase el LEP tindrà una energia nominal de funcionament d'uns 45 GeV per feix, suficient per tal de produir el tan desitjat bosó Z^0 i així poder mesurar totes les seues propietats de producció i desintegració, amb fortes implicacions en la comprensió del model estàndard. Abraçarà el període 1989-1995 i s'espera recollir uns quants milions de Z^0 per experiment, es pretén per tant realitzar mesu-

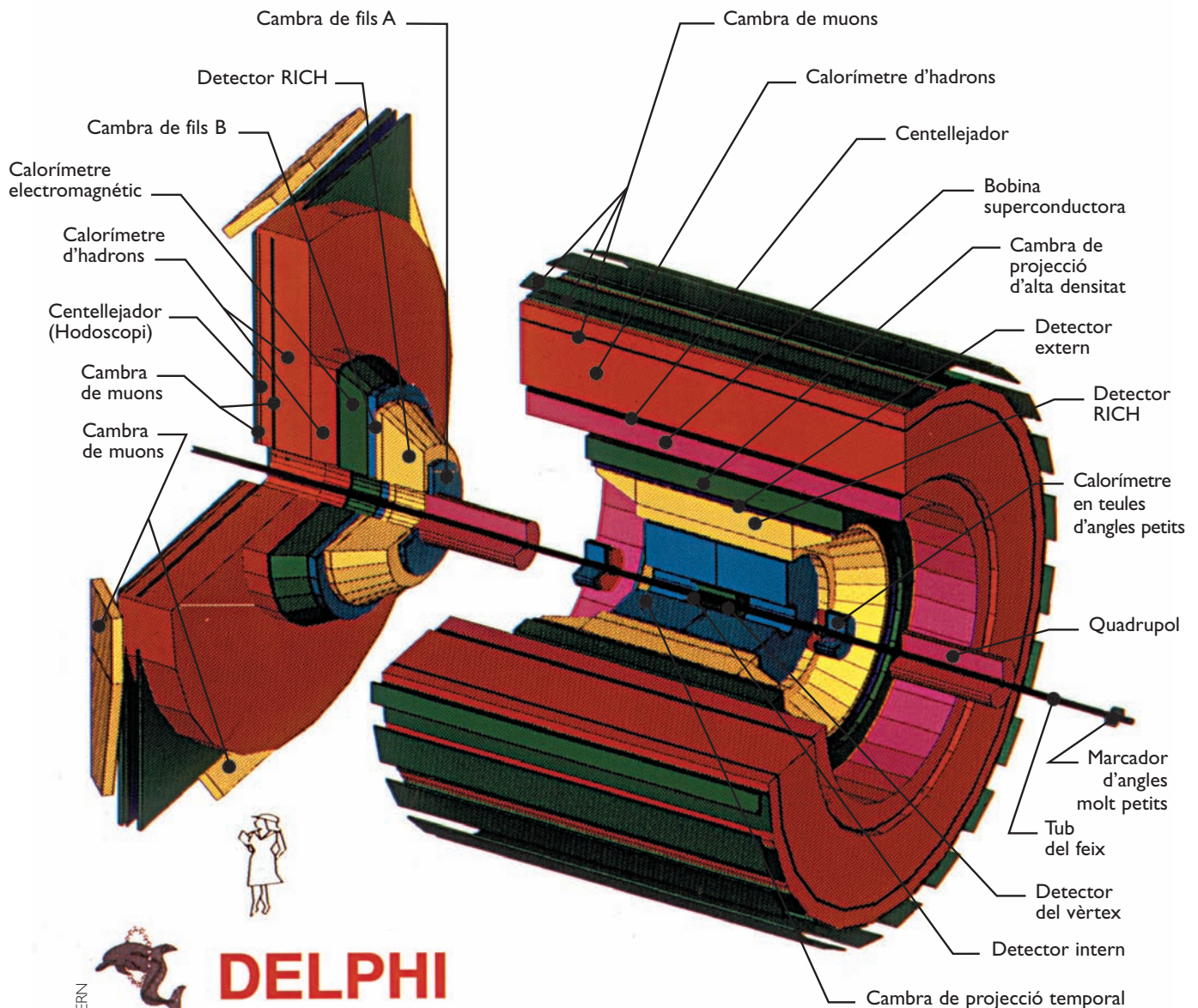


Figura 1: Esquema a escala del detector DELPHI on l'IFIC ha participat en la construcció dels subdetectors TOF (centellejadors) i FEMC (calorímetre electromagnètic davanter) i actualment en l'anàlisi dades.

res de molt alta precisió. En la segona fase s'augmentarà l'energia de LEP fins al màxim, uns 100 GeV per feix. Si tot surt com és previst això haurà d'ocórrer gradualment entre els anys 1996 i 2000. En aquest cas es podrà observar per primera vegada la producció doble de bosons W^\pm mitjançant l'acoblament triple dels bosons febles. El nombre d'esdeveniments que en aquest cas es podran recollir serà bastant menor al de la primera fase, d'unes quantes desenes de milers d'esdeveniments. En ambdós casos es buscarà el bosó de Higgs (H) i qualsevol possible indicatiu de nova física, és a dir, que no puga ser expli-

cada pel model estàndard a través d'un examen rigorós de les dades. Les dimensions de l'univers microscòpic que aquest accelerador permetrà explorar són de prop de 10^{-18} m.

En aquests moments, l'activitat en els experiments és frenètica ja que l'hora de la veritat s'acosta. La comunitat de físics que s'han compromès a construir cada detector ha realitzat durant molts anys proves de viabilitat en què, partint d'un disseny original, han acabat perfilant i finalment construint les parts compromeses en la col·laboració. Les preguntes ara són: funcionarà el detector en la seua globalitat?, la infor-

mació de cadascuna de les parts, compostes per milions de canals, complirà els protocols planificats per tal que es puguin reconstruir els esdeveniments com un tot?, és més, funcionarà el protocol? Cada 22 milisegons el LEP proporcionarà un creuament de feixos però no tots els creuaments originaran una interacció. Més encara, la present tecnologia té una amplària de banda que, donades les dimensions mitjanes que tindran els esdeveniments, limita la seua escriptura en disc a uns 10 Hz. El sistema de *trigger* s'encarrega de realitzar la selecció de dades en temps real de manera que la freqüència inicial de creuament, uns 45 kHz, es redueix a la freqüència permesa d'adquisició de dades. Els requeriments d'aquest sistema són clars, cap esdeveniment potencialment interessant s'hauria de perdre, tot i que el temps emprat a prendre les decisions significa una pèrdua d'un 5% de creuaments. Dels esdeveniments escrits en banda només un percentatge molt petit conté física rellevant. L'art de trobar i extraure aquests esdeveniments importants constitueix l'*anàlisi de dades*. Aquest procés depèn de la iniciativa individual dels físics i pot –i de fet sol fer-ho– durar uns quants anys.

Tot i que la tecnologia utilitzada en els detectors és complicada i normalment està al límit del coneixement,

el principi de detecció és simple i hi estem acostumats en la nostra vida quotidiana més del que sembla. Per exemple, l'accelerador *Sol*, mitjançant mecanismes encara no molt ben entesos del món subatòmic, produeix fotons, neutrins, nuclis i moltes més partícules, algunes de les quals de vida molt efímera. En particular els fotons en arribar a la Terra incideixen sobre els objectes i després sobre els nostres ulls. Els detectors, *ulls*, en captar els fotons produeixen una sèrie de reaccions que el nostre cervell ha après a processar i, com a resultat, acabem coneixent la forma i color, entre altres propietats, d'aquests objectes. Així, imitant la naturalesa, funcionen els físics de partícules.

En termes generals els detectors del LEP estan organitzats en capes concèntriques de simetria cilíndrica respecte als feixos de l'accelerador amb els quals cobreixen tot l'espai al voltant del punt d'interacció (4π). Les dimensions típiques són d'uns 10 m d'altura i unes 3.500 tones de pes. Cada capa està especialitzada en un sistema de detecció. Quan les partícules produïdes en la interacció travessen les capes el que de fet fan és interaccionar amb el medi o material que les componen. En base a aquesta interacció i mitjançant certs principis d'operació, el procés acaba con-

«LES DIMENSIONS TÍPIQUES DELS DETECTORS DEL LEP SÓN D'UNS 10 METRES D'ALTURA I UNES 3.500 TONES DE PES.»

DELPHI Vertex Display

Run: 41541 Event: 1181

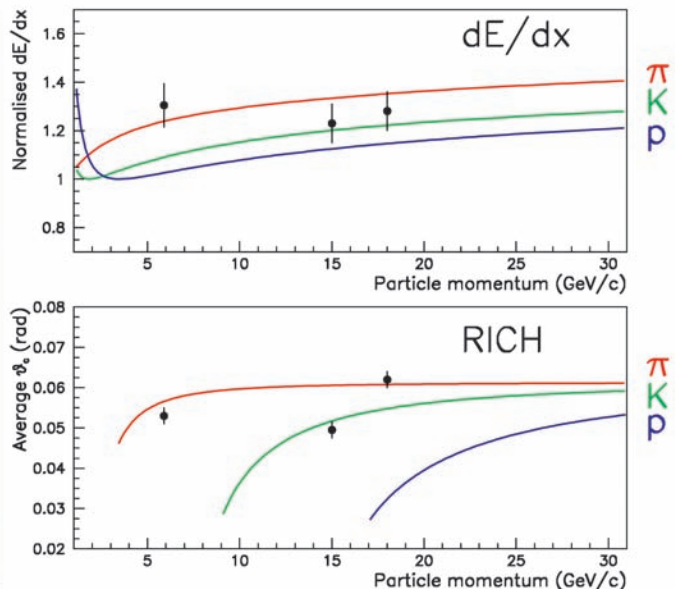
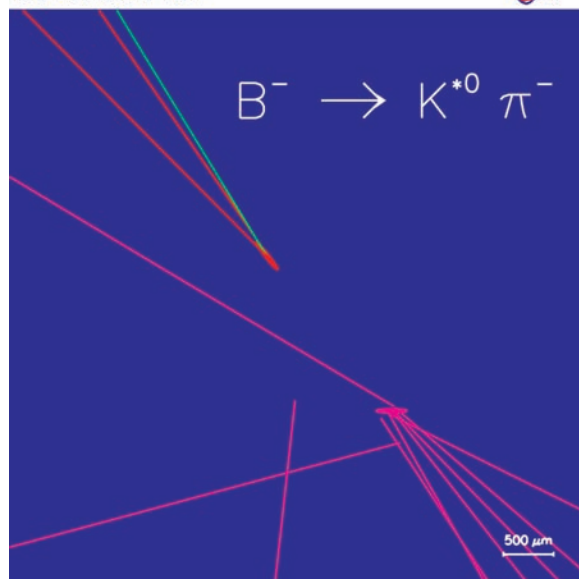


Figura2: A l'esquerra, reconstrucció d'un esdeveniment real on es pot observar el punt d'impacte dels feixos i el posterior vol i desintegració de l'hadró B^- en $K^0 \pi^-$. A la dreta, els productes de la desintegració de l'hadró s'identifiquen utilitzant diverses tècniques.

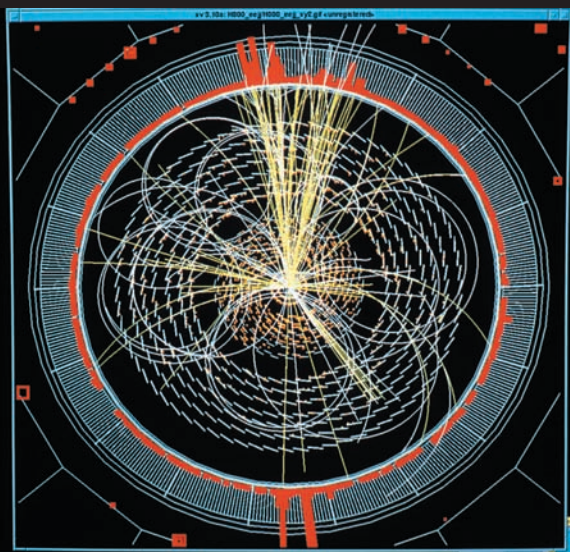


Figura3: Esdeveniment simulat de producció de Higgs al LHC. En aquest cas el Higgs es desintegra a dos bosons Z que així mateix acaben donant dos quarks i un parell electró-positró. Els quarks en materialitzar-se originen hadrons formant dos feixos de partícules. Els impactes d'aquestes partícules donats pels detectors de traces permeten la seua reconstrucció. La parella electró-positró també deixa senyal en els detectors de traces i a més la seua energia es pot mesurar en el calorímetre electromagnètic.

vertint-se en un senyal elèctric que es registra i que conté la informació que es transmet i s'escriu en el disc. Les dificultats tècniques que es deriven d'aquest procediment són degudes a la sofisticació dels principis físics que s'apliquen per tal d'originar els senyals, l'amplitud tan menuda d'aquests respecte al soroll normal d'operació de l'electrònica associada, a més de la gran velocitat i sincronització necessàries per tal de processar ràpidament milions de canals.

De dins cap a fora, la primera capa es denomina *detector de vèrtex*. Aquest detector està compost per detectors semiconductors de silici de gran precisió, capaços de reconstruir l'impacte d'una partícula carregada amb un error d'uns $10 \mu\text{m}$. La seua missió és reconstruir vèrtexs diferents al del punt d'interacció, on les partícules, de vides mitjanes de prop de 10^{-12} segons es desintegren en d'altres. Aquestes partícules, encara que la seua existència és prou curta, es poden observar perquè viatgen a velocitats pròximes a la de la llum i per això acaben recorrent distàncies pròximes al mil·límetre que aquests detectors ja poden reconstruir.

**«L'ESMUNYEDÍS BOSÓ DE
HIGGS POT PERMETRE
D'ENTENDRE LA GENERACIÓ
DE MASSES DE PARTÍCULES.»**

La segona capa se sol denominar *detector de traces*, ja que mitjançant diverses tècniques és capaç de seguir les trajectòries de totes les partícules carregades amb una precisió de prop d'un centenar de micres durant recorreguts d'1 m aproximadament. Així s'aconsegueix reconstruir la trajectòria de les partícules que, com que estan sota l'acció d'un camp magnètic pròxim a la tesla, són corbes i, gràcies a això, també pot mesurar el seu moment.

En la tercera capa comença la *calorimetria* i el primer calorímetre és l'*electromagnètic*. El seu objectiu és reconstruir les energies dels fotons i electrons que, en perdre tota la seua energia, acaben atrapats. L'ús d'aquests detectors requereix que les capes més internes siguin de materials o medis extremadament lleugers per tal de no degradar les energies inicials.

La quarta capa comprèn el *calorímetre hadrònic* i la seua funció principal és la de reconstruir les energies de totes les partícules que hi arriben, generalment hadrons. Contràriament a les primeres capes està formada per materials molt pesants amb la finalitat d'absorbir i atrapar totes les partícules que hi arriben. Només els muons tenen un poder de penetració que la supera.

L'última etapa és la que formen les *cambres de muons*, a vegades també inserides entre el calorímetre hadrònic. Aquestes cambres detecten el pas de qualsevol partícula carregada, però, donat que només els arriben muons, serveixen per tal d'identificar-los en l'esdeveniment.


L'estratègia i disposició d'aquestes capes, junt amb els materials i tècniques aplicades per tal d'aconseguir els passos descrits anteriorment, són les que defineixen cada detector, la comunitat de físics del qual decideix on posar èmfasis o especialitzar-se. En el cas del LEP, quatre col·laboracions distintes explo-

ten els seus resultats. Aquestes són Aleph, Delphi, L3 i Opal. Totes elles compleixen l'esquema descrit però amb particularitats molt específiques que justifiquen la seua construcció. Alguns amb tècniques de detecció més avantguardistes en la detecció de traces,

Aleph i Delphi, o en calorimetria i muons, L3, o més convencionals respecte a tècniques ja més establertes, Opal, o amb gran poder per tal d'identificar partícules, Delphi. El conjunt de les característiques dels detectors constitueix l'aposta de cada col·laboració i defineix el potencial d'anàlisi de cadascun d'ells.

L'estiu de 1989 el LEP comença a funcionar i aconsegueix les seues primeres col·lisions. En la tardor de

1989 es realitzen les primeres mesures, amb uns centenars d'esdeveniments, dels paràmetres del model estàndard. Cap sorpresa apareix en escena. En els anys vinents i fins al 2000, comptant amb milions d'esdeveniments, s'aprofundeix en aquests estudis fins a precisions mai assolides. A principis dels 90 ens trobem que un dels protocols del programari inventats i desenvolupats al CERN, utilitzat per tal de comunicar-se i intercanviar-se informació, sembla tenir bones utilitats en Internet i el seu ús comença a estendre's en la societat. Rep el nom de WEB. Mentrestant, el nombre de neutrins lleugers s'ha establert finalment en tres. Les propietats dels bosons Z^0 i W^\pm són examinades amb precisions molt altes. El gluó deixa de ser un concepte qualitatiu i incert i la seua presència es quantifica com mai no s'havia fet abans. El model estàndard es ratifica mitjançant molts i imaginatius tests que en alguns casos arriben a precisions del per mil. Se n'exclou qualsevol teoria alternativa al model estàndard en la regió d'energies coberta pel LEP. S'estableix la dependència de les constants d'acoblament i masses de les partícules amb l'escala energètica. Es limita l'existència del quark top a un rang de masses en concordança amb la seua posterior observació directa en el Tevatron (Fermilab, Chicago). Ja es pot dir que hi ha tres generacions de quarks si bé encara no entenem per què el tres és tan màgic. Només l'esmunyedís bosó de Higgs, tan important per tal d'entendre la generació de masses de partícules i l'existència del qual és necessària per tal d'acabar d'entendre el model estàndard, sembla escapar a l'observació. A hores d'ara, els estudis més recents del LEP semblen localitzar el bosó de Higgs sobre els 115 GeV però el fet no està totalment confirmat per tots els detectors i el LEP ja no pot augmentar més la seua energia, que ha forçat fins als 209 GeV. El seu descobriment potencial, o el d'altres partícules, si no es confirma en el LEP, queda per a una altra aventura més gran encara, potser el Tevatron a Fermilab, potser LHC al CERN, però aquesta serà una altra història.

Actualment l'IFIC (Institut de Física Corpuscular), centre mixt de la Universitat de València i del CSIC, col·labora en el detector Delphi del LEP, on ha construït totalment els detectors TOF, que mesuren el temps de vol de les partícules, i parcialment el calorímetre electromagnètic, anomenat FEMC. L'IFIC participa també en el disseny i construcció del detector Atlas, un dels futurs detectors del LHC. Concretament està involucrat en el detector de traces de silici, l'anomenat SCT, i en el calorímetre hadrònic, TILECAL. 

*IFIC, Centre Mixt CSIC – Universitat de València

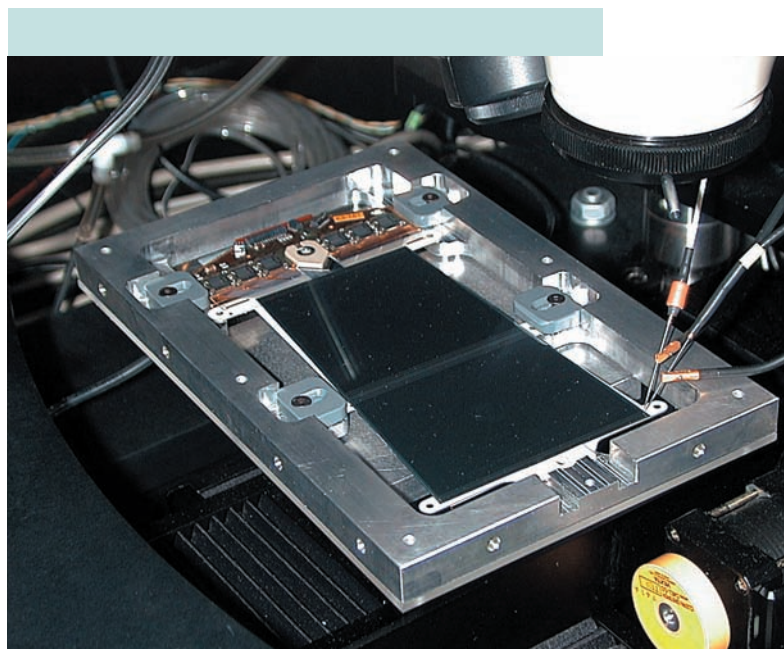


Figura 4: Mòdul de silici construït en l'IFIC. Un dels mòduls del detector de traces silici d'ATLAS construït al laboratori de l'IFIC. Aquests detectors poden reconstruir l'impacte d'una partícula carregada amb una precisió d'unes poques micres. Les dimensions d'aquests mòduls són de $6 \times 12 \text{ cm}^2$ i en ATLAS n'hi haurà un total d'uns 4.500.

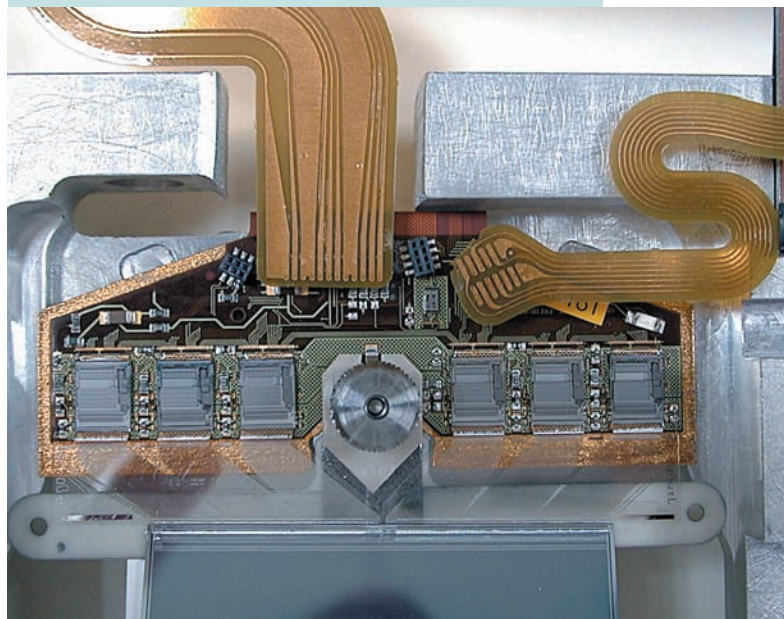


Figura 5: Part electrònica del mòdul. Detall de la part de lectura electrònica dels mòduls de silici. Es pot apreciar la connexió de les bandes dels detectors de silici fins als canals dels xips de lectura, separats unes 70 micres entre ells.

DE LA FÍSICA NUCLEAR I DE PARTÍCULES A LA MEDICINA: UNA MICA D'HISTÒRIA

José María Benlloch*

FROM NUCLEAR AND PARTICLE PHYSICS TO MEDICINE. A LITTLE BIT OF HISTORY. A REVOLUTION IN THE FIELD OF MEDICAL DIAGNOSIS HAS TAKEN PLACE IN THE LAST 25 YEARS DUE TO PREVIOUS ADVANCES IN NUCLEAR AND PARTICLE PHYSICS. THIS HAS ALLOWED IMAGING NOT ONLY THE STRUCTURE OF THE HUMAN BODY BUT ALSO, MORE IMPORTANTLY, ITS FUNCTION. IN THIS WAY HIGH-RESOLUTION, 3-DIMENSIONAL IMAGES THROUGH NON-INVASIVE METHODS.

Fa a penes un segle des del descobriment dels raigs X i de la radioactivitat i les seues aplicacions en la nostra vida quotidiana són in comptables. Qui no ha anat a la consulta del metge a fer-se una radiografia o qui no ha passat la maleta en l'aeroport pel detector de raigs X? En aquest article expliquem breument les fites més importants en la història de les aplicacions de la física nuclear i de les partícules a la medicina. Com veurem, aquestes aplicacions han estat de dos tipus: millora radical en el diagnòstic de les malalties i nous mètodes de teràpia del càncer basats en la irradiació de les cèl·lules cancerígenes per raigs X o per feixos de partícules.

Els raigs X es van descobrir per casualitat en 1895 quan Wilhem Röntgen va deixar oblidat un full de paper fosforescent prop d'un tub de raigs catòdics. Posteriorment es va determinar la naturalesa física d'aquesta radiació: els raigs X no són més que radiació electromagnètica, com la llum visible, però de molta major freqüència, i, per tant, són portadors de molta més energia.

Objectes de diferents materials i volums mostren distinta transparència als raigs X quan es registren en una placa fotogràfica. Així, en una imatge produïda per raigs X o radiografia la placa queda més o menys ennegrida segons la transparència de l'objecte al pas dels raigs X: els objectes menys transparents als raigs X deixen la placa invariable. Per tant, la imatge que produeixen els raigs X és una imatge de la seua transmissivitat. L'any següent del seu descobriment, ja va aparèixer un llibre sobre com diagnosticar la tuberculosi mitjançant els raigs X. En aquella època es va utilitzar principal-

ment per localitzar bales i altres metalls, que eren molt menys transparents als raigs X que els òrgans del cos humà. Més tard, l'ús del "contrast" (substàncies opaques als raigs X com el bari) va permetre visualitzar el tub digestiu i els vasos sanguinis.

Els raigs X també es van començar a utilitzar molt aviat com un mètode de teràpia contra el càncer: en 1987 es van utilitzar per tractar el càncer de pell irradiant les cèl·lules cancerígenes de l'epidermis. Fins llavors els metges utilitzaven la radiació ultraviolada, que és molt menys energètica.

Però aviat es va advertir que com major era l'energia dels raigs X, major era la seua eficàcia com a teràpia. Per desgràcia, es va tardar molt de temps a produir raigs X amb l'energia necessària de manera artificial i controlada. Actualment, en quasi tots els grans hospitals existeix

«ACTUALMENT, EN QUASI TOTS ELS GRANS HOSPITALS EXISTEIX UNA UNITAT DE TRACTAMENT DE RAIGS X MITJANÇANT ELS MODERNS ACCELERADORS D'ELECTRONS.»

una unitat de tractament de raigs X mitjançant els moderns acceleradors d'electrons.

En 1886, Henri Becquerel va descobrir la radioactivitat, tan sols uns mesos després del descobriment dels raigs X. Va trobar un nou tipus de radiació que es produïa de manera espontània en alguns metalls pesants com ara l'urani. Anys més tard, Pierre i Marie Curie van trobar una font excepcional de raigs gamma: el radi. Els raigs gamma són de la mateixa naturalesa que els raigs X, però de major energia, és a dir, el tipus de radiació que s'intentava produir de manera artificial. Avui dia, el cobalt 60, un element de característiques similars al radi, es fa servir en quasi tots els hospitals de la Comunitat Valenciana com a forma de radioteràpia.

Segons el punt de vista actual, es pot dir de manera

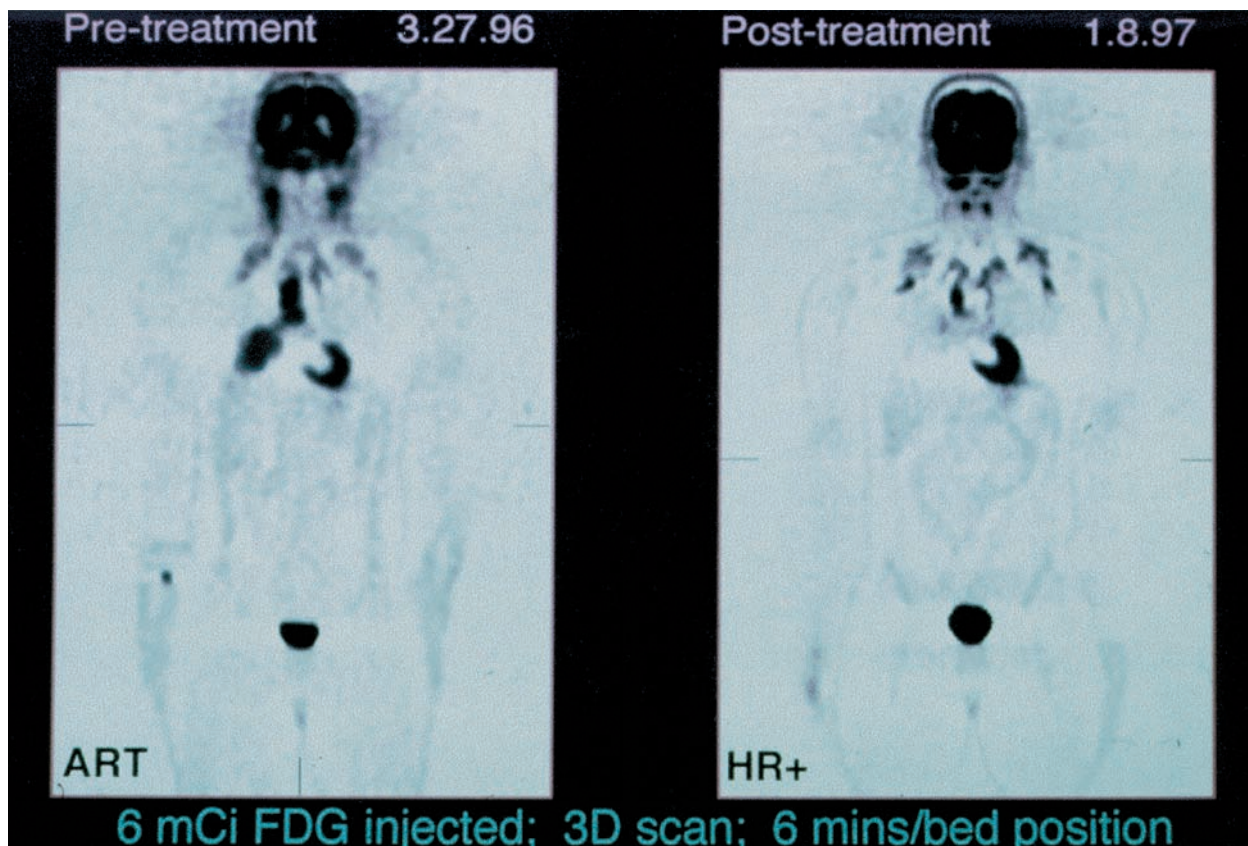


Figura 1: Imatges de cos sencer obtingudes mitjançant una càmera TEP després d'una injecció de FDG (fluorodeoxiglucosa). Es tracta d'una comparació de l'estat del pacient abans i després del tractament d'un tumor pulmonar mitjançant radioteràpia. Com s'aprecia en la imatge, el tumor pulmonar ha desaparegut completament després del tractament. (Cortesia de David Townsend, Universitat de Pittsburg.)

simplificada que els àtoms es componen d'un nucli i d'un núvol d'electrons que l'envolta. Els raigs X es produeixen quan s'excita un electró de l'escorça de l'àtom, per exemple, quan es fa xocar un electró extern contra àtoms. Quan l'àtom es desexcita i torna l'electró al seu estat fonamental s'emeten fotons d'energies de milers d'electrovolt. Tanmateix, els raigs gamma es produeixen per reorganitzacions del nucli atòmic i per això són molt més energètics amb energies en el rang de centenars de milers d'electrovolt.

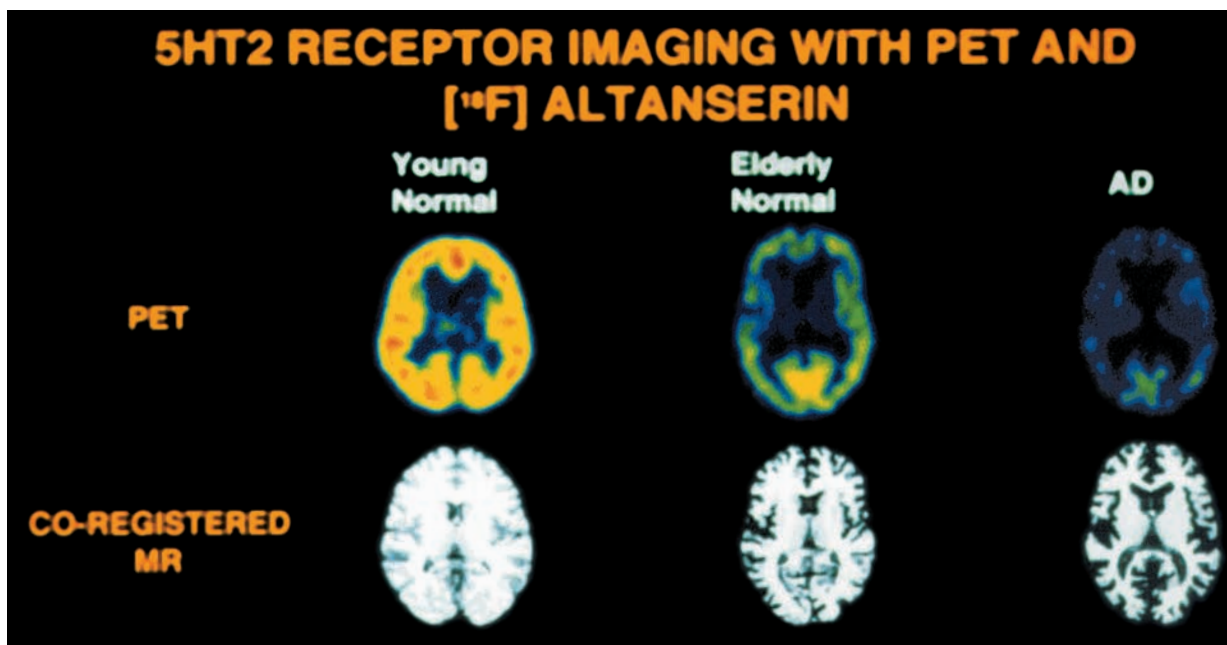
Desgraciadament, els científics de l'època que van manipular les substàncies radioactives i els raigs X n'experimentaren les conseqüències. Enrico Fermi, que va provocar a la Universitat de Chicago la primera reacció nuclear en cadena, va morir de càncer. Els seus laboratoris encara continuen segellats. Actualment es prenen mesures de protecció radiològica i dosimetria per garantir la seguretat del pacient. Millorant l'eficiència de detecció en el diagnòstic i l'efectivitat de la radioteràpia es pot reduir la dosi subministrada al pacient.

Si els grans avenços de la ciència física en aquest segle es van realitzar en el seu primer terç, en el terreny

de la tècnica ha estat el darrer terç el que ha aconseguit obtenir major profit pràctic d'aquests descobriments. Fins la dècada dels 70, la utilització dels raigs X tant en el diagnòstic com en la radioteràpia va ser una mica rudimentària. D'altra banda, el càncer s'ha revelat com la malaltia més temuda per l'home del segle XX i ara descriurem breument la seua incidència.

■ EL CÀNCER I EL GENOMA HUMÀ

El material genètic està contingut en els cromosomes de les cèl·lules. Els humans posem 23 parells de cromosomes. En els cromosomes es troba el DNA, format per cadenes dobles de parells de nucleòtids o bases (adenina, citosina, guanina i timina). En total hi ha uns 3.000 milions de parells de bases en el DNA humà. Seccions d'aquesta enorme cadena formen els gens. Encara que podem pensar que aquestes seqüències són immutables, el fet és que es produeixen petits canvis contínuament. Al llarg de la vida d'un individu es produeixen de manera natural al voltant de deu mil milions de mutacions o alteracions en el genoma d'algunes cèl·lules. Se sap que



Imatges obtingudes mitjançant una càmera TEP que representen el grau de metabolisme cerebral en un jove sa, en un ancià sa i en un ancià afectat per la malaltia d'Alzheimer. En lloc de FDG, la substància injectada és F-Altanserina. Les imatges de la part inferior es van prendre simultàniament mitjançant ressonància magnètica. (Cortesía de David Townsend, Universitat de Pittsburg.)

certes substàncies químiques i la radiació indueixen mutacions d'algun gen que van associades a malalties.

Això no obstant, la malaltia genètica posseeix un caràcter probabilístic: per exemple, que una persona se li haja detectat una seqüència alterada del seu gen associat al càncer de mama no significa que aquesta persona haja de contraure necessàriament l'esmentat tipus de càncer; al contrari, es detecten alguns casos de càncer de mama en persones que tenen la seqüència normal. En qualsevol cas, les cèl·lules cancerígenes impliquen un desenvolupament cel·lular anòmal amb una multiplicació cel·lular incontrolada. Aquesta multiplicació cel·lular porta amb si mateix una producció de proteïnes inusual, fet que implica un consum d'energia extraordinari.

Cada any es detecten més d'un milió de nous casos de càncer en la Comunitat Europea. Solament un 45% dels malalts es guareixen. Quan el càncer està localitzat (aproximadament un 58% dels casos), s'aplica la cirurgia i la radioteràpia o una combinació de tots dos mètodes i s'obté un percentatge de guariments major del 60%. En el cas de metastasi generalitzada, l'únic mètode aplicable és la quimioteràpia, amb un percentatge d'èxit bastant petit, al voltant del 12%.

■ DIAGNÒSTIC

En els darrers vint-i-cinc anys s'ha produït una revolució en el camp del diagnòstic mèdic, que ha

permès visualitzar l'interior de l'organisme humà per mètodes no invasius, produint imatges en tres dimensions i de molt alta resolució.

Totes aquestes tècniques resulten de la contribució combinada de diverses àrees de la ciència i de l'enginyeria: la física nuclear i de partícules, avenços en els detectors de radiació i de partícules; desenvolupaments continus en l'electrònica d'adquisició de dades i ordinadors cada vegada més ràpids per a reconstruir la imatge. El diagnòstic actual és una tasca col·lectiva en la qual participen metges amb l'assistència de físics, enginyers i informàtics.

El primer gran avenç va ser l'escàner de raigs X o TAC (Tomografia Axial Computeritzada). L'inventor va ser un físic, Geoffrey Hounsfield, que treballava en una casa discogràfica anglesa molt coneguda, EMI. Aquesta companyia havia decidit produir no solament els discos dels Beatles, sinó també aparells de so, que llavors es fabricaven amb tubs de buit. Els fotomultiplificadors que va fer servir Hounsfield per introduir el seu escàner són un tipus especial de tubs de buit. Se li va acudir que si detectava els raigs X en diferents plans de detecció al voltant del pacient, és a dir, produint diferents talls, obtindria una imatge tridimensional i més rica en informació que no les plaques simples de raigs X. Així doncs, Hounsfield va inventar la tomografia (*tomos* és una paraula grega que significa 'tall'), per la qual va obtenir el premi Nobel en 1972.

La següent gran contribució va ser la ressonància magnètica nuclear, que ha estat la tècnica de diagnòstic dominant durant els anys 90. Aquesta tècnica mostra la distribució d'aigua en l'organisme humà. S'introdueix el pacient en una zona amb un camp magnètic elevat. Els nuclis dels àtoms d'hidrogen, que formen la molècula d'aigua, són els protons. Cada protó es comporta com un petit imant i gira al voltant de la direcció del camp alhora que emet ones de ràdio que un ordinador enregistra i analitza. Finalment es produeix una secció en dues dimensions del cos humà. La RMN és extremadament eficient per visualitzar l'anatomia dels teixits tous i pot detectar tumors extraordinàriament petits.

De totes les aplicacions, la més innovadora és la tomografia per emissió de positrons. Si la ressonància magnètica nuclear ha estat la tècnica dominant dels anys noranta, es preveu que la TEP serà la tècnica del segle XXI. La tècnica TEP és apassionant: com hem esmentat, les cèl·lules cancerígenes es multipliquen a un ritme superior a les normals, amb la consegüent producció de proteïnes. Tot això implica un consum extraordinari d'energia. Aquesta energia es pot obtenir a partir de molècules de glucosa. Per tant, si subministrem glucosa a un pacient amb càncer observarem una acumulació de glucosa en les proximitats de les cèl·lules cancerígenes. Però, com podem visualitzar la concentració de glucosa en l'organisme? La resposta ve novament de la física nuclear i de partícules: es pot "marcar" la glucosa reemplaçant un àtom d'oxigen per un altre de fluor 18, un isòtop que emet positrons i que es produeix mitjançant un ciclotró. El positró és l'antipartícula de l'electró, posseeix les mateixes propietats que aquest excepte que la seua càrrega elèctrica és positiva. Quan s'emmet el positró aquest troba ràpidament un electró, perquè tota la matèria és plena d'electrons, i les dues partícules s'aniquilen i donen lloc a dos raigs gamma que ixen en direccions completament oposades i amb la mateixa energia equivalent a la massa de l'electró. Els raigs gamma travessen el cos humà i són detectats per un anell de detectors situats al voltant del pacient. Per tant, amb la TEP s'obtenen imatges funcionals de successos biològics que s'esdevenen al nostre interior. La TEP va ser inventada per Michael Ter-Pogossian als EUA.

El TEP no té rival en la detecció del càncer. La TEP permet la diferenciació entre teixit malalt i sa. De vega-

des, mitjançant una radiografia es descobreix una ombra sospitosa, per exemple, en els pulmons. La TEP indica si l'ombra es tracta d'un tumor maligne i a més revela si hi ha metàstasis addicionals. D'aquesta manera, la TEP permet el diagnòstic de càncer abans que s'escampe. El pitjor risc del càncer és la seua propagació per tot el cos. La TEP és l'únic mètode diagnòstic que permet en una sola exploració detectar totes les lesions tumorals independentment de l'òrgan en què es localitzen, en major nombre i de manera més precoç que la resta de proves diagnòstiques juntes, el que comporta un adequat maneig terapèutic posterior que permet disminuir les xifres de mortalitat. El PET pot constatar a més l'eficàcia dels mètodes de ràdio o de quimioteràpia aplicats.

Quan es produeix un increment de pèrdua de memòria en persones d'edat avançada, TEP pot distingir entre Alzheimer i altres tipus de demència com ara la demència vascular. Es poden fer diagnòstics correctes fins i tot abans que el pacient haja començat a manifestar clínicament la malaltia. Amb ajuda de l'aminoàcid F-Dopa, TEP és capaç de determinar si hi ha una disminució en la síntesi de dopamina al cervell, com en el cas de la malaltia de Parkinson, la TEP pot determi-

nar les regions cerebrals amb reducció del metabolisme de glucosa. Aquestes regions són les responsables dels atacs d'epilèpsia i, gràcies a noves tècniques quirúrgiques, és possible tractar-les

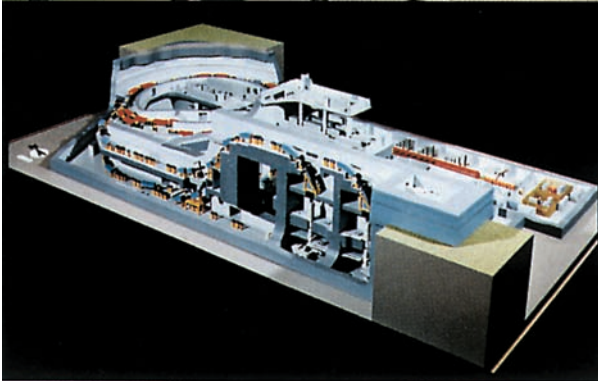
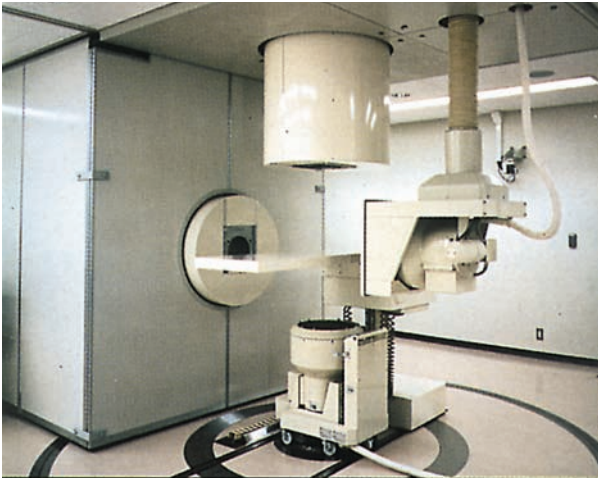
**«EN ELS DARRERS
VINT-I-CINC ANYS S'HA PRODUÏT
UNA REVOLUCIÓ EN EL CAMP
DEL DIAGNÒSTIC MÈDIC,
QUE HA PERMÈS VISUALITZAR
L'INTERIOR DE L'ORGANISME HUMÀ
PER MÈTODES NO INVASIUS
QUE PRODUEIXEN IMATGES
EN TRES DIMENSIONS
I DE MOLT ALTA RESOLUCIÓ.»**

■ RADIOTERÀPIA

Com es relata en l'article sobre acceleradors d'aquesta revista, Ernst O. Lawrence va construir el primer ciclotró en 1932. En 1938 la mare de Lawrence va ser la primera

persona en el món tractada amb feixos de neutrons produïts per ciclotró. La mare de Lawrence es va guarir.

Hi ha instal·lats més de 10.000 acceleradors en el món que produeixen raigs X d'alta energia per al tractament del càncer i que han funcionat amb èxit en molts casos. Això no obstant, els raigs X no són efectius contra molts tipus de càncer. El problema de la radioteràpia és eliminar el tumor sense malmetre els teixits sans. Amb els raigs X o raigs gamma això s'aconsegueix solament en part. Per desgràcia, tots coneixem algú que ha estat guarit de càncer però que la radiació li ha produït altres danys secundaris. La raó és que els raigs X dipositen la major part de la seua energia prop de la superfície, i si el

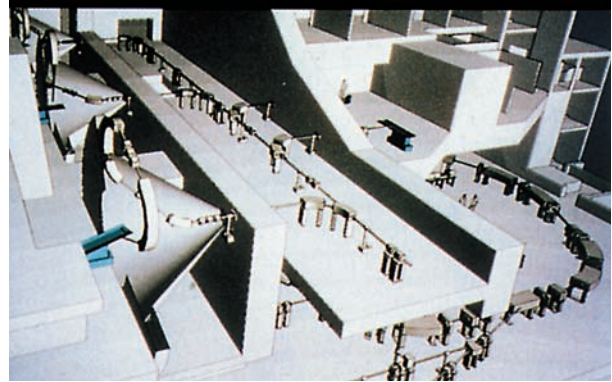
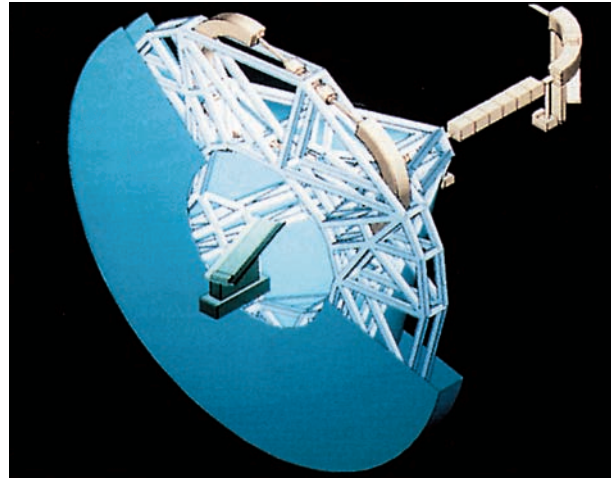


Fotografia superior: Sala de teràpia del Centre de Teràpia mitjançant ions pesants de Chiba (Japó). Aquesta sala està equipada amb feixos verticals i horitzontals. La fotografia mostra dos col·limadors i dos intensificadors d'imatge de raigs X enfrontats, i una llitera de tractament entre ells.

Fotografia inferior: Maqueta del Centre de Teràpia mitjançant ions pesants de Chiba (Japó). (Cortesia del CERN.)

càncer no està situat en la superfície corporal es malmeten teixits sans de l'organisme. Aquest problema es podria resoldre utilitzant feixos de protons i d'ions pesants, aprofitant que dipositen la major part de la seua energia quan es paren (aquest efecte es coneix com pic de Bragg). A més, tant els protons com els ions pesants recorren trajectòries en línia recta sense dipositar energia lateralment. L'hadronteràpia és la tècnica que permet utilitzar feixos d'hadrons (com ara els protons, neutrons i ions pesants) en la teràpia de càncer.

Robert Wilson va ser el primer a proposar l'ús de protons en la teràpia del càncer en 1947. Els primers tractaments es van començar a aplicar en 1954 al Lawrence Berkeley Laboratory (Califòrnia). Actualment existeixen en el món diversos centres de teràpia de protons: als Estats Units, el Japó, Rússia, Sud-àfrica i Europa. Més de 25.000 pacients han estat tractats fins l'any 2000 en el món, la majoria en centres d'investigació en física nuclear i de partícules que han dedicat part



Fotografia superior: Disseny per ordinador del gantry, instrument mitjançant el qual el feix d'ions pesants procedent de l'accelerador es divideix en molts feixos de menor intensitat i, al seu torn, es focalitzen des de distintes direccions cap al pacient.

Fotografia inferior: Imatge en tres dimensions del disseny del Centre Nacional de Teràpia Oncològica de la Fundació TERA a Itàlia. Hi apareix l'edifici amb l'accelerador principal, un sincrotró i les línies de feix per a les diferents sales de tractament amb els seus respectius gantries. (Cortesia d'Ugo Amaldi, Fundació TERA.)


del temps de l'accelerador a usos mèdics. Loma Linda (Califòrnia) és el primer hospital dedicat a la teràpia de protons. L'energia típica dels protons és de vora 200 milions d'electrovolts.

El primer hospital del món a utilitzar feixos de neutrons com a teràpia va ser el Hammersmith de Londres en 1970. En l'any 2000 al voltant de 30.000 pacients han estat tractats mitjançant aquesta tècnica en el món. D'altra banda, la facilitat dels compostos de bor de fixar-se en certs tumors, especialment en tumors cerebrals, juntament amb el fenomen de captura de neutrons pel bor, el converteix en un element molt útil en radioteràpia. El bor, després de ser irradiat per un feix de neutrons, els captura, i posteriorment s'injecta en el pacient per tal que es concentre en el tumor, on emet partícules alfa i de liti sense malmetre els teixits sans.

El mètode més avançat de radioteràpia de tumors

profunds és la utilització de ions pesants. Quasi totes les lesions del DNA cel·lular les repara la mateixa cèl·lula. Les cèl·lules cancerígenes moren amb major facilitat si el dany causat al seu DNA és tan gran que la probabilitat d'una reparació correcta és petita. Se sap que els feixos de ions de carboni són els més adequats per a produir un dany irreparable al final del seu recorregut, mentre que produeixen un dany reparable en el seu camí. Ions més pesants produeixen un dany irreparable també en les cèl·lules sanes, mentre que ions més lleugers no són tan eficients en la destrucció del tumor. Hi ha molt pocs centres en el món amb experiència en teràpia de ions. El primer va ser el Lawrence Berkeley Laboratori, que va acabar la seua activitat a principis dels noranta. El centre HIMAC al Japó li va succeir en 1995. També existeix un centre a Darmstadt (Alemanya). Estan en projecte un centre a Itàlia, a càrrec de la fundació TERA, i un altre a Àustria. Típicament, l'energia és de fins mil milions d'electrovolts per nucleó i s'obté mitjançant un sincrotró d'uns 100 metres de diàmetre.

■ PERSPECTIVES

Les investigacions realitzades pels científics en els darrers cent anys, en especial el descobriment dels raigs X i la radioactivitat, han permès transformar radicalment en les tècniques de diagnòstic mèdic durant els darrers trenta anys. Mitjançant aquestes tècniques, que s'apliquen actualment en qualsevol hospital de manera rutinària, es visualitza en tres dimensions no solament l'estructura del cos humà, sinó també la funcionalitat dels seus components i amb una resolució espacial molt alta. Sempre existeix necessàriament un retard entre una troballa científica i la seua repercussió en la nostra vida ordinària, però és evident que la investigació bàsica sempre és beneficiosa no solament com a recerca del coneixement, sinó també com a aplicació pràctica. 

*IFIC, Centre Mixt CSIC Universitat de València.

L'ESPILL

Arts Gràfiques, 13 • 46010 València
Tel.: 963 864 115 • Fax: 963 864 067
<http://www.uv.es/publicacions> • publicacions@uv.es

REVISTA FUNDADA PER JOAN FUSTER // SEGONA ÈPOCA / NUM. 5

Editorial

Pau Viciano, *La batalla imaginada. Una relectura ideològica del passat*
Guillem Calaforra i Pol Ferrando, *Les llengües absoltes? Un liberalisme contra caníbals i gurus*

Ramon Lapiedra, *Dos problemes bàsics de la Universitat actual*
Ferran Mascarell, *La cultura i el territori*

LA TOLERÀNCIA, UN CONCEPTE POLÈMIC

Neus Campillo, *Tolerància i reconeixement*
Ferran Sáez Mateu, *Subjecte de drets o objecte de tolerància?*
Xavier Antich, *Paradoxes de la tolerància*

DOCUMENTS

Maurice Merleau-Ponty, *L'ull i l'esperit*

Joan Romero, *De l'Estat unitari a l'Estat autòndmic*
Eduard Tarnawski, *Barons o lladres? La corrupció en l'economia russa*
Ernest García, *La cultura política de la rebel·lió dels estudiants (Europa, 1965-1975)*
Mario García Bonafé, *La pintura està plena de coses temibles*
Margarida Casacuberta, *Els gats de Rusiñol*

LLIBRES

Josep Guia, *Joan Fuster. Correspondència, vol. 3*
Ernest Lluch, *Enrique Giménez. Governar con una misma ley*
Xavier Ferré, *Jordi Cassassas. Els intel·lectuals i el poder a Catalunya*

L'ESPILL

REVISTA FUNDADA PER JOAN FUSTER



L'ull i l'esperit
Maurice Merleau-Ponty

Barons o lladres?
La corrupció en
l'economia russa
Eduard Tarnawski

La cultura política de la
rebel·lió dels estudiants
(Europa, 1965-1975)
Ernest García

Els gats de Rusiñol
Margarida Casacuberta

La batalla imaginada.
Una relectura
ideològica del passat
Pau Viciano

Les llengües absoltes?
Un liberalisme contra
caníbals i gurus
Guillem Calaforra
Pol Ferrando

Dos problemes bàsics
de la Universitat actual
Ramon Lapiedra

La cultura i el territori
Ferran Mascarell

De l'Estat unitari a
l'Estat autòndmic
Joan Romero

La tolerància,
un concepte polèmic
Neus Campillo
Ferran Sáez Mateu
Xavier Antich

La pintura està plena
de coses temibles
Mario García Bonafé

SEGONA ÈPOCA / NUM. 5 TARDOR 2000

INTERNET I EL WORLD WIDE WEB

Javier Sánchez*

INTERNET AND THE WORLD WIDE WEB. A WORLD-WIDE WEB HAS BEEN DEVELOPED AT CERN TO ALLOW RESEARCHERS, TAKING PART IN LARGE SCIENTIFIC COLLABORATIONS, TO INTERCHANGE DATA AND DOCUMENTS EASILY. THANKS TO INTERNET IT EXPANDED VERY QUICKLY AND SUCCESSFULLY, NOT ONLY WITHIN THE SCIENTIFIC COMMUNITY BUT ALSO FOR THE PUBLIC IN GENERAL. INTERNET HAS BECOME A COMMODITY SERVICE AND THE WEB ITS TOOL. THESE TECHNOLOGIES HAVE ALREADY BROUGHT ABOUT CHANGE WITHIN THE SPHERES OF BOTH WORK AND LEISURE.

El World Wide Web (WWW) és un sistema d'obtenció i presentació de documents distribuïts per Internet. Tots ells formen un ingent entramat d'informació, al qual podem accedir des del nostre ordinador i submergir-nos-hi, saltant de document en document amb ajuda del nostre ratolí. Gràcies al conjunt d'eines informàtiques i de comunicacions, que aprofita el WWW i que hom ha anomenat "les tecnologies de la informació", aquests documents poden ser atractius i contenir a més de text, gràfics, so, vídeos, etc.

Com quasi tots els grans avenços de l'activitat científica, el naixement del WWW no sorgeix sol, aïllat, sinó que és la conseqüència d'una bona idea desenvolupada en el moment propici en què altres tecnologies han adquirit la maduresa necessària. El desenvolupament d'Internet i de la informàtica personal han fet del web un dels invents més fructífers de la història de la humanitat, i el resultat que ara veiem és tan sols el principi d'un futur que estarà profundament influït per aquestes tecnologies.

En 1957 l'antiga Unió de Repúbliques Socialistes Soviètiques, posa en òrbita el primer satèl·lit artificial, l'Sputnik. Els Estats Units, temerosos per la possibilitat que l'URSS capitalitzara l'avenç científic de l'època, crea l'Agència per a Projectes d'Investigació Avançats (ARPA) amb la intenció que els EUA recuperaren el lideratge en la investigació en ciència i tecnologia. En els anys següents s'estudien tècniques de comunicació entre ordinadors que no depenguen de punts de fallida únics, és a dir, que la comunicació es poguera realitzar seguint camins alternatius de manera automàtica i transparent. La idea que s'amaga darrere d'aquests estudis era que en cas que algunes

instal·lacions de comunicacions resulten malmeses com a conseqüència d'un atac nuclear, el sistema que quedara en peu continuara proporcionant comunicació entre els ordinadors que funcionaren per permetre una resposta a l'atac. Encara que queda patent l'interès militar en aquests estudis, també cal destacar que l'interès científic era important. Els ordinadors eren un recurs escàs i abellidor, de manera que calia investigar tècniques de comunicació que permeteren a científics d'una universitat accedir a l'ús d'ordinadors d'altres universitats. El 1969, com a resultat de tots aquests treballs, es posa en marxa ARPANET connectant quatre ordinadors en UCLA (Universitat de Califòrnia a Los Angeles), SRI (Stanford Information Center), UCSB (Universitat de Califòrnia a Santa Barbara) i la Universitat de Utah.

En els anys següents, els ordinadors es van agregant ràpidament a la xarxa ARPANET. Maduren els protocols de comunicació entre ordinadors i per a l'any 1972 tots els ordinadors participants ja usen el mateix. La xarxa ja és madura per a les primeres aplicacions dels usuaris. El 1972 naix el programa de correu electrònic, que té un èxit formidable: l'any 1973 produeix el 75% del trànsit total i es manté durant més d'una dècada en la posició de lideratge. Aquesta és potser la primera aplicació l'interès de la qual transcendeix els científics interessats en les tecnologies de comunicació d'ordinadors.

Aquest mateix any, 1972, es produeix la primera demostració pública a gran escala d'ARPANET, a la Conferència Internacional sobre Comunicació entre Computadors (ICCC) a Washington, amb una gran èxit. Aquesta exhibició va convèncer els fabricants de

**«EL NAIXEMENT DEL WWW
ÉS LA CONSEQÜÈNCIA
D'UNA BONA IDEA
DESENVOLUPADA EN EL
MOMENT PROPICI.»**

la utilitat d'Internet i de la necessitat d'incorporar-lo als seus productes.

Per aquesta època es desenvolupava una idea similar de comunicació entre ordinadors, però usant com a mitjà de transport ones de ràdio. De seguida es va veure que el protocol de comunicació usat en ARPANET no permetia la comunicació amb altres xarxes, així que va sorgir la idea de desenvolupar un protocol "obert" que permetera la connexió amb altres xarxes. Aquest protocol naix el 1974 i el 1978 és millorat i es converteix en TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol). Es pot dir que ací naix Internet com la "xarxa de xarxes".

La xarxa evoluciona ràpidament a partir de llavors i va incorporant més i més usuaris. El 1981 sorgeix la xarxa paral·lela CSNET, per a proporcionar serveis de xarxa (en especial, correu electrònic) a aquelles universitats que no tenen accés a ARPANET, a la qual acaben connectant-se en 1983. Aquell any ARPANET es desmilitaritza i 68 nodes del total passen a formar MILNET, la xarxa militar.

En 1984, després de vint anys de funcionament, ARPANET desapareix per renàixer en una nova Internet oberta a tota la comunitat científica, la NSFNET, creada per la Fundació Nacional per a la Ciència. Aquesta nova Internet posseïa enllaços principals de 56 K/s (la velocitat que posseïx el mòdem que tenim a casa!) A més, amb aquesta xarxa es creen cinc centres de supercomputació per a proporcionar serveis de càlcul d'alt rendiment per a universitats, cosa que dispara el nombre de connexions.

Amb alguns anys de retard enfront de les iniciatives americanes, Europa s'organitza, i el 1989 es forma RIPE (Reseaux IP Europeens) per assegurar la coordinació tècnica i administrativa necessària per a l'operació d'una Internet paneuropea. A Espanya, l'any 1988 el Pla Nacional d'Investigació i Desenvolupament posa en marxa el programa especial Iris (Interconnexió dels Recursos Informàtics) per tal d'incorporar Internet a les universitats i centres d'investigació espanyols. Espanya es connecta a NSFNET en 1990.

La xarxa evoluciona i cada vegada desperta més interès comercial. Això no obstant, les lleis americanes no permetien l'ús d'Internet amb fins aliens a la investigació, però la pressió per l'accés a la nova tecnologia és tan gran que són modificades i Internet s'obre a l'ús comercial. En 1995 es retira el finançament de la NSFNET i es contacta amb operadors privats el trànsit principal de la xarxa. Amb els diners sobrants es crea un nou projecte enterament científic per a investigar en la nova Internet del futur. Aquest mateix any, els proveïdors tradicionals d'accés per mòdem comencen a oferir accés a Internet als seus subscriptors. És l'obertura d'Internet als ciutadans.

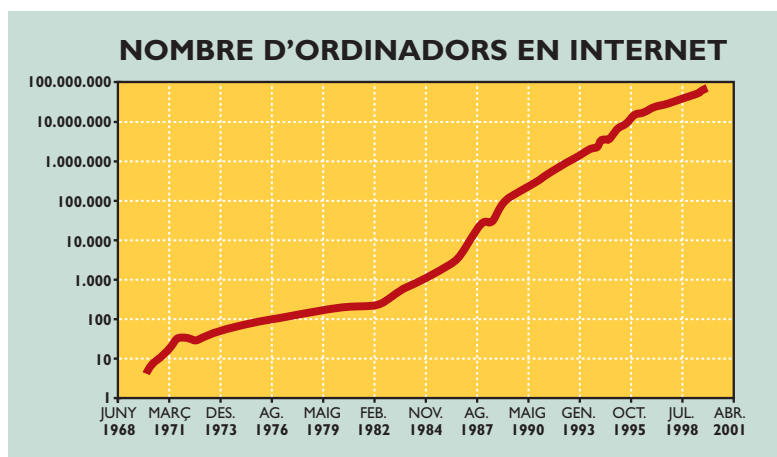


Figura 1. En 1969 Internet naix amb quatre ordinadors solament. Avui en té quasi cent milions. El ritme de creixement ha estat explosiu, s'ha multiplicat el ritme de connexions per deu cada quatre anys.

Internet ha evolucionat de tal manera que, en els albars del segle XXI, cent milions d'ordinadors estan connectats i el ritme de creixement és sorprenent, (figura 1).

Durant la dècada dels anys vuitanta es produeix la revolució de la informàtica personal gràcies a l'avenç en la tecnologia dels microprocessadors. Un poc abans, en 1979, Appel Computer introdueix l'Appel II, el primer ordinador amb gràfics en color. L'any 1981 es produeix la gran revolució, amb el llançament per part d'IBM de l'ordinador personal. Els avenços són ràpids i el 1984 Appel introdueix el Macintosh, el primer ordinador comercial amb una interfície d'usuari gràfic, a base de finestres, menús i botons per usar mitjançant el ratolí.

A partir de llavors, els ordinadors personals s'han fet amb un gran mercat, n'han augmentat les prestacions en maquinari i programari de manera sorprenent. El 1985 Microsoft llança la primera versió de Windows com a resposta a la interfície gràfica d'Appel. Se succeeixen el Windows 3.0 (1990), el Windows 95, 98 i 2000.

«EL 1992 EL CERN POSA A DISPOSICIÓ DE LA COMUNITAT CIENTÍFICA EL SEU NAVEGADOR WWW COM A PROGRAMARI LLIURE.»



Figura 2. Mapa dels països participants en la col·laboració Atlas del CERN. El experiment Atlas el formen 1.850 físics de 150 universitats i laboratoris dels 34 països. El web i Internet és per a tots ells una eina imprescindible per a atènyer els seus objectius científics.

El 1992 el CERN (Laboratori Europeu per a la Física de Partícules) posa a disposició de la comunitat científica el seu navegador WWW com a programari lliure. En 1989 el CERN havia adoptat Internet com el seu protocol estàndard de comunicació, juntament amb altres institucions d'altres energies dels EUA. Els laboratoris de física d'altres energies del món tenen moltes col·laboracions i l'intercanvi de dades i de documentació és una activitat primordial, (figura 2.) Internet és per a aquest propòsit una peça clau de comunicació a través de la qual els científics poden cooperar amb projectes comuns, accedir a dades i resultats del seu experiment en el CERN (o en altres llocs del món). L'any 1989 Tim Berners-Lee proposa el desenvolupament d'un sistema d'hipertext en xarxa per al CERN, que denominaria Word Wide Web. Durant 1990 i 1991 desenvolupa un prototip d'aquest sistema que posa a disposició de tot el món en 1992.

Navegar per Internet no era llavors gaire atractiu, perquè els primers navegadors solament mostraven text. Però aquesta situació va canviar ràpidament. En 1993 naix Mosaic, el primer navegador que mostrava

en pantalla les imatges que contenien els documents WWW. Mosaic tenia una interfície gràfica agradable i funcionava en ordinadors unix, Macintosh i personals. En 1993 ja era utilitzat per més d'un milió de persones de tot el món. Tan gran va ser el seu èxit que no va tardar a superar la barrera universitària per convertir-se en un producte comercial. Mosaic va ser reescrit en l'empresa privada per convertir-se en Netscape.

A l'any i mig tenia 65 milions d'usuaris. En 1995 Microsoft va entrar en el mercat dels navegadors oferint gratis el seu navegador Internet Explorer. Alhora que es desenvolupava l'oferta de navegadors, creixia el nombre de servidors web. En 1995 ja hi havia 10.000 servidors i en aquest any, per primera vegada, el trànsit generat pel web supera la resta del produït per altres aplicacions en Internet, (figura 3).

La idea de l'hipertext (entrades en un document que apunten a altres documents), és antiga, l'originalitat de Tim Berners-Lee és que va aconseguir combinar aquesta idea amb la tecnologia dels ordinadors i Internet, aprofitant aquest mitjà de comunicació per accedir a documents que estan en altres ordinadors i

desenvolupant un sistema d'hipertext en xarxa. El sistema es compon d'un navegador que funciona en el nostre ordinador, que connecta amb l'ordinador remot (servidor WWW) del qual obté el document sol·licitat. Una vegada que ha obtingut el document, l'interpreta i el presenta en la nostra pantalla per donar-li el format especificat en el document. Tim Berners-Lee, mentre treballava en el CERN, va desenvolupar el llenguatge que descriu l'estructura dels documents, HTML (HyperText Markup Language) i el protocol de comunicació entre el navegador i el servidor web, HTTP (HyperText Transfer Protocol). El navegador que usem pot ser Netscape, Internet Explorer o d'altres, i els servidors dels quals obtenim informació poden ser Apache, Netscape, Enterprise Server o Microsoft-IIS, però tots utilitzen HTTP com a protocol de comunicació i proporcionaran la informació en el format HTML.

La potència del World Wide Web es basa en el fet que ens permet accedir a la informació més variada a colp de ratolí. Informació de la qual podem obtenir més informació usant els enllaços que incorporen els documents, és a dir, ens permet navegar per l'espai virtual de documents anomenat WWW. Si no sabem per on començar, podem recórrer a un catàleg o a un buscador. El buscador, a una petició nostra d'informació, ens construirà una pàgina web a mesura, amb la informació sol·licitada. El buscador no solament és un servidor web, sinó que a més a més és, normalment, una base de dades poderosa, amb una capacitat ingent d'informació, que es mobilitza a la nostra voluntat. Part de la revolució actual del web és que es comença a utilitzar la capacitat dels ordinadors per oferir informació canviant, amb continguts dinàmics, que incorporen a més de text, imatges estàtiques (fotos o gràfics), imatges dinàmiques (vídeo), so, realitat virtual, etc. Quan usem el nostre navegador per consultar l'estat del nostre compte bancari mobilitzem els recursos del nostre banc perquè construeixi una pàgina HTML per a nosaltres amb la informació sol·licitada. Quan consultem una pàgina web, podem usar tot l'espectre de les tecnologies de la informació, comunicacions (Internet), bases de dades, computació, etc.

Una altra gran revolució del web és que gràcies a la facilitat d'accés a Internet, i a la facilitat del format HTML, el contingut del WWW és molt plural i variat. Qualsevol de nosaltres pot ser un editor i oferir infor-

**«QUALSEVOL DE NOSALTRES
POT SER UN EDITOR
I OFERIR INFORMACIÓ
ALS ALTRES
COL·LEGUES O AMICS.»**

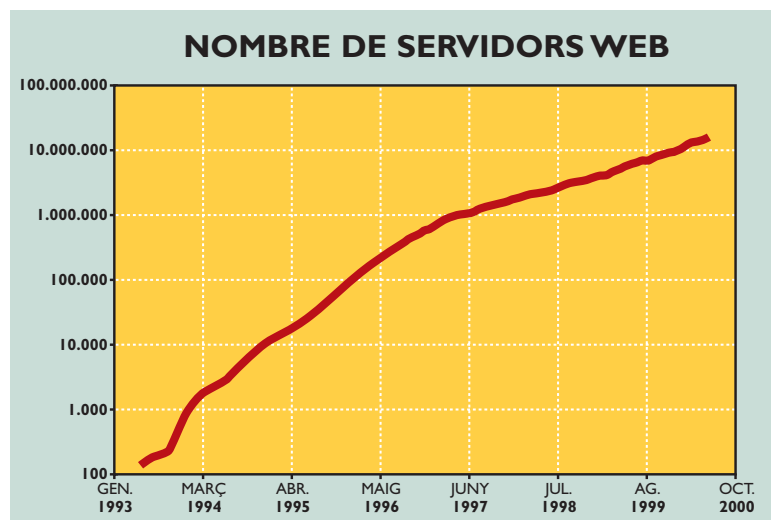


Figura 3. El web envaeix Internet amb força imparable. En tan sols vuit anys, el nombre de servidors és de 300.000 i encara va creixent. Els usuaris del web produeixen el major trànsit dins d'Internet, molt per damunt de la resta d'aplicacions.

mació als altres col·legues o amics sobre la nostra feina o sobre les nostres afeccions. I cada vegada és més fàcil gràcies a la proliferació de noves eines per a publicar en Internet i com més va més proveïdors d'Internet ofereixen espai gratuït als seus subscriptors per a la realització de pàgines web.

El futur del web i d'Internet ha de passar per la millora dels accessos des de les llars. La velocitat dels mòdems és insuficient per a disposar de pàgines multimèdia de qualitat. La confidencialitat i la seguretat de la informació que circula per la xarxa és també un punt d'importància que cal millorar perquè augmenti la nostra confiança a l'hora de comprar per Internet o d'accedir a serveis en què revelem la nostra identitat o un altre tipus d'informació privada.

Internet i el WWW juntament amb les tecnologies de la informació ja han introduït molts canvis en la nostra vida i n'hi introduiran encara més en el futur. Si ja ets usuari d'Internet, ja deus haver reconegut algun d'aquests canvis. Si no n'ets, potser no sigues conscient de com t'estan afectant, però és segur que ho fan.



*IFIC, Centre Mixt CSIC Universitat de València.

VALÈNCIA, BRESSOL DE LA FÍSICA DE PARTÍCULES EN ESPANYA

Víctor Navarro Brotons*

VALENCIA, THE CRADLE OF EXPERIMENTAL PARTICLE PHYSICS IN SPAIN. AROUND 1950, J. CATALA DE ALEMANY, CATEDRATIC OF EXPERIMENTAL PHYSICS AT THE UNIVERSITY OF VALENCIA, STARTED UP A RESEARCH GROUP AT THIS UNIVERSITY TO INVESTIGATE INTO THE EXPERIMENTAL PHYSICS OF PARTICLES, USING THE EMULSIONS TECHNIQUE. CATALA HAD BECOME FAMILIAR WITH THIS TECHNIQUE DURING HIS STAY AT THE UNIVERSITY OF BRISTOL. BETWEEN 1950 AND 1965 THE VALENCIAN TEAM, WHICH WOULD BECOME THE "CENTRE OF PHOTOCORPUSCULAR PHYSICS", PUBLISHED AROUND A HUNDRED ARTICLES IN BOTH SPANISH AND INTERNATIONAL REVIEWS, MAKING THIS UNIVERSITY THE CRADLE OF EXPERIMENTAL PARTICLE PHYSICS IN SPAIN.

En els anys cinquanta la Universitat de València sols comptava quatre facultats: de Filosofia i Lletres, de Dret, de Medicina i de Ciències. La Ley de Ordenación Universitaria del 1943 conservava essencialment el model liberal anterior, és a dir, les grans línies de la llei Moyano, que va crear les facultats de ciències, i la legislació posterior. Juntament amb això, s'extremava el control polític i ideològic sobre les universitats, professors, alumnes, programes i continguts de l'ensenyament, per a la qual cosa es va crear un aparell religiós, polític i burocràtic. Les activitats científiques, pel que fa a la recerca, es feien dependre del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, creat per tal de tractar de reconstruir les elits investigadores espanyoles, desaparegudes en gran part en la guerra o a l'exili, i per tal de controlar i dominar la seua orientació intel·lectual i ideològica.

Per aquells anys, el rector de la Universitat de València era F. Rodríguez Formos, natural de Salamanca, catedràtic de clínica mèdica des de 1911 i celebrat professional, dedicat sobretot a atendre la clientela de la seua prestigiosa clínica privada. Quan va morir, el 1951, el va substituir J. Corts Grau, catedràtic de dret natural i filosofia del dret. Com abans de la guerra, a la facultat de ciències predominaven els estudis de química. Hi havia càtedres de Ciències Naturals (F. Beltrán Bigorra), Química Analítica (F. de A. Bosch Ariño), Física Experimental (J. Català de Alemany),

Química Física (J. I. Fernández Alonso), J. M. Viguerras Lobo (Química Orgànica), J. M. Gamboa Loyarte (Química Inorgànica i des del 1952, J. Beltrán Martínez), E. Costa Novella (Química Tècnica). A més, hi havia dos professors auxiliars numeraris de matemàtiques: V. Martí Ortells (encarregat de l'Observatori i jubilat el 1951) i E. C. López Bellido (Química Experimental) i quinze professors adjunts de diverses matèries de matemàtiques (3), física (3), química (7), geologia (1) i biologia (1). També s'impartien classes de religió, educació física, educació política, llengua alemanya, llengua anglesa i dibuix. Els catedràtics eren, al seu torn, "jefes" de les delegacions locals dels instituts i seccions del CSIC. Així, Beltrán Bigorra, de l'Institut José Celesin Mutis de Farmacognòsia; Beltrán Martínez, de l'Alonso Barba de Química (Secció de Química Inorgànica); Costa Novella, del mateix institut (Secció de Química Tècnica); Català de Alemany, de l'Institut Daza Valdés i EPALE (el 1951, Junta d'Energia Nuclear).

Català havia estudiat la carrera de física a Barcelona. Durant la guerra civil va ser soldat d'aviació i es va ocupar de qüestions de meteorologia. En acabar la guerra civil, el 1942 va guanyar les oposicions de meteoròleg i va arribar a ser director del Centre Meteorològic de Llevant. El 1944 va guanyar la càtedra de física teòrica i experimental de la Facultat de Ciències de València. A finals dels anys quaranta Català va obtenir una beca per tal d'anar a la Universitat de

«HA DE DESTACAR-SE QUE LA LÍNIA DE RECERCA INAUGURADA PER CATALÀ A VALÈNCIA ERA TOTALMENT ORIGINAL A ESPANYA,

Bristol, la qual, des de feia una dècada, havia esdevinut un dels principals centres anglesos de recerca en física. En 1930 el *Department for Scientific and Industrial Research* (DSIR) havia aprovat un programa de física teòrica de l'estat sòlid en aquesta universitat, una iniciativa que va rebre el suport principalment de la indústria i del Govern. El 1932 Nevill Mott, fins aleshores un físic nuclear, va ser nomenat professor de Bristol, una posició que va ocupar fins el 1954. Mott va transformar el departament de física en un dels principals centres del món de recerca sobre l'estat sòlid. A Bristol va treballar al laboratori de Mott, entre 1947 i 1950, el físic espanyol Nicolás Cabrera, fill del destacat físic Blas Cabrera, i exiliat amb el seu pare a París en acabar la guerra civil. Recordarem ací que el treball realitzat per Cabrera, fruit de la seua estada a Bristol, sobre l'estructura atòmica de les superfícies cristal·lines i del procés de creixement dels cristalls (Burton, Cabrera i Franck, 1951) encara era citat el 1980 en més d'un centenar d'articles, segons l'*Science Citation Index*.

L'objectiu inicial de Català a la Universitat de Bristol era associar-se a les recerques sobre l'estat sòlid, però, segons el seu testimoni personal, la física de l'estat sòlid no li entusiasmava, ni tampoc l'orientació, al seu parer bastant teòrica, d'aquestes recerques. Mentre acariciava la idea de tornar a Espanya, un amic "quàquer", que treballava amb C. F. Powell fent servir la tècnica, posada a punt per aquest, per a fotografiar les traces de les partícules elementals i raigs còsmics en plaques fotogràfiques, li va deixar algunes de les plaques i li va proporcionar un microscopi. Català es va entusiasmar amb aquest treball i va aconseguir ser acceptat al grup de Powell.

Les plaques fotogràfiques ja havien estat utilitzades des dels primers temps de l'estudi de la radioactivitat i foren exposades als raigs còsmics per Blau i Wambacher el 1937. Aquests autors varen descobrir que les traces de les partícules produïen molt ràpidament noves traces secundàries que sortien d'un punt; aquests esdeveniments, anomenats "estels", es varen



Figura 1. Els difícils, però apassionants i també alegres i entusiastes moments dels començaments de l'IFIC van ser captats meravellosament en aquesta caricatura feta el 1951 per un dels membres del grup, Eugenio Villar, que apareix assegut al costat d'Aurelia Bonet, llavors la seua núvia i posteriorment la seua esposa. El fundador, J. Català, amb una bufanda, dirigeix l'orquestra d'investigadors entusiastes: Fernando Senent, en el microscopi i qui el va succeir en la direcció de l'Institut; José Aguilar, dempeus amb un llibre de física, que sosté en els braços Francisco Busquets, i José Casanova. La frase "Ice laboratory", fa al·lusió a l'absència de calefacció en les instal·lacions durant l'hivern.



Figura 2. El descobriment d'un nucli exòtic de l'heli, el He-8, va representar la culminació de les tècniques d'emulsió fotogràfiques introduïdes a Espanya per J. Català en els anys cinquanta i que van representar el naixement de la física subnuclear al nostre país.

interpretar com el trencament d'un nucli atòmic a l'emulsió. Dos anys més tard, Powell va començar a aplicar la tècnica fotogràfica quantitativament a la física nuclear de baixes energies a Bristol. Powell havia construït (amb G. E. F. Fertel) un accelerador Cockroft-Walton de 750 keV d'energia per tal d'estudiar la interacció de neutrons produïts en bombardejar

elements lleugers amb deuterons. Segons contava Powell a la seva autobiografia:

“La intenció original era estudiar la dispersió de neutrons ràpids per protons amb una cambra de Wilson plena d'hidrogen, en ésser els neutrons generats en la desintegració dels nuclis lleugers com el liti, el beril·li i el bor pels deuterons ràpids procedents del generador. En aquesta època, però, W. Heitler, que havia estat a Bristol algun temps, va assenyalar que Blau i Wambacher havien fet servir amb èxit emulsions fotogràfiques “half-tone” (de to mitjà) per tal de detectar partícules a la radicació còsmica. Com que el mètode tenia l'avantatge de ser molt senzill, Heitler pensava que podíem començar per portar plaques semblants d'alt d'una muntanya i tractar de reproduir els resultats de Viena.”

Al grup de Powell es va unir G. P. S. Occhialini, portat de Brasil a Anglaterra pels bons oficis de P. M. S. Blackett, premi Nobel de física pel perfeccionament de la cambra de Wilson i pels seus descobriments relacionats amb la física nuclear i les radiacions còsmiques, autor a més del llibre *Por, guerra i la bomba atòmica* (1948) que va produir una gran impressió. Així mateix, el 1946, Powell i Occhialini varen convidar a unir-se al grup C. M. G. Lattes, al qual Occhialini havia conegut a Sao Paulo. Occhialini i Powell varen perfeccionar la tècnica de les emulsions i el 1947 el grup de Powell va anunciar el descobriment del pió. Convé recordar, amb tot, que aquest “descobriments” no fou un esdeveniment aïllat, sinó un procés d'articulació cada vegada més refinat d'un conjunt de fenòmens en què varen intervenir, com és habitual en la recerca científica en el camp de la física, diferents nivells dels aparells, la teoria, les dades i la interpretació.

Una vegada finalitzada la seua estada a Bristol, Català va tornar a València amb un bon conjunt de plaques i va començar a formar el seu equip de treball, els primers membres del qual foren F. Senent Pérez, F. Busquets Badenes, J. Aguilar Peris i J. Casanova Colas en qualitat de “becaris” de l'Institut Daza Valdés del CSIC i de la Junta de Energía Nuclear. Senent i Aguilar eren, a més, adjunts de la càtedra de Català. Català va convidar W. M. Gibson, de l'equip de Powell, a impartir

una conferència, i juntament amb Gibson va publicar el 1950 el seu primer treball amb la tècnica de les emulsions: “El espectro energético de los protones producidos en la reacción $C^{12}(d,p)C^{13}$, en relación con los posibles estados excitados del $C^{13}(1)$ ”, en els *Anales de la Real Sociedad Española de Física y Química*, revista que s’havia convertit, després de la guerra civil, en l’òrgan científic del CSIC.

Ha de destacar-se que la línia de recerca inaugurada per Català a València era totalment original a Espanya, puix que abans de la guerra civil ningú no s’havia ocupat de física experimental de partícules, si exceptuem els treballs d’A. Duperier sobre raigs còsmics, realitzats principalment a l’exili. D’altra banda, i si bé el grup de Català figurava també com a associat a l’Instituto Daza Valdés i rebia ajudes de la


Junta de Energía Nuclear, les seues recerques s’encetaren de forma independent a aquesta darrera. Els orígens de la Junta de Energía Nuclear es troben en els interessos que alguns investigadors italians havien manifestat per l’existència a Espanya de jaciments d’urani. Els italians, a través de F. Scandone, de la Universitat de Florència, que va impartir el 1948 un curset en l’Instituto Daza Valdés, varen entrar en contacte amb A. Durán, membre d’aquest Institut i, a través d’aquest, amb el general Vigón, i d’aquesta manera es va iniciar la col·laboració entre científics de tots dos països. Per tal de donar cobertura legal i financera a les activitats nuclears a Espanya es va crear una societat privada anomenada EPALE (Estudios y Patentes de Aleaciones Especiales), emparada, des del punt de vista oficial, per un decret de caràcter reservat en el qual era anomenada “Junta de Investigaciones Atómicas”. Es va nomenar un consell d’administració d’EPALE del qual era director J. M. Otero Navascués. El 1951 es va fundar la Junta de Energía Nuclear sobre l’estructura de EPALE i el seu primer president fou el general Vigón. El grup de Madrid d’EPALE i la Junta de Energía Nuclear varen centrar les seues investigacions en els primers anys en les activitats neutròniques, reactors artificials i comptadors, i començaren a publicar treballs el 1954; la seua producció fins 1965 fou inferior quantitativament al grup de València.

El 1951, Fernández Alonso, catedràtic de química física de la Universitat de València, en absència obli-

gada de Joaquim Català, va llegir l’oració d’obertura del curs acadèmic que aquest darrer havia redactat sobre *La técnica fotográfica en física nuclear y radiación cósmica*, i va donar a conèixer a la comunitat universitària aquesta línia de recerca i els primers resultats obtinguts pel grup de València. Català va aprofitar l’ocasió també per a insistir en l’“ínfim” paper de la física a les universitats espanyoles, en les quals tan sols hi havia tres seccions de física. Va

explicar que la física nuclear no era sinònim d’energia nuclear “ni menys encara de bomba atòmica”, tot i expressant la seua confiança que les “cada vegada més potents bombes atòmiques no seran utilitzades”. Pel contrari, segons Català, l’energia atòmica obria grans perspectives pel progrés, “tant com a font energètica, com per a l’obtenció d’ines-

timables isòtops radiactius de tan vasta aplicació mèdica, biològica, química, física i industrial”. Un fet que hauria estat finalment reconegut “pels nostres organismes responsables i que ja no és cap secret... [L’existència] del grup denominat EPALE”. “Nosaltres, en connexió amb ells –continuava Català– i amb el suport d’aquell organisme, però amb els mitjans més senzills, hem iniciat en la nostra facultat modestes investigacions nuclears”.

Entre 1950 i 1965 el grup de Català va arribar a publicar 81 articles en els *Anales de la Sociedad Española de Física y Química*, i fou així el grup més prolífic quant el nombre de treballs publicats en aquesta revista de tota Espanya. També publicaren treballs, durant aquest mateix període, en *Il Nuovo Cimento*, *Nature*, *Royal Society*, *Nuclear Physics*, *Physics Letters*, i en altres revistes espanyoles. Tot això sense a penes més armes, en els seus primers anys, que “un bon microscopi” i entusiasme i constància, com el mateix Català va expressar a la seua oració del 1951. El que l’any 1950 era una secció local d’un institut del CSIC ha evolucionat fins l’actual IFIC (Institut de Física Corpuscular). Valguen aquestes ratlles com a record i homenatge a tots els que, amb mitjans modestos i el seu esforç i entusiasme, varen convertir la Universitat de València en un lloc d’obligada referència de les investigacions en el camp de la física de partícules i en altres àmbits de la recerca científica. 

**«EL QUE L’ANY 1950 ERA
UNA SECCIÓ LOCAL D’UN
INSTITUT DEL CSIC HA
EVOLUCIONAT FINS L’ACTUAL IFIC
(INSTITUT DE FÍSICA CORPUSCULAR).
VALGUEN AQUESTES RATLLES COM
A RECORD I HOMENATGE.»**

*Dep. d’Història de la Ciència. Universitat de València.