

ENTREVISTA AMB

Coincidim amb el professor Manuel Cardona al Museu de la Ciència de Barcelona en ocasió de la celebració del primer col·loqui internacional sobre l'organització i la gestió de la recerca científica. Els organitzadors d'aquest col·loqui han tingut l'encert d'invitar un dels científics catalans de la nostra diàspora que millor coneix la problemàtica de la política científica i de l'organització i la planificació de la recerca. No en va Manuel Cardona és, als seus quaranta-set anys, director d'un dels centres de recerca més importants del món, l'Institut Max Planck per a l'estudi de l'estat sòlid, de Stuttgart (República Federal d'Alemanya), institució que treballa amb un pressupost anual equivalent al que dedica l'Estat espanyol a la recerca.



(ciència): —*Com és que un antic estudiant de ciències físiques de la Universitat de Barcelona pot haver arribat a dirigir l'Institut Max Planck?*

M. Cardona: —Vaig començar a estudiar la llicenciatura de física a la Universitat de Barcelona l'any 1950. El motiu pel qual vaig voler dedicar-me a la física és simplement perquè tenia una habilitat considerable per a resoldre problemes matemàtics i perquè havia tingut a l'institut d'ensenyança mitjana un bon professor de matemàtiques i un bon professor de física. Per altra banda, també m'havia dedicat molt a qüestions d'electrònica. En aquella època era molt difícil aconseguir vàlvules; tot era molt car i disposava de pocs diners. A base de comprar aparells de ràdio vells que desmuntava, vaig muntar oscil·ladors i emissores i em vaig familiaritzar una mica amb la tecnologia d'aquella època i amb els treballs experimentals.

Tot això, juntament amb una bona ensenyança bàsica de física i una habilitat per les matemàtiques, em va fer decidir a estudiar física.

Els estudis de física en aquella època a Barcelona —i em sembla que avui dia no han canviat gaire— eren molt limitats. Hi havia, per altra banda, quatre o cinc estudiants que varen començar amb mi aquella època de força categoria intel·lectual; entre nosaltres teníem discussions intentant aprofundir els problemes físics que no trobàvem suficientment ex-

plicats a les classes formals de la facultat. Entre ells recordo en Guiu, per exemple; és curiós que avui, després de vint-i-cinc o trenta anys, ell doni la segona conferència del col·loqui i jo la primera. Tot això donava a la facultat de ciències un clima força estimulante que recordo força bé.

Els plans d'estudis eren arcaics; les facilitats experimentals eren pràcticament no existents; no hi havia cap taller, per exemple, a la facultat, d'electrònica. Hi havia un taller de mecànica que era extremament deficient, però de tota manera, entre una cosa i una altra, i sobretot perquè l'ensenyament de les matemàtiques era relativament bo des del punt de vista pedagògic, vaig aconseguir una educació bàsica que em va permetre, en acabar la carrera, veure que podia seguir endavant.

Primer vaig anar a Madrid perquè havia d'acabar unes qüestions del servei militar. En aquelles èpoques corria el rumor que a Madrid es podia fer física i que hi havia gent molt bona; vaig anar-hi i hi vaig ser un any com a professor adjunt a la Universitat; però em vaig adonar molt aviat que la cosa era certament molt fluixa i no es podia continuar endavant. Llavors me'n vaig anar als EUA, a la Universitat de Harvard, simplement perquè n'havia sentit a parlar, sense tenir-ne cap mena d'informació... això era un dels problemes més greus, que actualment suposo que no ho és tant, encara que també hi ha gent que es queixa. Hi

ha estudiants joves que es queixen que no reben prou consells per part del professorat; la manca d'informació en aquella època era fatal.

Jo havia sentit parlar de Harvard i al full de sol·licitud de l'ambaixada americana vaig posar: Harvard. I m'hi van enviar. A Madrid jo havia començat a fer una mica de treball sobre semiconductors amb un tal Valda, que era professor en aquella època però que no tenia gaire noció del que eren els semiconductors (simplement n'havia sentit parlar i eren moda perquè llavors començaven a sortir els primers transistors); vaig llegir sobre els semiconductors i quan vaig arribar als EUA i em varen preguntar què és el que volia fer, vaig dir: semiconductors, perquè pràcticament era l'única cosa moderna, actual, de la qual jo havia sentit parlar.

I em vaig posar a treballar als EUA a la Universitat de Harvard. Hi havia un grup força actiu treballant sobre propietats físiques dels semiconductors i em vaig posar a treballar amb aquest grup. Hi vaig fer el doctorat després de treballar-hi tres anys. Al mateix temps, vaig fer un altre doctorat a la Universitat de Madrid; o sigui, que vaig fer dues tesis independents perquè no sabia si tornaria a Espanya o restaria als EUA.

Després de tres anys als EUA em van fer una oferta per anar al laboratori d'investigació de la companyia RCA, a Suïssa. Vaig ser dos anys en aquest laboratori. Es tractava d'un laboratori d'investigació

MANUEL CARDONA

(ciència 7

juliol 1981/437) 45

força bàsica, atès que hi ha molt poques empreses europees que dediquin certa quantitat de fons a la investigació dins dels terrenys associats als camps d'interès econòmic.

Hi vaig treballar durant dos anys. Era un laboratori petit i vaig veure que el de Princeton, el laboratori central de la RCA als EUA, era molt més interessant per a mi. Així fou com vaig anar de nou als EUA, on vaig treballar durant tres anys en aquell laboratori i després d'això em van fer una oferta d'una plaça de professor vitalici a la Universitat de Brown, a l'Estat de Rhode Island, a la ciutat de Providence, i vaig anar-hi. Hi vaig ser força temps, set o vuit anys, i després vaig aprofitar un any sabàtic per a treballar amb la radiació del sincrotró que em feia falta per a uns estudis que estava fent sobre òptica de sòlids. Vaig treballar amb la radiació del sincrotró a Alemanya, a Hamburg.

En aquella època, l'any 1970, el govern alemany havia decidit fundar un nou Institut de Física dels Sòlids perquè hi havia molts informes dient que la física dels sòlids estava una mica endarrerida i aquest institut de sòlids havia de tenir molt d'èmfasi sobre física de semiconductors i em varen fer una oferta per quedar-m'hi. Era una cosa molt interessant. Tot nou, amb moltes possibilitats; a més a més, podia formar l'institut al meu gust. Varen fer ofertes a uns professors molt prominents, alemanys, i la cosa era molt interessant. M'hi vaig quedar. De llavors ençà, fa nou anys, he estat a Stuttgart com un dels directors de l'Institut Max Planck.

(ciència): *—Quina és la importància dels semiconductors en la física i en la tecnologia modernes?*

M. Cardona: —Els semiconductors, dins del camp dels sòlids, el que nosaltres en diem de vegades la matèria condensada, són unes substàncies d'una gran importància a causa de les seves aplicacions tecnològiques, fonamentalment. Tota l'electrònica moderna, tota la minielec-trònica està basada fonamentalment so-

bre el silici i uns altres semiconductors i, és clar, és un mercat molt gran i qualsevol tipus d'activitat d'investigació relacionada amb aquest mercat, encara que no tingui una aplicació immediata, té grans possibilitats de trobar suport econòmic dins de les empreses i dins dels organismes involucrats. Com a resultat d'això, s'estan produint cristalls semiconductors cada dia més perfectes que estan molt ben caracteritzats i se sap amb tot detall com estan disposats els àtoms, l'ordre dels àtoms i quin nombre d'impureses tenen. Per altra banda, les recerques fonamentals que s'han fet donen cada dia més informació sobre les forces elementals que mantenen els semiconductors en posició, sobre els estats electrònics, sobre les vibracions de la xarxa del cristall; de manera que aquests materials són possiblement al capdavant de quasi tots els materials dels quals es disposa actualment. Són al més pur i al més perfecte possibles. Molts d'ells són molt senzills. El silici és un cristall, com el diamant, molt senzill. La cèl·lula unitat té dos àtoms iguals. Per altra banda, porta una gran quantitat d'informació i per tant serveix una mica com a substància pilot, de manera que —i això ha estat una mica el desenvolupament de la meua carrera— quan apareixen tècniques experimentals i possibilitats experimentals noves —diguem-ne, per exemple, que es descobreix el laser— és per veure quina informació se'n pot treure a base d'enviar els raigs laser a un semiconductor i estudiar la llum o els electrons resultants. Sempre que apareix una tècnica nova d'aquest tipus, o una radiació nova que està disponible gràcies a desenvolupaments en un camp diferent, hom es pot preguntar: bé, ara nosaltres tenim aquesta tècnica nova, tenim unes substàncies model molt senzilles..., si posem la tècnica nova juntament amb una d'aquestes substàncies noves, quina informació nova en podem treure? Això és una cosa que he fet molt al llarg de la meua carrera, amb el laser, per exemple; després va sortir un nou laser de colorant que es podia sintonitzar, es podia canviar

de color, de longitud d'ona, de manera contínua. Després vingué la radiació del sincrotró. Modernament han sortit els laser de potència elevada que s'han utilitzat per a mesurar les no linealitats òptiques de la matèria i sempre hi ha aquestes substàncies que són les més senzilles i les primeres a les quals se'ls pot aplicar; i com que les lleis fonamentals que governen els electrons i els ions dels àtoms del semiconductor es coneixen molt bé, per a estudiar els efectes de les tècniques noves i per a veure si es pot treure partit de les tècniques noves són unes substàncies ideals. En general, és un enfocament que sempre m'ha donat molt bon resultat; i fins i tot és una de les maneres amb les quals jo treballo.

Tenim aquests semiconductors, els fem mesures fins que la tècnica nova està completament esgotada. Llavors es guarden; així que arriba una tècnica nova, els traiem de l'armari i tornem a mesurar. Això és en relació amb l'enfocament del meu treball. Quant als resultats, hem tret moltíssima informació sobre els semiconductors elementals. Hi ha llibres complets amb dades sobre els semiconductors elementals. És a dir, qualsevol persona que necessiti saber com varia una propietat amb la temperatura, com varia una propietat amb la pressió, què passa si es posen dos semiconductors en contacte i coses d'aquest tipus, trobarà les dades en aquests llibres.

Per altra banda, hem desenvolupat algunes tècniques experimentals noves moltes de les quals s'utilitzen a la indústria. Una de les coses possiblement més interessants que hem fet amb el meu grup va ésser la tesi doctoral d'un xicot americà sobre l'electroreflexió; és una tècnica per a treure informació molt diversa sobre els estats electrònics del semiconductor. És una tècnica molt senzilla i que amb una mica de paper i llapis es podria explicar. Permet treure moltes dades sobre els semiconductors amb molt poc temps i amb molta precisió. Una altra cosa que vam fer va ésser interpretar per primera vegada les propietats òptiques fonamentals de l'estructura electrònica.

"La meua vida professional ha estat molt lligada al centre Dessy, fonamentalment perquè hi vaig anar en l'època en què era l'únic centre del món en què s'utilitzava molt intensivament la radiació del sincrotró."

Hi ha uns semiconductors de la família del silici, el clorur de coure i el de plata, que avui dia tenen molta importància perquè sembla que algun d'ells, sota certes condicions, podrien ser supraconductors. La supraconductivitat, naturalment a altes temperatures, és encara un dels problemes més interessants de la indústria dels sòlids. Hi ha un problema fonamental, i és que només funcionen a baixes temperatures, com a mínim 20°K , o sigui, -253°C . Des de fa molt temps se sap que en principi no hi ha cap impossibilitat teòrica que hi hagi supraconductors a temperatures crítiques més elevades. Si se'n trobés un a bon preu, això suposaria poder fer el transport d'energia elèctrica sense pèrdues, i això té una importància tecnològica enorme, sobretot en l'època de la crisi d'energia.

Des de fa pràcticament deu anys la temperatura crítica dels supraconductors no ha pujat més dels 24°K . Sembla que s'han fet moltes proves amb aliatges i tot tipus de materials en estudis teòrics que indiquen en quina direcció s'ha d'anar per a trobar supraconductors de temperatures altes i fins ara no s'ha aconseguit pujar de 24°K .

La gent està una mica desanimada, però de tant en tant surten experiments que semblen indicar que hi ha fenòmens similars en la supraconductibilitat en condicions una mica especials, però no tinc gaire confiança que s'hi pugui arribar. Si s'hi arribés amb substàncies relativament fàcils de preparar seria un descobriment d'una importància molt gran.

(ciència): *—Les màquines acceleradores de partícules i un dels seus productes secundaris, la radiació del sincrotró, han estat el centre dels vostres treballs de recerca i desenvolupament tecnològic. Quin és l'interès científic d'aquests ginys?*

M. Cardona: —La meua vida professional ha estat molt lligada al centre Dessy, fonamentalment perquè hi vaig anar en l'època en què era l'únic centre del món on s'utilitzava molt intensivament la radiació del sincrotró —que després explicaré què és. Vaig anar-hi a passar un any

sabàtic, un any d'investigació, i mentre que era a Dessy em varen fer l'oferta per a quedar-me com a director a l'Institut Max Planck, que vaig acceptar i que considero una de les decisions professionals més encertades de la meua vida. El centre Dessy s'especialitza en la construcció i la utilització d'acceleradors circulars de partícules, particularment d'electrons i positrons. En aquests acceleradors, els electrons (partícules fonamentals que constitueixen la matèria) i els positrons (que són el mateix però amb una càrrega elèctrica de signe diferent) són accelerats a unes energies molt grans que no ens podem imaginar. La massa de les partícules és molt petita, encara que les energies semblen molt grans. Com que hi ha tan poca massa tot plegat no representa una quantitat absoluta gaire gran d'energia. Nosaltres mesuram les energies en volts o electró-volts, que són l'energia que guanyen l'electró o una partícula que tingui una càrrega igual a u en passar entre dos punts entre els quals hi hagi una diferència de potencial d'un volt. O sigui: si 100 és la que hi ha a l'endoll del corrent ordinari, serien 100 electró-volts si tinguéssim un electró que anés d'un punt a l'altre. Aquestes màquines acceleren les partícules fins a energies de l'ordre de cinc, deu o fins i tot quinze mil milions de volts o electró-volts.

Aquestes energies són molt grans i permeten a les partícules, quan es dirigeixen l'una contra l'altra, aproximar-se molt. Podem investigar les forces elementals que actuen entre les dues partícules a unes distàncies molt petites, cosa que significa que podem estudiar l'estructura íntima d'aquestes partícules: si són punts o si són esferes, o quina forma tenen. Aquesta és una de les finalitats de la física de partícules elementals. Jo no sóc especialista en física de partícules elementals i d'això no en vull parlar gaire. En canvi, hi ha un producte secundari d'aquestes màquines, molt interessant, del qual m'he ocupat molt i és la radiació del sincrotró.

En un centre com el de Dessy hi ha ara, fonamentalment, tres tipus de científics;

uns que s'ocupen de les partícules elementals, altres que construeixen les màquines gegants acceleradores, i els altres són la gent que utilitza la radiació del sincrotró.

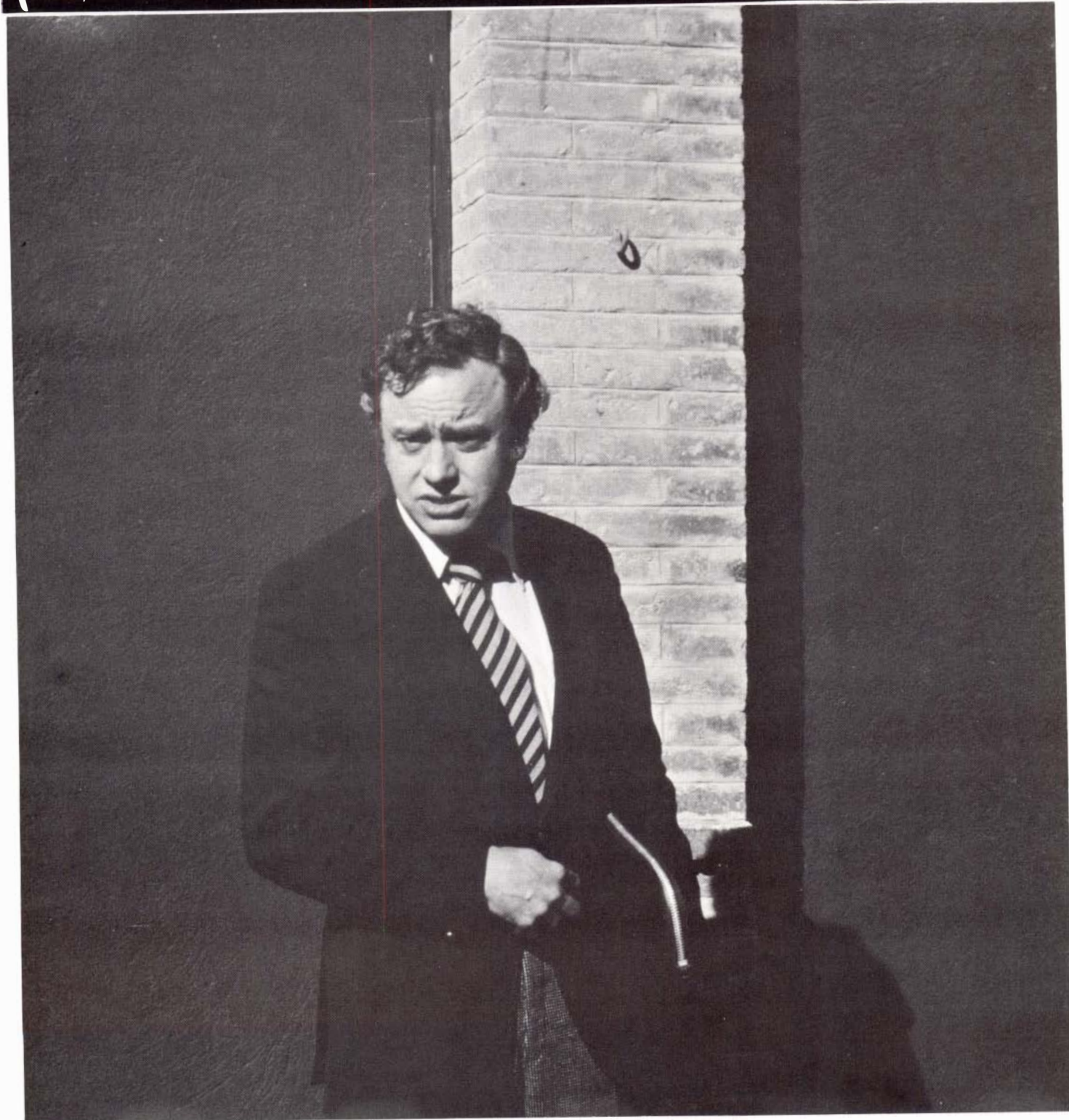
A Dessy actualment hi ha tres màquines; una que és la primera que varen construir, amb un diàmetre de 100 m; una altra també de 100 m i una altra de 800 m. N'hi ha una en construcció que tindrà 2 Km i mig i que s'acabarà de construir dins de cinc o sis anys.

La radiació del sincrotró de la qual volia parlar és un fenomen que té lloc quan els electrons es corben a causa d'un camp magnètic per mantenir-los dins l'òrbita circular. Sempre que es canvia la direcció d'una partícula (els físics diuen que la partícula és accelerada, encara que no guanyi velocitat, simplement si canvia la direcció) hi ha una acceleració, i sempre que hi ha una acceleració d'una partícula carregada s'emet una gran quantitat d'energia electromagnètica en forma de fotons.

L'energia electromagnètica és: llum, les ones de ràdio, l'infraroig, el raig X, el raig gamma de la física atòmica i nuclear... O sigui, que l'energia electromagnètica és una gamma molt àmplia que va des de les ones de ràdio, que tenen una longitud d'ona molt llarga, fins als raigs gamma, que tenen una longitud d'ona moltíssima ordres de magnitud més petits però una energia per partícula molt més gran.

Així, els electrons, en passar pels imants, emeten una gran quantitat de radiació. A les màquines de Dessy, aquesta quantitat de radiació és de l'ordre d'uns cinc a deu megavats, o sigui, és l'energia d'una central tèrmica petita. Els físics que estudien les partícules elementals no volen saber res d'aquestes energies.

Aquesta energia és absorbida per les parets dels tubs, si ningú no se'n preocupa, i hi ha aigua que s'ha d'utilitzar a pressió i en gran quantitat per a refredar la màquina i aquesta aigua després es perd. Els físics de sòlids, en canvi, quan aquest fenomen va ésser conegut, van adonar-se que això era una font per a poder fer





estudis, per a poder utilitzar els fotons com a missatgers per a enviar-los als sòlids i preguntar-los què és el que passa dins d'ells i després estudiar el que surti del sòlid, ja sigui llum, amb el mateix color o bé canviat, o ja siguin partícules, ja que hi ha partícules que s'eleven a una energia suficientment gran per a sortir. Si surten se'ls pot interrogar amb un espectòmetre i l'energia i les propietats d'aquestes partícules que surten donen informació sobre el que hi ha dins del sòlid.

El camp de la radiació del sincrotró és una gran font de llum de tots tipus, visible i invisible, però que té unes propietats molt especials i úniques. Tot plegat era un producte parasitari dels estudis de partícules elementals, i en principi la seva utilització no costava res —només s'havia de fer un forat a les parets dels túnels de les màquines, acoblar-hi un tub i fer-lo sortir cap a un laboratori on es podia utilitzar. Això va ésser el principi de la utilització de la radiació del sincrotró.

Els físics de partícules elementals feien el que volien i el que els feia falta amb les partícules, i si ens anava bé la radiació que sortia, nosaltres feiem les nostres mesures dia i nit i, si no, havíem d'anar a casa a esperar que els físics de partícules elementals ens donessin una radiació que fos acceptable per a nosaltres. Mentre que s'utilitzava la radiació del sincrotró es varen fer molts tipus d'estudis interdisciplinaris. Ara s'han fet molt populars. Hi ha físics, químics, enginyers, metges, biòlegs, astrònoms i geòlegs que s'interessen per fer estudis amb les radiacions de sincrotró. Com a resultat d'això hi ha hagut una gran pressió per a passar d'un mode d'utilització parasitari a un mode d'utilització primari en el qual es dona un cert temps de funcionament de la màquina durant el qual se li poden dictar les condicions d'operació. Això ha passat els últims tres o quatre anys i encara s'ha començat un desenvolupament més interessant. S'han començat a construir màquines explícitament per a la utilització de la radiació del sincrotró.

Màquines que nosaltres en diem dedicades, perquè els particulistes —els físics de partícules elementals— volen tenir el mínim de radiació possible. Això es pot aconseguir fent el diàmetre de les màquines molt gran. Nosaltres volem la quantitat màxima de radiació possible —això s'aconsegueix fent el diàmetre de les màquines més petit.

El cost de la màquina és aproximadament el mateix, siguin grans o petites. Amb camps magnètics més grans s'aconsegueix més radiació de sincrotró; avui una colla de països ja han començat a construir màquines exclusivament dedicades a la utilització de la radiació del sincrotró. Aquest és el cas dels EUA, l'URSS, Holanda, Anglaterra i Alemanya, i hi ha un projecte d'una màquina europea que seria la millor del món dedicada exclusivament a la radiació del sincrotró. Encara no s'ha provat, però jo estic en diverses comissions en què s'està dissenyant aquesta màquina i intentant aconseguir finances per a poder construir-la.

Un dels motius pels quals es pot justificar el finançament d'aquesta màquina és la seva aplicació a la microelectrònica. L'electrònica moderna del silici es fa per un procés fotogràfic posant una laca sobre el silici que és sensible a la llum i projectant-hi un dibuix dels transistors i dels circuits que es vol construir sobre la laca; endurent més tard la part on toca la llum i revelant i traient la resta de la laca es pot aconseguir formar estructures de qualsevol tipus. El límit és la longitud d'ona de la llum que s'utilitza, i això és aproximadament, per a la que fins ara s'ha utilitzat, de l'ordre d'una micra (mil trets per mil·límetre). Utilitzant la radiació del sincrotró amb raigs X tous o ultraviolats molt llunyans, que tenen una longitud d'ona de l'ordre d'una centèsima de micra, es poden aconseguir estructures de la mida d'una centèsima de micra, en principi. Com que són en dues dimensions, es pot aconseguir deu mil vegades més relació d'empaquetament dels circuits integrats a les estructures de silici; es poden obtenir ordinadors en

principi de mida deu mil vegades més petita.

En això ara s'està invertint molt de capital i per a la pròxima generació d'ordinadors sembla que la radiació del sincrotró té grans possibilitats d'ésser la solució per a aquest tipus de problema. Aquest és un motiu que sempre ens convé esmentar als polítics, quan discutim el finançament d'un sincrotró nou.

(ciència): —Parlem ara, si us sembla, d'una qüestió que també coneixeu força bé: l'organització, la planificació i el control de qualitat de la recerca científica.

M. Cardona: —Una cosa molt important és fer i tenir una política d'investigació conscient que es vol acomplir, sabent quins són els requeriments necessaris per a poder-ho fer; quina és la competència amb què hom s'ha d'enfrontar i què és el que s'ha de fer per a tenir un nivell i una qualitat internacional, cosa que és fonamental perquè s'estigui reconegut internacionalment com un dels equips que, en un camp donat, produeix a nivell avançat. Si un hom és reconegut, rep també més informació; pot treballar més, etc... En el camp polític, això significa que, en qualsevol tipus de dedicació de fons a la recerca, cal que es pensi d'una manera conscient que és el que fa falta perquè sigui productiva.

En el cas de la física experimental hi ha un mínim d'infraestructures tècniques que a l'Estat espanyol i a Catalunya especialment avui són molt deficients. En la majoria dels camps de la física experimental no existeixen. Aquestes infraestructures tècniques són: un taller mecànic, un taller electrònic, a la majoria dels camps de la física experimental, disponibilitats de líquids criogènics, heli líquid per a poder fer mesures de manera rutinària a baixes temperatures —i això vol dir que ha d'haver-hi una màquina que faci heli líquid o una organització on es pugui comprar i uns tècnics que facin rutllar aquesta màquina. És una qüestió de rutina i el científic no se n'ha d'ocupar gaire. Si el científic s'hagués d'encaregar del funcionament i del manteniment



"Una cosa molt important és fer i tenir una política d'investigació conscient que es vol aconseguir, sabent quins són els requeriments necessaris per a poder-ho fer; quina és la competència amb que hom s'ha d'enfrontar i què és el que s'ha de fer per a tenir un nivell i una qualitat internacional, cosa que és fonamental perquè s'estigui reconegut internacionalment com un dels equips que, en un camp donat, produeix a nivell avançat."

ment d'aquesta màquina, resultaria que fer heli líquid es convertiria en la finalitat del treball d'aquest científic i no en sortiria res. L'únic que faria seria líquid heli, evaporar-lo, líquid heli i tornar-lo a evaporar... Això és una cosa que ha de ser garantida de manera que el científic que fa recerca no hagi d'encarregar-se d'aquests detalls.

Si nosaltres visquéssim en un sistema completament aïllat, seria molt possible fer-nos-ho sols, però hi ha cents de centres d'investigació on l'heli el treuen pràcticament de l'aixeta i si hom no té la possibilitat de treure l'heli de l'aixeta no val la pena posar-se a fer un tipus d'investigació que requereix baixes temperatures.

Tot això és el que concerneix els serveis auxiliars, necessaris, elementals, que avui en el camp de la física són força respectables. És clar que aquests serveis tenen aplicacions en altres disciplines; els metges, per molts motius, de vegades necessiten aire líquid o heli líquid. En un país petit es pot coordinar, en el cas concret de l'heli líquid, l'existència d'un centre on es produeix heli líquid per a totes les necessitats de la ciència del país.

Els laser són també una tecnologia molt avançada i s'espantlen molt sovint. És necessari que hi hagi uns tècnics que els arreglin; que el científic no hagi d'ocupar-se de la construcció i la reparació dels laser.

Fa quinze anys que cada un se'ls havia de construir. Jo n'he construït alguns i no passava res; però avui, amb tota la competència i podent demanar simplement per telèfon un laser a la companyia, hem de tenir lasers que funcionin i tècnics que els sàpiguen mantenir. Aquests són els requeriments elementals que s'han de tenir resolts abans de començar.

L'altre aspecte molt crític és el control de qualitat. Els organismes que fomentin la recerca n'han de tenir la responsabilitat. A fi de comptes, els treballadors són els qui han donat els diners i han suat molt per a poder dedicar una part del seu sou, del seu treball, perquè uns senyors es dediquin a fer pràcticament el que

volguin i puguin treballar lliurement, cosa que ells no poden fer. El treballador ha de tenir unes certes garanties que la seva contribució al futur s'utilitzarà de manera eficient, de la mateixa manera com nosaltres tenim garanties que la tasca del treballador és eficient. Si no ho és, la companyia tanca i el treuen.

Per a un treballador científic que no treballi eficientment cal que hi hagi una fórmula perquè posi fi a la seva ineficàcia o al malbaratament de recursos públics, que a més són molt escassos. Com es defineixen els mecanismes per a garantir l'eficiència de la recerca? La recerca només té sentit en un àmbit internacional. És recerca el que la comunitat científica internacional accepta. Cal que els científics publiquin a revistes internacionals, vagin a conferències i hi exposin els seus resultats i que hi hagi una manera de recollir la reacció de la comunitat internacional.

La majoria de les revistes internacionals tenen un sistema força estricte de control i solament publiquen coses que altres científics de categoria han llegit i consideren dignes de publicació. El fet que apareguin treballs a revistes internacionals de qualitat reconeguda és un índex de qualitat. No és l'únic, però en principi és força raonable i força fiable quant a qualitat.

L'altre sistema que s'utilitza cada vegada més és el de tenir un consell de gent prominent que visiti el laboratori de recerca un cop l'any, cada sis mesos... i que li siguin exposats els treballs que es fan al centre; que ells ho discuteixin i emetin un informe jutjant la qualitat dels treballs. Això és molt comú: jo m'he sotmetre a un consell d'aquest tipus i també formo part de consells d'aquesta mena a altres llocs. En gran part, la sola presència d'aquest consell ja produeix un control i un augment de la qualitat.

En un país com l'Estat espanyol i, encara més críticament, en un lloc com Catalunya, és molt difícil poder trobar un nombre suficient d'experts per a poder formar un consell d'aquest tipus i és necessari portar experts estrangers —en el

cas nostre, a Alemanya tenim un francès, un anglès i un holandès. En un consell de laboratoris de recerca de la companyia de telèfons francesa, al qual jo pertanyo com a membre, hi ha un parell d'estrangers.

Si en un país com França o com Alemanya, que pràcticament podrien ésser autàrquics des d'aquest punt de vista, porten estrangers per a poder garantir el control d'una manera encara més independent, per a evitar les "polítiques" internes del país, evidentment és necessari que a Espanya i a Catalunya, si es fan consells d'aquests tipus, cal que hi hagi col·laboració estrangera.

(ciència): —*Una pregunta obligada és conèixer la vostra opinió sobre el problema dels científics a la diàspora.*

M. Cardona: —Primerament vull fer un comentari sobre el fet que un nombre considerable de científics treballen a l'estranger.

Segurament que això es diu amb un gran sentiment, però possiblement no és una cosa dolenta, sinó al contrari: en cas que aquesta gent no existís, no hi hauria la possibilitat que tornessin. S'ha de pensar que la majoria d'aquests científics, els qui ocupen posicions prominents a l'estranger, els qui són reconeguts com a investigadors, la majoria s'haurien malaguanyat si s'haguessin quedat a Catalunya o a l'Estat espanyol. El fet de tenir aquests científics a l'estranger és una cosa molt útil, encara que no tornin. És d'utilitat pel fet que puguin formar part d'aquests consells dels quals abans parlàvem; és útil en un enfocament d'orientació per part dels professors, ja que si sabessin qui hi ha a l'estranger que és expert en aquest o aquell camp, podrien adreçar-se a ells amb més facilitat.

Jo m'he fet responsable d'alguns catalans que han sortit a l'estranger i alguns que han tingut molt èxit, encara que no he tingut gaire contacte amb la facultat en acabar la carrera, però alguns d'ells sí que els he pogut orientar. Pel fet d'haver-me conegut, alguns varen anar als EUA i si s'haguessin quedat aquí possiblement

"S'ha de pensar que la majoria dels científics catalans a l'estranger, els que ocupen llocs prominents, els que són reconeguts com a investigadors, la majoria s'haurien malaguanyat si s'baguessin quedat a Catalunya o a l'Estat espanyol."

"Sobretot s'ha de reclamar, en un lloc tan industrial del país com és Catalunya, que, com a mínim, s'inverteixi en recerca i investigació la proporció adequada; pel cap baix la mitjana del producte nacional brut."

avui no serien coneguts a la ciència. Quant a les possibilitats que tornin —això naturalment és una cosa de la qual es parla periòdicament tenint en compte la renaixença cultural que hi ha ara a Catalunya— està molt bé que s'hi pensi. Hi ha una sèrie de condicions "de contorn" per al retorn dels científics que ho fan generalment força difícil, i el nombre dels qui puguin tornar és relativament petit. La majoria estan ben instal·lats, alguns d'ells tenen el problema de la família, la majoria s'han casat a l'estranger, els fills comencen a anar a escoles i si els fills tenen una certa edat, és pràcticament impossible que tornin amb ells. Un problema que he vist en una sèrie de casos concrets, de companys meus que han intentat tornar, és el fet que fins i tot per a fills en edat escolar que, normalment, a qualsevol país del món podrien anar d'un costat a l'altre sense traumes, la vinguda a Espanya i sobretot a Catalunya es torna dramàtica perquè no es troben escoles per a ells. No hi ha escoles públiques. Si se'n van d'Alemanya als EUA, dels EUA a França i d'allà a Itàlia,... arriben on sigui i els fills van a les escoles públiques l'endemà mateix; però aquí, com tots sabem, això encara no és possible. Això és gravíssim i per aquest motiu jo he conegut gent que ha tornat a Espanya i se n'ha tornat a anar per no haver pogut resoldre l'educació dels fills. Això deixa uns intervals d'edats i de situacions familiars reduïts. Hom no vol que un científic, en les condicions actuals, torni massa aviat, perquè encara que hi hagi un augment de l'ajuda, la possibilitat que aquí quedi frustrat i que es perdi són grans. Hom vol que torni quan estigui relativament establert, perquè llavors comporta un prestigi i es poden tenir uns contactes amb ell molt interessants.

Tanmateix, quan el científic està establert, està arrelat, és molt difícil que vingui.

Un altre problema greu, en el meu cas, és que és quasi prohibitiu el problema de la Seguretat Social. Avui a la majoria dels

països, particularment a Alemanya, hi ha unes condicions de Seguretat Social que hom no pot permetre's de perdre —la jubilació, concretament. Després de treballar un cert nombre d'anys a Alemanya, hom té unes condicions de jubilació molt bones i perdre-les és una irresponsabilitat. Això produeix la conseqüència que és més fàcil que torni —i això ho sabem tots— gent de força anys, molt a prop de la jubilació, quan els fills ja s'han independitzat i que poden fer un arranjament amb la Seguretat Social. En alguns casos de gent que ha tornat, això ha sortit bé, però són molt pocs. Només conec un cas especial.

(ciència): *—Quines serien les condicions mínimes...*

M. Cardona: —És molt difícil donar xifres exactes. Una cosa que m'ha impressionat molt en el col·loqui sobre la recerca és la conferència de Bohigas. Els nombres que ha donat sobre la proporció del producte nacional brut que s'inverteix en investigació a Espanya, hem vist que és mínim, i que les poques coses que es fan, es fan a Madrid, cosa que vol dir que una part d'Espanya que contribueix tant al producte nacional brut com Catalunya n'està traient molt poc de cara a la recerca. Això és un problema. Els nombres que ha donat Bohigas eren aproximadament deu parts menys dels que s'estan gastant a Espanya (sobre un 0,37 del producte nacional brut). A Alemanya em sembla que és el 2,5 o el 3 per cent del producte nacional brut.

Sobretot s'ha de reclamar, en un lloc tan industrial del país com és Catalunya, que, com a mínim, s'inverteixi en recerca i investigació la proporció adequada; pel cap baix la mitjana del producte nacional brut. S'ha de fer una planificació dels recursos existents per veure si es poden transformar en una cosa de primera categoria a base de donar-los el suport suficient. Avui, per a treballar en el camp de la física, cal a cada grup un mínim de deu científics, que puguin parlar els uns

amb els altres, que estiguin junts, que prenguin cafè junts i que puguin discutir els problemes,... En general els nombres que s'utilitzen per quasi tothom que es dedica a la gerència de la recerca en física és que per cada investigador calen aproximadament dos o tres persones auxiliars, o sigui, que un investigador significa tres o quatre persones, un grup de deu en significaria unes trenta o quaranta. Aquestes persones auxiliars són secretàries, mecànics, tècnics de tot tipus. Les xifres que s'utilitzen per persona tant a França com a Alemanya, com als EUA són aproximadament les mateixes. Són uns 100.000 marcs, el que ve a ser uns quatre milions de pessetes per persona; o sigui, per un grup de quaranta persones, per despeses corrents, cada any calen quatre milions multiplicat per quaranta. Possiblement, com que els sous són més baixos a Espanya, això es podria reduir a uns tres milions.

Hi ha un problema molt crític a tots els països no desenvolupats. És el de les duanes. Sembla un detall, però és un problema gravíssim. Com més desenvolupat és un país, més problemes hi ha perquè s'han d'importar més coses.

Tots els països desenvolupats tenen un sistema d'exempció duanera per al material que s'importi per a la recerca. A Espanya també existeix, però el problema d'aquí és la burocràcia.

A Alemanya, al nostre Institut, quan arriba un aparell dels EUA, hi ha una persona que s'encarrega d'omplir un full, jo el firmo (o ho fa una altra persona que té dret de fer-ho), i es va a la duana. El mateix dia traïem el material sense pagar drets. Primer, naturalment, hem fet unes declaracions que aquell material no es pot trobar en el país i ells naturalment ho investiguen.