

# IEC

1 9 0 7 - 2 0 0 7

CICLE DE CONFERÈNCIES SOBRE  
**LES CIÈNCIES  
EXPERIMENTALS  
I LA TECNOLOGIA**

A LES TERRES DE PARLA  
CATALANA AL SEGLE XX

VOLUM I: CIÈNCIES I TECNOLOGIA





CICLE DE CONFERÈNCIES SOBRE  
LES CIÈNCIES EXPERIMENTALS  
I LA TECNOLOGIA  
A LES TERRES DE PARLA CATALANA AL SEGLE XX



## PUBLICACIONS DEL CENTENARI

### Estoig 1

INSTITUT D'ESTUDIS CATALANS, *Discursos i crònica del Centenari*

INSTITUT D'ESTUDIS CATALANS, *Directori dels membres (1907-2007)*

INSTITUT D'ESTUDIS CATALANS, *Directori de les societats filials (1907-2007)*

INSTITUT D'ESTUDIS CATALANS, *Discursos de les festes anuals i de les inauguracions de curs (1914-2006)*

INSTITUT D'ESTUDIS CATALANS, *Catàleg de publicacions (1907-2007)*

INSTITUT D'ESTUDIS CATALANS, *Materials audiovisuals del Centenari*

### Estoig 2

Francesc VALLVERDÚ (cur.), *Commemoració del centenari del Primer Congrés Internacional de la Llengua Catalana (1906)*

Albert BALCELLS (coord.), *Els Països Catalans i Europa durant els darrers cent anys*

Josep Enric LLEBOT, Joan GIRBAU, Xavier ROSELLÓ, Joan Antoni SOLANS, Manuel RIBAS PIERA, Lluís JOFRE i Francesc SERRA (cur.), *Cicle de Conferències sobre les Ciències Experimentals i la Tecnologia a les Terres de Parla Catalana al Segle XX*, vol. I, *Ciències i tecnologia*

Lluís GARCIA I SEVILLA, Josep CARRERAS, Jacint CORBELLA, Antoni ROCA ROSELL i Oriol CASASSAS (cur.), *Cicle de Conferències sobre les Ciències Experimentals i la Tecnologia a les Terres de Parla Catalana al Segle XX*, vol. II, *Ciències biològiques*

Ricard TORRENTS (cur.), *Deu testimonis del segle XX, deu lliçons per al segle XXI. Curs d'alts estudis sobre cultura, política i societat*

Francesc VALLVERDÚ (cur.), *Simposi Internacional sobre el Català al Segle XX: Balanç de la situació i perspectives de futur*

CICLE DE CONFERÈNCIES SOBRE  
LES CIÈNCIES EXPERIMENTALS  
I LA TECNOLOGIA  
A LES TERRES DE PARLA CATALANA AL SEGLE XX

VOLUM I:  
CIÈNCIES I TECNOLOGIA

Josep Enric Llebot, Joan Girbau, Xavier Roselló,  
Joan Antoni Solans, Manuel Ribas Piera, Lluís Jofre  
i Francesc Serra (curadors)

INSTITUT D'ESTUDIS CATALANS  
BARCELONA, 2009

**Cicle de Conferències sobre les Ciències Experimentals i la Tecnologia  
a les Terres de Parla Catalana al Segle XX (2007 : Barcelona i Sabadell)**

Cicle de Conferències sobre les Ciències Experimentals i la Tecnologia a les  
Terres de Parla Catalana al Segle XX

Bibliografia. — Conté: vol. 1 Ciències i tecnologia — vol. 2. Ciències biològiques

ISBN 9788492583560 (vol. 1). — ISBN 9788492583416 (vol. 2)

I. Institut d'Estudis Catalans II. Títol

1. Ciències experimentals — Països Catalans — Història — S. XX — Congressos

2. Tecnologia — Països Catalans — Història — S. XX — Congressos

5+6(467)"19"(061.3)

© dels autors de les ponències

© 2009, Institut d'Estudis Catalans, per a aquesta edició

Carrer del Carme, 47, 08001 Barcelona

Primera edició: octubre de 2009

Compost per Binorama, SCP

Disseny gràfic: Maria Casassas

Imprès a Service Point FMI, SA

ISBN: 978-84-92583-56-0

Dipòsit legal: B-40246-2009

Aquesta obra és d'ús lliure, però està sotmesa a les condicions de la llicència pública de Creative Commons. Es pot redistribuir, copiar i reutilitzar, sempre que no hi hagi afany de lucre i que s'hi facin constar els autors. Aquesta autorització és sens perjudici dels drets derivats d'usos legítims o altres limitacions reconegudes per la llei. Es pot trobar una còpia completa dels termes d'aquesta llicència a l'adreça <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/es/legalcode.ca>.

Les condicions damunt dites es refereixen, sobretot, als aspectes següents:

- **RECONeixEMENT EXPLÍCIT.** Cal fer constar els crèdits de l'obra de la manera especificada pels autors o per l'Institut d'Estudis Catalans.
- **NO COMERCIALIZACIó DE L'OBRA.** Aquesta obra no es pot utilitzar, en cap cas, amb finalitats comercials.
- **TERMES DE LA LLICÈNCIA.** En reutilitzar o redistribuir l'obra, cal especificar ben clarament els termes de la llicència d'ús concedida.
- **ALTRES PERMISSOS.** Els titulars dels drets d'explotació poden concedir permissos que depassin els termes d'aquesta llicència.

## TAULA

Pròleg, <i>per Jaume Porta Casanellas</i> .....	7
<b>Física, química i matemàtiques</b>	
De l'Observatori Fabra al projecte <i>Sincrotró</i> : realitats i projectes de la física a Catalunya, <i>per David Jou</i> .....	15
L'impacte de la química en el desenvolupament industrial a Catalunya durant el segle XX, <i>per Josep Font Cierco</i> .....	29
Les matemàtiques, motor del món, <i>per Manuel Castellet</i> .....	41
<b>La mobilitat a Catalunya</b>	
La mobilitat a Catalunya. Presentació, <i>per Xavier Roselló</i> .....	57
Projeccions de mobilitat del Pla Director de Mobilitat de la Regió Metropolitana de Barcelona, <i>per Lluís Alegre i Valls</i> .....	61

## El territori a Catalunya

Quina planificació urbanística per als nous sistemes urbans?, <i>per Joan Busquets</i> .....	89
L'ordenació dels sistemes urbans a França: la mancomunitat d'aglomeració ( <i>communauté d'agglomération</i> ), <i>per Jean Glavany</i> .....	105

## Les tecnologies de la informació i les comunicacions a Catalunya

Les tecnologies de la informació i les comunicacions a Catalunya. Presentació, <i>per Lluís Jofre i Francesc Serra Mestres</i> .....	117
Les tecnologies de la informació i les comunicacions a Catalunya. Una visió històrica al llarg del segle XX, <i>per Antoni Elías</i> .....	121
Internet i societat: una visió crítica, <i>per Llorenç Valverde</i> .....	135
Recerca i supercomputació al segle XXI, <i>per Mateo Valero</i> .....	141



## PRÒLEG

L'objectiu primordial de la creació de l'Institut d'Estudis Catalans ara fa cent anys va ser modernitzar la cultura catalana, posar-la al nivell de les cultures de l'entorn més pròxim i col·locar així el país en una situació científica comparable a la dels països més avançats, en un moment en què la resistència o la ineficàcia de la universitat la mantenien allunyada de l'activitat de recerca. Iniciatives modernitzadores havien fet sorgir a Europa des de feia anys solucions alternatives a la universitat. D'una banda, centres d'excel·lència com el Collège des Lecteurs Royaux (1530) convertit en Collège de France després de la Revolució, el Jardin du Roi (1635), l'Observatoire de Paris (1667), entre altres; i les acadèmies, com l'Académie Française (1636), la Royal Society (1662), la Real Academia Española (1713), l'Acadèmia de Ciències de Sant Petersburg (1725), entre altres. La creació de la Institución Libre de Enseñanza (1876) a Madrid, de la mà de Francisco Giner de los Ríos, i l'Institut d'Estudis Catalans (1907) a Barcelona, tradueix la voluntat de disposar d'institucions amb ambició d'innovar, d'obrir les finestres del país, de reemplaçar una universitat encarcerada enfront l'avenç de la ciència i de la societat.

El Cicle de Conferències sobre les Ciències Experimentals i la Tecnologia a les Terres de Parla Catalana al Segle XX, que es recull en aquest volum, ha volgut oferir una panoràmica de l'evolució en diversos àmbits científics a Catalunya, refermar l'exigència científica, la catalanitat i la necessitat de fomentar l'obertura a l'exterior. Per altra banda, el plantejament ha fet palesa la voluntat de l'IEC de ser present als diferents indrets

dels territoris de parla catalana, emfasitzant així els vincles amb el conjunt de la societat. Les sessions acadèmiques de la Secció de Ciències i Tecnologia de l'IEC a la Fundació de la Caixa de Sabadell amb motiu del present centenari es van centrar en quatre àmbits: la física, la química i les matemàtiques, coordinat per Joan Girbau i J. Enric Llebot; la mobilitat a Catalunya, coordinat per Xavier Roselló; el territori a Catalunya, coordinat per Joan A. Solans i Manuel Ribas Piera; i les tecnologies de la informació i les comunicacions a Catalunya, coordinat per Lluís Jofre i Francesc Serra. Aquest cicle permet donar a conèixer l'impacte a Catalunya de diverses disciplines en el progrés científic i tecnològic del segle XX i la seva projecció al segle XXI.

En el primer àmbit, David Jou descriu el desenvolupament de la física a Catalunya a partir del segle XVIII, tot destacant la importància que han tingut les relacions internacionals dels equips de recerca i l'ampliació d'estudis a l'estranger al llarg del segle XX. Això no obstant, la gran eclosió s'ha produït a partir del darrer terç del segle XX. Es detallen les institucions i persones que hi han estat implicades, així com les línies de recerca i producció científica que mostren una empena i vitalitat considerables. Tanmateix, David Jou no es queda en l'autocomplaença i subratlla que encara cal fer força camí per arribar a una situació d'excel·lència, camí vinculat a l'esforç global a realitzar en recerca.

La intervenció de Josep Font se centra en el desenvolupament de la química a Catalunya, on, malgrat la manca d'un impuls universitari i investigador propi al llarg dels segles XVIII i XIX, ha estat possible la implantació d'una indústria química potent, impel·lida per l'activitat en altres sectors, i gràcies a l'esforç emprenedor individual i associatiu. Els impulsors inicials foren la Junta de Comerç, la Reial Acadèmia de Ciències i Arts de Barcelona, i la llavors anomenada *Secció de Ciències* de l'Institut d'Estudis Catalans. Es detalla la participació de les empreses i la seva evolució al llarg del segle XX i el despertar del món universitari a partir de la dècada de 1950 a la Universitat de Barcelona, a l'Escola d'Enginyeria Industrial de Barcelona i a l'Institut Químic de Sarrià.

Sabedor que les eines matemàtiques són uns ginys molt desconeguts per a una bona part de la població, Manuel Castellet fa una intervenció amb un llenguatge precís i molt entenedor, en la qual exemplifica el rol de les matemàtiques al món, tot establint ponts de connexió entre ciència, cultura, estètica i comunicació. Per fer-ho tria dos casos: un, la teoria dels nusos com a branca de la topologia, i l'altre, la codificació i la criptologia

(criptografia i criptoanàlisi), que, gràcies a la seva matematització, ha passat a ser una disciplina científica, com a especialitat de la teoria de la informació. Acaba destacant el paper de l'IEC —i en concret del Centre de Recerca Matemàtica— com un dels motors de les matemàtiques a Catalunya amb projecció internacional.

Xavier Roselló fa una introducció de la sessió dedicada a la *mobilitat a Catalunya*, en la qual sintetitza els aspectes tractats pels ponents i els temes que es van suscitar al debat: relació entre mobilitat i ordenació del territori, percepció de la mobilitat, nous elements socials, incidència de l'evolució tecnològica i el paper de l'automòbil a la ciutat. Lluís Alegre exposa les projeccions de mobilitat del Pla Director de Mobilitat de la Regió Metropolitana de Barcelona. Explica la metodologia emprada per tal de calcular les projeccions de les variables de mobilitat, els impactes socials i mediambientals i les estratègies a establir per assolir una mobilitat sostenible i segura en diversos escenaris. Els resultats de la diagnosi realitzada van portar a formular els objectius, que detalla, junt amb els resultats avaluats mitjançant els indicadors corresponents. Completa la seva exposició amb el model de mobilitat, els nou eixos d'actuació del Pla i unes reflexions finals.

En l'àmbit del *territori a Catalunya*, les intervencions se centren en el plantejament urbanístic per als nous sistemes urbans a càrrec de Joan Busquets i l'ordenació dels sistemes urbans a França exposada per Jean Glavany. Joan Busquets fa una reflexió oberta i hi utilitza alguns exemples. Analitza cap a on es mouen les noves demandes sobre els sistemes urbans en una situació postindustrial, derivades de factors que va introduint: transformació del sistema econòmic, models espacials, idea de ciutat, espais d'innovació, preferències en l'ús del nostre temps, nous conceptes socials, sentiments de multilocalitat, mecanismes de mobilitat, entre altres factors que incideixen en la forma d'usar el territori, i que el transformen. Planteja la imatge de Catalunya amb una concentració de població al litoral, resultat del buidat de la Catalunya *continental* i suscita si no hi hauria una altra manera de fer. La seva exposició es proposa fer pensar en models alternatius i molt ambiciosos, reflexió que deixa sobre la taula.

Jean Glavany exposa la seva experiència en les estructures de cooperació intercomunal a França, proposades com a actuacions per a resoldre els problemes derivats d'una fragmentació municipal excessiva, tot explicant l'èxit de la cooperació a partir del moment en què es va començar a basar en la incitació i no en la imposició. Detalla els dos moviments: la intercomunitat de mitjans i la de projectes, els seus objectius, les competències,

l'estructura fiscal en què es basen, la política d'incentius per a fomentar-les, i fa una anàlisi crítica d'aquestes estructures. Com a president de la Communauté d'Agglomération de Gran Tarbes, explica la trajectòria, l'estructura i les realitzacions d'aquesta aglomeració de municipis com a element de modernitat recíbit a França.

En l'àmbit de les *tecnologies de la informació i les comunicacions a Catalunya*, Antoni Elías dona una visió de l'evolució històrica al llarg del segle XX. Destaca la convergència de tres elements: la telecomunicació, com a suport de la qual va néixer l'electrònica, la informàtica i l'audiovisual. Aquesta conjunció ha conduït cap a la societat de la informació, transformada posteriorment en societat del coneixement. Remarca el paper d'Internet, la manera d'accedir-hi i l'intercanvi constant d'informació en l'evolució del model social i de l'economia. Fa un repàs de l'evolució de la telefonia des dels seus orígens fins a la telefonia mòbil, de la ràdio, de la indústria electrònica, de la televisió, i del disseny de computadors moderns, destacant el paper desenvolupat per les empreses i els investigadors catalans en aquests camps. Explica que en aquest marc ha estat possible el disseny innovador de la Universitat Oberta de Catalunya (UOC), que ha desenvolupat un sistema perquè els estudiants puguin accedir a la informació a distància, ja des de la dècada de 1990. Aquesta contribució catalana al món universitari, al front de la qual hi havia com a rector de la UOC un membre de l'IEC, el doctor Gabriel Ferraté, va canviar el plantejament d'aquest tipus d'estudis universitaris a Espanya.

El títol de la intervenció de Llorenç Valverde «Internet i societat: una visió crítica» reflecteix bé el contingut de la seva dissertació, que es pot considerar una defensa entusiasta del programari lliure, Linux, com a única via per a poder continuar amb l'evolució del català a la Xarxa.

La persona que ha impulsat la supercomputació, no només a Catalunya sinó en un marc geogràfic molt més ampli, Mateo Valero, parla de recerca i supercomputació. Explica els factors determinants de l'evolució de la supercomputació: la invenció del tub buit, aconseguir que els transistors siguin cada cop més petits, així com la multiplicació de la velocitat dels processadors. Aquests aspectes, junt amb la teoria i l'experimentació, constitueixen el tercer suport de la ciència i l'enginyeria, en augmentar la potència de càlcul i permetre la simulació de manera molt més ràpida que fins a la seva introducció. A partir de la dècada de 1980 els equips de recerca de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) van començar a tenir un paper destacat en supercomputació, paper que han

sabut, no tan sols mantenir, sinó anar augmentant. Mateo Valero indica que els resultats de l'activitat de recerca van portar a establir-se a Barcelona empreses del sector, a la creació del Centre de Supercomputació de Catalunya (CESCA) i del Barcelona Supercomputing Center – Centre Nacional de Supercomputació (BSC-CNS). Igualment, van suposar la col·laboració amb universitats espanyoles, europees i americanes i van permetre atraure investigadors d'arreu del món. Una de les darreres realitzacions ha estat la construcció amb IBM del supercomputador MareNostrum, que es basa en tecnologia *commodity* i ha estat renovat el 2006. Les investigacions que es porten a terme se centren en els camps de la ciència de computadors, biomedicina i ciències de la vida, ciència i tecnologia dels materials, i ciències de la Terra i de l'espai, entre altres aplicacions de la supercomputació.

Les sessions científiques que presentem permeten disposar d'una panoràmica actualitzada d'àmbits científics molt diversos i feta des de la vivència de molts dels seus protagonistes. Aquest enfocament pot servir per marcar un camí de futur per a l'Institut d'Estudis Catalans, com a seu de debats i reflexions d'alt nivell científic, com a Acadèmia amb pertinença en els nostres dies i amb projecció a la societat dels territoris de parla catalana.

JAUME PORTA CASANELLAS

Membre de la Comissió Executiva del Centenari  
en representació de la Secció de Ciències i Tecnologia



# FÍSICA, QUÍMICA I MATEMÀTIQUES

6 de febrer de 2007





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

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

## 1. Introducció

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

## 2. Antecedents: els segles XVIII i XIX

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

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

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

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

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

### 3. Els dos primers terços del segle XX

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

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

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

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

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

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

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

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

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

#### 4. El darrer terç del segle XX

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

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

## 5. Conclusions

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

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

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

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

## Bibliografia

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

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



# L'impacte de la química en el desenvolupament industrial a Catalunya durant el segle XX

Josep Font Cierco  
Catedràtic de Química Orgànica  
de la Universitat Autònoma de Barcelona

Catalunya és, pràcticament, un país sense matèries primeres. També és un país amb poca aigua i amb pocs recursos energètics. La química és, per definició, la ciència que estudia les transformacions de la matèria, i la indústria química necessita molta energia i molta aigua per a efectuar amb eficiència i seguretat les transformacions. La gran indústria química europea s'ha desenvolupat al llarg de les conques dels grans rius Rin, Roine, Mosa, entre d'altres, que, a la vegada, tenien recursos naturals materials i energètics (ferro, carbó) en abundància. El nostre país no té les característiques de la Selva Negra, de la Renània, de Roine-Alps, de Bèlgica, etc. Tampoc, desgraciadament, no hem tingut uns sistemes acadèmic i universitari de rellevància ni hem estat un poble recercador. És una paradoxa, doncs, que prop del 50 % de la producció de la indústria química espanyola radiqui a Catalunya. Amb poques mines de carbó, sense jaciments de petroli ni de gas natural, amb poques o gairebé nul·les menes de metalls, com ara les del ferro, el coure, l'alumini, el zinc, el níquel, el wolfram, etc., amb rius d'escassa aigua, exceptuant-ne l'Ebre, es fa difícil entendre com

s'ha pogut desenvolupar una potent indústria química de base i transformadora. A part del caràcter emprenedor del català, i d'alguns estrangers que es van establir a la nostra terra, caldria esbrinar les raons més profundes d'aquesta paradoxa. No crec que s'hagi fet un estudi històric sobre aquesta pregunta, ni tampoc aquest és el moment de fer-ne cap. Les properes línies només volen ser un relat de fets, no pas una recerca històrica, i no pretenen resoldre la paradoxa.

## Indústria química

El primer factor que s'hauria de considerar és l'aprofitament que s'ha fet de l'aigua i l'ús racional dels salts d'aigua com a font d'energia primària. La farga catalana n'és l'exemple més contundent. Amb el poc carbó i el poc ferro es va poder establir una indústria metal·lúrgica considerable que avançà paral·lelament a la indústria tèxtil, que, al meu entendre, va configurar lentament un segon factor. Evidentment, aquest desenvolupament no es pot comparar amb la siderometal·lúrgia basca, però constitueix la base del teixit industrial de Catalunya. La primera revolució industrial del segle XIX, a casa nostra, té un fort component mecànic i molt poc de químic, a diferència del que succeïa a la resta d'Europa, on, a la segona meitat d'aquest segle, la química contribuïa a una part molt important del creixement econòmic. Tot i així, aquests dos sectors, el metal·lúrgic i el tèxtil, juntament amb d'altres com el del cuir, la construcció i els que es relacionen amb les ciències de la vida, com l'agricultura, la higiene i la salut, impulsaren la necessitat de productes químics. Entre aquests, destaquen els inorgànics, com els àcids clorhídric, sulfúric, nítric; els àlcalis, com la sosa (carbonat de sodi), la sosa càustica (hidròxid de sodi), la calç, l'amoníac, etc.; els productes relacionats amb l'adobatge del cuir (cromats, dicromats), i els compostos orgànics (benzè, toluè, naftalè, anilina, piridina, toluïdina, àcid sulfònic, etanol, metanol, èter etílic, etc.). Amb aquests productes, hom podia abastar les demandes de les indústries dels tints, dels sabons, de la vidrieria, de la construcció, de la farmàcia, dels explosius, etc.

A pesar de les vicissituds que s'han hagut d'afrontar al llarg del segle XX (greus conflictes socioeconòmics, guerres mundials, Guerra Civil, polítiques dictatorials i centralistes, canvis profunds en el plantejament de les transformacions químiques —especialment, el canvi del carbó pel petroli com a font d'energia i de matèria orgànica— etc.), les activitats químiques i les dels sectors afins han anat sempre, a casa nostra, a l'avantguarda del desenvolupament i la innovació, consolidant un entramat empresarial important de petites, mitjanes i grans empreses, tan dinàmic i diversificat com complementari i eficient. Actualment, l'activitat química de les empreses que radiquen a Catalunya, segons la Federació Empresarial Catalana del Sector Químic (Fedequim), és del 50 % del total espanyol. El valor de producció per l'Estat espanyol del sector químic és d'uns quaranta mil milions



d'euros, un 40 % dels quals correspon a la química bàsica (orgànica i inorgànica, gasos industrials, matèries primeres, cautxú sintètic, fibres artificials, fertilitzants, colorants i pigments), un 27 % correspon a la química de la salut humana, animal i vegetal (matèries primeres farmacèutiques, especialitats farmacèutiques, especialitats zoonosànitàries i fitosanitàries), i un 33 %, a la química per a la indústria i el consum final (pintures, tints, esmalts, adhesius, olis, explosius, detergents, sabons, perfumeria i cosmètica). Això significa que aquesta activitat, expressada en termes de facturació, és, a Catalunya, superior a la d'alguns estats membres de la Unió Europea, com ara Àustria, Dinamarca, Grècia, Portugal, Finlàndia i, fins i tot, Suècia.

En el primer terç del segle XX, ja s'havien establert diverses empreses que cobrien aquestes necessitats de productes químics i, per tant, en feien innecessària la importació. Esmentarem, a continuació, unes quantes d'aquestes empreses emblemàtiques i paradigmàtiques del desenvolupament industrial de Catalunya.

Com a subministradora de matèries primeres, cal esmentar, en primer lloc, la Societat d'Explotació de les Mines de Sal de Cardona i Súrria. Aquestes mines constitueixen un dels pocs tresors que proporciona el subsòl català. D'elles s'ha explotat no solament el clorur sòdic (base per a obtenir clor, àcid clorhídric i hidròxid sòdic), sinó, molt especialment, el clorur potàssic (base per a obtenir hidròxid potàssic i els adobs de potassi). Les mines de Cardona estan actualment inactives, però les de Súrria encara estan en explotació.

La SA Cros és l'empresa de transformacions químiques més antiga i important del país. Aquesta empresa fou fundada, l'any 1817, per François Cros, i s'establí a Sants (Barcelona) constituint la societat de fabricació de productes químics Francesc Cros i Companyia. L'empresa es dedicava a produir aigua forta (àcid nítric), diferents caparrossos (sulfat ferrós, sulfat de zinc, sulfat de coure...) i clorur d'estany. Un cop mort Francesc Cros (1831), el negoci passà a les mans dels fills, amb la raó social Joan Timoleont Cros i Germans, que fabricà ja àcid sulfúric i àcid clorhídric, a la vegada que continuava fabricant els productes esmentats abans. El trasllat de la fàbrica a Badalona es produí el 1878 i, l'any 1896, sota l'ègida d'Amadeu Cros, l'empresa ja havia entrat al sector dels fertilitzants i, paral·lelament, iniciava una política comercial d'obertura de dipòsits comercials dels seus productes cap a la resta de l'Estat. L'any 1904, l'empresa familiar es convertí en la Sociedad Anónima Cros, amb una voluntat clara expansionista: construcció de fàbriques noves, increment de la presència dels productes Cros als principals centres agrícoles de l'Estat i augment de la producció. Durant el primer terç del segle XX, s'efectuà un període d'expansió arreu de l'Estat espanyol, i el negoci se centrà, fonamentalment, en els adobs: el producte central eren els superfosfats.

L'evolució de l'empresa SA Cros passà per variades vicissituds al llarg de la segona meitat del segle XX. El 1969, el grup financer Di Mora Livanos (italogrec) comprà al voltant del 30 % del capital, que, posteriorment, fou adquirit pel Banco Santander, el qual es con-

vertí en el primer accionista de la societat. El 1982, Torras Hostench, controlada pel grup KIO, comprà el 15 % del capital al Banco Santander, que en reduí la participació i, posteriorment, el 1986, també va vendre la resta de les accions a Torras Hostench. Dos anys més tard, el 1988, Explosivos Río Tinto i SA Cros acorden fusionar les dues entitats, i creen l'actual Ercros, amb empreses filials i participades com ara Amoníaco de Tarragona, SA (ATSA); Asociación Flix-Coquiza, SL; Sociedad Electro-Química de Flix; Cloraita, SA; Comercial de Productos Agrícolas, SA (COPRA); Cros Pinturas, SA; Distribuidora Doctor Andreu, SA (DISDASA); Electro Metalúrgica del Ebro, SA (EMESA); Hoechst Ibérica, SA; Industrial Química de Zaragoza, SA (IQZ); Industrias Químicas de Tarragona, SA (INQUITASA); Lisac, SA; Primma, SA; Prodecros, SA; Productos Químicos Ibéricos, SA; Química Mediterránea, SA (QUIMESA); Servicios Auxiliares Tarraco, SA; Sintesa, SA; Transportes, Aduanas y Consignaciones, SA (TAC); Grupo Derivados Forestales, SA, etc. De totes aquestes empreses, cal destacar l'electroquímica de Flix, pionera de l'aprofitament hidroelèctric per a produir substàncies inorgàniques bàsiques derivades del clorur sòdic (vegeu més amunt) i de les seves aplicacions per a obtenir dissolvents clorats. Curiosament, l'electroquímica de Flix és de les poques empreses situades al llarg del cabalós riu Ebre, tot i que ara ja se'n poden comptar d'altres a Tortosa.

Les substàncies orgàniques de base s'obtenien a la Catalana de Gas (originàriament Gas Lebon), a la Barceloneta, per destil·lació seca del carbó hulla. A més del gas ciutat (mescla de monòxid de carboni, hidrogen i alcans senzills), que es comercialitzava per a les cuines domèstiques de gas i per a l'enllumenat, aquesta destil·lació proporcionava amoníac, benzè, toluè, xilè, naftalè, fenol, cresol, piridina, etc. Catalana de Gas, amb la comercialització del gas natural, importat d'Algèria, deixà de ser una empresa química per a convertir-se en una empresa energètica.

La química aromàtica o del benzè constituí, a final del segle XIX i la primera meitat del segle XX, la base per a obtenir colorants i explosius. En efecte, per nitració del benzè, per exemple, s'obtenia nitrobenzè, que, per reducció, rendia anilina, substància, entre d'altres, imprescindible per a la síntesi dels colorants azoics. La nitració del toluè donava trinitrotoluè (TNT), que substituí, en bona part, la nitroglicerina (dinamita).

L'aprovisionament de carbó vegetal (necessari per a obtenir disulfur de carboni, a la vegada, d'ús imprescindible per a solubilitzar la cel·lulosa i obtenir la seda artificial —viscosa—, vegeu més endavant) va recaure en l'empresa Derivats Forestals de Sant Celoni. El carbó vegetal s'obtenia per destil·lació seca de la fusta (procedent, majoritàriament, de la neteja dels boscos del Montseny, del Montnegre i altres contrades), que, a la vegada, proporcionava àcid pirolignós, un destil·lat aquós format per un 2-3 % de metanol, un 7-9 % d'àcid acètic, un 0,5 % d'acetona i un quitrà de fusta del qual es preparaven antisèptics i desinfectants. Aquesta empresa va saber, després, adaptar-se als temps, important metanol i innovant una oxidació eficient d'aquesta substància a formaldehid que podia obtenir com

a formol de concentració elevada. Aquest formol ha estat clau per a elaborar resines d'ureaformaldehid i de melaminaformaldehid, adhesius absolutament necessaris per a fabricar fusta aglomerada i laminada. El saber fer d'aquesta transformació ha estat venut arreu del món, i el motor empresarial rau en el doctor Pere Mir, mentre que el tècnic és obra dels doctors Marcel Ciutat i Lluís Eek, tots tres deixebles del professor Buscarons (vegeu més endavant).

Tradicionalment, Catalunya ha sabut atreure promotors i capital estranger que han estat clau per al desenvolupament industrial. El sector químic n'és també un exemple. Pensem en l'establiment d'empreses alemanyes, belgues, holandeses i angleses, com Bayer, Solvay, Akzo-Nobel, ICI, etc.

Bayer va arrelar a Barcelona tant en el camp farmacèutic (Bayer Hispania) com en el camp dels colorants. Durant el temps de l'autarquia dictatorial, l'empresa paral·lela de l'alemanya que englobava la BASF, la Bayer i la Hoechst (és a dir, la IG Farbenindustrie AG), a Catalunya va denominar-se Unicolor, empresa que competia amb l'autòctona Fabricación Nacional de Colorantes y Explosivos (FNCE), que radica a Sant Adrià. Més tard, Unicolor es va dividir, de nou, en les tres grans, i totes tres van contribuir a desplegar el polígon industrial petroquímic de Tarragona.

Bèlgica quedava representada per Solvay, que s'establí a Martorell (clor, clorur de vinil, etc.), mentre que l'holandesa Akzo-Nobel s'amalgamà amb La Seda, productora, a l'inici, de viscosa o raíó a partir de cel·lulosa, pel mètode del xantat, tal com s'ha comentat més amunt. L'anglesa ICI també és representada a Catalunya a través d'ICI España, ICI Paints España i Astra-Zeneca.

Finalment, es pot fer esment de la important fabricació d'àcid tartàric a partir de les deixalles procedents de l'elaboració del vi, fabricació que promovia la família Ensesa a Girona i que va arribar a ser una de les de més volum del món.

El sector de la pintura també ha contribuït molt en el desenvolupament industrial de Catalunya. Aquest sector, al primer cop d'ull, necessita poca química, ja que les pintures són mesclades o formulacions de productes (pigments, colorants, impregnacions, olis insaturats, dissolvents, etc.) que s'han de sintetitzar o fabricar. Així, van néixer indústries de pintura pròpiament dites i indústries subsidiàries que els proporcionaven les matèries bàsiques. Noms com Titan, Valentine, Lacas y Pinturas, SA (LIPSA) —situada a Benicarló—, etc. són una referència d'aquest sector. A la segona meitat del segle XX, i amb el desenvolupament de les impregnacions polimèriques (polièsters, poliuretans, etc.), aquest sector va agafar una segona i vigorosa empena.

El sector farmacèutic és un dels més arrelats a Catalunya i representa aproximadament el 50 % del volum econòmic d'aquest sector a l'Estat espanyol. Hi ha dos tipus d'indústria farmacèutica: els laboratoris farmacèutics pròpiament dits, dedicats, fonamentalment, a la recerca química i farmacològica del fàrmac, i a la formulació galènica, elaboració, envasa-

ment, venda i distribució del medicament; i les fàbriques dels principis actius. La major part d'ambdues indústries es localitzen a Barcelona o voltants (l'Hospitalet de Llobregat, Sant Just Desvern, Sant Fost de Campsentelles, la Llagosta, Montmeló, Mollet del Vallès, Malgrat de Mar, etc.) i als voltants de Girona (Celrà).

L'inici de la indústria farmacèutica és autòcton: per exemple, els Laboratoris Doctor Andreu, pioners en la fabricació de sulfamides; els Laboratoris Doctor Esteve, pioners en la fabricació d'hemostàtics, i els Laboratoris Uriach, pioners en la fabricació de Biodramina i nitrofurantoïna. Però també hi contribuï el capital estranger: per exemple, Comercial Quimicofarmacèutica Bayer (aspirina) o Sandoz (alcaloide del sègol banyut, *ergot*). Aquesta xarxa es va anar estenent de manera ràpida durant la segona meitat del segle XX amb laboratoris de capital autòcton, com Almirall (després Almirall-Prodesfarma), Cusí, Farma-Lepori, Ferrer, Fides, Gelos, Hosbon, Huber, Inibsa, Lacer, Lasa, Leti-Uquifa, Salvat, Vita, etc.; i amb laboratoris de capital estranger, com Astra, Boehringer Ingelheim, Ciba-Geigy, Hoechst, Madaus Cerafarm, Menarini, Merck —Darmstadt—, Solvay-Pharma, Zambon, etc.

En aquest sector, es poden identificar fàcilment dues etapes, la d'abans de la Guerra Civil, que coincideix amb les sulfamides, els primers tuberculostàtics (PAS i isoniazides) i els analgèsics, amb una indústria farmacèutica autòctona bastant important i amb implantació de companyies estrangeres quasi exclusivament a Catalunya, i l'etapa franquista, que coincideix amb els moderns antibiòtics (penicil·lina, estreptomycina, tetraciclina, etc.), amb un fort desembarcament de companyies estrangeres, principalment nord-americanes, a Madrid i als voltants.

El mapa actual reflecteix aquesta dicotomia amb la polarització també del sector productiu de química fina, entre l'entorn de Barcelona (Esteve Química, Urquima, Uquifa, Farmhispania, Menadiona, Medichem, etc.) i l'entorn de Madrid-Alcalá de Henares (Química Sintética) i el nord de la península (Cantàbria, Bilbao, Astúries). Per altra banda, aquest és un camp fluctuant, mercantilment parlant, a causa de les contínues fusions i amalgames entre empreses del ram.

Un altre sector important de la química orgànica a Catalunya és el subsector de les aromes, tant des del punt de vista de la perfumeria com des del punt de vista de l'alimentació. També aquí conflueixen les companyies de capital autòcton productores de les substàncies base (Lucta, Daksa —situada a Benicarló—) i formuladores de perfums i saboritzants (Myrurgia, Puig, Legrain, Agrolimen-Gallina Blanca, etc.) amb les de capital estranger (Givaudan, Firmenick, Nestlé, Kao Corporation, Fragrance Science, SL, etc.).

Cal considerar, també, la indústria relacionada amb els pesticides i herbicides. La fabricació de pesticides, especialment insecticides, va molt lligada amb la indústria del clor, ja que els insecticides de primera generació eren productes clorats (DDT —diclorodifeniltricloroetà—, lindane —hexaclorociclohexà—, etc.) i, com que Catalunya és una bona productora de

clor (Electroquímica de Flix, Solvay, Aragonesas, etc.), era lògic que aquí es desenvolupessin empreses productores d'aquests insecticides (Cruz Verde, Industrias AC Marca, etc.). Un cop es varen veure els efectes contraproductius d'aquests insecticides per al medi ambient, aquestes companyies varen reconduir el negoci cap als pesticides de segona generació, de tipus organofosforats i d'altres, i fins i tot cap a mètodes més ecològics, com la síntesi i l'aplicació de feromones d'atracció sexual (per exemple, la processionària, plaga molt implantada als nostres boscos de pins i avets).

Finalment, però sense tancar el tema, ja que podria ser molt més ampli, hem d'indicar la indústria relacionada amb els «plàstics». Amb aquest terme s'ha volgut abastar tot el món relacionat amb els polímers, des de la fabricació dels monòmers, la polimerització, la formulació del polímer abans de la transformació i la transformació pròpiament dita en el producte acabat (amb tota la indústria depenent: additius, plastificants, colorants, etc.). S'inclouen, doncs, en aquest sector, les grans empreses fabricadores de productes bàsics com són l'etilè, el propilè, el butadiè, el clorur de vinil, l'estirè, l'acrilonitril, els diisocianats, etc.; les empreses dedicades a la polimerització i la formulació, i les empreses transformadores que acaben fabricant l'elastòmer o el producte manufacturat final. Seria inacabable esmentar els noms d'aquestes empreses, però sí que cal dir que aquest sector va fer néixer la indústria petroquímica de Tarragona.

Per subsectors, l'activitat principal és la química bàsica, el pes específic de la qual se situa entorn el 48 % de la producció. Val la pena destacar que la rellevància del segment de la química bàsica catalana en el sector espanyol, el 60 %, és encara més elevada que la del conjunt del sector. La importància d'altres subsectors, com el de la química fina (el 66 % del total espanyol), també és destacable.

Aquestes xifres són conseqüència de la concentració que el sector químic té a l'àrea de Tarragona, el polígon petroquímic de la qual és considerat un dels pols químics principals al sud d'Europa. Només a la zona de Tarragona, hi ha quaranta-set companyies que generen 4.900 llocs de treball directes i 25.000 d'indirectes, tenen una capacitat de producció de quasi 18.300 tones mètriques l'any, facturen 5.600 milions d'euros anuals i suposen un 25 % de la producció química espanyola.

Destaquen en aquest polígon empreses com el Grup BASF, Dow Chemical Ibérica, Ercros Tarragona, Lanxess Chemicals, Repsol Química i Bayer Hispania Industrial.

Tot aquest desplegament industrial tan fort i potent, geogràficament implantat de manera prioritària en un radi de cinquanta quilòmetres al voltant de Barcelona, però també a Tarragona ciutat, a Tortosa, a Flix, a Girona ciutat i a altres contrades situades a les fronteres de Catalunya i, per tant, sota la seva influència (Vinaròs, Benicarló, Monsó...), no hauria estat possible sense un coixí acadèmic de l'ensenyament de la química i de l'enginyeria química. Coixí que no ha estat tan fort i potent, almenys al segle XIX i primera meitat del segle XX; i aquesta és també una de les paradoxes del nostre país.

## Recerca bàsica i aplicada

L'inici del desenvolupament acadèmic de la química a Catalunya és tortuós. Cal recordar que la Universitat de Barcelona fou traslladada i escapçada a Cervera després de la desfeta del 1714, i tots els altres estudis universitaris, suprimits, com els Estudis Generals de Lleida o altres institucions universitàries, que, per altra banda, tampoc no eren focus de llum intel·lectual ni punts de repetició o retransmissió de les idees científiques i innovadores de la Il·lustració europea. Els estudis i la introducció de la nova química, entesa com a ciència experimental, basada en anàlisis qualitatives i quantitatives, en contraposició a la vella alquímia, cal retrobar-los a la Junta de Comerç, a la Reial Acadèmia de Ciències i Arts de Barcelona i a l'Escola Industrial de Can Batlló. De totes maneres, durant el segle XX, i normalitzada, un altre cop, la Universitat de Barcelona, va ser a la Facultat de Ciències d'aquesta Universitat, a l'Escola Superior d'Enginyers Industrials del carrer del Comte d'Urgell (amb el Laboratori d'Estudis Superiors de Química) i a l'Institut Químic de Sarrià (IQS) on es van conrear els estudis de química i d'enginyeria química de manera regular i regulada, formant cohorts i cohorts de professionals que fecundaren les indústries amb el seus coneixements, amb el seu saber i amb el seu esforç. Si no es feia recerca fonamental, com veurem més endavant, almenys es transmetien els avenços de la ciència moderna que s'anava creant a les universitats europees.

El liderat mercantil de la Junta de Comerç, una junta particular de Barcelona dins l'organització espanyola de la Junta General de Comercio y Moneda, permeté la constitució, des de les darreres dècades del segle XVIII, d'una important xarxa d'ensenyament tècnic amb una implicació directa de fabricants i comerciants a la recerca d'una qualificació tècnica més bona dels nous treballadors de la industrialització i d'una progressiva aplicació de la nova ciència i de la internacionalització de les arts tècniques.

A Barcelona no existia cap «sociedad económica de amigos del país» i, a més, els controls centrals del Protomedicat, homogeneïtzadors de la professió mèdica, es contraposaven a la formació dels metges catalans a les universitats d'Osca, Montpeller, Tolosa de Llenguadoc o, a la segona meitat del segle XVIII, al Col·legi de Cirurgia i a l'Acadèmia Medicopràctica de Barcelona.

La Reial Acadèmia de Ciències i Arts de Barcelona fou fundada per Carles III, el 1764, com a Conferencia Físico-Matemática Experimental, i va esdevenir, poc més tard, Real Academia de Ciencias Naturales y Artes de Barcelona, un segle després que fossin fundades la Royal Society de Londres i l'Académie des Sciences de París.

Ambdues institucions eren una espècie d'universitat de ciències que suplía la manca d'estudis universitaris d'aquests tipus. No són aquests ni el moment ni el lloc per a fer una història detallada de la ciència experimental a Catalunya durant els últims dos-cents cinquanta anys, que, per altra banda, es troba ben documentada en treballs de la Societat Catalana

d'Història de la Ciència i de la Tècnica, filial de l'Institut d'Estudis Catalans, com ara en el llibre *La Reial Acadèmia de Ciències i Arts de Barcelona als segles XVIII i XIX: història, ciència i societat*, d'Agustí Nieto i Antoni Roca, però sí que voldria recalcar que aquestes dues institucions cooperaven intensament, fins i tot en la projecció pública, com es demostra, per exemple, amb els experiments pneumàtics d'anàlisi de l'aire atmosfèric de l'acadèmic Antoni Martí i Franquès o els exercicis públics de química dirigits per l'acadèmic i director de l'Escola de Química de la Junta de Comerç Francesc Carbonell. Tot això a cavall dels segles XVIII i XIX, cosa que reconeix que la nova química entrà ràpidament a Catalunya gràcies a l'esforç emprenedor individual i associatiu no universitari.

Un relat del desenvolupament dels estudis de química a casa nostra fins al 1950 ens el fa el professor Josep Pascual Vila en el discurs inaugural de l'any acadèmic 1951-1952, «La química en la Facultat de Ciències de Barcelona», del qual faré, a continuació, un extracte.

Retornada la Universitat a Barcelona l'any 1837, no és fins al 1845 que, gràcies al primer pla d'ensenyament seriós de l'època contemporània, de Pedro José Pidal, s'estructura una Facultat o Institut de Filosofia en què s'estableix la primera Càtedra de Química (química general), que s'encarrega a Joan Agell i Torrents. Agell s'havia format a l'Escola de la Llotja de la Junta de Comerç i va destacar més pels coneixements en electricitat que pels de la química pròpiament dita. Segons paraules d'Eduard Fontserè, «Agell era l'home que sabia més d'electricitat de tot Barcelona». I així ho demostren els seus treballs científics. Morí l'any 1868, onze anys després d'una altra llei clau per al desenvolupament de la universitat espanyola, la Llei de Claudio Moyano (setembre del 1857), que transformà les seccions de les facultats de filosofia en facultats independents: la de ciències s'anomenà Facultat de Ciències Exactes, Físiques i Naturals, i els estudis es dividiren en tres períodes, corresponents als graus de batxiller, llicenciat i doctor. Amb tot, no és fins al 1867 que es fan ensenyaments diferenciats de química inorgànica i de química orgànica, ensenyaments que foren impartits per Miguel Maisterra Prieto i José Ramón Fernández de Luanco, juntament amb la química general, de manera successiva, fins que l'any 1879 van venir per concurs Eugenio Mascareñas y Hernández (química inorgànica) i Victorino García de la Cruz (química orgànica). Luanco és el que deixà més empremta, atès que va adscriure's a les noves teories que modernitzaven la química, com la teoria atòmica molecular i la de la valència. Tant Luanco com Mascareñas van professar llargues dècades a Barcelona; sembla que eren bons docents, però no van sobresortir en recerca. Ni les condicions, ni l'ambient, ni els ajuts, ni tampoc les ganes d'investigar no propiciaven un treball de laboratori seriós o innovador. Tampoc ni García de la Cruz ni el seu successor, Miquel Bonet i Amigó, no destacaren en la Càtedra de Química Orgànica.

De fet, no és fins ben entrat el segle XX (1915) que, amb el professor Antonio García Banús (química orgànica), es comença a fer una certa recerca de categoria. Probablement,

també hi van ajudar els nous plans d'estudis del 1921 i el 1922, que reduïren considerablement les assignatures de física i matemàtiques a favor de les pròpiament químiques: les tres químiques clàssiques (general, inorgànica i orgànica) més la química teòrica o fisicoquímica, l'electroquímica i la química tècnica, requerint, àdhuc, una llengua de base saxona.

García Banús fou catedràtic fins al 1939, any en què es va haver d'exiliar, i el substituï, acabat el conflicte, el professor Josep Pascual Vila, paradigma del desenvolupament científic químic a casa nostra a la segona meitat del segle XX. García Banús es va formar a Alemanya amb J. Schmidlin (1910-1912) i va continuar els treballs sobre els derivats organomagnesiàns i la reacció de Grignard als laboratoris de química orgànica de la Facultat de Ciències de la Universitat de Barcelona, amb la direcció de diverses tesis doctorals (que s'havien de presentar i defensar a la Universitat de Madrid), entre les quals destaca la del doctor Pascual (1922). García Banús i Emilio Jimeno Gil, successor de Mascareñas en la Càtedra de Química Inorgànica, van ser les ànimes impulsores de la química a la Facultat de Ciències.

Amb tot, i segons els comptes del doctor Pascual, la mitjana de llicenciats en física (que incloïa la química) entre el 1868 i el 1875 era de quatre o cinc. Quan es va llicenciar aquest professor, el 1917, només ho varen fer quatre alumnes! I entre el 1921 i el 1936, es van presentar i aprovar només nou tesis doctorals i es van publicar vint-i-vuit treballs a *Anales*, una revista espanyola amb molt poc factor d'impacte, com es diu ara.

Amb el període inaugurat el 1940, les coses van canviar poc. La química era impartida quasi exclusivament (a excepció de l'orgànica) pel voluntarisme del professor Vericat: el professor Josep Castells, membre actual de l'IEC, té més del 90 % de les paperetes signades pel doctor Vericat! El nombre de tesis llegides entre el 1940 i el 1950 és només de quinze i el nombre de treballs a *Anales* (sembla que és l'única revista on es publicava) és de trenta-un. Cal recordar que encara, el 1951, les tesis s'havien d'anar a defensar a Madrid.

S'ha de fer esment que la recuperació de la ciència espanyola (madrilenya) va molt lligada a la Institución Libre de Enseñanza (1876) i a la Junta para Ampliación de Estudios (1907) i, la química en particular, al Laboratorio de Investigaciones Físicas, dit Instituto Rockefeller per l'edifici inaugurat el 1932 amb finançament de la Fundació Rockefeller. La xarxa creada per aquestes institucions va ser convertida pel Govern nascut de la Guerra Civil en Consell Superior d'Investigacions Científiques (CSIC), del qual només van arribar a Barcelona unes engrunes, i encara molt tard.

A Catalunya, la renovació científica es va voler fer amb la fundació de l'Institut d'Estudis Catalans per Enric Prat de la Riba (1907), que ja poc després va establir la Secció de Ciències. De totes maneres, l'Institut no propugnà la cerca experimental, en bona part per la manca de recursos. Tot i així, la tasca de l'Institut ha estat molt important en la normalització i manteniment del català en l'ensenyament de la química. Per exemple, són notòries les traduccions a la nostra llengua de les regles de nomenclatura sistemàtica de la International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC).



El panorama acadèmic universitari durant les primeres dues tercers parts del segle XX no va ser pas gaire afalagador, tot i l'esforç de les institucions esmentades. A part de la recerca crucial de Santiago Ramón y Cajal (Premi Nobel de Medicina el 1906), recerca individual i aïllada, portada a terme en part a Barcelona, poques figures més es poden esmentar del tombant del segle XX. La voluntat de canvi que propugnaven aquelles institucions i el mateix Cajal va quedar truncada per les convulsions socioeconòmiques dels anys trenta i, finalment, per la Guerra Civil del 1936. Hom recorda dels anys cinquanta, seixanta i ben entrats els setanta que, a Barcelona, només dues branques de la química (l'orgànica i l'anàlítica), amb els professors ja esmentats Pascual i Buscarons, podien comparar-se, en certa manera, amb la ciència europea. A part, però, de la tasca investigadora, dels treballs, de la direcció de tesis, etc., el que sobretot van impulsar varen ser veritables escoles de treball, amb una plèiade d'investigadors, formats inicialment aquí, reciclats a l'estranger amb estades postdoctorals i recuperats, després, en places universitàries o del CSIC. Investigadors succeïts i pol·linitzats per nous centres de recerca, temes de treball, especialitats, etc. Puc dir molts noms, amb el benentès que no voldria deixar-me ningú, però, sense esmentar els que encara estem a la palestra, només en diré els més emblemàtics (traspassats ja o retirats): Granados, Ballester, Serratos, Castells, Casassas, Izquierdo... La trajectòria d'aquests personatges, juntament amb el suport institucional i econòmic dels governs democràtics a partir de l'any 1975, va esperonar de tal manera la resta d'especialitats químiques i altres branques de la ciència (física, biologia, bioquímica...) que el panorama investigador de final del segle XX no té res a veure amb el dels anys cinquanta. A més, es pot dir que no és fins ara que hi ha una osmosi adequada entre la indústria i el món universitari.

Paral·lelament als estudis universitaris, en els primers dos terços de segle, una institució privada depenent de la Companyia de Jesús va fer el paper suplementari o subsidiari en la formació de químics, de la mateixa manera que al segle XVIII la mateixa Companyia ho féu en el Col·legi de Cordelles (rambla dels Estudis) per als ensenyaments de la física i les matemàtiques. Em refereixo a l'Institut Químic de Sarrià. Potser en aquesta institució no s'ha fet una gran recerca, però s'hi han format bons químics amb vocació industrial que han dinamitzat les empreses químiques catalanes, i ha estat un lloc d'entrada de noves tecnologies, especialment analítiques, que han contribuït a consolidar protocols de qualitat. Noms com els del P. Vitòria, P. Montagut, J. J. Bonet, entre altres, són referents d'aquesta institució i de la química catalana.

Paraules similars es poden dir de la contribució de l'Escola d'Enginyers Industrials, la qual sempre ha tingut una especialitat d'enginyeria química, fins i tot molt abans que aquesta especialitat es consolidés com a tal a les facultats de ciències, primer, i en escoles *ad hoc* de diferents universitats, després. I els enginyers industrials han estat un referent en l'establiment i el funcionament de moltes empreses químiques, especialment de la indústria química pesant (electroquímica, petroquímica, etc.). Noms com els d'Eveli Dòria i Bonaplata,

Esteve Terradas, Josep Agell i Agell, vinculats a l'Escola, i d'altres com Fernando Jimeno o fins i tot l'enginyer de camins Pere Duran Farell, han contribuït a establir la forta indústria química a Catalunya. El mateix Pompeu Fabra era un enginyer químic que ensenyà química i matemàtiques a l'Escola Superior d'Enginyers Industrials a Bilbao abans de convertir-se en lingüista i fixar el català.

Tot aquest entramat, com he dit, ha fet expansionar enormement l'activitat de recerca bàsica i de recerca aplicada molt lligada directament amb les empreses químiques del país. Hi han contribuït tant les velles però renovades institucions (Universitat de Barcelona, Centre d'Investigació i Desenvolupament del CSIC, IQS...) com les noves institucions (Universitat Autònoma de Barcelona, Universitat de Girona, Universitat Rovira i Virgili, Parc Científic, Institut Català d'Investigació Química, etc.). L'IEC, amb molt bon encert, promou diferents estudis periòdics bibliomètrics i de dades estadístiques al voltant del desenvolupament de la recerca química. No crec convenient repetir aquí aquesta tasca que es pot consultar fàcilment. Només voldria indicar que la salut de l'activitat acadèmica em sembla molt reeixida i que una ressenya històrica dels últims vint anys s'haurà de fer amb una perspectiva més ampla, i millor quan els que encara estem a la palestra hàgim deixat de ser-hi protagonistes.

De totes maneres, al final d'aquesta ràpida visió del desenvolupament de la química a Catalunya, encara ens queda oberta, i per esbrinar, la paradoxa de com amb un feble bastiment acadèmic i investigador (sotmès a les regles administratives i centralistes del funcionariat, encara vigent després de trenta anys de democràcia) s'ha pogut arrelar una industrialització tan potent al voltant d'una branca concreta de la ciència... Potser perquè tot és química, com es deia en una magnífica exposició recent sota els auspicis de la Societat Catalana de Química, encara que també tot és física, i no trobem un paral·lelisme similar en aquesta ciència. Qui sap si tot es deu al fet que als catalans ens agrada més la rauxa de la química que el seny de la física.

# Les matemàtiques, motor del món

Manuel Castellet, IEC  
Director del Centre de Recerca Matemàtica

## Ciència, cultura, saber, estètica, matemàtiques

El mot *ciència* (*scientia*) s'ha utilitzat, en molts contextos, de manera equivalent al de *saber*, o *coneixement*, tal com indica l'origen llatí: SCIRE. D'una banda, la ciència és un coneixement fruit del descobriment; d'una altra, és un coneixement derivat de l'experimentació o del càlcul. En la majoria de les ciències, el nou espai que ens obre el coneixement, a través d'una nova eina matemàtica, conceptual, és enorme i, sovint, el científic no busca descobrir per a saber, sinó, com deia Alfred North Whitehead, més aviat busca saber per a descobrir.

La ciència moderna pot conformar el pensament de diverses maneres, que no sempre propicien un saber més integrador. *L'Hypotheses non fingo* que ens proposà Isaac Newton a final del segle XVII no conté totes les realitats i una visió exhaustiva i completa d'aquestes realitats, sinó que és una gàbia extraordinària, com ho demostra que mai en la història cap línia de pensament, cap mètode de treballar els conceptes, no havia conduït a una revolució tan important com la ciència moderna. Com molt bé digué Konrad Knopp en la sessió inaugural de curs de la Universitat de Tübingen l'any 1927, «la matemàtica és la base de tot el coneixement i el contenidor de tota l'alta cultura».

Ciència, cultura i estètica. La ciència i els científics tenen una relació particularment significativa amb la bellesa. D'una banda, el descobriment d'objectes propers o llunyans, petits o grans, ha inspirat nombrosos artistes plàstics que estimulen la nostra curiositat per a conèixer-los millor, és a dir, per a progressar en la ciència. D'altra banda, la reflexió científica en ella mateixa ha originat unes línies de pensament de valors estètics elevats, apreciats sovint només per aquells que capten el significat, més o menys esotèric, de l'elaboració i la comunicació científiques.

Tanmateix, aquest concepte d'estètica no està renyit amb el llenguatge de la racionalitat. Els grecs i els escolàstics medievals l'utilitzaren ja en llur preocupació constant per una cosmovisió sistemàtica i globalitzadora: afirmació o tesi, explicació del significat dels termes emprats, argumentació i discussió. En les matemàtiques, professionalment, cal utilitzar un llenguatge, una notació, diferent de l'ordinari, que és indispensable per a la bona intercomunicació (com passa en la música, per esmentar un exemple ben assimilat). És fàcilment comprensible que aquest fet porta, sovint, a dificultats de comunicació.

En aquest article, pretenem establir ponts sòlids de connexió entre ciència, cultura, estètica i comunicació, a partir d'una sèrie de fets històrics que han mogut el món i d'uns de ben actuals que el mouen ara, posant èmfasi en la realitat del nostre país al llarg de la història i, molt especialment, en aquests darrers cent anys d'existència de l'Institut d'Estudis Catalans.

És un fet palpable que les eines matemàtiques són uns éssers desconeguts per a una bona part de la població i que la visibilitat de les matemàtiques a la cultura és força feble. D'exemples no en falten: fa un parell d'anys, un mitjà televisiu explicava com trisecar (dividir en tres parts) geomètricament els angles, quan fa temps que es va demostrar que no hi pot haver cap mètode per a fer-ho; o a la pel·lícula titulada *Pi*, en un moment de la qual es mostren una sèrie de xifres decimals del nombre transcendent  $\pi$ , xifres que a partir de la novena eren errònies. És bastant impensable que això pugui passar en altres disciplines sense que el públic se n'adoni.

## Les matemàtiques, font de progrés

En aquest apartat, posaré uns pocs exemples de moments històrics, gairebé triats a l'atzar, en què les matemàtiques han exercit de veritable motor del món.

Al segle III abans de Crist, Arquimedes va inventar diverses màquines de guerra basades en palanques i politges que van dificultar enormement a l'exèrcit de Roma la conquesta de Grècia. «Doneu-me un punt de suport i mouré el món.» Amb aquesta frase anuncià la llei de la palanca. La llei de la palanca serveix de base a molts objectes quotidians, com ara les tenalles, les tisores, els obridors, els trencaous o les pinces. La diferència entre aquests rau en la situació del punt de suport.

Com podia navegar Cristòfor Colom sense cartes nàutiques, sense informació meteorològica i sense els moderns instruments de navegació dels quals disposem avui en dia? Ramon Llull fou l'autor del llibre *L'art de navegar*, que, escrit al segle XIII, fou un punt de referència fins ben entrat el segle XVI.

Al principi, els telescopis eren usats, únicament, amb finalitats comercials i militars. Encara que Galileu no va inventar el telescopi, va ser el primer a usar-lo, al segle XVI, per a estudiar el cel. Va observar els cràters de la Lluna, va descobrir els anells de Saturn, verificà les fases de Venus, i també va descobrir les quatre llunes de Júpiter.

La primera informació publicada sobre el càlcul diferencial i integral de Newton apareix indirectament en els famosos *Philosophiae naturalis principia mathematica*, del 1687. Aplica el seu mètode per a obtenir l'àrea compresa sota diverses corbes i per a resoldre nombrosos problemes que requereixen sumacions. Newton posà les bases i desenvolupà el càlcul diferencial i integral, que haurien d'ésser les eines sobre les quals es basaria la mecànica clàssica, fonament dels avenços científics i tecnològics durant més de dos-cents anys.

Bernhard Riemann, al segle XIX, va donar a conèixer una nova geometria. La utilització de l'espai multidimensional permeté simplificar la comprensió de les lleis de la natura. L'electricitat, el magnetisme i la gravetat no serien més que efectes causats per la distorsió de l'hiperespai. La força, segons Riemann, seria una conseqüència de la geometria de l'espai. Les idees de Riemann es van popularitzar: van arribar a Anglaterra i van penetrar en la literatura amb obres com *Alicia al país de les meravelles*, de Lewis Carroll, i *La màquina del temps*, de Herbert G. Wells. Però fou Albert Einstein qui, aplicant les idees de Riemann, va anunciar que la curvatura de l'espai està determinada per la quantitat de matèria i energia que conté i desenvolupà la teoria de la relativitat.

## La (minsa) presència catalana en aquest procés històric

Catalunya és un país petit en superfície i en nombre d'habitants que no havia tingut mai una forta tradició matemàtica, ben diferent de la situació actual. Els exemples següents són pràcticament els únics fins ben entrat el segle XX.

Gerbert d'Orlhac, un monjo dels Pirineus catalans que l'any 1000 era ben conegut com a papa Silvestre II, estudià al segle X el quadríviem d'una manera profunda, i va renovar els sistemes de càlcul en l'àmbit europeu dos segles abans que Fibonacci, construint un àbac original.

El mallorquí Ramon Llull, un dels escriptors més importants en llengua catalana del segle XIII, comprenia ja l'esfericitat de la Terra i escrivia l'*Ars combinatoria* i l'*Art de navegar*, en el qual descriu l'astrolabi i s'esmenta l'ús de l'agulla magnètica, entre altres coneixements. Alexander von Humboldt afirmava, ara fa més de cent anys, que aquests progressos de la

ciència es van transmetre a la resta del món civilitzat des de Catalunya a través dels altres pobles de la Mediterrània.

Abraham Cresques, també mallorquí, dibuixà l'any 1375 el mapamundi anomenat *Atlas català*, que fa una representació del món conegut aleshores i que fou fonamental per als navegants i viatgers de l'època.

El segon llibre de matemàtiques que es va imprimir a Europa (després de l'aritmètica anònima de Treviso) és la *Summa de l'art d'aritmètica*, de Francesc Santcliment, un llibre imprès en llengua catalana, l'any 1482, la traducció al castellà del qual fou la primera impressió a Espanya d'un llibre de matemàtiques.

El valencià Josep Chaix, autor de treballs de càlcul diferencial i integral, dugué a terme amb Pierre Méchain, l'any 1793, els càlculs per a mesurar l'arc de meridià entre els Pirineus i Barcelona.

Fins als anys setanta del segle passat, podem esmentar encara tres noms: Lluís Santaló, nascut a Girona i emigrat a l'Argentina, pioner de la geometria integral, l'estereologia i les probabilitats geomètriques; Frederic Alicart, castellanenc, depurat després de la guerra espanyola, que als anys seixanta escriví el primer manual d'ús dels ordinadors per als càlculs dels enginyers de camins, i Ferran Sunyer, físicament disminuït, possiblement el millor matemàtic a Catalunya a la meitat del segle XX, que treballà en anàlisi matemàtica i en honor del qual l'Institut d'Estudis Catalans, a través de la Fundació Ferran Sunyer i Balaguer, atorga anualment un premi internacional a una monografia que recopilï i exposi els avenços més recents en una àrea activa de les matemàtiques.

## Les matemàtiques, motor del món.

### Exemple 1: la teoria de nusos

L'any 1991, en el marc de l'Olimpíada Cultural, l'escultor britànic John Robinson presentava la seva darrera obra *Creation* en el Symposium on the Current State and Prospects of Mathematics, organitzat pel Centre de Recerca Matemàtica, un congrés en què assistiren sis matemàtics guardonats amb la medalla Fields, que analitzaren l'estat de la recerca en matemàtiques i les línies de futur.

*Creation* és una escultura de bronze, representació tridimensional d'allò que es coneix com *els anells de Borromeu*, tres cercles (o quadrats), dos dels quals no s'enllacen mai, però que formen una figura indesmuntable. Per a dissenyar-la, l'escultor es va inspirar en l'activitat del Centre de Recerca Matemàtica en el camp de la topologia, incrementant així la sèrie de figures amb motivacions geomètriques i, molt especialment, de la teoria de nusos, un dels exponents més importants de la qual és *Bonds of Friendship*, un bronze de 160 cm × 100 cm descobert a Sydney, l'any 1981, per la reina Isabel II d'Anglaterra.

Encara que els anells de Borromeu apareixen d'una manera clara i sistemàtica a Itàlia a partir del segle XIV, una figura de tres triangles entrelaçats ja fou utilitzada pels escandinaus al segle IX a Oseberg com un símbol associat al déu Odin, i una de tres anelles, al temple japonès de la religió xintoista O-Miwa Jinja al segle XII, que representen les tres terres: la dels déus, la dels homes i la dels morts.

El nom dels anells, associat a la família Borromeu, arrenca a la ciutat estat de Cremona, una moneda de la qual ja els inclou; Francesco Sforza adopta els anells en el seu escut i els concedeix a la família Borromeu com a agraïment quan, l'any 1450, esdevé duc de Milà. A partir d'aquest moment, els anells són representats en documents i edificis, entre els quals hi ha la tomba de Michelangelo, on simbolitzen els seus tres oficis: escultura, pintura i arquitectura. També l'Església els adoptà com a símbol de la Trinitat: Pare, Fill i Esperit Sant.

Però, des d'un punt de vista matemàtic, els anells de Borromeu constitueixen allò que s'anomena un *enllaç*, una estructura emanada de la teoria de nusos amb aplicacions interessants a la física teòrica i a la bioquímica.

Des d'un punt de vista topològic, un nus és una immersió d'una circumferència en l'espai tridimensional i dos nusos es consideren equivalents si es poden deformar isotòpicament l'un en l'altre. La unió d'un o més nusos s'anomena *enllaç*. Els anells de Borromeu constitueixen, doncs, un enllaç. Encara que la gent parli del nus de les sabates, aquests nusos es poden desfer per una deformació i, per tant, topològicament parlant no són considerats nusos. A part de la mateixa circumferència, el nus més simple és el trèvol, que només té tres encreuaments (el mínim possible).

El desenvolupament de la teoria de nusos al tombant dels segles XIX i XX està íntimament lligat al de la química. Les primeres idees sobre la teoria atòmica dels elements són de William Thomson, conegut més com a *Lord Kelvin*, que afirmava que els àtoms eren anells de vòrtexs en l'èter, anells que es nuaven i s'enllaçaven de diferents maneres creant els diversos elements. Intentant establir una taula periòdica dels elements, el seu deixeble Peter Tait no ho va aconseguir, però va classificar topològicament els nusos.

A partir d'aleshores i durant tot el segle XX, la teoria de nusos es desenvolupa com una branca pròpia de la topologia, estretament vinculada a l'estudi de les varietats de dimensió tres, un cop ja ben conegudes i classificades les de dimensió dos, és a dir, les superfícies. Esdevé un lligam perfecte entre la topologia, la geometria i l'àlgebra, com una eina per a atacar alguns dels problemes que es resisteixen més als matemàtics, vinculats a les varietats de dimensió tres i quatre.

Però la vinculació a la química no es perdé mai del tot, una relació que s'estén també a la biologia molecular. Químics i biòlegs estan interessats en nusos i enllaços per a poder sintetitzar nous tipus de molècules amb propietats específiques, com ara que siguin suficientment grans per a perdre la rigidesa característica de les molècules petites. Així, l'any 1989 C. Dietrich-Buchecker i J.-P. Sauvage van sintetitzar, per primera vegada, un nus molecular format per cent

vint-i-quatre àtoms amb la forma del nus trèvol, un resultat que es perseguia des de feia més de trenta anys. I C. Liang i K. Mislov, els anys 1994 i 1995, van descobrir que els nusos i els enllaços apareixen, de manera natural, en les proteïnes, resultats que han portat els biòlegs moleculars a trobar ADN nuats i enllaçats a la natura i que poden ésser manipulats al laboratori.

No fou fins fa pocs anys que químics, farmacèutics i biòlegs moleculars descobrien la importància de conèixer la quiralitat de les molècules, és a dir, si la imatge especular de la molècula coincideix amb ella mateixa (aquiral), o, com si fossin dues mans, no hi coincideix (quiral). Recordem el famós cas de la talidomida, que va suavitzar el mareig de tantes embarrassades als anys seixanta, però també va produir defectes horribles a molts nadons, ja que, en tractar-se d'una molècula quiral, el comportament era totalment diferent si actuava la molècula levogira o la dextrogira. La indústria farmacèutica es va revolucionar amb aquest descobriment. La quiralitat de les molècules sintetitzades a partir d'enllaços es pot determinar en termes de les propietats geomètriques i topològiques de l'enllaç, una nova aportació de la teoria de nusos a la biologia molecular.

Un bell exemple de ciència, cultura, estètica, matemàtiques i vinculació al món real.

## Les matemàtiques, motor del món. Exemple 2: codificació i criptografia

Criptografia i teoria de codis són dues especialitats pròpies de la teoria de la informació i de la comunicació, una àrea de les matemàtiques desenvolupada a la segona meitat del segle passat. El naixement de la teoria de codis està íntimament lligat a les necessitats sorgides en el món digital, i la criptologia, els orígens de la qual es perden en el temps, no havia adquirit rang d'especialitat científica fins molt recentment.

En la transmissió d'informació hi ha quatre conceptes fonamentals:

- Un grau alt de fiabilitat: assegurar que el missatge no es pot alterar per error.
- Un grau alt de confidencialitat: el missatge només ha de poder ésser entès pel destinatari.
- Un grau alt d'autenticitat: evitar la suplantació de la personalitat.
- Un grau alt de no-repudiació: el remitent no ha de poder negar que l'ha enviat.

### Els codis correctors d'errors

El primer concepte esmentat, la fiabilitat, forma part de la teoria de codis. S'introdueixen els anomenats *codis correctors d'errors*, desenvolupats a partir de l'any 1946 pel matemàtic



Richard W. Hamming. Un exemple senzill és el que s'utilitza en el document nacional d'identitat (DNI), introduint-hi la lletra final que defineix el número d'identificació fiscal (NIF). La lletra pertany a un alfabet reduït de vint-i-tres caràcters, i s'obté calculant la resta de dividir el número del DNI per vint-i-tres i aplicant la correspondència següent:

0 = T	4 = G	8 = P	12 = N	16 = Q	20 = C
1 = R	5 = M	9 = D	13 = J	17 = V	21 = K
2 = W	6 = Y	10 = X	14 = Z	18 = H	22 = E
3 = A	7 = F	11 = B	15 = S	19 = L	

La lletra del NIF, en ésser redundant, proporciona un símbol de control; és un codi corrector d'errors.

Alguns codis correctors d'errors més sofisticats, introduïts, entre altres, per R. Hamming, M. Golay, I. S. Reed, D. E. Muller, R. C. Bose, D. K. Ray-Chaudhuri i A. Hocquenghem, han estat utilitzats per la sonda espacial *Voyager* per a transmetre en color les fotografies de Júpiter i de Saturn, pel *Mariner 9* per a transmetre fotografies en blanc i negre des de Mart, o per l'empresa Philips en introduir el *Compact Disc Digital Audio System*. Els darrers es basen en la teoria dels cossos finits, un camp que combina l'àlgebra i la teoria de nombres.

També trobem exemples d'aplicació de la teoria dels codis correctors d'errors en la biologia. Tota la informació necessària per a la gènesi i el desenvolupament de la vida d'un organisme es troba en la seqüència de bases de les llargues cadenes de l'ADN, codificades segons els quatre àcids nucleics: A = adenina, T = timina, C = citosina i G = guanina. Un text format per paraules amb aquestes quatre lletres constitueix la informació genètica de cada organisme viu. L'existència del codi genètic, conjecturada l'any 1944 pel físic austríac Erwin Schrödinger, fou demostrada l'any 1953 per James Watson i Francis Crick.

En el procés complex de duplicació de l'ADN, hi té un paper essencial l'enzim ADN-polimerasa, l'activitat del qual és interpretada com un mecanisme de correcció d'errors, que encara comet un error d'aparellament de les bases d'un u per deu milions de bases. Entra, aleshores, en acció una maquinària enzimàtica que corregeix els errors comesos i dona la increïble fiabilitat d'u per cada deu mil milions de bases.

## Criptologia = criptografia + criptoanàlisi

La criptografia és la ciència que s'encarrega del disseny d'escriptures secretes, mentre que la criptoanàlisi és la ciència que estudia els procediments per a descobrir els secrets d'aquests sistemes d'escriptura. L'una la desenvolupa el «missatger», l'altra, l'«espia». La criptologia, que neix com a ciència a mitjan segle XX, engloba ambdues disciplines.

La *taula d'Esagil*, del segle VIII aC, utilitzada en l'endevinació, és probablement el primer document encriptat de què disposem, però, fins a èpoques relativament recents, l'ús de la criptografia es reduïa a l'àmbit militar i a l'espionatge. Ara bé, sempre que algú ha encriptat, d'altres s'han dedicat a descriptar.

No falten a la història exemples prou curiosos, com el fet que la decapitació de Maria I d'Escòcia fou, en bona part, deguda al fet que un lingüista va descobrir el contingut dels textos xifrats que enviaven uns conspiradors catòlics. O que l'endemà de l'estrena d'una òpera de Verdi, els carrers eren plens de pintades que deien «Viva Verdi»; aquí s'utilitzava *Verdi* com acrònim de Vittorio Emanuele, Re D'Italia (el candidat a ocupar el tron a la futura monarquia italiana). O que l'any 1917 els serveis d'intel·ligència britànics van desxifrar el telegrama Zimmermann, enviat des d'Alemanya al seu ambaixador a Mèxic, en el qual es negociava l'entrada de Mèxic a la guerra, a favor dels alemanys, a canvi dels estats nord-americans de Texas, Nou Mèxic i Arizona. Això va propiciar l'entrada a la guerra dels EUA i la derrota d'Alemanya.

Però, des de fa uns quaranta anys els missatges codificats s'han estès a tots els àmbits de la vida. L'any 1970, en un dels darrers discos de The Beatles, *Sgt. Pepper's Lonely Hearts Club Band*, s'hi incloïa la cançó *Lucy in the Sky with Diamonds*, una apologia de la droga al·lucinògena LSD («Cellophane flowers of yellow and green towering over your head [...]. Everyone smiles as you drift past the flowers that grow so incredibly high [...]). Els missatges SMS, la televisió digital o Internet són tres casos de comunicació entre individus o entre empreses i individus en els quals hi ha una «central» operadora. El missatge (enviat per una persona o per una televisió) es codifica (amb 0 i 1), passa per la «central» (que coneix el codi de l'emissor), el descodifica i el torna a codificar amb el codi del receptor. Els missatges han d'ésser prou distorsionats perquè no puguin ésser entesos per cap persona no autoritzada.

La confidencialitat és fonamental en el procés d'enciptació. Suposem que els alumnes d'una classe de tercer curs d'ESO volen comunicar als companys de classe el missatge següent sense que el professor se n'assabenti: «Demà farem campana i anirem a esquiar.» Inventen aleshores un «llenguatge» secret:

- La primera lletra (*d*) la canvien per la lletra de l'alfabet que és cinc llocs més endavant (*i*).
- La segona lletra (*e*) la canvien per la lletra de l'alfabet que és set llocs més endavant (*l*).
- La tercera lletra la canvien, un altre cop, per la que és cinc llocs més endavant, la quarta lletra per la que és set llocs més endavant, etc.

El missatge que enviaran serà: «ilrh khwlr jftwhsh n hspwlr h jzvbnhw, 35». Només qui conegui el significat de 35 (= 5 × 7) podrà desxifrar el missatge. Amb el 5 i el 7 és possible que algú (el professor de matemàtiques?), amb poc temps, desxifrés el missatge

i, de ben segur, que es quedarien sense anar a esquiar, però si en comptes d'haver fet servir el 5 i 7, que multiplicats donen 35, haguessin utilitzat el 102.197 i el 104.729, també primers, que multiplicats donen 10.702.989.613, el professor, amb l'ajut dels ordinadors actuals, hauria trigat dos dies a desxifrar la clau, i els alumnes ja haurien tornat d'esquiar. Aquesta segona clau donava un grau molt més elevat de confidencialitat que la primera.

## Alguns mètodes clàssics per a encriptar

— *Per permutació*: permutant les lletres del text.

Text clar: QUEDEM A LA CABANA DEL LLAC A MITJANIT  
 Q E E A A A A A E L A A I J N T  
 U D M L C B N D L L C M T A I

Text xifrat: QEEAAAAWLAAIJNTUDMLCBNDLLCMTAI

— *Per substitució*: substituint unes lletres per unes altres (com en el missatge per a anar a esquiar). Ja utilitzat per Juli Cèsar. És una funció del tipus  $f(x) = x + n$ . En el cas del missatge per a anar a esquiar era  $f(x) = x + 5$ , si  $x$  ocupa un lloc senar, i  $f(x) = x + 7$ , si  $x$  ocupa un lloc parell.

— *Per blocs*: dividint el text en blocs de  $n$  lletres (per exemple, 5), reordenant els nombres de l'1 al  $n$  (per exemple, 3, 1, 5, 2, 4) i permutant les lletres de cada bloc.

Text clar: QUEDEM A LA CABANA DEL LLAC A MITJANIT  
 QUEDE MALAC ABANA DELLL ACAMI TJANI T  
 UQEUD LMCAA AAABN LDLEL AAICM ATIJN T

Text xifrat: UQEUDLMCAAAAABNLDLELAAICMATIJNT

— *Per caixes*: una barreja del mètode per blocs i els altres. Utilitzat per l'Exèrcit espanyol fins a la dècada dels setanta. Com a anècdota curiosa, és bo saber que al segle XVI els governs europeus reclutaven matemàtics per desxifrar els missatges dels seus enemics. França havia contractat François Viète, que desxifrava tots els missatges enviats per Espanya. Felip II va voler que el papa Gregori XIII el jutgés per «activitats satàniques», però resultava que el Vaticà també interceptava els missatges dels espanyols!

— *Un codi molt modern: el codi ASCII*. És el que fan servir tots els ordinadors: 256 codis de 8 xifres (només 0 i 1), que codifiquen tots els caràcters possibles (majúscules, minúscules, punts, interrogants, lletres amb accents, espais en blanc, etc.). Cada ordinador codifica, primer, i descodifica, després. És utilitzat, doncs, per les màquines per a connectar el seu interior amb els perifèrics.

## Exemples d'eines elementals de criptoanàlisi

La criptoanàlisi és, com hem dit, la part de la criptologia que s'encarrega de desenvolupar mètodes per a desxifrar els missatges encriptats. Clàssicament l'estructura de la llengua en què se suposava xifrat el missatge hi ha tingut un rol important. Vegem-ho.

— *La freqüència d'ús de les lletres*: en un text en català, la *e* surt estadísticament un 13,89 % de vegades; la *a*, un 12,55 %; la *s*, un 8,43 %; la *r*, un 7,74 %, etc. Es pot estudiar amb quina freqüència surten les diferents lletres en un text encriptat. Si una lletra surt més d'un 10 % de vegades, probablement representarà, en el text original, la *e* o la *a*, etc.

— *Les característiques de la llengua*: en català, la *q* sempre va seguida d'una *u* o d'una *ü*. Si en el text encriptat hi ha dos signes que apareixen seguits amb molta freqüència, representaran una *q* i una *u* (o una *ü*), molt probablement.

## La criptologia moderna

La matematització de la criptologia és el fet fonamental que li permet ésser considerada una disciplina científica. Aquest canvi s'inicia amb els treballs de Claude E. Shannon de l'any 1948, i el gran avenç que s'ha produït en la criptologia en les darreres dècades es deu essencialment a l'existència d'ordinadors amb una potència de càlcul cada cop més gran i a la generalització de les comunicacions i altres transaccions telemàtiques que han fet necessari l'ús de la criptografia per a un nombre cada cop més gran d'usuaris.

La teoria desenvolupada per Shannon, dita *de la màquina del secret perfecte* (encara que no és realment perfecta), es basa en funcions del tipus  $f(x) = ax + b \pmod{n}$ ; és a dir, utilitza l'aritmètica modular. Es basa en la idea de la seguretat limitada: tot missatge s'acabarà desxifrant, però cal que l'«espia» trigui prou temps fins que el missatge ja no tingui interès. Els mètodes utilitzats en aquest procés es basaven en la descomposició factorial de  $n$ ; si  $n$  és prou gran, el temps necessari per al càlcul d'aquesta factorització serà molt gran i, quan s'hagi descriptat el missatge, ja serà massa tard. És a partir d'aquí que la teoria de nombres esdevé, a la dècada dels setanta, la disciplina algebraica clau per a la criptologia. Però, de mica en mica, àrees de les matemàtiques que clàssicament es consideraven poc aplicables són utilitzades com una peça clau en avenços tecnològics importants: la teoria de cossos, la teoria de grafs, la combinatòria, les geometries finites, la geometria algebraica, el tractament d'imatges, les corbes el·líptiques o, més recentment, la teoria de grups.

El panorama de la criptologia va canviar radicalment a partir de l'any 1976, quan Whitfield Diffie i Martin E. Hellman van inventar els sistemes criptogràfics de clau pública, en què la clau consta ara de dues parts: la direcció del receptor del missatge, que és pú-

blica, i una part privada, que només coneix ell. Els criptosistemes de clau pública permeten transmetre missatges de manera confidencial, autenticar-los (signatures digitals), intercanviar claus, compartir secrets. S'utilitzen funcions que són calculables de manera eficient, però no ho són les seves inverses, ja que no es coneixen algorismes eficients (és a dir, en un temps polinomial en el nombre de bits de l'*input*) per a calcular-les.

La criptografia de clau pública i els esquemes per a compartir secrets són els dos components per a avançar en l'elaboració de protocols criptogràfics distribuïts, com són els casos de la televisió de pagament, l'ús de les targetes de crèdit o les votacions electròniques. La potència matemàtica necessària per a desenvolupar aquests protocols és impressionant, i aquí és on entren en joc els avenços més recents en algunes àrees que abans he esmentat.

## El rol de l'Institut d'Estudis Catalans en aquests avenços (i en d'altres)

Quan l'Institut d'Estudis Catalans creà la Secció de Ciències, l'any 1911, l'objectiu fonamental era dotar el nostre país d'un entorn científic comparable al que en aquells moments s'estava establint a Europa: França, Alemanya, Itàlia i la Gran Bretanya, essencialment. Sense menystenir el gran rol dut a terme per al desenvolupament de la geologia, la botànica, la biologia o la medicina, em limitaré a parlar de les matemàtiques.

Ben aviat es deixaren veure les iniciatives capdavanteres d'alguns dels membres científics de l'Institut, que, en el camp de les matemàtiques, durant els anys vint del segle passat, liderà Esteve Terradas, en particular amb la col·lecció «Cursos de Física i Matemàtica», que permeté que els nostres científics tinguessin contacte i aprenguessin de personalitats com Jacques Hadamard, Francesco Severi, Tullio Levi-Civita, Hermann Weyl o el mateix Albert Einstein. Només les dues dictadures que havíem de patir pogueren estroncar aquesta prometedora renaixença.

L'any 1932 l'Institut creà la Societat Catalana de Ciències Físiques, Químiques i Matemàtiques, a partir de la qual, en subdividir-se en especialitats, sorgí la Societat Catalana de Matemàtiques (SCM) l'any 1986. És obligat parlar de tres períodes d'aquesta societat:

— 1978-1982. La societat passa de 16 a 400 associats, estableix convenis de reciprocitat amb quatre societats: l'americana, l'alemanya, la suïssa i l'espanyola, inicia la publicació d'un butlletí i organitza dos congressos d'alt contingut: les VI Jornades Matemàtiques Hispano-Lusitanes i *L'ensenyament de les matemàtiques i la formació del professorat*.

— 1995-2002. La societat passa de 400 a 900 associats, s'inicien les proves Cangur per als alumnes d'ensenyament secundari, s'intensifica la presència internacional amb membres de la SCM en el Consell Executiu de la Societat Matemàtica Europea i s'organitza el 3r Congrés Europeu de Matemàtiques.

— 2002-2006. El Cangur s'estén a totes les terres de parla catalana, amb divuit mil participants de 500 centres escolars; s'inicia ESTALMAT, un programa per a detectar i estimular el talent matemàtic; es digitalitza el *Butlletí*, i s'aprofundeix en la presència internacional de la societat.

Però, deixem el passat, i per a enfocar i analitzar el present, i sobretot el futur, permetin-me que citi unes frases de Josep Faulí arran d'unes disputades eleccions presidencials a l'Institut. Deia Faulí: «Les velles fórmules no serveixen, la lleialtat profunda de l'IEC no pot ésser la de fer el que feia el 1907, sinó d'aplicar els dissenys fundacionals a la realitat d'un segle després. Per a fer-ho, cal pensar menys en mèrits que en serveis i, sobretot, molt menys en la història que en l'actualitat i el futur.» Aquesta idea, junt amb la de Michel Foucault a *Les mots et les choses*, quan afirma que «és sempre sobre un fons de coses ja encetades que l'home ha de pensar allò que per a ell vol com a punt de partida», facilitaren que l'any 1984 l'IEC creés el Centre de Recerca Matemàtica (CRM), un institut de recerca concebut per a la millora qualitativa i quantitativa de la recerca matemàtica al nostre país.

Es reprenia així la idea d'Esteve Terradas, però amb una concepció moderna, actual, que ja havia començat a donar fruits en uns pocs països d'aquests que nosaltres prenem sempre com a imatge. I novament prenen valor els dissenys fundacionals d'Enric Prat de la Riba en crear l'Institut, ara fa exactament cent anys, els criteris d'«exigència científica, catalanitat i obertura a l'exterior».

Durant aquests pocs més de vint anys d'existència del CRM, hi han treballat més de mil cent investigadors de seixanta països d'arreu, han rebut formació postdoctoral setanta-sis joves investigadors de vint-i-sis països, han estat organitzats un centenar de congressos, tallers i cursos avançats d'àmbit internacional, i l'editorial suïssa Birkhäuser Verlag ha posat al mercat la sèrie «Advanced Courses in Mathematics CRM Barcelona», de la qual ja s'han publicat onze volums. Totes aquestes activitats han estat promogudes i coordinades per matemàtics de les universitats catalanes.

Si les matemàtiques són un dels motors del món, podem dir que el CRM ha estat un dels motors de les matemàtiques a Catalunya, amb iniciatives innovadores que només una estructura àgil i flexible pot dur a terme. Aquesta estructura li ha permès situar-se com un dels centres més prestigiosos d'Europa, l'únic de l'Estat espanyol, que coordina actualment el projecte europeu Shaping New Directions in Mathematics for Science and Society (MATHFSS), una acció coordinadora del programa New and Emerging Science and Technology, en el qual participen tres instituts europeus de prestigi més.

MATHFSS és una acció impulsora de recerca matemàtica en àrees innovadores, amb aplicabilitat a quatre àmbits ben diferenciats: la biologia de sistemes, l'estimació de risc, la neurociència i la seguretat de continguts digitals, dos dels quals estan ben vinculats als dos casos triats en aquest article per a exemplificar el rol de les matemàtiques en el món.

Reprement Prat de la Riba, l'«excel·lència científica» ha estat un dels *leitmotiv* del CRM, que li ha permès enriquir la capacitat investigadora dels nostres matemàtics, «la catalanitat» ha estimulat i facilitat la plena integració d'investigadors forans al nostre país i la presència de matemàtics catalans arreu, i l'«obertura científica» ens ha permès ésser membres de prestigioses institucions internacionals com ERCOM (European Research Centres on Mathematics) o el selectiu EPDI (European Post-Doctoral Institute for Mathematical Sciences).

És cert que des de sempre hi ha hagut en algunes àrees de la ciència investigadors catalans coneguts internacionalment, i que en els darrers anys aquest reconeixement s'ha estès a moltes altres disciplines en les quals no teníem presència, com és el cas de les matemàtiques. Però una cosa és que individualment ja siguem coneguts i reconeguts i una altra de ben diferent és que ho sigui el país com a tal. Sense la primera no podríem aconseguir la segona, però aquest segon ha d'ésser un objectiu irrenunciable. L'Institut d'Estudis Catalans, en el camp de les matemàtiques, ha contribuït a fer que això sigui possible, mitjançant el CRM, que l'any 2002 es constituí en un consorci entre la Generalitat de Catalunya i l'IEC, amb personalitat jurídica pròpia, i al qual li fou atorgada la Placa Narcís Monturiol al mèrit científic i tecnològic.

## Bibliografia

- BAYER, Pilar; CASTELLET, Manuel. «Los números: de la simbología a la aplicabilidad». A: *La ciencia en tus manos*. Madrid: Espasa, 2000.
- CASTELLET, Manuel. *Opening Ceremony of the Third European Congress of Mathematics*. Barcelona: Institut d'Estudis Catalans, 2000.
- JUHER, David. *L'art de la comunicació secreta*. Barcelona: Llibres de l'Índex, 2004. (Descoberta; 35)
- MORILLO, Paz. «Protocols criptogràfics distribuïts, esquemes per a compartir secrets». A: *Les bases matemàtiques de la civilització tecnològica*. Sabadell: Fundació Caixa de Sabadell, 1999. (Aula de Ciència i Cultura; 10)





# LA MOBILITAT A CATALUNYA

13 de febrer de 2007



# La mobilitat a Catalunya.

## Presentació

Xavier Roselló, IEC  
Universitat Politècnica de Catalunya

### Introducció

Al darrer quart de segle s'ha produït un canvi de patrons: el transport metropolità no deixa de guanyar pes enfront de l'urbà i, com a conseqüència, augmenta la distància mitjana dels desplaçaments; els viatges per motius no obligats com el lleure i les compres creixen en volum, mentre que els desplaçaments per treball i estudi es mantenen. D'altra banda, els mitjans de transport públic reculen enfront dels privats.

A les ciutats catalanes, si més no a Barcelona, s'ha adquirit força consciència que l'automòbil no és el mitjà de transport idoni per a la majoria de desplaçaments interns a la ciutat. A més, l'oferta i qualitat del transport públic li permet de competir amb força èxit amb el privat. Les noves tendències en aquest terreny són més aviat les polítiques de restricció de places d'aparcament, adreçades sobretot als no-residents a la ciutat, i la promoció dels modes sostenibles, com la marxa a peu i la bicicleta.

La irrupció del fet metropolità és la causa del creixement d'aquesta mena de desplaçaments, superior a totes les altres. I per això és en aquest terreny on pot parlar-se amb més propietat de la insuficiència de l'oferta. Això és especialment crític per al transport públic, ja que ha de fer front tant

al creixement induït per l'evolució urbanística com al transvasament des del vehicle privat que es propugna per contribuir a la sostenibilitat i garantir el compliment dels acords de Kyoto.

Aquests són en essència els temes que van exposar els tres ponents. Però el debat que va seguir-los va ser especialment viu i va perllongar-se molt més enllà del temps previst. Per això hem volgut que el pròleg fos precisament una relació dels temes proposats pels assistents, i respostos pels ponents, ja que són representatius de les inquietuds d'aquells.

## Relació entre mobilitat i ordenació del territori

La mobilitat obligada, que és una part significativa, si no majoritària del total de la mobilitat, té l'inconvenient precisament de ser obligada per als treballadors i els estudiants. Per això, és crític que quan es parla de mobilitat es pensi tot seguit en l'ordenació del territori, que n'és la causa última.

En aquest tema, que ve de lluny, s'ha avançat molt els darrers temps. Així, la Llei d'urbanisme recull elements de mobilitat i la Llei de mobilitat recull elements d'urbanisme, i els tècnics de les dues disciplines estan disposats a compartir taula, vocabulari i estructures culturals.

Però cal tenir present que la mobilitat no és ni ha de ser el darrer criteri de decisió, ja que qui veu totes les facetes del problema és l'ordenació del territori, i és a aquesta, per tant, a qui s'ha de demanar que cossi les necessitats i els condicionants de la mobilitat.

D'altra banda, es constata que l'estructura dels mercats de l'habitatge i del treball són del tot diferents. Així, vora un 90 % de la població és propietària del seu habitatge amb hipoteques a llarg termini, la qual cosa lliga els propietaris a la seva propietat immobiliària, mentre que el mercat de treball és cada cop més flexible, volàtil i efímer. Per tant, és difícil de conjuminar les dues tendències i reduir els desplaçaments.

## La percepció de la mobilitat

Quan s'estudia i es vol preveure la mobilitat no tota la informació rellevant hauria de ser quantitativa. També hi intervenen diversos factors qualitius i, entre aquests, les opinions i percepcions del ciutadà. A tall d'exemple, un usuari pot preferir el transport públic al privat perquè pot llegir durant el viatge.

Moltes decisions individuals no són el resultat de decisions racionals i objectivables sinó de percepcions d'allò que l'usuari o el ciutadà sent com a òptim. Als professionals, doncs, els cal saber quines percepcions i quines valoracions hi ha darrere les decisions: les enquestes són un mitjà per a conèixer-les, ja que totes alhora fan la decisió.

El temps és un factor més del viatge i un dels principals ingredients del cost. En conseqüència, el temps modula la nostra vida urbana, i es valoren aquells desplaçaments que no

ens fan perdre temps, començant per la proximitat del lloc de treball i la residència. Paradoxalment, el mode de transport que ens fa perdre més poc temps són els viatges a peu.

Analitzant el cost del combustible i la seva evolució els darrers tres anys s'observa que el seu preu enfront del preu del temps és petit, i que l'usuari fàcilment està disposat a canviar litres de combustible per minuts del seu temps. En els estudis de mobilitat s'adopta actualment el valor de 8,70 €/h, però no pot perdre's de vista que aquesta xifra no deixa de ser una mitjana i en la realitat és molt variable d'una persona a l'altra.

Al límit, també podríem dir que la congestió no existeix, sinó que és una percepció de qui la pateix, ja que l'usuari només creu que s'hi troba quan esmerça més temps en el desplaçament que no tenia previst abans de fer-lo. Si ens fixem en els aspectes objectivables, algun cop s'ha dit que la congestió és bona perquè empeny els ciutadans cap al transport públic. Però aquesta observació només veu una part de la realitat, perquè ignora que al mateix temps contamina l'ambient i estressa els conductors. La solució per al conjunt de la societat és que pocs usuaris facin servir el cotxe, però que ho facin en bones condicions. Dit altrament, la solució rau a fer disminuir el recorregut total.

L'opinió i la percepció dels usuaris no sols es recull a través d'enquestes, sinó demanant l'opinió a experts i a representants de la societat civil. Per això, durant la redacció del Pla Director de Mobilitat de la Regió Metropolitana de Barcelona s'ha creat el Consell de la Mobilitat, per tal de conèixer quins problemes podien crear les mesures, i s'ha demanat el parer a municipis i comarques i, a més, s'han consultat seixanta-cinc tècnics independents.

## **Els nous elements socials que introdueixen incertesa en el transport**

La immigració massiva no comunitària que arriba al nostre país representa un nou factor de proletarització que ha de tenir incidència en la mobilitat. Tanmateix, les dades d'altres llocs europeus amb una experiència més llarga en matèria d'immigració indiquen que els immigrants, a mesura que s'integren, acaben adoptant les pautes de funcionament dels autòctons.

En canvi, un nou segment que guanya pes relatiu en la societat és el de la gent gran, i no tan sols aquells que ultrapassen de poc els seixanta-cinc anys, sinó sobretot els qui en tenen vuitanta i més. A aquesta edat disminueix la mobilitat, però també la capacitat d'adaptar-se i això obliga a adaptar el transport públic per a ells, que, a més, sovint ja no poden conduir.

## **La incidència de l'evolució tecnològica**

L'evolució tecnològica del transport ha influït en la mobilitat. En els darrers quaranta anys la dona ha irromput en el mercat del treball, i n'ha modificat les pautes de mobilitat. Però,

a més, ha sorgit el teletreball gràcies a Internet. D'aquí a poc temps ja se'n poden notar les conseqüències. Però quines poden ser?

A hores d'ara només sabem que és un gran interrogant amb molt poques respostes. Les xarxes ens modificaran la mobilitat, però no sabem com. Però no és segur que la redueixin. Estar connectat a la Xarxa incita a sortir de casa. Quan es va inventar el telèfon es creia que reduiria la mobilitat i no va ser així, sinó que a través del telèfon se'ns invita a sortir. A més, ara el duem al damunt, decidim els moviments a mesura que intercanviem informació pel telèfon mòbil, i no necessàriament per estalviar-nos el desplaçament.

Se sol relacionar el teletreball amb els desplaçaments de persones, però no es pensa en l'increment que pot suposar en el repartiment de mercaderies, prèviament encomanades per alguna via telemàtica. L'objectiu darrer no és reduir la mobilitat en general, sinó tan sols els desplaçaments no sostenibles.

## El paper de l'automòbil a la ciutat

A les aglomeracions urbanes es pretén reduir l'ús de l'automòbil, però no suprimir-lo del tot. Es preveu que alguns carrers s'especialitzin, de manera que ells sols, que representen un 20 % de la xarxa viària, suportin el 80 % del trànsit. En termes generals, seria un carrer de cada tres en una malla com l'eixample Cerdà.

Els aparcaments de dissuasió han mostrat la seva efectivitat a l'hora de reduir el trànsit cap a Barcelona, sempre que se situïn al costat d'una estació de rodalies. Però el model no és traslladable a les estacions de metro a les entrades de la ciutat, perquè en aquell moment el conductor ja ha recorregut la major part del seu trajecte i, per la proporció que en resta, s'aventura a entrar fins al centre. Així, a Barcelona, l'aparcament que va construir-se a la plaça de les Glòries no funciona bé perquè no és prou excèntric. La conclusió és, doncs, que l'aparcament ha de ser en un punt més proper al domicili.

Tot i que no es fomenta l'ús del cotxe, tampoc no pot pensar-se a prescindir-ne del tot, perquè no es poden fer tots els desplaçaments en transport públic. Per tant, no es considera cap contradicció amb aquesta política el fet d'anunciar als conductors que hi ha places lliures d'aparcament al centre. Hi ha una oferta estable de places, que es pretén gestionar tan bé com sigui possible; en canvi, no es volen augmentar les vies d'accés a la ciutat perquè Barcelona no admet més vehicles.

Pel que fa a la motocicleta, cal admetre que ocupa un espai inferior al cotxe, però no deixa de ser un vehicle perillós i contaminant.

Els hàbits d'utilització del mitjà de transport adient en cada ocasió han de ser fruit d'una educació que ha de començar de petit, com va fer-se temps enrere, amb la recollida selectiva.

# Projeccions de mobilitat del Pla Director de Mobilitat de la Regió Metropolitana de Barcelona

Lluís Alegre i Valls

Enginyer de camins, canals i ports

Cap del Servei de Mobilitat de l'Autoritat del Transport Metropolità

En primer lloc, vull expressar la meva més sincera felicitació a l'IEC pel seu centenari, a la vegada que vull agrair aquesta invitació a l'Autoritat del Transport Metropolità (ATM) per a explicar-vos la metodologia emprada dins el Pla Director de Mobilitat (PDM) de la Regió Metropolitana de Barcelona (RMB) per a calcular les projeccions de les variables de la mobilitat en els propers anys, els impactes socials i mediambientals que suposen i les estratègies a establir per a assolir una mobilitat que garanteixi l'accessibilitat als ciutadans i minimitzi els danys ambientals que genera.

En els darrers anys hem pogut veure que les coses canvien molt a poc a poc si segueixen el seu curs natural, i això que és cert per a la mobilitat i l'urbanisme avui en dia ja no ens ho podem permetre i, per tant, cal actuar per accelerar els canvis. Així ens vam preguntar si existia un paquet d'eines que ens ajudessin a forçar el canvi i com podíem simular-les per a valorar la seva efectivitat.

Cal tenir present en quin marc es realitza el PDM. A Catalunya, l'any 2003 es va aprovar la Llei de la mobilitat, que en el seu article primer deter-

mina el que ha de ser l'objectiu central de la política de mobilitat del nostre país, garantir a tots els ciutadans una accessibilitat amb mitjans sostenibles. La mateixa llei fixa el contingut dels plans directors de mobilitat, que són bàsicament:

1. Seguiment i gestió de la mobilitat de la zona.
2. Ordenació del trànsit interurbà d'automòbils.
3. Promoció dels transports públics col·lectius.
4. Foment de l'ús de la bicicleta i dels desplaçaments a peu.
5. Ordenació i explotació de la xarxa viària principal de la zona.
6. Organització de l'aparcament intrazonal.
7. Transport i distribució de mercaderies.

D'altra banda, la llei també fixa com a marc orientador per a la seva aplicació les Directrius Nacionals de la Mobilitat, que estableixen, d'una manera ja més concreta, els objectius per als propers anys, i els diferents camps de la mobilitat en els quals cal actuar, incorporant-hi un seguit d'indicadors que cal avaluar de cara a assolir una mobilitat sostenible i segura.

## Dades bàsiques de l'RMB

L'RMB té una superfície de 3.261 km<sup>2</sup>, 4,7 milions d'habitants l'any 2005 i una densitat de 1.468 habitants per km<sup>2</sup>. La seva xarxa d'infraestructures interurbana es compon de 2.127 km de carreteres i 668 km de via ferroviària.

Un fet característic de l'RMB és que més del 90 % de la seva mobilitat té origen i destí en ella mateixa, de manera que pot analitzar-se, diagnosticar-se i es poden decidir actuacions pel que fa a l'àmbit de la mobilitat, amb la certesa que actuem sobre el gros principal de les variables de la mobilitat.

La majoria de dades bàsiques d'aquesta ponència corresponen a valors de l'any 2004 i 2005, i s'han obtingut de fonts com ara l'enquesta de mobilitat en dia feiner (EMEF) que es realitza cada any, el butlletí *Transmet* de l'ATM, el graf SIMCAT de la Generalitat de Catalunya, però sobretot d'un seguit d'estudis instrumentals referents a tots els temes d'anàlisi de la mobilitat que requeria la confecció del PDM.

L'RMB inclou set comarques, que es mostren a la figura 1, el Barcelonès, el Baix Llobregat, el Garraf, l'Alt Penedès, el Vallès Occidental, el Vallès Oriental i el Maresme. Aquestes comarques són força diferents, i no hi trobem un comportament homogeni pel que fa a la mobilitat. A la figura 2 podeu veure el repartiment de la població a l'RMB, amb una gran concentració a l'entorn de la ciutat de Barcelona.

Si analitzem la densitat de població, podem veure, al mapa de la figura 3, la zona més fosca, amb forma de bota, que correspon al Barcelonès, al Baix Llobregat i a una part del





FIGURA 1. Comarques que conformen l'RMB.

Vallès Occidental, amb Barcelona amb el valor més alt de 18.000 habitants per km<sup>2</sup> i la resta de l'RMB amb valors molt inferiors, a l'entorn de 624 habitants per km<sup>2</sup>; aquestes diferències que, a més, es troben en molts altres indicadors obliguen a ser molt curiosos en l'aplicació dels resultats d'aquest treball. Tot i això, el pes de la ciutat de Barcelona dins de l'RMB no ha parat de disminuir els darrers anys perquè la població se'n va del pinyol central cap a la primera corona metropolitana inicialment, i darrerament cap a la segona corona metropolitana.

En el gràfic de la figura 4 podeu veure l'evolució de l'ocupació del sòl i de la densitat de l'RMB des de l'any 1956 fins al 2005 i podeu observar que els darrers anys s'està produint un alentiment de la dispersió en el territori.

Així mateix la distància mitjana recorreguda en un desplaçament per motiu de treball a l'RMB no ha parat de créixer, de manera que l'any 1981 la distància mitjana era de 4,5 km, i l'any 2004, de 6,7 km. Aquest valor té una gran importància, perquè, mentre que per a distàncies curtes tenim com a mitjans de transport a promoure amb més intensitat la marxa a peu i la bicicleta, a mesura que la distància s'allarga guanya presència el vehicle privat, i el mitjà amb què hem de donar resposta a aquesta mobilitat és el transport públic.

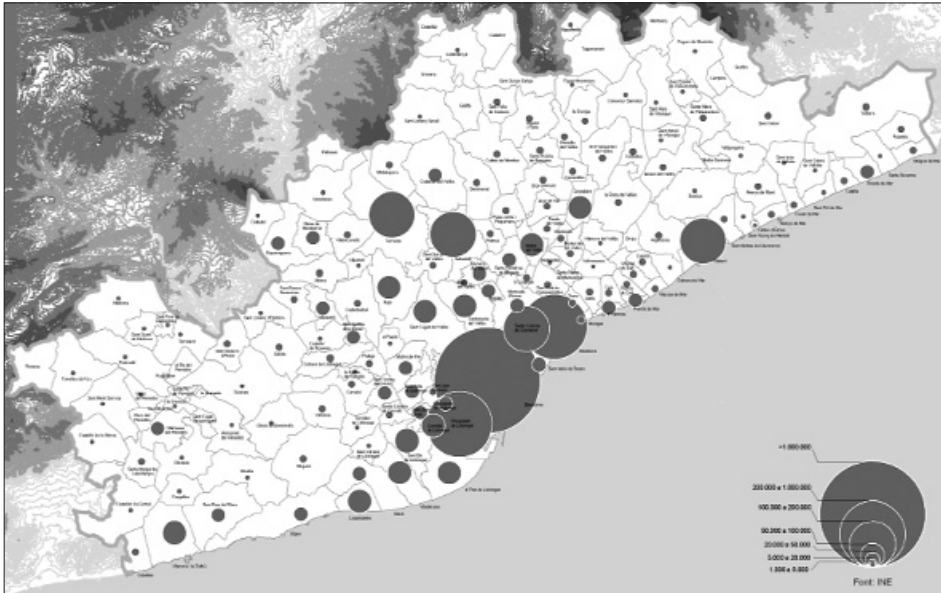


FIGURA 2. Distribució de població a l'RMB.

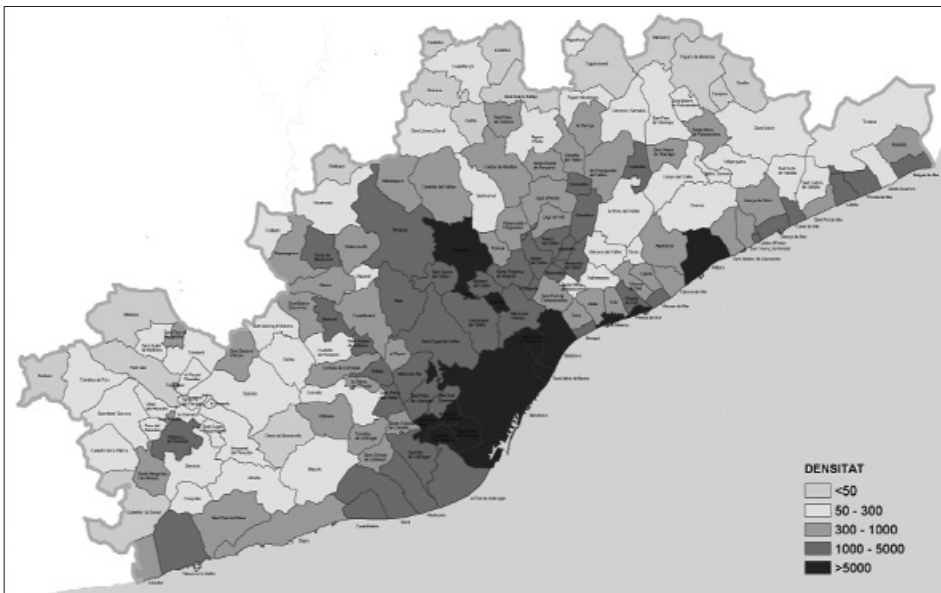


FIGURA 3. Densitat de població a l'RMB.

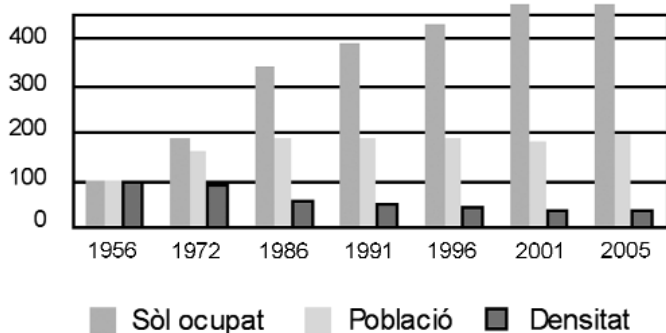


FIGURA 4. Evolució de l'ocupació del sòl i de la densitat de població (1956-2005).

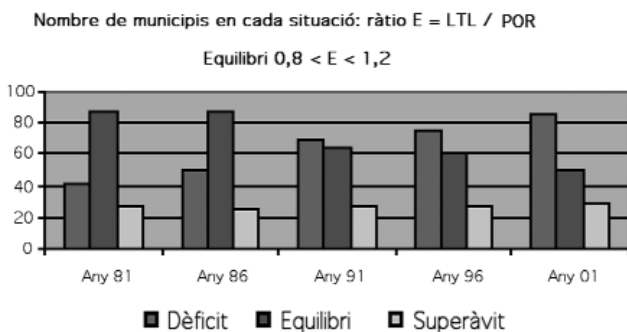


FIGURA 5. Evolució de l'equilibri LTL/POR.

Un altre element fonamental que afecta la mobilitat és l'evolució de la relació entre llocs de treball (LTL) i població ocupada resident (POR) d'un municipi. Entenem que un municipi és equilibrat si aquesta relació està entre 0,8 i 1,2. Podem veure en el gràfic de la figura 5 l'evolució cap al desequilibri dels municipis de l'RMB, entre l'any 1981 i el 2001. Tenim així un doble efecte de dispersió, de les ciutats cap als petits municipis, i alhora els llocs de treball s'allunyen d'on viu la gent.

Un altre valor, ara a escala comarcal, és l'autocontenció o percentatge de gent que es queda a treballar a la comarca on viu; al Barcelonès té el valor més alt, 90,3 %, mentre que al Baix Llobregat, el valor més baix, 73 %, i la resta de comarques es mouen a l'entorn del 80 %. Ara bé, el Barcelonès és excedentari en llocs de treball i genera una gran quantitat de viatges que explica la baixa autocontenció de la major part de les altres comarques.

Pel que fa a la mobilitat de passatgers, en la taula de la figura 6 podem veure de quina manera es mou la gent; pel que fa a la mobilitat obligada o ocupacional, el rei és el cotxe,

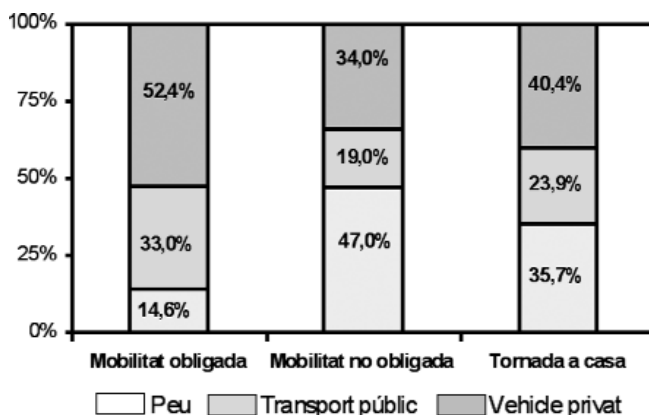


FIGURA 6.

amb un percentatge del 52,4 %; el transport públic, un 33 %, i els modes no motoritzats, un 14,6 %, mentre que en mobilitat no obligada, el cotxe disminueix fins al 34 %, el transport públic fins al 19 % i la marxa a peu i la bicicleta pugen fins al 47 %.

La mercaderia ja no va en tren, aquest és un fenomen que es dona a tot Europa; en aquest moment tan sols un 4 % de la mercaderia que es mou per l'RMB ho fa en transport ferroviari. També sabem que aquest valor pot millorar, perquè hi ha zones europees on és molt més alt, per sobre del 10 %.

Pel que fa als efectes externs de la mobilitat, en podem destacar l'accidentalitat, el canvi climàtic i la contaminació de l'aire.

Quant a l'accidentalitat, sabem que vam tenir 15.569 accidents amb víctimes a tota l'RMB; el que sorprèn és l'elevat nombre que es dona a les zones urbanes, 14.304. Ara bé, pel que fa al nombre de morts, n'hi ha més a les carreteres, 103, que a les poblacions, 82.

Quant al canvi climàtic, és sens dubte l'element que en aquest moment està més en la consciència de la gent. Les emissions de  $\text{CO}_2$  que causa el transport, l'any 2004, es xifren a l'RMB en 6,8 milions de tones i van creixent amb la mobilitat. Respecte al  $\text{CO}_2$  la millora del comportament dels vehicles que utilitzen combustibles fòssils no pot contrarestar l'increment de mobilitat.

Pel que fa als contaminants atmosfèrics, especialment òxids de nitrogen,  $\text{NO}_x$ , i partícules de grandària menor de deu micres,  $\text{PM}_{10}$ , el Departament de Medi Ambient i Habitatge de la Generalitat ha declarat zones de protecció especial, per aquests contaminants, quaranta municipis de l'RMB que ja estan en nivells per sobre dels límits admesos per les directives europees per a l'any 2005, i molt per sobre dels límits admesos per a l'any 2010. En aquest sentit, la millora que suposen els motors Euro 4 i Euro 5 sí que assoleixen reduccions que permeten albirar una reducció de les emissions d'aquests contaminants.

## Metodologia utilitzada per a fer les projeccions fins a l'any 2012

Les projeccions de població i llocs de treball s'han basat en les dades que ha elaborat l'equip que redacta el Pla Territorial de l'RMB i es troben en el treball *Evolució de la població i l'activitat econòmica a l'RMB*, realitzat per l'IET per a l'ATM i que podeu trobar íntegrament al web de l'ATM.

Les projeccions de mercaderies s'han elaborat a partir de l'estudi de la Cambra de Comerç de Barcelona *El transport per ferrocarril a Catalunya*, que incorpora ja la informació del creixement previsible del transport de mercaderies a l'RMB i també té en compte els nous projectes de transport de mercaderies en ferrocarril, com el que s'està duent a terme al port de Barcelona.

Pel que fa a les infraestructures s'han considerat les que ja estan aprovades i amb finançament, tant les viàries com les ferroviàries: les viàries, previstes en el Pla d'Infraestructures de Catalunya, PITC, les hem introduït en el model de simulació del trànsit interurbà i les ferroviàries, contingudes en el Pla Director d'Infraestructures (PDI), s'han tingut presents en les matrius per determinar els fluxos de viatges en mode ferroviari.

Per a comparar els escenaris, hem utilitzat quatre eines:

1. Una comparació agregada a partir dels costos totals i per modes del transport, seguint la metodologia de l'estudi de costos socials i ambientals del transport de la Generalitat de Catalunya de l'any 2002, però actualitzant-la amb determinats paràmetres i conceptes. Lògicament s'hi han tingut presents tots els costos, els interns i els externs. El resultat també el podeu trobar al web de l'ATM.

Aquell escenari que minimitzi els costos externs i els costos unitaris seria l'escenari escollit tenint present aquest criteri. Per a fer la comparació s'han actualitzat els valors a l'any 2004.

2. El creixement de les variables de mobilitat per a cadascun dels escenaris que s'estudii. Els valors de la mobilitat interurbana per carretera s'han obtingut del model de simulació SIMCAT, de la Generalitat de Catalunya, calibrat amb les dades per a l'any 2004, i les projeccions per als modes ferroviaris s'han obtingut del PDI.

Un dels resultats més interessants del treball és el graf de la xarxa viària obtingut pels diferents escenaris i els nivells de servei assolits en les diferents vies.

3. Una anàlisi d'impactes energètics i ambientals, consums de combustibles fòssils i emissions de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> i PM<sub>10</sub>. S'hi ha utilitzat el programa de càlcul europeu Cupert III amb algunes correccions per als vehicles dièsel del programa Tremove. Els factors d'emissió s'han obtingut de la base de dades CORINAIR.

Les emissions de CO<sub>2</sub> per a cada tipologia de vehicle es calculen amb les dades del parc i de mobilitat i aplicant el respectiu factor d'emissió, que alhora depèn del factor de consum

d'energia (ja calculat prèviament per a cada tipologia de vehicle i segons la mobilitat en cada xarxa) i, per tant, depèn de la velocitat.

Posat que la velocitat és molt diferent segons la via, s'ha dividit el càlcul de les emissions totals per tres tipus de xarxa: la urbana, la local i la bàsica. A aquestes tres emissions s'han afegit les degudes a la xarxa ferroviària:

$$E_{\text{totals}} = E_{\text{urbana}} + E_{\text{local}} + E_{\text{bàsica}} + E_{\text{ferro}}$$

Les emissions de cada tipologia de vehicle per xarxa urbana, local i bàsica s'obtenen amb l'expressió següent:

$$E_j = \sum Fe_{ijm} * N_i * D_{ij} \quad j = \text{urbà, local i bàsica} \\ i = \text{tipologia de vehicle}$$

En què:

Fe = factor d'emissió que és funció de la velocitat per a cada tipologia de vehicle i combustible (m), que en el cas del CO<sub>2</sub> depèn del factor de consum de combustible

N = nombre de vehicles

D = recorregut mitjà de cada vehicle (km)

Per als dos contaminants, NO<sub>x</sub> i PM<sub>10</sub>, les emissions de la mobilitat són una funció directa del factor d'emissió, però no del factor de consum.

D'altra banda, les emissions degudes a la mobilitat en ferrocarril s'han calculat a partir dels vehicles-quilòmetre i del consum d'energia elèctrica i del factor d'emissió del mix de generació d'energia elèctrica de Catalunya, que és diferent el 2004 que el 2012, segons les previsions del Pla de l'Energia.

Cal tenir present que els consums el 2004 els coneixem amb una molt bona aproximació i, per tant, podíem comprovar si el model, aplicat per a l'any 2004, ens calculava correctament els consums, utilitzant els valors de les variables de mobilitat que coneixíem.

Per a la xarxa viària s'han hagut de generar cinc simuladors, un per a cada nivell de servei de les carreteres, és a dir, per a les diferents velocitats mitjanes que es donen, perquè si es treballava amb la velocitat mitjana de tota la xarxa, s'obtenia un valor proper als 80 km/h, que és molt proper a l'òptim pel que fa a minimitzar les emissions, és a dir, s'esbiaixava el resultat cap al cantó de la minimització de les emissions.

4. A l'últim, de cara a tots els valors de la mobilitat s'ha creat una bateria d'indicadors, dels quals s'han escollit vint, denominats *nucli*, que també s'han tingut en compte en comparar els diferents escenaris.

Per exemple, s'ha analitzat la velocitat mitjana del transport públic interurbà de superfície, el percentatge d'usuaris dels modes no motoritzats.

## L'escenari tendencial

Per a poder afinar bé els càlculs, ha calgut fer una projecció del parc de vehicles, segons el tipus de motor, de combustible consumit, per antiguitat i tipologia de turisme, mercaderies lleugeres i pesants. Els resultats de la projecció per a l'escenari tendencial albiren un creixement del parc d'un 13 %. L'any 2004 hi havia tres milions de vehicles i es preveu per a l'any 2012 un parc de 3,4 milions de vehicles.

Pel que fa als quilòmetres recorreguts per mode, es mostren els resultats en la taula que segueix. Es preveu un creixement contingut per als viatgers per carretera, amb una taxa anual de l'1,14 %, però un creixement molt proper al 3 % per a les mercaderies per carretera. Els modes ferroviaris en tots dos casos creixen més que el mode carretera, però els valors absoluts de partida són molt inferiors i, en conseqüència, aquests increments no permeten dir que es produeix un canvi substancial en la mobilitat metropolitana.

Mode	2004	2012	Variació	Taxa anual
	Vehicles -km	Vehicles -km		
Transport viatgers carretera	16.137.859.515	17.669.309.283	9%	1,14%
Transport viatgers ferrocarril	172.149.000	211.402.306	23%	2,60%
	Tn - Km	Tn - Km		
Mercaderies carretera	23.390.876.915	29.262.341.290	25%	2,84%
Mercaderies ferrocarril	1.298.000.000	2.523.138.000	94%	8,66%

Les velocitats mitjanes per tipologia de xarxa i nivells de servei es mostren en el quadre següent:

Velocitat mitjana del trànsit per a cada nivell de servei (vehicles lleugers)				
	Nivell de Servei	2004	2012	Variació
4 o més carrils	<b>A B</b>	110,86	110,05	-0,81
	<b>C</b>	111,49	103,08	-8,41
	<b>D</b>	109,15	106,63	-2,52
	<b>E</b>	97,12	98,95	1,83
	<b>F</b>	34,31	31,54	-2,77
	Reste de vies	<b>A B</b>	51,30	49,65
<b>C</b>		54,91	49,90	-5,01
<b>D</b>		47,17	47,01	-0,17
<b>E</b>		51,71	44,86	-6,85
<b>F</b>		17,02	16,57	-0,44
Velocitat en àmbit urbà en km/h				
Autobusos urbans	Cotxes	Reste de vehicles		
13,31	19,5	19,5		

Cal destacar, pel que fa a les velocitats, que el nivell de servei F indica els vehicles/quilòmetre que es fan en congestió i a quina velocitat mitjana es fan. Aquest també és un element d'anàlisi, perquè l'escenari que amb unes mateixes infraestructures doni un nivell F amb menys vehicles/quilòmetre serà el que originarà el menor cost extern a causa de la congestió.

Pel que fa al repartiment modal, els resultats obtinguts es mostren en el quadre que segueix:

Mode	2004	2012	Variació	Taxa anual
	Viatger	Viatger		
<b>Autobús</b>	349.296.160	389.493.204	11,5%	1,37%
<b>Taxi</b>	89.408.120	89.408.120	0,0%	0,00%
<b>Vehicle privat</b>	1.299.075.960	1.456.840.000	12,1%	1,44%
<b>Total transport viatgers ferrocarril</b>	537.060.988	613.962.063	14,3%	1,69%
<b>Total transport viatgers modes mecànics RMB</b>	2.274.841.228	2.549.703.387	12,1%	1,44%
<b>Peu i bicicleta</b>	1.050.222.600	1.083.040.000	3,1%	0,39%
<b>Mobilitat total</b>	3.325.063.828	3.632.743.387	9,3%	1,11%

Es mostra que, pel que fa a passatgers, el vehicle privat i el transport públic creixen un valor semblant, prop del 12 %. Qui té un pitjor comportament és la marxa a peu i la bicicleta, que no aconsegueixen créixer ni en valors absoluts ni en termes percentuals.

Els resultats obtinguts per als costos socials i ambientals del transport a l'escenari tendencial mostren, per al transport de passatgers, un millor comportament dels costos unitaris l'any 2012 que el 2004 i un comportament força dolent dels relatius a les mercaderies, que empitjoren un 11 %, com es mostra al quadre següent:

	2004	2012	Variació totals	Taxa anual
Costos totals del transport passatgers, €	24.192.328.777	28.146.318.416	16%	1,91%
Costos totals del transport mercaderies, €	25.763.832.001	37.001.767.375	44%	4,63%
<b>Costos totals transport, €</b>	<b>49.956.160.778</b>	<b>65.148.085.791</b>	<b>30%</b>	<b>3,37%</b>

Pel que fa als costos totals, tenim uns costos de cinquanta mil milions d'euros i, el 2012, de seixanta-cinc mil milions d'euros. Aquest increment, que cal recordar que és a preus de 2004, es deu a l'augment del preu dels combustibles per sobre de l'IPC i a l'increment de la mobilitat amb vehicle privat i de les mercaderies. Així doncs, en l'escenari tendencial no ens



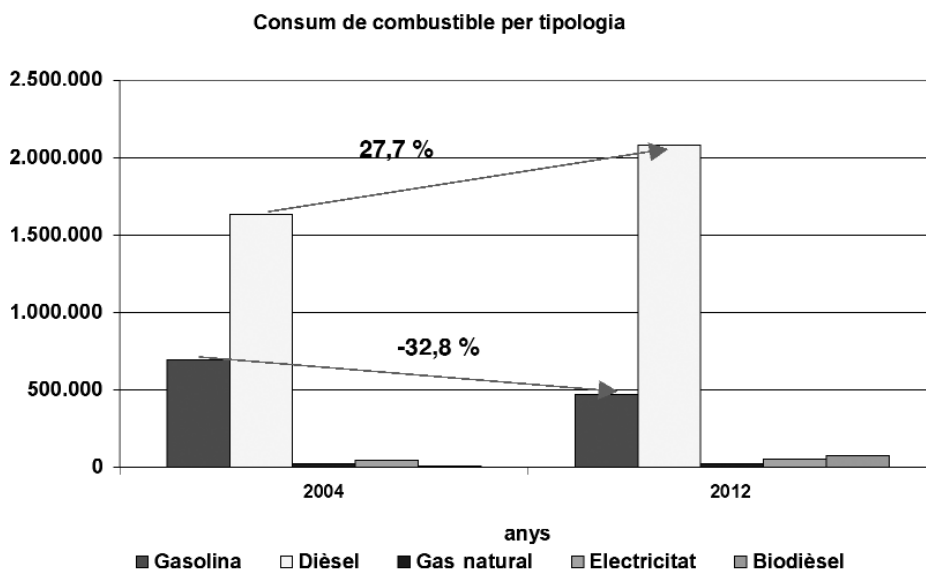


FIGURA 7.

acostem gens als objectius de millora de l'eficiència del sistema de transport i tampoc de minimització dels costos totals.

Els consums de combustibles fòssils es mostren a la figura 7. El dièsel augmenta un 27,7 % i la gasolina es redueix un 32,8 %. En total, el consum augmenta un 9 %, tot i haver considerat que el preu del combustible augmenta en la mateixa proporció que ho ha fet els dos darrers anys i que el gasoli incrementa el preu fins a igualar el de la gasolina. Sembla, doncs, que el preu no serà un element suficient per a aturar el consum de combustible els propers anys.

Les emissions de CO<sub>2</sub> creixen molt properes als consums d'energies fòssils i, per tant, en resulta un creixement del 10 %, molt lluny dels objectius del protocol de Kyoto i sobretot del valor fixat a les DNM de reducció del 20 % per a l'any 2012.

En canvi, les emissions de NO<sub>x</sub> i PM<sub>10</sub> disminueixen totes dues amb valors propers al 30 %. Aquests valors no són suficients en els municipis declarats de protecció especial a l'ambient atmosfèric, però sí un bon resultat per al conjunt de l'RMB i s'assoleixen bàsicament per la millora de l'eficiència dels motors.

Paral·lelament s'han realitzat unes anàlisis de sensibilitat de diferents valors ambientals a les variacions de determinades variables de la mobilitat. En el gràfic que segueix es mostra un exemple relatiu a la sensibilitat de les emissions de CO<sub>2</sub> respecte a la velocitat dels vehicles en xarxa urbana.

### **Emissions CO<sub>2</sub>-xarxa urbana**

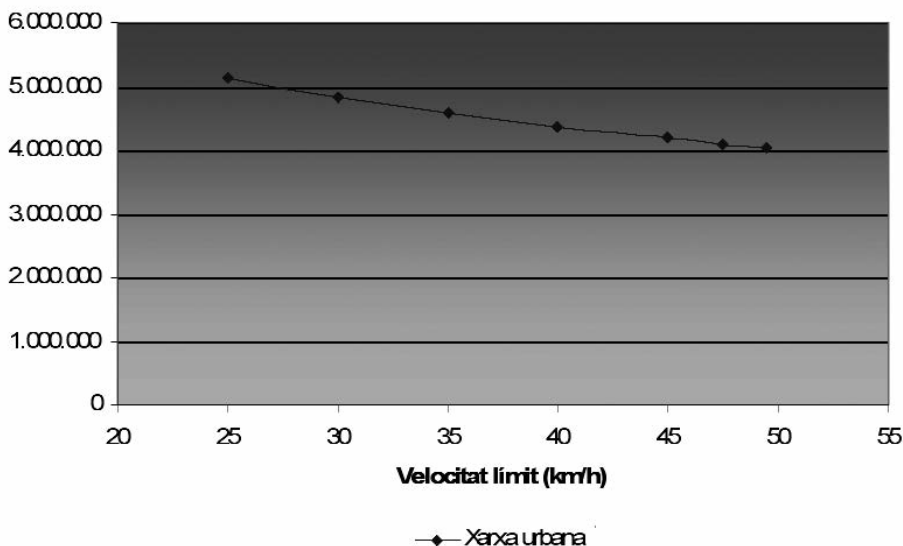


FIGURA 8.

Aquesta anàlisi ens permet saber que la màxima de «a menys velocitat, menys consum i menys emissions» no és del tot certa. Així, a les ciutats, per a disminuir les emissions de contaminants amb el parc actual tan sols queda l'alternativa de reduir la mobilitat en vehicle privat, mentre que a la xarxa de carreteres, les gràfiques que es van obtenir mostraven que una bona gestió de la velocitat pot reduir les emissions de CO<sub>2</sub> i contaminants prop d'un 20 %.

En realitzar l'anàlisi de sensibilitat, pel que fa a la renovació del parc de vehicles, si es retiren motors Euro 1, 2 i 3 i s'hi afegeixen motors Euro 4 i 5, milloren tots els indicadors, una reducció poc significativa pel que fa a les emissions de CO<sub>2</sub>, però força important, com ja s'ha indicat anteriorment, pel que fa a la reducció de les emissions de contaminants.

## **Els resultats de l'escenari tendencial**

El PDM, veient els resultats de la diagnosi, va formular nou objectius operatius, a cadascun dels quals va associar un indicador, els més importants dels quals es relacionen a continuació i es compara el resultat assolit en l'escenari tendencial amb la proposta realitzada:

1. Reduir els costos unitaris del transport: a la figura que es mostra a continuació es pot veure com l'escenari tendencial aconsegueix reduir els costos unitaris del transport de passatgers, però no el de mercaderies. L'explicació rau en el gran encariment dels preus dels combustibles, que, quant a les mercaderies, no permeten compensar les millores per l'eficiència dels motors.

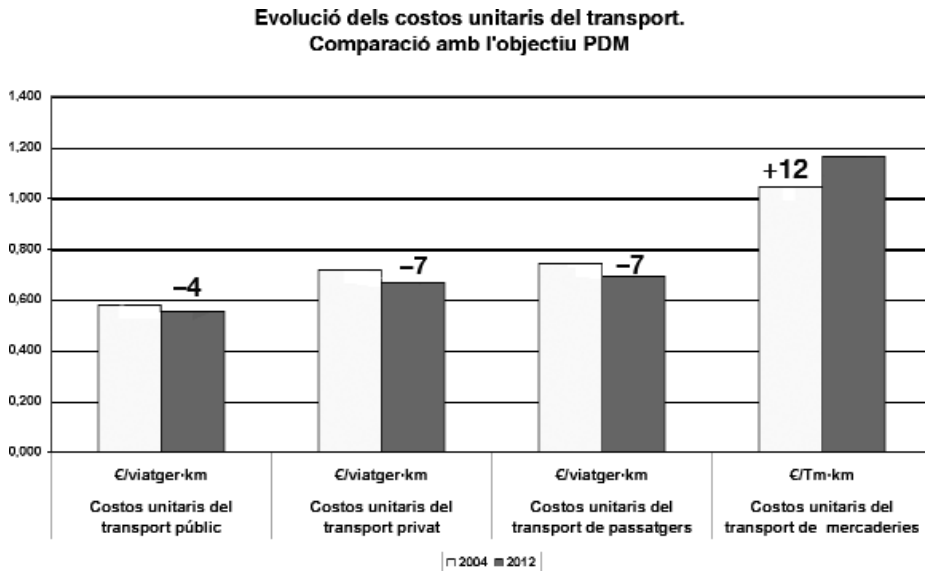


FIGURA 9.

2. Moderar la distància de desplaçament: a l'escenari tendencial es manté un creixement semblant al que s'ha produït els darrers anys; així la distància mitjana era, l'any 2004, de 5,86 km i l'any 2012 la projecció resulta de 6,13 km.

Pel que fa a la mobilitat obligada, la distància mitjana de tots els desplaçaments era l'any 2004 de 6,77 km i l'any 2012 les projeccions donen una distància mitjana de 7,04 km.

3. Assolir un canvi modal cap als modes públic i no motoritzats, proposant-nos una reducció percentual del cotxe del 10 %. A la imatge tenim a l'esquerra el repartiment modal assolit i a la dreta l'objectiu marcat. Com es pot apreciar, l'any 2012 es manté un pes del vehicle privat molt semblant al de l'any 2004, que mostràvem en explicar la diagnosi de la mobilitat.

## Pes relatiu per modes de la mobilitat total

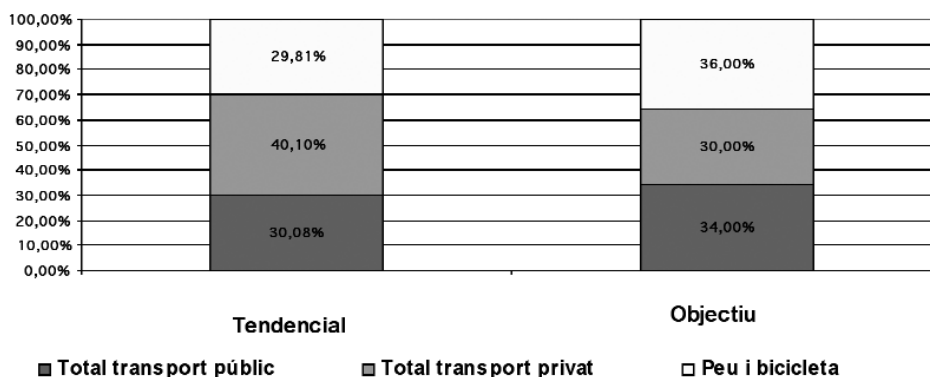


FIGURA 10.

4. Ens vam proposar reduir les externalitats del sistema de transport; a la taula que hi ha a continuació es pot comprovar que sí que algunes de les externalitats, com és el cas dels accidents, milloren notablement, però les que es deuen al canvi climàtic i a la contaminació empitjoren ostensiblement.

Tipus de cost	2004	2012	Variació	Taxa anual
Efecte barrera	13.775.141	14.193.317	3%	0,37%
Per ocupació de l'espai	156.885.819	158.950.456	1%	0,16%
Danys causats al paisatge i a la natura	37.551.073	38.991.702	4%	0,47%
Canvi climàtic	1.124.326.832	1.317.912.880	17%	2,01%
Per pol·lució atmosfèrica	295.680.733	274.278.694	-7%	-0,93%
Accidents	742.401.981	545.964.831	-26%	-3,77%
Processos avant-post	99.725.640	103.823.344	4%	0,50%
Sobrecostos externalitats	193.358.991	229.383.536	19%	2,16%
Soroll	305.891.903	369.170.194	21%	2,38%
Pèrdua de la plusvàlua immobiliària	275.800.000	275.800.000	0%	0,00%
Vibracions	637.203	780.886	23%	2,57%
<b>TOTALS</b>	<b>3.246.035.317</b>	<b>3.329.249.840</b>	<b>3%</b>	<b>0,32%</b>

5. En el cas de la reducció d'accidents, hi ha una política molt compromesa per part del Servei Català de Trànsit, que ha assolit reduccions molt elevades de víctimes mortals a les carreteres catalanes els darrers tres anys. Tot i això, caldrà vigilar com evoluciona aquest indi-

cador amb la inaturable irrupció de la moto en la mobilitat de les nostres ciutats i també de les nostres carreteres.

5. Ens vam proposar moderar el consum i la intensitat energètica de l'RMB, d'acord amb les previsions del Pla de l'Energia de Catalunya; això volia dir quedar-nos en 2,2 milions de Ktep, mentre que el valor que assolíem era de 2,8 milions de Ktep, xifra que significava un 25 % més de l'objectiu proposat.

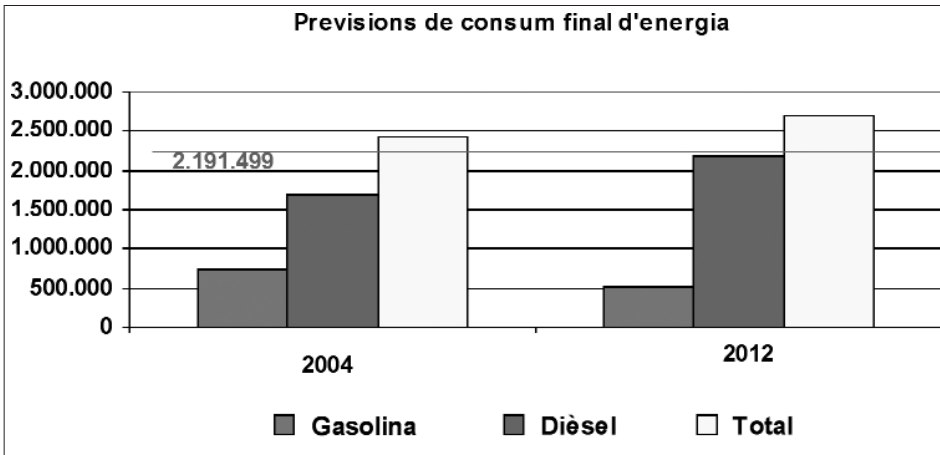


FIGURA 11.

6. Pel que fa al canvi climàtic, les directrius nacionals de mobilitat estableixen que cal reduir-lo en un 20 %, valor molt per sobre del que determina el protocol de Kyoto. La diferència entre el valor assolit a l'escenari tendencial i l'objectiu és d'un 30 %, cosa que ja ens indica que serà un dels objectius més difícils d'acomplir.

7. Respecte a les emissions de contaminants, controlem sobretot dos contaminants, partícules en suspensió,  $PM_{10}$ , i òxids de nitrogen,  $NO_x$ , els valors obtinguts dels quals es mostren a la taula que hi ha a continuació i que són força satisfactoris. Els valors específics per als quaranta municipis declarats zones de protecció de la qualitat de l'aire seran determinats en el Pla d'Actuació del Departament de Medi Ambient i Habitatge.

Emissions de contaminants	2004	2012 Tend.	Variació prop. / 2004
$PM_{10}$	2.988	2.048	-48,08%
$NO_x$	34.319	22.351	-39,54%

Altres valors d'indicadors assolits a l'escenari tendencial es mostren a la taula següent:

Núm.	Nom	Unitats	2004	2012	Valor objectiu 2012	Variació objectiu 2012
4	Nivell d'autocontenció en els desplaçaments quotidians municipals	%	63,9	63,5	63,9	0,4
5.1	Desplaçaments urbans diaris a peu i en bicicleta	milions	3,75	3,87	4,55	0,69
5.5	Desplaçaments urbans diaris en vehicle privat	milions	1,00	1,08	0,77	-0,31
7.1	Proporció dels modes a peu i en bicicleta en el desplaçament urbà	%	31,59	29,81	36	6,19
7.2	Proporció d'autobús en el desplaçament urbà	%	11,6	11,3	13	1,7
8.1	Desplaçaments intermunicipals diaris en autobús	milions	26,50	36,51	30,80	-5,71
10.3	Proporció de vehicle privat en el desplaçament intermunicipal	%	65,4	66,5	62,6	-3,9
23.2	Velocitat comercial de l'autobús urbà	km/hora	13,31	13,31	14,64	1,33
23.6	Velocitat comercial de l'autobús interurbà	km/hora	27	27	29,7	2,7
32.1	Adaptació a PMR del parc mòbil de transport públic de superfície	% vehicles adaptats	85	100	100	0
32.2	Adaptació a PMR de les estacions de transport públic	% estacions adaptades	46,7	74	90	16
33	Motorització	Turism/hab	428	436	407	-29
36.1	Longitud de carril urbà per a bicicletes	km	280	603	1.000	397
36.3	Longitud de via per a vianants o zones 30	km	211	222	1.000	778
41.1	Proporció en camió del volum interurbà de mercaderies	%	96,9	95,9	94	-1,9
45	Accidents amb víctimes per veh/km	Accid/ 10.000 veh/km/ any	0,25	0,21	0,21	0

Com es pot comprovar, en un escenari tendencial era molt difícil assolir la majoria de reptes marcats.

Així doncs, hem determinat les conclusions següents:

1. La mobilitat creix i es dispersa perquè es produeix un increment tant dels vehicles/quilòmetre de passatgers (9 %) i de les tn/km (25 %) com de la distància mitjana recorreguda (4 %), per la qual cosa cal l'acostament de l'activitat econòmica i la població i l'aturament de la dispersió de l'habitatge.

2. La mobilitat en transport públic creix un 12 %, però no és suficient per a guanyar quota del transport privat (12 %): l'augment de l'oferta de transport públic per si sola no és suficient per a produir el transvasament modal, per tant, cal trobar elements que penalitzin l'ús ineficient del vehicle privat.

3. Les quotes modals de la marxa a peu i la bicicleta augmenten molt poc (0,39 % anual) tot i ser els mitjans més eficients per a assolir els objectius del pla: calen unes xarxes connectades i instruments de gestió que n'accelerïn la implantació.

4. La quota modal del transport de mercaderies per ferrocarril creix un 8,6 % anual, al ritme previst al PITC, però no és suficient per a aconseguir les reduccions de contaminants que cal assolir ni dona una resposta eficient a les necessitats de l'economia de l'RMB.

5. Es manté el creixement de consum dels combustibles fòssils (9 %) i de les emissions de CO<sub>2</sub> (10,4 %), tot i la millora de l'eficiència dels motors; per acostar-se a Kyoto, és necessari fomentar l'ús de vehicles sostenibles i reduir la mobilitat per carretera.

6. Tot i la disminució dels contaminants emesos a l'aire,  $\text{NO}_x$  (39 %) i  $\text{PM}_{10}$  (48 %) respectivament, no n'hi ha prou. En les zones declarades de protecció especial calen accions complementàries, d'acord amb els plans d'actuació que s'elaborin.

7. El cost unitari del transport de passatgers es redueix (-7 % en els vuit anys de projecció), però no ho fa el de mercaderies (+12 %), de manera que pot influir en la competitivitat de les empreses de l'RMB, per la qual cosa cal reduir la dependència dels combustibles fòssils mitjançant el transvasament modal cap al ferrocarril i millorar la gestió de la logística.

8. Els costos totals del transport augmenten de 49.900 milions a 65.100 milions, (30,5 %), 3,4 % anual, tot i la reducció de la major part dels preus unitaris, de manera que cal fer més eficient el sistema, millorant la gestió de la mobilitat i traslladant quota de desplaçaments cap a la marxa a peu i en bicicleta.

Així doncs, d'acord amb els resultats de l'escenari tendencial, cal modificar el comportament actual de la mobilitat afegint noves mesures a les programades; els dos punts més febles a l'escenari són l'excessiu consum energètic i el reduït transvasament modal, que alhora són elements clau per a aconseguir els objectius del PDM.

A partir d'aquestes conclusions s'han construït tres escenaris més: el primer, centrat en mesures de tipus energètic, el segon, centrat en mesures de canvi modal, i el tercer, intermedi, que és el que proposem en el PDM i que es descriu a continuació.

## El model de mobilitat i els eixos d'actuació del Pla

S'ha proposat el model de mobilitat següent:

Un model de mobilitat integrador de les polítiques urbanístiques i de mobilitat pel que fa a la localització dels habitatges, les activitats i la implantació d'infraestructures, que aturi la dispersió territorial i construeixi una estructura de ciutats ben connectada amb transport públic.

Un model de mobilitat sostenible i segur que millori els paràmetres ambientals de l'RMB, que promogui la transferència d'usuaris dels vehicles privats cap als modes no motoritzats i el transport públic que garanteixi una xarxa viària segura.

Un model de mobilitat eficient que garanteixi la competitivitat de l'economia i que promogui l'ús de combustibles nets amb mínim impacte sobre la salut de les persones i el medi ambient.

Un model de mobilitat equitatiu que col·labori a augmentar la qualitat de vida a l'RMB, al seu reequilibri social i eviti l'exclusió social, que es pugui originar per la manca de mitjans de transport, d'algun dels seus ciutadans.

Per assolir-lo es proposen nou eixos d'actuació i aplicar noranta mesures que es resumeixen a continuació:

### EA1. Coordinar l'urbanisme amb la mobilitat

L'objectiu d'aquesta estratègia és aturar l'increment de la distància mitjana de recorregut a l'RMB, i estendre la planificació de la mobilitat sostenible a tots els àmbits territorials i funcionals on calgui.

Per exemple, es proposa que tots els municipis de més de vint mil habitants facin obligatòriament el seu pla de mobilitat urbana, a més d'aquells que es troben dins de la zona declarada d'especial protecció a l'ambient atmosfèric. A la figura 12, hi ha els municipis que s'inclouen en el PDM.

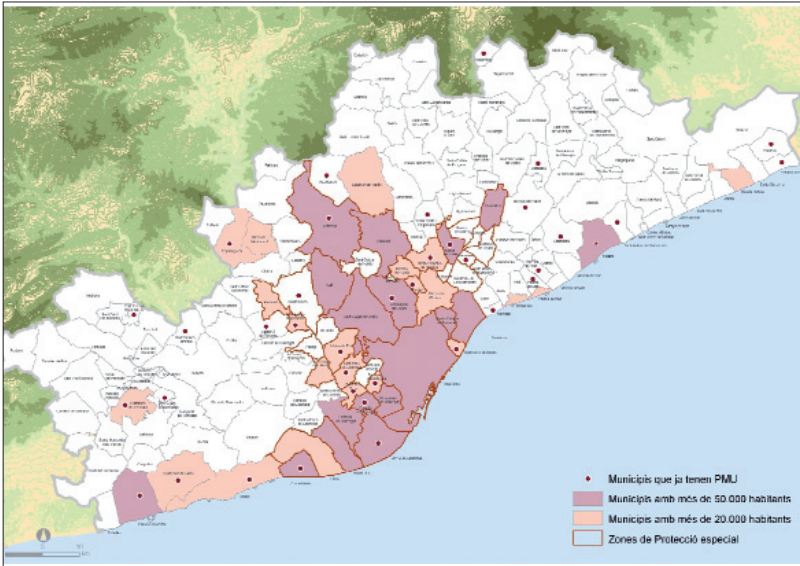


FIGURA 12.

### EA2. Fomentar una xarxa d'infraestructures de mobilitat segura i ben connectada

L'objectiu d'aquesta estratègia és garantir una xarxa d'infraestructures interurbanes ben connectada i segura per a tots els modes de transport. A la figura 13 es mostra la xarxa de car-rils bici interurbana per a l'RMB que es proposa.



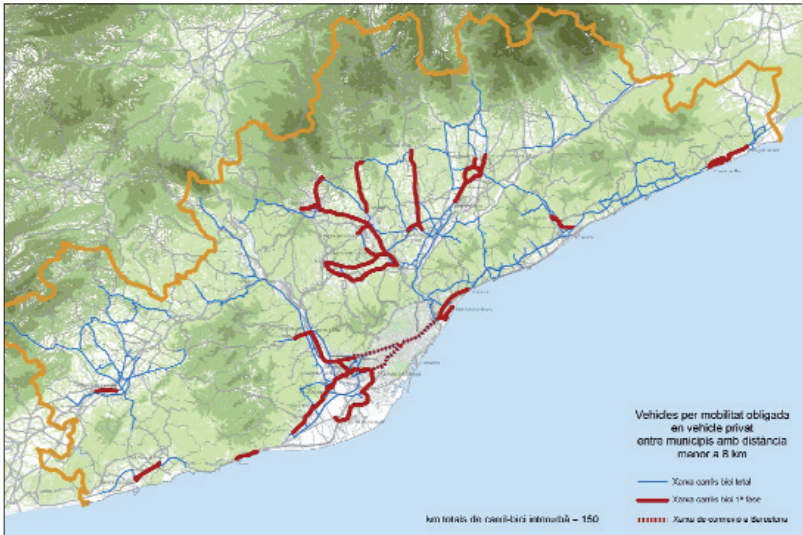


FIGURA 13.

### EA3. Gestionar la mobilitat i afavorir el transvasament modal

L'objectiu d'aquesta estratègia és modificar l'ús excessiu del vehicle privat en els desplaçaments interurbans mitjançant la gestió de la mobilitat. A la figura 14 es veuen les vies determinades pel Departament de Medi Ambient per a optimitzar la velocitat per a reduir les emissions de contaminants.



FIGURA 14.

#### EA4. Millorar la qualitat del transport ferroviari

L'objectiu d'aquesta estratègia és donar una millor oferta ferroviària i garantir que aquesta funcionarà com una sola xarxa. Per exemple, el metro del Vallès, que gestiona Ferrocarrils de la Generalitat de Catalunya (FGC) amb tants bons resultats pel que fa al passatge.



FIGURA 15.

#### EA5. Assolir un transport públic de superfície accessible, eficaç i eficient

L'objectiu és garantir un transport públic de superfície de qualitat i competitiu vers el vehicle privat, en temps de viatge. La figura 16 mostra el carril bus inaugurat a l'accés nord de Barcelona a la C-31.



FIGURA 16.

## EA6. Modernitzar l'activitat del sistema logístic i accelerar les infraestructures ferroviàries de mercaderies

L'objectiu és potenciar un sistema logístic eficient i minimitzar els costos unitaris del transport de mercaderies. A la figura 17 s'explicita la voluntat de fomentar el transport de mercaderies per ferrocarril.



FIGURA 17.

## EA7. Garantir l'accés sostenible als centres generadors de mobilitat

L'objectiu és garantir l'accés amb transport públic i mitjans no motoritzats als centres generadors de la mobilitat a l'RMB. Per exemple, es proposa unir tots els polígons industrials de l'RMB amb les estacions més properes, amb itineraris per a vianants i ciclistes, amb el resultat que es mostra a la figura que segueix.

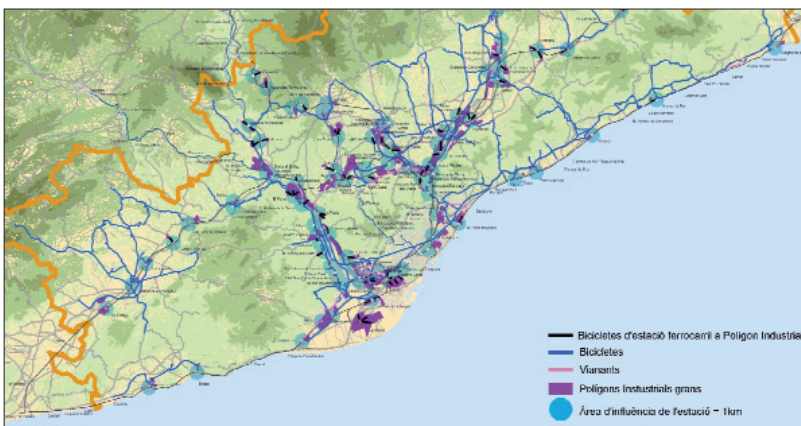


FIGURA 18.

## EA8. Promoure l'eficiència energètica i l'ús dels combustibles nets

L'objectiu és la reducció del consum d'energia provinent dels combustibles fòssils, de les emissions dels gasos d'efecte d'hivernacle i dels contaminants de l'aire produïts pel sistema de transport. En algunes ciutats del món ja hi ha autobusos híbrids operant en les seves flotes, com el de la figura 19.



FIGURA 19.

## EA9. Realitzar una gestió participativa dels objectius del Pla Director de Mobilitat

L'objectiu és garantir la participació i la implicació de tots els agents als quals afecta la mobilitat a l'RMB, per aconseguir les sinergies necessàries per a garantir l'èxit dels objectius que s'ha proposat el PDM. Així, cal repensar la Setmana de la Mobilitat Sostenible i Segura i aconseguir una major implicació dels ciutadans.



FIGURA 20.

## Els resultats obtinguts

De l'aplicació de les mesures s'assoleixen els resultats següents:

Quant a les variables de la mobilitat, a la taula següent es mostra que, pel que fa al vehicle privat, es produeix una reducció del 13 % dels vehicles/quilòmetre per sota dels valors de l'any 2004, i un 20 % respecte a l'escenari tendencial; respecte a les mercaderies, però, tan sols s'assoleix una reducció del 5 % dels vehicles/quilòmetre (camions).

Mode	2004	Tend 2012	PDM 2012	Variació	Variació
	Veh /km	Veh /km	Veh /km	PDM/Tenden	PDM/2004
Autobús	241,7	305,1	361,3	18%	<b>49,5%</b>
Veh. privat + taxi	15.896,2	17.364,2	13.809,5	-20%	<b>-13,1%</b>
<b>Total viatgers</b> carretera	16.137,9	17.669,3	14.170,7	-20%	<b>-12,2%</b>
<b>Total viatgers</b> ferrocarril	172,1	211,4	224,2	6%	<b>30,2%</b>
	Veh /km	Veh /km	Veh /km		
Mercaderies carretera	10.275,4	12.941,9	12.290,7	-5%	<b>19,6%</b>
Mercadereis ferrocarril	26,0	50,5	85,4	69%	<b>229,1%</b>
<b>Total</b> <b>mercaderies</b>	10.301,4	12.992,4	12.376,1	-5%	<b>20,1%</b>

Pel que fa a les intensitats de trànsit, a les figures següents podem comparar l'escenari tendencial, a la figura 21, i la proposta del PDM, a la figura 22, tots els vials de color vermell milloren els nivells de servei, mentre que els verds l'empitjoren.

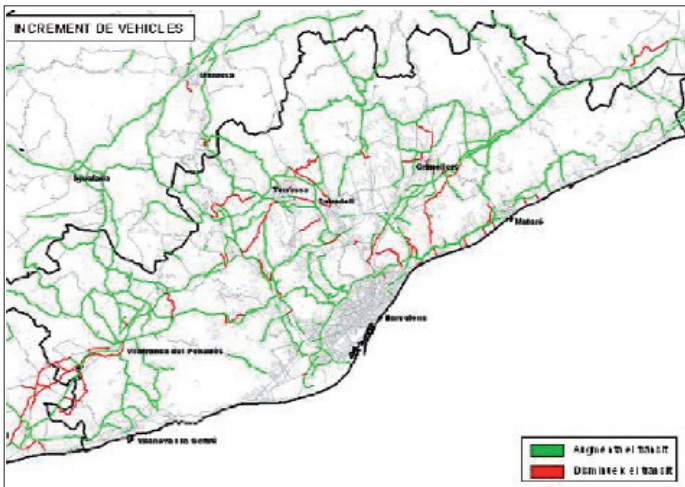


FIGURA 21.

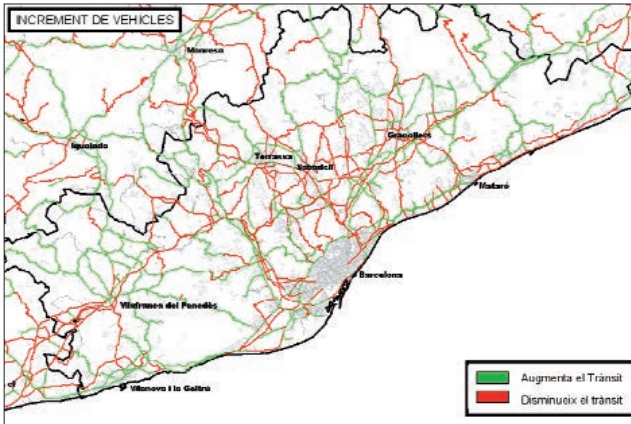


FIGURA 22.

Clarament l'escenari proposat millora molt les condicions de serveis de les carreteres de l'RMB, sobretot les locals.

De cara a l'avaluació ambiental, s'han escollit dinou mesures, i s'han avaluat per tal de veure si assolim els valors objectius. El resultat ha estat una reducció de les emissions de CO<sub>2</sub> del 20,5 %, i els seus efectes es reparteixen segons la figura següent:

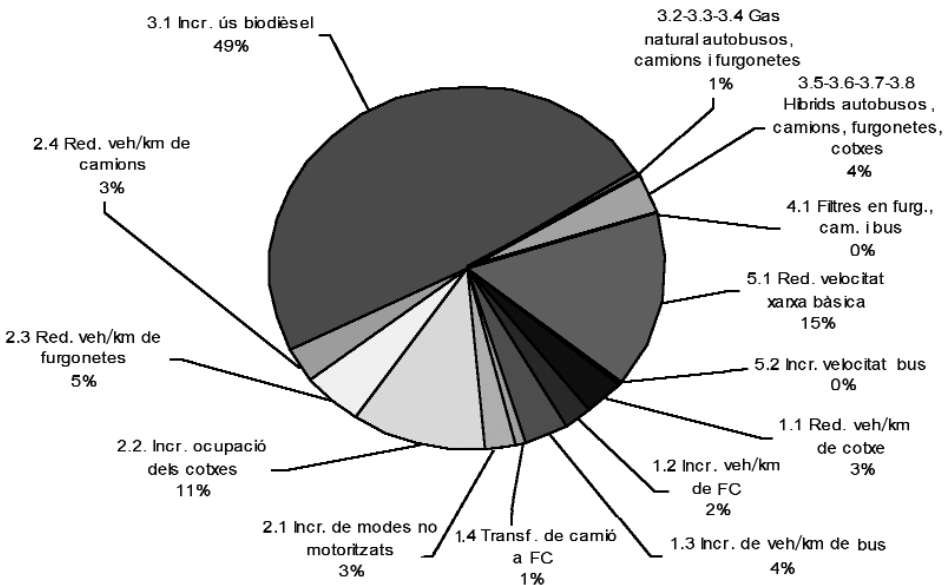


FIGURA 23.

A la figura següent tenim el mateix repartiment, però per a les emissions de  $\text{NO}_x$ .

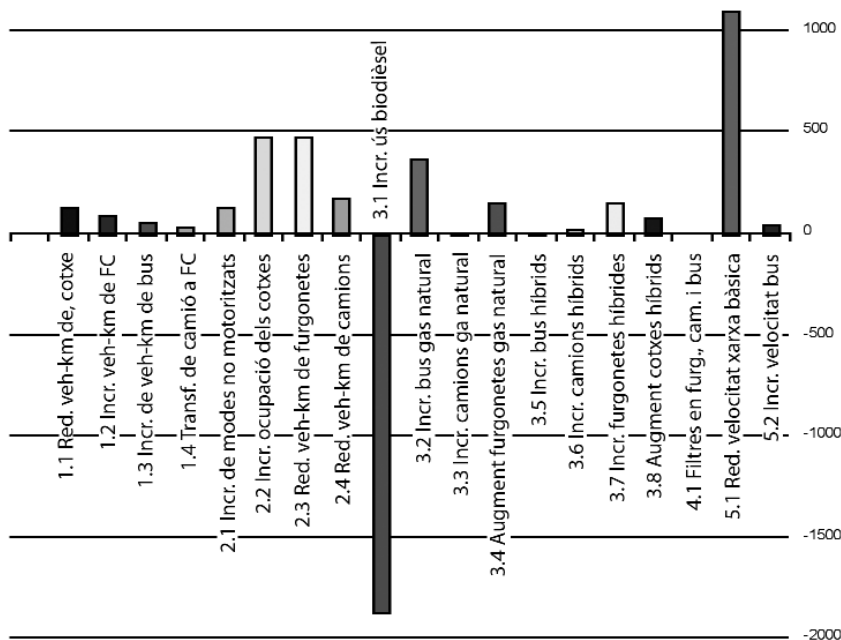


FIGURA 24.

Es pot destacar la contradicció que hi ha amb el biodièsel, que d'una banda és el millor contribuent a la reducció de  $\text{CO}_2$  i, a la vegada, incrementa les emissions de  $\text{NO}_x$ , contradicció que hem de resoldre mitjançant una reflexió dels valors globals que doni el Pla per a cada cas.

## Reflexions finals del PDM

La mobilitat creix, però ho fa d'una manera més sostenible, de manera que es produeix una notable reducció dels vehicles/quilòmetre de passatgers (20 %) i de la distància mitjana recorreguda per viatge (0,8 %). A mitjà termini, les mesures de l'EA1 que proposen l'acostament dels llocs de treball i la residència i l'aturament de la dispersió de l'habitatge milloraran encara més aquests valors.

La mobilitat en transport públic creix un 27,7 % en els vuit anys de la projecció i guanya una quota significativa del transport privat. L'augment de l'oferta s'acompanya de mesures que prioritzin el transport públic.

Els desplaçaments de la marxa a peu i de la bicicleta augmenten un 5,3 % respecte al 2004, xifra insuficient tenint present que són els modes més eficients. Aquests propers sis anys han de servir per a crear una xarxa connectada interurbana i urbana, que garanteixi el creixement d'aquests modes.

La quota modal del transport de mercaderies per ferrocarril es proposa que s'acceleri, tot i això, cal tenir present que per a recorreguts curts, com els que es donen a l'RMB, el PDM aposta fort per millorar l'eficiència del transport per carretera.

Amb les mesures del Pla s'assoleix la reducció de consum de combustible i de les emissions de CO<sub>2</sub> (20,54 %) per sobre, fins i tot, dels valors del Pla de l'Energia i de les Directrius Nacionals de Mobilitat.

Les emissions de NO<sub>x</sub> i PM<sub>10</sub> pel transport es redueixen els propers anys a l'entorn d'un 48 % i 39 % respectivament. Aquesta reducció s'aconsegueix amb la suma a l'efecte de renovació del parc del mix de les dinou mesures proposades.

L'eficiència del sistema de mobilitat millora per la reducció dels costos unitaris del transport. El cost total del transport de l'escenari tendencial es redueix de 65.100 milions d'euros, a 59.300 milions d'euros. Respecte a l'any 2004, aquesta xifra suposa un augment del 20 %, motivat per l'increment del preu del combustible per sobre de l'IPC i del nombre de vehicles/quilòmetre de les mercaderies.

Podem assolir les fites de les Directrius Nacionals de Mobilitat i del Pla d'Actuació en les ZPE fent un ús extens del *toolkit* disponible de mesures tecnològiques i de gestió. Unes i altres són imprescindibles.

No hi ha una «recepta universal» per a tots els àmbits. Mesures eficients en l'àmbit urbà poden ser-ho poc en l'àmbit interurbà i viceversa.

Hi ha mesures amb efectes contradictoris que cal explicar i consensuar (per exemple, biodièsel).

És imprescindible el compromís dels actors institucionals responsables de cada mesura de gestió per a la consecució dels seus objectius.

Cal informar al ciutadà i promoure que hi participi, perquè tan sols així s'aconseguiran els objectius del Pla, per la suma de moltes accions individuals.

Les propostes del PDM de l'RMB s'han elaborat tenint presents les conclusions de l'escenari tendencial, i s'han afegit noranta accions addicionals a les que es tenen programades. Amb els resultats obtinguts es pot concloure que es poden aconseguir els objectius fixats pel Pla.



# EL TERRITORI A CATALUNYA

20 de febrer de 2007



## Quina planificació urbanística per als nous sistemes urbans?

Joan Busquets

Arquitecte i catedràtic d'Urbanisme de la Universitat Politècnica de Catalunya i de la Universitat de Harvard

En demanar-me que reflexioni sobre la planificació urbanística en vista dels nous sistemes urbans a Catalunya, dins del marc del Centenari d'una institució acadèmica com l'IEC, em va semblar convenient posar el tema una mica en perspectiva: què vol dir la planificació avui en una situació de fort canvi de la nostra realitat urbanística i quines són les qüestions a què cal adreçar-se a mitjà termini.

Em sembla que el mètode correcte per a fer això és tenir present d'on venim, però també, veure què està passant en aquest moment en altres indrets, per tal d'imaginar què pot passar demà aquí. Científicament sabem que és pràcticament impossible preveure més enllà de quinze o vint anys; però això no vol dir que no hàgim d'avançar una visió o una hipòtesi, perquè hi ha certes decisions que tenen una repercussió d'un abast més gran. Aquí és on entrem en un dels aspectes més interessants de la planificació: per un costat la necessitat de preveure el que cal a mitjà termini, però al mateix temps discutir amb ambició quins són els models d'ocupació del territori, quines són les maneres d'integrar l'artificialitat dels usos que l'home proposa amb els sistemes naturals que tenen les seves pròpies dinàmi-

ques: i en aquests aspectes cal pensar amb generositat i amplitud de mires cap al llarg termini.

Dividiré la intervenció en set parts:

## 1. La nova forma de les ciutats en el territori

S'ha passat d'un model tancat de la ciutat «closa» primer per les muralles, després pel límit físic que la planificació establia —tantes vegades amb rondes viàries que definien què era ciutat i què era camp—, cap a un sistema més obert, cosa que no vol dir que tot el territori és urbanitzable, però que hi ha relacions més fortes «entre» assentaments urbans.

Parlem de *forma urbana* com un element capaç d'explicar i sintetitzar els processos econòmics, socials, en definitiva, vitals, i en la previsió i articulació d'aquesta és on la planificació té una raó de ser.

De fet, ja fa molt de temps que la ciutat no és un sistema tancat, però els dissenyadors i la gent en general ens estimem més una forma ben definida i comprensible que quelcom que aparentment és menys clar i no respon a una forma unitària. Segurament, cal pensar que en lloc d'una forma única com a referent, els territoris urbanitzats produeixen «formes», fetes de fragments o entitats urbanes, i ens hem d'acostumar a treballar amb sistemes formals més complexos, i no per això han de ser menys interessants. En conseqüència, el mapa mental que en resulta pot ser també ben entès i comunicat a tothom.

En general, la gent que ens dediquem a l'urbanisme tenim un vici: quan no entenem alguna cosa, la ignorem. Crec que a l'urbanista li passa com al metge: quan no sap què té un malalt, tendeix a dir alguna cosa, perquè no pot acceptar que no ho sap. Aquesta és una de les dificultats que té el nostre ofici, tant acadèmic com professional, i, en canvi, és una qüestió important, ja que hi ha una gran responsabilitat social i ètica en aquests consells i decisions. Així, doncs, cal esmerçar esforç de recerca per anar descobrint què passa en cada moment i incorporar aquests processos en la manera com la ciutat creix i es transforma.

## 2. El sistema industrial canvia i es fa més complex

Fa molt de temps que ens diuen els llibres i els estudiosos que hi ha una transformació del sistema econòmic, i s'expliquen els canvis en les maneres de producció, però cal indagar les implicacions espacials, a vegades més difícils d'entendre.

Encara avui dia, associem la urbanització a la industrialització: si hi ha indústria o serveis lligats a aquest tipus d'economia, que en diem *bàsics*, a la urbanització. I si hi ha urbanització s'entén com un fet positiu perquè crea treball i creixement. En tot cas, el

que haurem de fer és fer-ho bé, no destrossar el territori, i aquí és on la planificació ha tingut el seu paper.

L'associació entre indústria i urbanització ha portat com a model general una congregació de la població —això és el que ha passat en els últims cent anys— per facilitar la producció i el consum. Aquesta concentració de població s'ha produït al llarg del litoral i ha buidat el rerepaís.

Sense quasi adonar-nos-en, moltes coses han anat canviant, per exemple:

a) Es fa el creixement perquè hi ha demanda, però aquesta respon a qüestions molt diferents que, a vegades, no tenen res a veure amb necessitats objectives, sinó simplement amb la voluntat d'inversió especulativa. Aquest és el cas de promocions d'habitatge com estalvi per al futur, que tot i respondre a una demanda de petits inversors, crea barris quasi buits; perquè l'objectiu és més la inversió que l'ús. Si bé és cert que sempre hi ha hagut habitatges expectants a la ciutat, cal revisar el fet que aquesta estratègia sigui la dominant, ja que es malmet un territori i uns recursos que bé es podrien dedicar a altres iniciatives.

b) Segurament una altra qüestió important és el canvi de les maneres de treballar: hi ha qui diu que el «treball amb gran esforç» tendeix a desaparèixer i que va ser una característica dels segles XIX i XX. I és cert que es redueix, però apareixen altres maneres de treball que tenen una repercussió espacial molt diferent. No és que no existeixi la indústria, però ja no és sempre la concentració de la producció que guia, sinó un altre tipus de funcions: de coordinació, representació, semblança... perquè moltes vegades la producció està reduïda a peces i amb processos més esmicolats. En aquest panorama, el treballador entra en el procés d'una manera quelcom més independent o descentralitzada, com es veu amb l'augment de la categoria d'autònoms i, en conseqüència, la demanda dels espais del treball canvia i es fragmenta, es barreja de nou amb la residència i, en definitiva, crea una demanda de mobilitat de persones i de productes més gran, ara sí amb possibilitats d'una distribució horària més flexible.

c) Hi ha un cert canvi en la interpretació de la ciutat compacta. En general diríem que estem a favor del model de ciutat compacta, però les nostres ciutats més que compactes, són contínues. I aquesta continuïtat és un sistema obert com s'ha vist abans; per tant, obligarà a maneres de planificació més àgils i, fins i tot, caldrà revisar els paradigmes que inspiren la planificació establerta.

### **3. Una certa devaluació cultural del rol de la planificació i de l'urbanisme en general**

Precisament, en els darrers cent anys l'urbanisme i la planificació han guanyat la seva credibilitat social, i en diferents etapes han tingut un ús social diferent: per exemple, fa trenta

anys ningú no creia en la planificació, ja que havia estat associada a un instrument de poder per a permetre l'especulació urbanística. Avui tothom sap que s'ha de fer un pla perquè la ciutat vagi bé, un pla o com li vulguem dir.

A Catalunya l'esforç de planificació durant les últimes dècades ha estat fortíssim. Hi ha hagut moments vibrants, on aquesta revàlida social s'ha guanyat perquè l'urbanisme i la planificació van resoldre problemes que la gent sentia vitals i van, sobretot, engrescar en allò que després se n'ha dit moltes vegades *projectes socials i econòmics forts*.

En canvi, avui hi ha una valoració bastant generalitzada que l'urbanisme és avorrit, i interessa poca gent, no sembla tenir l'*appeal* engrescador d'altres moments. Per contra, se'n parla que els projectes d'acció directe són els interessants o els plans estratègics... i aquesta apreciació pot ser confusa i poc rigorosa.

Hem de reconèixer que encara que els paradigmes, que inspiren l'urbanisme actual, potser són massa hereus dels model del moviment modern —que va tenir el seu paper important al segle passat—, no semblen donar resposta a les condicions actuals. Llavors sembla que per resoldre els desajustos cal introduir més lleis o estudis sectorials que «garanteixin» la correcció d'aquells desajustos... Crec que en definitiva potser el que estem fent és una màquina burocràtica massa pesada, que s'alimenta a si mateixa; i tornem als mecanismes dels anys setanta, on planificar era com «caixes negres» que només aquells que n'entenen molt eren capaços d'entendre'n la discussió. La planificació exigeix estudis complexos i aportacions de recerca des de diferents àmbits disciplinaris, però malgrat tot el seu procés i les seves propostes, ha de ser bastant clara i sintètica per ésser compresa i discutida per un ampli sector de la població.

Voldria tornar a entendre que, malgrat la complexitat de la situació urbanística actual, hem de tornar a fomentar la capacitat «propositiva» de l'urbanisme que permet de fer comprendre'n la capacitat d'incidència en la millora de les condicions de vida de la major part de la població i, en conseqüència, en la seva capacitat engrescadora i de projecte il·lusonant.

#### 4. Una mirada a la dinàmica internacional

Les qüestions que acabem de discutir han portat a plantejar la idea de dir que segurament la ciutat que s'està construint no dóna resposta a les demandes reals i que la ciutat que s'ha fet en els últims cinquanta anys no agrada als seus usuaris. La gent s'estima més la ciutat del segle XIX, aleshores els eixamples tenen més èxit que la ciutat nova, i em pregunto per què, ja que si ho hem fet amb els mitjans més potents i actualitzats hauria de ser millor. Però a la gent ens agrada més l'Eixample de Sabadell o el de Barcelona o el de Vilanova, com a llocs on la gent troba i sent la urbanitat.

De fet, els canvis en la manera de fer la ciutat i les noves dinàmiques econòmiques poden explicar part d'aquest descens i desorientació.

En efecte, el sistema econòmic nou, a vegades anomenat *postindustrial*, es tradueix en processos i dinàmiques molt fortes i innovadores respecte a la situació precedent. Mirem d'explicar-ho:

#### 4.1. Ciutats que segueixen experimentant formes d'extensió amb ritmes sense precedents

Per exemple, i observem què passa a llocs com el delta Zhuijiang a la Xina, al delta daurat de Guangdong, que engloba zones urbanes tan diferents com Guangzhou, Shenzhen, Hong Kong i Macau entre altres, on hi ha una concentració metropolitana cinc vegades superior a la de tot Catalunya, amb una dinàmica tan brutal com és construir cada cinc anys espai i economia per a sis milions de persones.

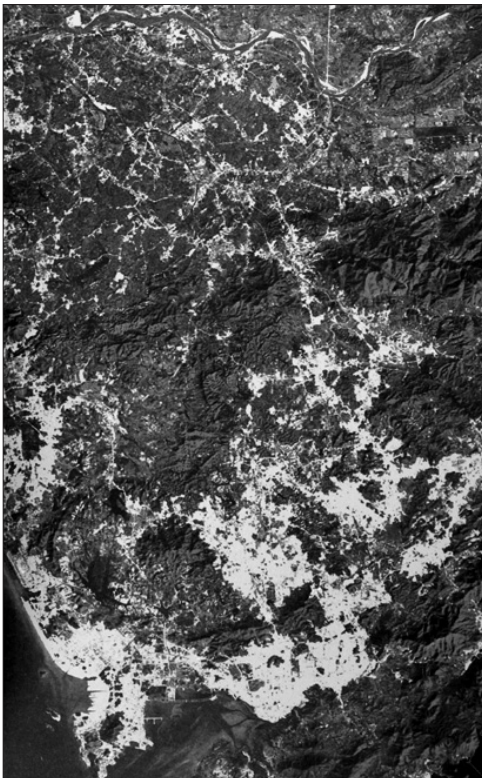


FIGURA 1. Delta daurat de Guangdong.

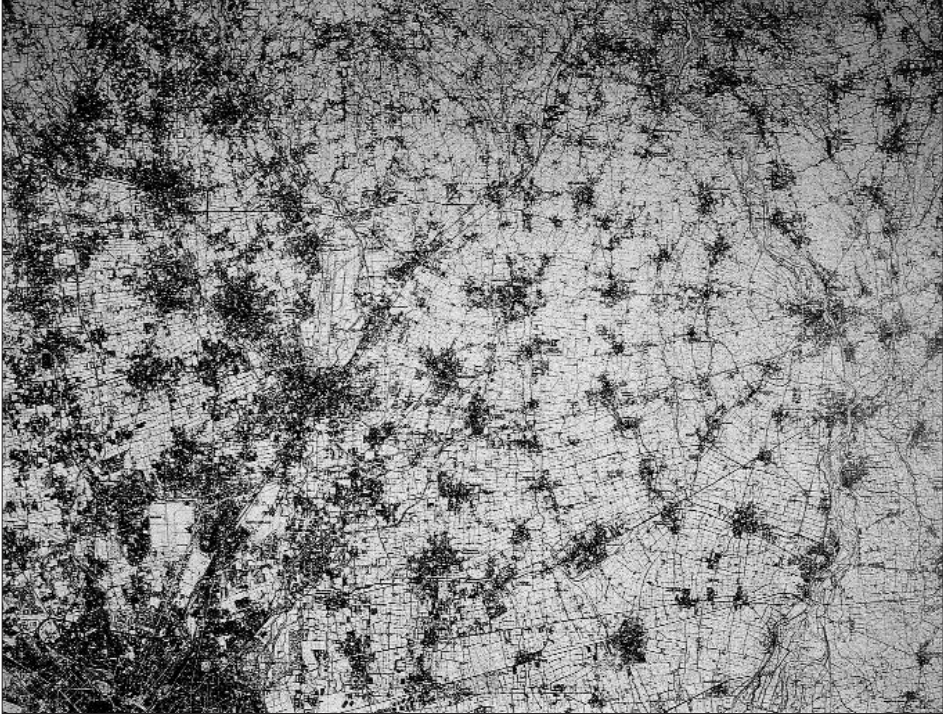


FIGURA 2. Milà i el nord de la regió llombarda.

Aquesta condició reflecteix, en gran part, el sistema postindustrial que per a molts vol dir una situació amb una operativitat doble: el sistema tradicional industrial millorat i el postindustrial.

#### 4.2. Transformació del territori urbanitzat

Cal posar l'atenció en el fet que els problemes de les noves demandes no ens eviten les dificultats dels antics sistemes que aparentment sembla que hàgim superat.

Em referiré als afores de Milà, al nord de la regió llombarda, on una investigació de fa pocs anys va demostrar que la dinàmica econòmica més important estava en l'exterior metropolitana de Milà i, en canvi, els llocs més selectes del centre tenien un valor més complementari. La força dels espais de la innovació era a fora. Espais, definits com a *città diffusa*, dels quals, en principi, la gent que ens dediquem a l'urbanisme no sabem com parlar ni definir; en diem *espais sense forma*, espais que es produeixen a *fora* del sistema establert, però



que contradictòriament són espais molt vius i vitals. Això està passant a molts llocs d'Europa. Aquesta imatge, que és la que jo volia dir, ens fa sentir que en aquestes grans metròpolis hi ha actuacions molt innovadores, molt postindustrials i, al mateix temps, coexisteixen amb un sistema latent al darrere més tradicional.

Tanmateix aquesta dinàmica econòmica no troba una *forma urbana* canònica ben organitzada i durable; planteja grans desequilibris en el sistema metropolità de mobilitat i ambiental. Per tant, sembla demanar-nos noves idees propositives per assegurar la seva bona integració a mitjà termini.

### 4.3. La ciutat actual es fa més complexa

La ciutat tradicional està absorbint una gran quantitat de nous usos que mai havíem previst. I els centres del XIX es diversifiquen i prenen un rol econòmic i funcional cada cop més gran. Podria ser el cas de Barcelona i l'Eixample o el centre de Boston, on una investigació ens ho explica com un espai de concentració d'usos dispersos, però de gran atractivitat funcional: dins de les cases, en què aparentment la gent viu, hi ha també una activitat econòmica molt viva i molt punyent. Pot semblar una argument contradictori al de Milà, però ens explica la diversitat de processos que, d'una manera quasi simultània, s'estan produint.

Sembla que comencem a pensar que les ciutats que, aparentment, sempre havíem llegit a través de models abstractes —és a dir, una ciutat que tindria un centre, que hem d'arribar al centre, que hi ha uns sistemes de fer rodar, el que diríem unes rondes per a fer que el trànsit no arribi al centre, per protegir— comencen a ser sistemes molt més d'aquest tipus, on les formes de relació entre les parts, moltes vegades, no responen a la forma general de la ciutat o la forma tradicional de la ciutat. Em sembla que a partir d'aquestes maneres que tenen a veure amb la geografia del territori, amb alguns fets històrics de la ciutat del passat, han de fer pensar en la manera com la «centralitat» s'activa en les noves realitats urbanes.

### 4.4. La ciutat es dissol?

Ja al principi del segle passat, un gran arquitecte urbanista alemany, Bruno Taut, parlava de la «dissolució» de la ciutat, amb una posició polèmica i crítica respecte als models tradicionals. A *Die Stadtkrone* ens posa el problema de la forma adequada de la nova ciutat respecte a la ciutat històrica, i en discuteix les formes del «coronament», de la identificació del centre nou, respecte a la ciutat més dispersa.

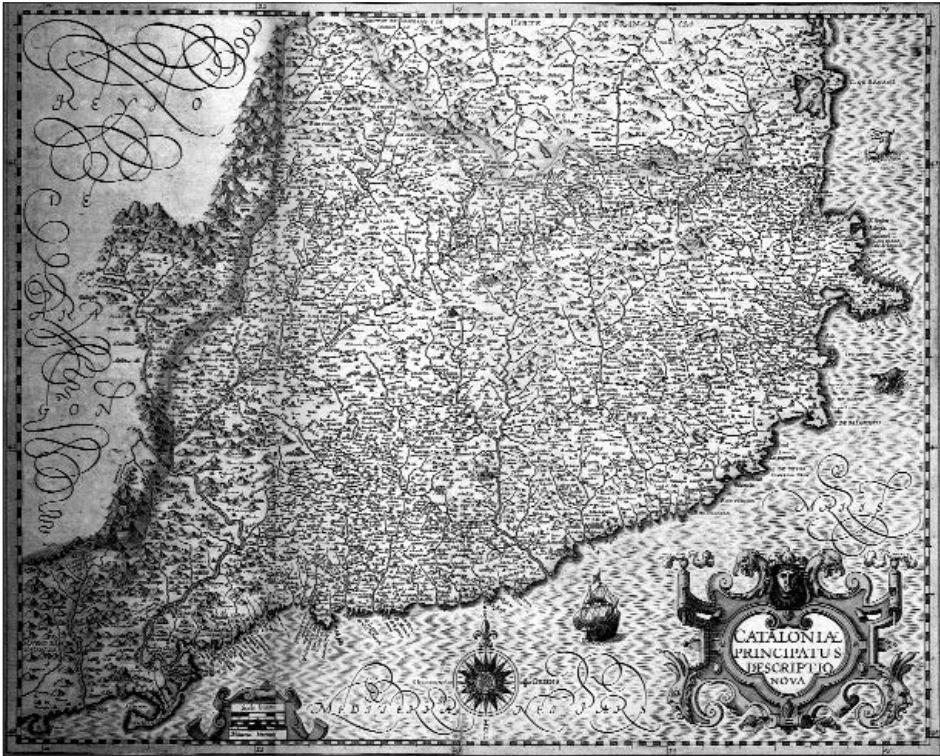


FIGURA 3. Catalunya interior. Mapa de Catalunya realitzat per Gerardus Mercator en el segle XVII.

El tema avui dia és que s'ha convertit en part de la nostra realitat. Estem en una situació en què cal organitzar mercaderies, formes de població però, sobretot, sistemes d'informació i de mobilitat més alts i més eficients que mai. Aquestes són les qüestions que les noves demandes ens estan posant sobre la taula.

Per tant, les maneres com s'assenten les persones, l'activitat econòmica, canvien d'una manera dràstica i, en dir això, no voldria que s'entengués que la ciutat del passat no té un paper important, però ha de canviar la manera com les ciutats han de ser enteses, manipulades i treballades. Igual que la ciutat medieval ha estat reconvertida en la ciutat actual, a vegades passegem pel barri gòtic de la ciutat de Barcelona i diem «que bonic que era». No és veritat, aquella ciutat no té gaire de romana ni de gòtica, ha estat treballada tres vegades i canviada. Per tant, aquesta manera de repensar la ciutat és quelcom que avui dia ens demanen, tenint l'ambició de treballar amb el passat, tornant a formular «formes» que puguin ser eficients actualment, però que recullin la petjada del passat que, com un «palimpsest», ens permet lectures de la realitat molt més riques i rigoroses.



FIGURA 4. Catalunya litoral. Landsat-5, 2003.

## 5. Catalunya abans i ara. La urbanització va cap a la costa

Si observem la transformació del territori en el llarg termini, podem constatar com, en el cas de Catalunya, els assentaments s'han decantat cap a la costa. Com dèiem abans, la industrialització ha portat un creixement fort de la urbanització, que s'ha concentrat al llarg del litoral, en especial al voltant de Barcelona.

Si fa tres-cents anys, el poblament tenia una distribució bastant homogènia, avui dia s'ha passat a un territori amb una situació dominada pel litoral.

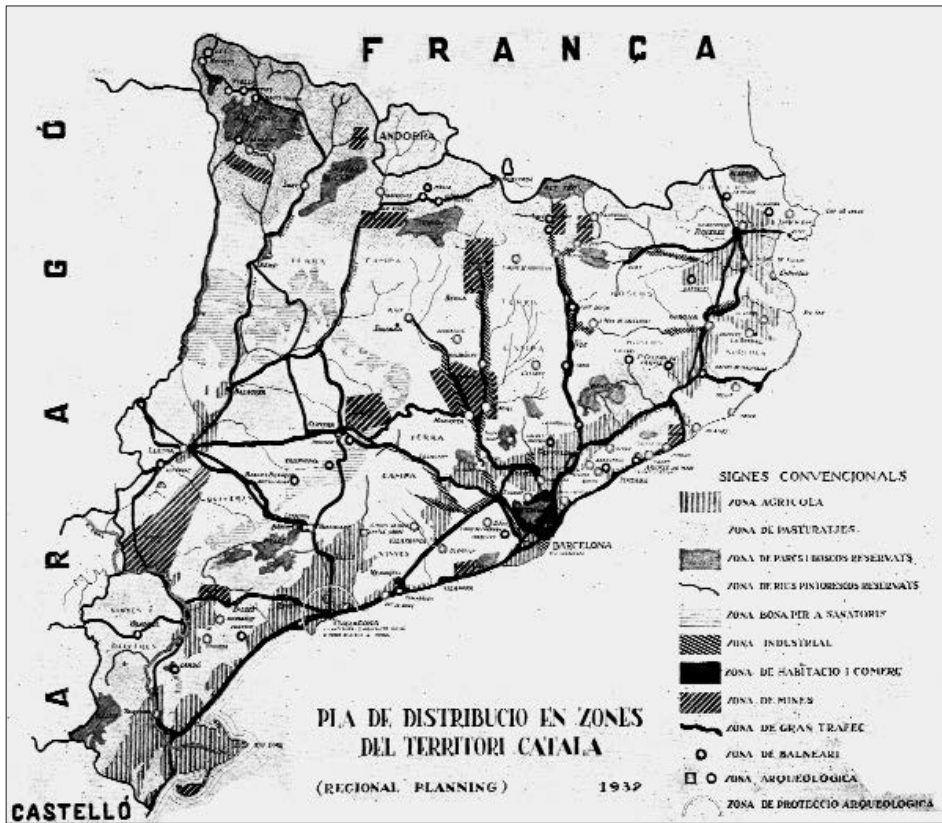


FIGURA 5. Pla regional de Catalunya dels anys trenta.

Cal pensar que els grans instruments d'organització del territori —com el Pla Regional dels germans Rubió i Tudurí, als anys trenta—, és clar, eren esforços en grans moments en què aquesta dinàmica s'estava imposant: el territori s'estructurava des de la lògica dels mercats que actuaven com a punts de referència obligada. Potser avui dia, és una lògica menys rellevant que els mecanismes de mobilitat i de relació entre les parts del territori català.

En qualsevol cas, el Pla Regional, per raons polítiques, no va ser seguit i, per tant, l'estructuració d'aquest procés de concentració tan fort es va fer sense pautes interessants. Va dominar la tasca de l'administració del creixement amb poques idees i pocs recursos, la qual cosa va crear una situació difícil en l'àrea metropolitana central.

Aquesta reflexió ens porta a la conveniència d'entendre el següent: en primer lloc, hi ha moments de reflexió o propostes innovadores en el territori, però, en segon lloc, hi ha la necessitat d'una administració continuada, racional i justa d'aquest. Poden coincidir en el

temps o no. Els primers parlen del llarg recorregut, els segons de la quotidianitat i contínuïtat.

Per exemple, i per a referir-nos a altres indrets, un gran projecte per a la vall del Tennessee, als Estats Units, va lligar la idea de paisatge i la d'energia per reactivar un territori aspre i difícil, i convertir-lo en un espai innovador i dinàmic els anys trenta. Tanmateix, resoldre qüestions de l'aigua i de la producció d'energia, però també crear espais d'agricultura i economia nous, van sorgir arran de l'eslògan «la pluja és el que destrueix el territori». El que cal és canalitzar bé i aconseguir que la pluja es converteixi en un element positiu. Ens fa veure com cal certa escala per a poder afrontar la producció nova d'energia, rescatant el paisatge, i els desplegaments de nous assentaments que creen noves comunitats territorials.

Els grans projectes no necessàriament són sempre iniciativa de l'Administració. Aquest seria el cas del Pla Regional de Nova York, que és un pla de tres estats, i que ja va per la tercera generació: són entitats que tenen tant de rigor per a discutir aquestes coses que, fins a cert punt, l'Administració les escolta o hi discuteix i, així, una realitat tan complexa com Manhattan i Nova York ha trobat les vies de desenvolupament.

Cada territori necessita subjectes d'interpretació específica. Per exemple, recentment s'ha obert la discussió, dins de la Unió Europea, de l'Euroregió 2008, que és una operació que inclou fragments de tres països: d'Alemanya, de Bèlgica i dels Països Baixos. És una regió interestatal feta tradicionalment de fronteres, en la qual arriba en un moment que és molt difícil establir cap projecte ambiciós si no hi ha una idea única coordinada i coherent sobre el paisatge, l'organització de l'activitat, de l'energia, de les aigües, etc.; són elements que passen a ser decisius per damunt de les antigues fronteres limitadores.

## 6. Catalunya cap al futur

És clar que la concentració de població i activitat en el litoral tendeix a concentrar les inversions, ja que és on hi ha més demandes, i es converteix en un cercle redundat amb una sortida difícil. L'interior o el rerepaís queda com un tema secundari.

Voldríem fer referència a dues qüestions: per una banda, les noves infraestructures de comunicació; per l'altra, alguns episodis de treball conjunt entre les diferents parts del territori.

a) El triangle del territori català s'articularà d'una manera molt diferent amb la presència del TGV, ja en construcció, i això pot tenir un impacte beneficiós —a causa de l'augment d'accessibilitat que produirà—, si es treballa d'una manera coherent i ambiciosa.

b) No hauríem d'oblidar que hi hagut situacions, no tan llunyanes, de sinergia mútua entre diferents parts del territori, per exemple, quan pensem en el desenvolupament dels pantans, aigües amunt del Segre, per produir energia elèctrica de la força hidràulica i la por-

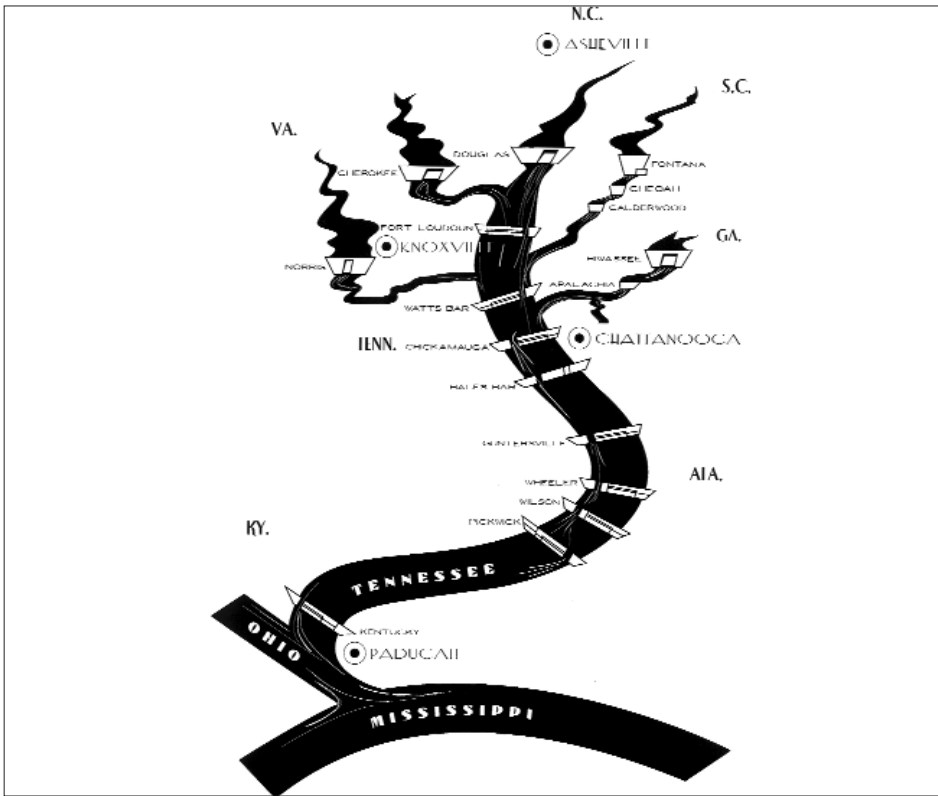


FIGURA 6. TVA als Estats Units.

tada d'energia que el grup liderat pel doctor Pearson va realitzar i que va permetre la innovació de la indústria a Barcelona.

Voldria fer referència a un estudi recent, fet per suggeriment de Ferrocarrils de la Generalitat de Catalunya (FGC), que mira d'explorar els possibles beneficis que es deduirien de millorar el ferrocarril de Lleida a la Pobla, perllongant-lo fins a Andorra o la Vall d'Aran.

La Catalunya continental es pot beneficiar de les noves condicions d'accés de les noves infraestructures, si es milloren adequadament els sistemes de connexió intermodals, és a dir, d'intercanvi entre l'alta velocitat i els altres mitjans de transport públic —com pot ser el cas del ferrocarril que hem esmentat abans.

Si tenim en compte la realitat d'altres països europeus, per exemple Suïssa, hom troba que, malgrat la dificultat geogràfica, petits nuclis ben enllaçats amb el ferrocarril poden establir un sistema territorial molt potent, ja que hi ha accessibilitat per als trens ràpids.

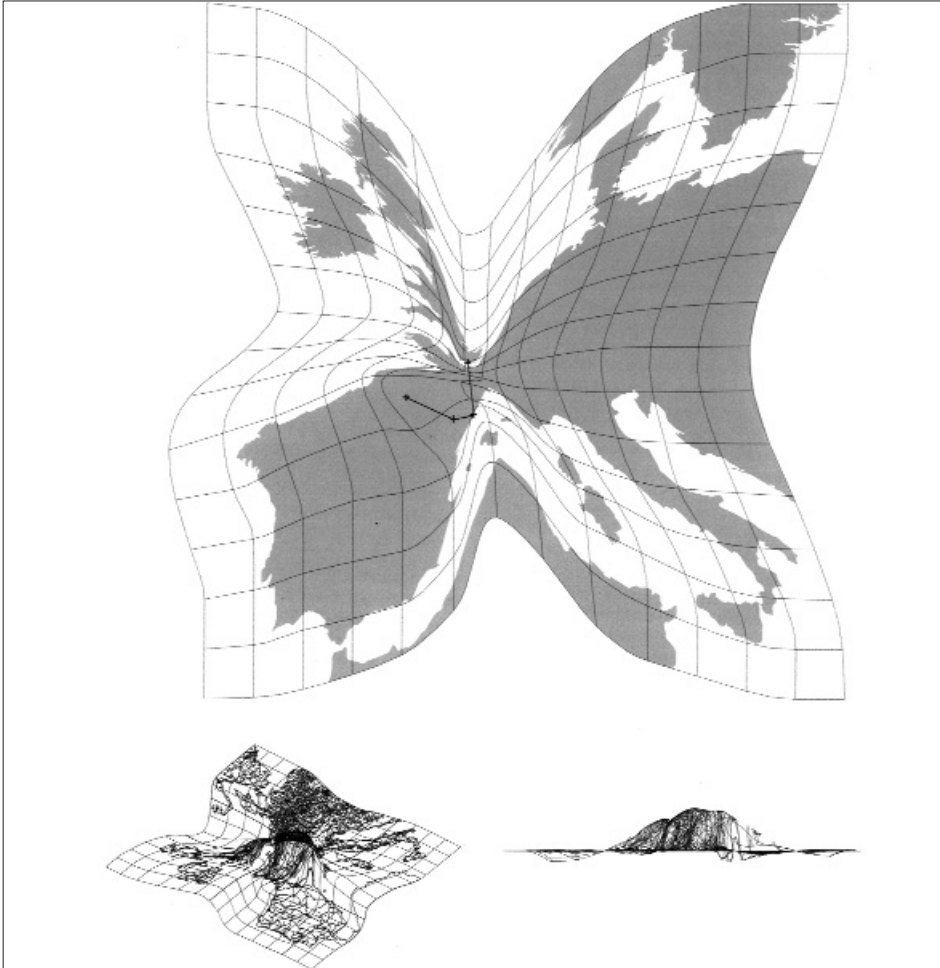


FIGURA 7. El TGV en el territori. El mapa d'Europa es distorsiona amb l'alta velocitat, amb un itinerari Londres-Vielha, utilitzant el TGV; i el ferrocarril de la Pobla perllongat.

Podríem pensar que és possible canviar els horitzons i que en el marc europeu hom pot veure la gran forma geogràfica de Catalunya, com un triangle autònom, però també un triangle on cada costat obre potencialitats ben diferents: França, per un costat; la resta d'Espanya, per l'altre; la mar Mediterrània com a gran espai obert.

M'atreviria a dir que, fins avui, només hem desenvolupat el front de la mar Mediterrània i, encara amb prou feines, el corredor litoral. Ara ens trobem davant la possibilitat d'un canvi en l'ús del territori sense precedents, també veiem que les formes de treball canvien:

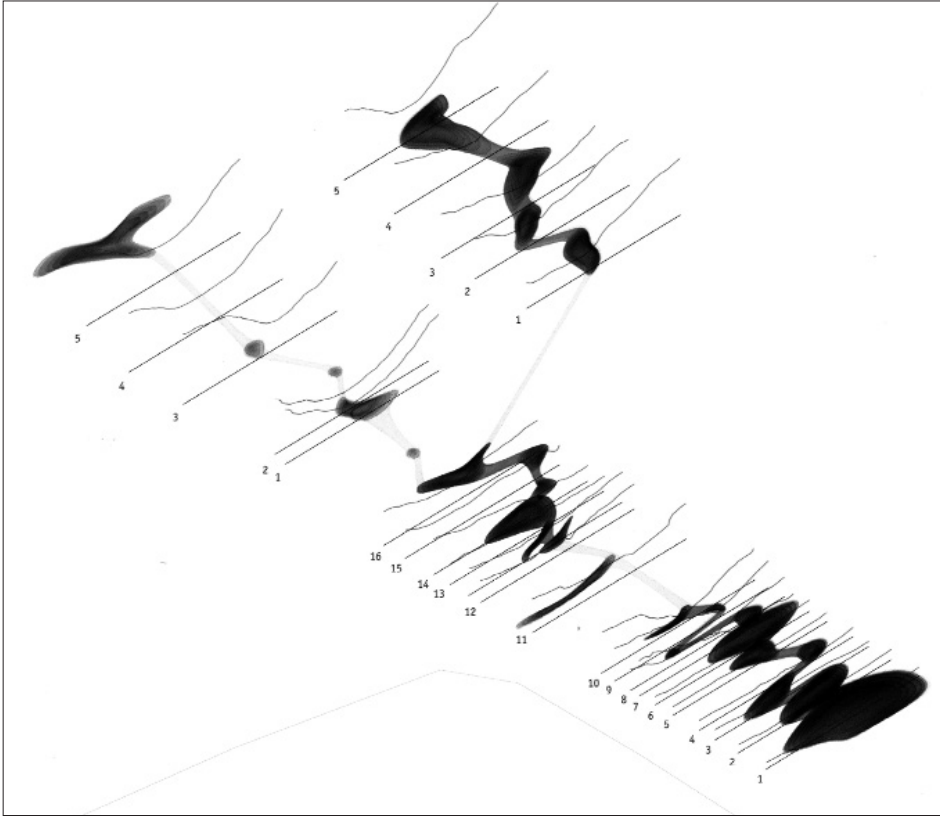


FIGURA 8. Potencials del corredor Lleida-Andorra i Lleida-Vall d'Aran.

creix la flexibilitat horària, augmenta la disponibilitat de temps lliure, les formes d'ús de l'agricultura evolucionen. Hi ha necessitat d'energia alternativa, que obre nous potencials.

Apareixen demandes d'ús del territori interior per a l'esport i el lleure, el turisme ecològic, com activitats d'ús i no activitats depredadores, i creen una nova economia en el territori. També constatem, per exemple, en altres indrets, l'augment de la població sènior o gent de més de cinquanta anys, que té força però que té altres prioritats en les maneres de vida i pren la naturalesa com un valor fonamental. Les ciutats de sèniors o de gent més gran de cinquanta anys al Japó o als EUA es compten per centenars. És una demanda per a reciclar parts d'uns territoris amb una cultura i una història fortes, però poc utilitzats en les darreres dècades.

Pel que fa a l'energia, estem parlant molt de les energies alternatives; per tant, cada territori té unes capacitats alternatives si volem donar-li futur.



Són qüestions que, per la meua manera de veure-ho, i vist des d'un marc més acadèmic, ens permeten pensar que, segurament, hi ha capacitats... Acceptin aquest tema de la Catalunya continental; jo sé que és un element difícil, però cal tenir en compte que, també, aquests elements poden obligar-nos a pensar en maneres alternatives d'utilitzar el territori que, beneficiant-se també d'aquesta condició política favorable, però també econòmica molt viva, pugui donar sortida.

Quedem-nos, potser, amb la idea que a mitjà termini sinergies com l'assenyalada amb l'energia i l'aigua poden tornar a crear noves oportunitats per a aconseguir un desenvolupament durable i una redistribució entre parts més justa.

## 7. Necessitat de combinar diverses escales

Hem parlat del fet que els territoris urbanitzats defineixen nous paradigmes:

Les operacions de descentralització del territori estan molt basades en sistemes que demana l'economia. En el sistema industrial tradicional, la continuïtat era fonamental per a tenir èxit: si aquella indústria es creava en un lloc on no hi havia mà d'obra, l'atreïa. Avui dia és al revés: l'activitat econòmica punta busca on localitzar-se amb estratègies molt diferents i variades, i no pensem que la mateixa estratègia d'una empresa serà copiada per una altra. Són qüestions que fan que el nostre territori canviï, però sobretot que la manera com nosaltres l'hem de preparar, és a dir, planificar, sigui molt diferent.

Hi ha nous conceptes per a l'organització i coherència social: les persones cada vegada es mouen més; la gent potser no s'organitza només a partir del sistema de les fonts de treball o dels sindicats, sinó que actua amb sistemes de preferència per criteris molt diferents. Els francesos parlen dels sistemes d'organització de la «multitud»: és la idea que un busca la proximitat de qui creu que pensarà bastant com ell; però no és que tingui la mateixa professió, o que visqui al mateix lloc, no és que parli la mateixa llengua.

També hi ha la idea bastant difusa que les persones tenen sentiments de multilocalitat. És a dir, la persona no se sent només d'un lloc; sinó de diversos indrets, fins i tot, dins la mateixa regió, perquè viu a una ciutat, treballa en una altra i en visita freqüentment una altra, que també la té com a referència i se n'ha preocupat del seu esdeveniment. Són idees que estan canviant moltíssim amb els efectes del temps i de les persones, perquè em sembla que són aquests els que creen vertaderes demandes que transformen el territori.

Insisteixo, no sabem on ens porta l'alta velocitat, però ho estem veient ja: veiem que Girona, Lleida, Tarragona, Reus exploten. I descobrim que no és una dinàmica local la que crea aquests efectes.

També em sembla que la mateixa escala del país demana esborrar-ne una mica els límits i ser capaços de generar sobre aquestes operacions uns sistemes més forts i més potents. Em

sembla que només així es poden crear grans consensos. Si no, és molt difícil, i la qüestió de la política sobre l'urbanisme acaba sent un consens com si fos «et dono aquest cromó, però voldré aquest altre...». No hi tinc res en contra, però em sembla que estem en un moment similar a quan van fer els ferrocarrils al segle XIX. Els besavis o els rebesavis no podien pensar que els ferrocarrils els pagaven en una ni en dues, ni en tres generacions, i sort que ho van fer. La inversió i el canvi de l'indiar que avui dia comporta poden fer pensar en models molt alternatius, molt ambiciosos.

Així, doncs, cal entendre les decisions a escala del territori ampli i les més locals o metropolitanes. Però, sobretot, hauríem d'estar amatents a veure les possibilitats que ens obre a mitjà termini; no sigui que els avantatges se'ns quedin ofegats perquè no hem estat capaços d'anar més enllà. Per tant, cal combinar diferents escales i tenir en compte que cal estar pensant en allò que planifiquem per demà però també quina visió del conjunt tenim a llarg termini. I tot això ho fem des de la idea inicial que segurament ens ha de preocupar de com podem donar forma al futur que discutim, planifiquem o visionem; perquè en definitiva coneixem que el futur ara no té forma, però l'acabarà tenint, i el nostre compromís és treballar per la qualificació d'aquesta forma, dels espais, de les activitats. I això és el que jo voldria aprofitar per deixar sobre la taula.

## Bibliografia

- BOERI, Stefano [et al.]. *Gli orizzonti della Città diffusa*. Milà, 1993.
- BUSQUETS, Joan. *Catalunya continental. Infraestructura ferroviària com espina dorsal del territori*. Harvard, MA: The University, 2008. [Amb la col·laboració de Felipe Correa.]
- BUSQUETS, Joan. *Barcelona: Construcción urbanística de una ciudad compacta*. Barcelona: El Serbal, 2003.
- MORET, Xavier. *Dr. Pearson. L'home que va portar la llum a Catalunya*. Barcelona: Columna, 2004.
- RUBIÓ I TUDURÍ, Nicolau M. *Regional Planning. El pla de distribució de zones del territori català*. Barcelona: Generalitat de Catalunya, 1932.

## L'ordenació dels sistemes urbans a França: la mancomunitat d'aglomeració (*communauté d'agglomération*)

Jean Glavany

Exministre i president de la Communauté d'Agglomération du Grand Tarbes i diputat del departament d'Hautes-Pyrénées

Bona tarda, en primer lloc us he de pregar que disculpeu el meu retard però, tot i que hem sortit del Consolat a l'hora que calia, ens hem perdut. Es veu que el nostre enfocament de les estructures urbanes no és tan bo com caldria. En segon lloc, m'he d'excusar per expressar-me en francès, però el meu domini tant del català com del castellà encara deixa molt a desitjar. Tanmateix, estic molt content de ser aquí i poder-los mostrar la meva modesta experiència d'aquests darrers anys pel que fa a les mancomunitats d'aglomeració. Perquè d'ençà que el 2002 vaig deixar el Govern de Lionel Jospin, presideixo quasi a temps complet la mancomunitat d'aglomeració del Gran Tarbes, i durant cinc anys he viscut el dia a dia d'una d'aquestes entitats de cooperació intermunicipal de les quals els parlaré aquesta tarda.

Per analitzar aquest sistema d'organització dels sistemes urbans a França i, encara més, la noció mateixa de mancomunitat d'aglomeració (*communauté d'agglomération*) voldria començar per explicar breument la història de la cooperació intermunicipal a França, després analitzar-ne l'es-

tructuració, que conclou, en els anys recents, amb la creació d'aquestes mancomunitats d'aglomeració i, finalment, presentar un exemple precís, el que conec millor, el de la mancomunitat d'aglomeració del Gran Tarbes.

Cal dir que els municipis francesos són molt antics, perquè s'originen de les parròquies catòliques d'abans de la Revolució, i en prenen el relleu el 1789. Aquestes parròquies eren molt nombroses, 36.778, i això fa que encara avui hi hagi més de vuit mil municipis a França, tants com al conjunt de la resta d'Europa. L'Estat republicà ha considerat des de fa anys que aquesta fragmentació representa un entrebanc, cosa que potser és discutible des del punt de vista democràtic, atès que, des del meu punt de vista, també és una manera d'entendre la democràcia local. Però en tot cas aquesta fragmentació és objecte de l'atenció de l'Estat, que ha intentat superar les limitacions que comporta. Així, ja els anys seixanta ens trobem amb algunes actuacions fracassades amb les quals l'Estat intentava reduir autoritàriament el nombre de municipis, fusionar-los. I per què va fracassar? Molt senzill, justament perquè es va voler fer desaparèixer l'entitat municipal, a la qual els francesos estan molt afe-rats, perquè es van provocar sentiments de rebuig en aquesta escala democràtica de base.

Després d'aquest fracàs dels anys seixanta, l'Estat es va decantar per l'estímul a la cooperació intermunicipal. Primer de tot en mitjans i projectes. No cal dir que la cooperació intermunicipal en mitjans és de primera necessitat. Per això es va desenvolupar quan els municipis es van abocar a emprendre grans programes d'equipaments públics. I després de la Segona Guerra Mundial s'ha vist que els sindicats intermunicipals han desenvolupat competències transversals que reclamaven un enfocament territorial que superés els límits municipals: l'abastament d'aigua (la primera necessitat que va promoure històricament la creació d'aquests sindicats), el tractament de les aigües residuals o la recollida de les escombraries. Aquesta primera onada de cooperació intermunicipal es va basar, doncs, en la cooperació en temes quotidians de primera necessitat.

La cooperació intermunicipal sobre projectes concrets es va desenvolupar amb la constatació que a França hi ha una estructura municipal massa fragmentada per a respondre als interessos comuns a diferents municipis, sobretot pel que fa a la urbanització, l'habitatge, els transports o els grans equipaments públics, que ja no poden ser considerats a l'escala d'un territori municipal. Dues lleis han estructurat aquesta modalitat de cooperació intermunicipal: la Llei d'orientació 92-125, de 6 de febrer de 1992, relativa a l'administració territorial de la República, anomenada llei Joxe, i la Llei 99-586, de 12 de juliol de 1999, relativa al reforçament i la simplificació de la cooperació intermunicipal, anomenada Llei Chevènement.

La Llei de 6 de febrer de 1992 va crear les mancomunitats de municipis i d'aglomeració per a reforçar la cooperació intermunicipal en l'àmbit urbà. Aquestes mancomunitats d'aglomeració tenen competències en matèria de desenvolupament econòmic i d'ordenació de l'espai i han d'harmonitzar les polítiques fiscals dels municipis que les integren, especialment pel

que fa a l'impost sobre l'activitat econòmica (la taxa professional, com se'n diu a França) que és el recurs més important dels municipis francesos i el més dinàmic.

Ara els explicaré breument l'estructura de la fiscalitat local a França. El finançament de les col·lectivitats locals franceses es basa en quatre impostos: impost d'habitatge, que paguen els ocupants de cada habitatge i es calcula sobre la base del valor cadastral, tant si l'ocupant de l'habitatge és propietari com si és llogater; l'impost sobre els immobles construïts, que paga el propietari segons el valor cadastral; l'impost sobre els immobles sense construir (urbans, agrícoles o forestals), igualment a càrrec del propietari i calculat sobre la base del valor cadastral, i la «taxa professional», que paga tota persona física o moral que exerceix una activitat econòmica i que es calcula sobre el valor cadastral dels locals que ocupa, i el dels altres actius vinculats a l'activitat professional del contribuent.

La racionalització de l'estructura territorial francesa es va completar amb la Llei de 12 de juliol de 1999 sobre la base del llinar demogràfic. Per estructurar la cooperació entre els municipis petits, en espais rurals o periurbans, es van crear les mancomunitats de municipis. Per a les ciutats petites o mitjanes es van crear les mancomunitats d'aglomeració, que han de tenir més de cinquanta mil habitants i almenys un municipi de més de quinze mil. I per a les àrees urbanes de més de cinc-cents mil habitants (i amb un municipi, com a mínim, de més de cinquanta mil) es van crear les mancomunitats urbanes. Un dels motius de l'èxit d'aquesta Llei de les col·lectivitats locals prové del fet que acollir-se a aquestes agrupacions intermunicipals ha esdevingut des de l'òptica financera un fort incentiu per als municipis.

El primer incentiu financer prové del que a la llei s'anomena la *dotació global de finançament* (DGF), que és l'aportació de l'Estat a les finances dels municipis que es mancomunen, l'import de la qual és fixat pel Comitè de Finances Locals. D'ençà de l'any 2000 l'import de la DGF dels municipis varia en funció de la dimensió del municipi i també de la integració fiscal d'aquest. Com més serveis posen en comú, més afavorits en resulten. L'any 2000 la DGF representava vint-i-dos euros i una mica més per habitant per als municipis petits; trenta-vuit euros de mitjana per a les mancomunitats d'aglomeració, és a dir, les estructures mitjanes, com és el cas de la de Tarbes, i setanta-tres euros per habitant per a les mancomunitats urbanes més grans.

Al costat de la DGF, els municipis d'una mancomunitat d'aglomeració tenen la «taxa professional», l'impost sobre l'activitat econòmica, unificat sobre el conjunt del territori de la mancomunitat. Aquest impost professional únic també és un element essencial del procés de cooperació intermunicipal. Les zones d'activitat dels diferents municipis ja no competeixen entre elles, quan en un municipi es presenta una empresa per dir que s'hi vol instal·lar. Quan l'impost sobre l'activitat econòmica es gestiona mancomunadament, el de qualsevol empresa implantada a qualsevol municipi va a un fons comú i cap empresa no pot pressionar un ajuntament per obtenir rebaixes amenaçant d'anar-se a instal·lar al municipi

del costat que li ofereix condicions més favorables a causa de la competència salvatge entre zones d'activitat de municipis veïns.

A més d'aquestes dues fonts d'ingressos, la DGF i la taxa professional única, les mancomunitats poden afegir una fiscalitat addicional als tres altres impostos (habitatge, immobles construïts i immobles sense construir), que perceben els municipis. Poques mancomunitats d'aglomeració s'han atrevit a fer ús d'aquesta possibilitat, perquè des del punt de vista polític tothom defensava unes mancomunitats d'aglomeració finançades amb una taxa professional suficient, i sense que els municipis haguessin d'afegir noves impositcions, la qual cosa ha fet que aquestes mancomunitats fossin més acceptables pels ciutadans. Crear una nova fiscalitat hauria suposat una ruptura amb aquests plantejaments.

Avui podem dir que aquesta política d'incentius a la creació d'establiments públics de cooperació intermunicipal ha tingut molt d'èxit, perquè l'1 de gener de 2006, l'any passat, se n'havien creat 2.578, que aplegaven 3.000 municipis de 3.600, és a dir, el 80 % de municipis, i 50,3 milions d'habitants. El 85 % de la població de França està englobada dins d'una mancomunitat territorial. És a dir, que la Llei de 1999 ha donat un impuls espectacular a un moviment de base que ja venia de feia anys. En aquesta cooperació intermunicipal hi ha catorze mancomunitats urbanes per a les ciutats més grans, cent setanta-quatre mancomunitats d'aglomeració, dos mil quatre-cents mancomunitats de municipis i catorze sindicats d'aglomeració nova, que corresponen a una problemàtica urbana diferent, pròpia de les ciutats de nova creació.

Ara voldria aturar-me uns minuts a tractar sobre els establiments públics de cooperació intermunicipal, diferents de la mancomunitat d'aglomeració. Aquestes representen una escala intermèdia de la integració intermunicipal, més elevada que la de la simple mancomunitat de municipis però menys que la mancomunitat urbana de les grans ciutats. Diguem, de passada, que París no té mancomunitat urbana, i que un dels grans reptes polítics de París i la primera corona de municipis del seu entorn és crear lligams de cooperació intermunicipal. L'alcalde de París hi és molt favorable, però no troba gaire ressò per part de les ciutats de la primera corona. Cal assenyalar, tanmateix, que a l'escala regional de l'Île de France, hi ha una estructura de programació i inversió econòmica de l'Administració central molt potent i eficient, cosa que podria explicar aquesta situació peculiar.

D'acord amb la Llei de 1999 les mancomunitats de municipis, d'aglomeració i urbanes són associacions entre municipis dintre d'un espai de solidaritat. Aquesta noció és important per a elaborar i conduir en comú un projecte de desenvolupament urbà i d'ordenació del territori. Pel que fa a les competències locals que s'han de mancomunar, n'hi ha quatre d'obligatòries que són fixades per la Llei, n'hi ha altres d'opcionals que es poden triar entre un menú de competències i, finalment, n'hi ha altres que són facultatives, de lliure elecció.

Les competències obligatòries són: en primer lloc, el desenvolupament econòmic, és a dir, la creació, l'ordenació, el manteniment i la gestió de les zones d'activitat industrial,

comercial, terciària, artesanal, turística, portuària o aeroportuària d'interès comú, i també les accions de desenvolupament econòmic d'interès comú, com la gestió d'hotels, d'empreses o altres similars.

En segon lloc, l'ordenació del territori de conjunt. Les mancomunitats d'aglomeració són responsables de l'elaboració dels plans generals i sectorials que han d'assegurar la coherència del conjunt del territori, de la creació i la realització de zones de gestió concertada d'interès comú (ZAC) i de l'organització dels transports urbans i interurbans dins del seu territori.

La tercera competència obligatòria es refereix a l'equilibri social de l'habitatge: programes locals d'habitatge; polítiques d'accés a l'habitatge, en particular a l'habitatge social, i accions que afavoreixin l'accés a l'habitatge de les persones desfavorides. Per exemple, sé que us interessen, perquè alguns de vosaltres ja me n'heu parlat, les grans operacions de renovació urbana, engegades aquests últims anys, per evitar la transformació en guetos de molts àmbits de les ciutats, de les perifèries metropolitanes, les *banlieues* i els grans polígons de les ciutats més grans, que són a França els àmbits més delicats des del punt de vista urbà, sociològic i socioeconòmic. I són les mancomunitats d'aglomeració les que les gestionen, en són les animadores i en són els grans actors en aquest punt.

Finalment, la quarta competència obligatòria té a veure amb l'acció social: dispositius contractuals de desenvolupament urbà, de desenvolupament local i d'inserció econòmica i social d'interès comú; dispositius locals d'interès comú, per exemple, de prevenció de delinqüència.

A més d'aquestes quatre competències obligatòries, les mancomunitats d'aglomeració han d'exercir com a mínim tres competències opcionals més d'un menú de sis: creació i manteniment de la xarxa viària (carrers, avingudes, passeigs, aparcaments); sanejament d'aigües residuals; abastament d'aigua potable; polítiques ambientals (lluita contra la contaminació atmosfèrica i acústica, suport a la demanda d'energia, eliminació i reciclatge de les escombraries), equipament, construcció, ordenació, manteniment i gestió d'ens culturals i esportius comuns, i acció social d'interès comú, en el qual cas la comunitat d'aglomeració pot confiar la responsabilitat a un centre intercomunal d'acció social clàssic, com n'hi ha a totes les ciutats europees.

Insisteixo sobre aquest concepte d'interès comunitari. Com es pot definir? De manera absolutament lliure pel que fa a la matèria, només ha d'haver-hi un acord polític per dir que determinat equipament (o una altra cosa) té interès comunitari. Us posaré un exemple concret de la mancomunitat d'aglomeració del Gran Tarbes: hi havia un hipòdrom en decadència, en un municipi petit de dos mil habitants que no podia mantenir-lo, i que va proposar que fos d'interès comunitari. Va consultar tots els polítics de l'aglomeració i, com que només hi havia aquell hipòdrom a l'aglomeració es va adoptar l'acord que la resta de municipis l'acceptaren com d'interès comunitari.

Actualment, hi ha un procediment que permet definir què és i què no és d'interès comunitari. Cal, d'entrada, que allò que es proposa, com en el cas de l'exemple de l'hipòdrom, tingui una consistència política i intel·lectual, altrament no hi hauria consens polític. Però fora d'això, no hi ha cap limitació a allò que es pot proposar en l'àmbit de l'interès comunitari. Un cop feta la proposta, una assemblea del Consell d'aglomeració la debat i la sotmet a votació. Cal una majoria de dos terços perquè sigui aprovada i, si ho és, la mancomunitat d'aglomeració assumeix la competència que escaigui.

Els delegats que representen els municipis al Consell que administra cada mancomunitat d'aglomeració no són elegits per sufragi universal directe sinó indirecte. És a dir, els delegats que componen el Consell Comunitari de la mancomunitat d'aglomeració són elegits pels consells municipals dels ajuntaments membres, amb el benentès que cap ajuntament, ni el més important de la mancomunitat, no pot tenir més del 50 % d'escons i tots han d'estar representats almenys per un delegat. Quan hi ha eleccions municipals i es renoven els consells municipals, en la primera sessió després de la renovació, el nou Consell municipal designa el seu o els seus delegats per formar el Consell Comunitari. El fet que aquests consells no siguin elegits per sufragi universal directe és una feblesa. Tard o d'hora s'haurà d'arribar a l'elecció dels consells comunitaris per sufragi universal directe per dotar-los de la legitimitat que els cal, sobretot tenint en compte que la mancomunitat d'aglomeració pot alterar el valor d'un impost com el d'activitat econòmica (la «taxa professional»).

Hi ha, efectivament, una gran diferència de mitjans entre les funcions d'una mancomunitat d'aglomeració i aquelles mancomunitats de projecte de què parlava al començament. Perquè aquestes són finançades amb contribucions dels municipis, i les mancomunitats d'aglomeració amb els impostos comuns. La font de finançament més important és, ja ho he dit, l'impost d'activitat econòmica únic per a tot l'àmbit i, en alguns casos, la possible fiscalitat a l'entorn d'aquest impost gravant les empreses, que poques aglomeracions utilitzen. El tercer recurs de finançament, la dotació global de finançament (DGF), com he dit, representa l'incentiu que més creix com més gran és la integració fiscal de la mancomunitat.

Mirant críticament aquestes estructures territorials, abans de presentar l'exemple concret del Gran Tarbes, es pot dir que l'escala de la mancomunitat d'aglomeració s'ha demostrat com molt pertinent per a l'Administració local francesa, a condició que la base geogràfica sigui suficient, ateses les competències que s'han transferit com, per exemple, l'esquema de cohesió territorial o el transport urbà o, fins i tot, l'equilibri social de l'habitatge. Sembla que algunes de les aglomeracions haurien de tenir l'obligació d'ampliar el seu cercle d'influència, i ens estem referint a ampliar-lo físicament amb la incorporació de nous municipis. Però també qualitativament, guanyant noves competències, per tal que tinguin el nivell d'autoritat pertinent i suficient per poder entendre i satisfer la problemàtica d'aquests municipis.

Aquest comentari indica que realment el procediment és idoni, perquè, com és sabut (totes les persones interessades per l'urbanisme ho saben), a totes les aglomeracions del món



la ciutat central no sempre pot assumir tota sola les funcions de centralitat de tota l'aglomeració ni, per tant, tots els equilibris i elements estructurals propis d'aquesta aglomeració. Es tracta, doncs, d'una estructura moderna i pertinent alhora per donar resposta a tota una sèrie de reptes. També és molt intel·ligent el fet que un municipi limítrof a aquells que formen part de la primera corona pugui aprofitar-se, amb taxes d'ocupació molt baixes, dels ingressos fiscals que generen les ciutats centrals més properes on es desenvolupen activitats molt variades. Són aquestes ciutats centre les que agreguen la gent que, per exemple, va a comprar o la gent que va a treballar, mentre a l'exterior tenim totes les altres ciutats que reben els ingressos fiscals de les empreses de tota la mancomunitat.

Per tant, s'han posat en marxa tota una sèrie de recursos econòmics per tal que hi hagi un equilibri també entre càrregues i recursos, un mecanisme de perequació fiscal. Ara bé, cal ser clars, jo crec que les mancomunitats d'aglomeració presenten tres grans mancances. En primer lloc, els seus consells no són elegits per sufragi directe, i això és molt important, perquè no s'ha aconseguit una democràcia directa. En segon lloc, depenen massa de la resta del municipi. Normalment, quan es crea una mancomunitat d'aglomeració es fa un informe per part d'una comissió d'avaluació de càrregues que determina quines són les càrregues concretes per a aquella comunitat d'aglomeració. Hi ha una transferència de càrregues i una transferència de competències entre municipis i mancomunitat. S'exposa, per exemple, fins a quin punt o fins a quin grau es transfereix una competència i quina càrrega suposarà aquesta competència. Tot això s'aprova per dos terços del Consell Comunitari, sempre que els municipis dels delegats favorables representin la meitat de la població de la mancomunitat d'aglomeració. Es tracta, doncs, de requisits molt restrictius i cal trobar constantment compromisos. La mancomunitat d'aglomeració sempre implica la cerca de compromisos, fins i tot en una mancomunitat d'aglomeració com la del Gran Tarbes que és una mancomunitat d'aglomeració d'esquerres, però en la qual també hi ha una gran proporció de gent de dretes. És, per tant, una mancomunitat d'aglomeració en la qual cal buscar constantment un cert equilibri. S'ha de reconèixer que, de vegades, això ha acabat per ser un fre per al desenvolupament necessari de la mancomunitat.

L'impost d'activitat econòmica únic, la «taxa professional», ha estat fins fa pocs anys un dels ingressos més dinàmics per als ajuntaments francesos. Però ara ja no ho és tant, perquè s'hi han fet moltes reformes, sobretot per beneficiar els empresaris, la patronal francesa, i, si abans això podia representar un 40 % dels ingressos municipals, ara té un sostre més limitat. La pèrdua de dinamisme d'aquest impost seria la tercera de les grans crítiques que jo faria a aquestes mancomunitats d'aglomeració.

Ara m'agradaria presentar-vos diferent projectes que estem portant a terme dins de l'aglomeració del Gran Tarbes. I, primer de tot, a Aureilhan, que és l'ajuntament que presideixo des de fa uns quants anys. Està al sud de França, al peu dels Pirineus. Suposo que hi ha altres poblacions més conegudes a l'entorn d'Aureilhan, a més de Tarbes, que és al costat

mateix, per exemple Lourdes o Bagnères-de-Bigorre. Forma part de la mancomunitat d'aglomeració de Tarbes, que inclou dotze municipis, amb 79.800 habitants, 49.000 dels quals viuen a la ciutat central, en la qual hi ha dinou mil llocs de treball i cinc mil estudiants. Hi ha una escola d'enginyeria i també un institut universitari de tecnologia que configuren un centre universitari que, sens dubte, és una de les forces principals (i una característica força notable) d'una aglomeració com aquesta.

El funcionament de la mancomunitat d'aglomeració de Tarbes es basa en un consell comunitari escollit per sufragi indirecte. Té competència, en primer lloc, tal com les altres mancomunitats d'aglomeració, en desenvolupament econòmic, organització dels transports urbans, ordenació territorial i equilibri social de l'habitatge. I dues competències més que són les instal·lacions esportives i les destinades a la gent nòmada que està de pas, *gent du voyage*, en francès. És un tema sovint molt delicat per als nostres càrrecs electes donar un bon tracte a aquesta gent.

I, finalment, hi ha tota una part de les competències de la mancomunitat que gravita més aviat sobre els universitaris. La mancomunitat d'aglomeració gestiona uns viviers (hotels) d'empreses, un equipament en el qual l'Administració lloga uns espais a empreses en procés de creació perquè puguin dur a terme tot el seu desenvolupament econòmic. Aquests espais estan molt ben equipats: tot està cablejat, hi ha accés a Internet, hi ha les últimes tecnologies. I es lloguen especialment a empreses del sector terciari, que només necessiten espais d'oficina.

En l'àmbit del desenvolupament econòmic la mancomunitat també ha promogut per exemple, zones d'activitat concertada (ZAC), com les del Parc dels Pirineus o el Parc de l'Adour, amb la fàbrica Alstom, autèntics pols d'activitat i, per tant, d'interès comunitari.

També disposa d'una xarxa de transports que dona servei als dotze municipis de l'aglomeració. En total són més de nou-cents mil quilòmetres anuals de desplaçaments. Hi ha unes quantes línies adaptades i també s'ha creat un sistema de transport a la carta per a gent amb discapacitats físiques. És un sistema de servei a domicili, amb mini busos, que poden recollir la gent que ho necessita perquè s'ha de moure amb cadira de rodes. Cal afegir-hi dos autobusos elèctrics que fan de llançadora al centre de la ciutat de Tarbes. És un servei totalment gratuït, és ecològic, i ha tingut realment molt d'èxit.

En aquest marc de la competència en matèria de transports, la mancomunitat d'aglomeració de Tarbes, tot i que la llei no l'hi obliga per les seves dimensions demogràfiques, ha iniciat una reflexió sobre un pla de mobilitat urbana. Durant tres anys s'ha dut a terme una enquesta entre els habitants de l'aglomeració, perquè parlessin del sistema de transport, de la xarxa de transports de l'aglomeració, per tal d'evitar que la situació resultés finalment inacceptable, és a dir, que tot acabés totalment envaït pels cotxes. Per això, s'ha volgut crear un entorn que sigui segur i molt més sostenible, afavorint, per tant, la circulació de bicicletes, de vianants, i reduint la presència dels cotxes. Aquest pla s'ha enllestit fa poc i s'espera-

va que fos aprovat abans de l'estiu del 2007. Un cop sigui aprovat tindrà força vinculant i, per tant, s'imposarà fins i tot a les ordenances municipals.

Pel que fa a l'ordenació territorial, també s'ha dut a terme una revisió de l'esquema de coherència territorial amb les dues mancomunitats veïnes: la mancomunitat del país de Lourdes i la del cantó d'Ossun, que és una zona molt rural situada entre Tarbes i Lourdes. És una feina que s'ha desenvolupat al llarg de més de tres anys i ara s'hi estan donant els darrers tocs.

Pel que fa a l'equilibri social de l'habitatge, la mancomunitat és, fins a cert punt, la promotora d'una nova operació d'ordenació territorial, però també vol desenvolupar tota una sèrie d'allotjaments socials en col·laboració amb els ajuntaments. S'enderroquen cases que ja no corresponen en absolut a cap de les demandes que fa la població, i es construeixen petits conjunts d'habitatges, petites cases amb bons equipaments col·lectius. A més a més, també s'han intentat restaurar edificis amb façanes interessants des d'un punt de vista arquitectònic. Tot això es fomenta conjuntament amb les diferents empreses encarregades de construir o rehabilitar aquest habitatge social.

La mancomunitat també aposta fort pel que seria la valorització ecològica. S'han construït vuitanta quilòmetres d'itineraris naturals, ben assenyalats, ben marcats, s'intenta recuperar el que és aquest patrimoni natural històric. S'ha aprofitat el fet que l'aglomeració de Tarbes es troba en una situació geogràfica molt interessant. És una aglomeració de dimensions modestes, però amb un entorn natural molt excepcional. I s'han intentat recuperar els lligams amb la natura periurbana. A tres quilòmetres de Tarbes teniu els llacs de Bours, un lloc realment màgic, dins mateix de l'aglomeració i molt a prop de l'espai urbà. En aquest esforç de recuperació ens hem centrat sobretot en tasques com l'itinerari anomenat el *CaminAdour*, el camí de l'Ador. L'Ador (Adour en francès) és aquest riu que neix al Tourmalet i que acaba a Baiona. I passa per l'aglomeració de Tarbes, i al llarg de tot aquest riu s'ha fet tot un itinerari, tot un sender realment molt bonic, amb tot d'informació pedagògica, que ha tingut un èxit increïble. Sens dubte, ha estat l'operació d'instal·lació d'infraestructura que ha tingut més èxit i cada dia, cada dia, realment, quan fa bon temps, sobretot, tenim milers de persones que recorren aquest sender.

Pel que fa als equipaments o instal·lacions esportives d'interès comunitari, tenim aquell hipòdrom, del qual ja he parlat, i les piscines. N'hi ha tres a l'aglomeració i en una, que amenaçava ruïna, ha calgut reconstruir totalment l'estructura de fusta de la cúpula. Deu ser per això perquè es va transferir la competència a la mancomunitat. També és molt interessant l'escola d'esgrima. A la zona de Tarbes hi ha una gran tradició d'afició a l'esgrima, amb escoles que van guanyant premis, medalles olímpiques, i també una casa, un centre d'arts marcial, en especial de judo.

També hi ha tota una sèrie d'instal·lacions culturals d'interès comunitari: nou biblioteques, nou escoles de música, un conservatori nacional de música i de dansa; una tradició ben viva d'ensenyament d'expressió corporal. I també participa amb un espai, el Parvis, en

la xarxa d'escenaris nacionals. Es tracta d'un centre que rep regularment diferents companyies internacionals de dansa i de teatre. Una mostra del que hauria de ser la descentralització cultural de la qual tant es parlava fa molts anys. La mancomunitat d'aglomeració del Gran Tarbes té la competència per finançar tot això.

Els equipaments destinats a la *gent du voyage*, la gent nòmada, consisteixen en zones on cada família pot col·locar les seves caravanes, i només per dos euros diaris, gràcies als nostres recursos financers, aquestes petites cabanes o cases rodants poden disposar d'abastament d'aigua i d'electricitat, que paguen amb unes targetes d'abonament. Per això, aquesta gent que té la tradició de viure desplaçant-se amb la casa a sobre, la trobem molt freqüentment a la nostra mancomunitat.

Ara, de fet, és a punt d'inaugurar la vuitena zona d'aquestes característiques. La mancomunitat d'aglomeració del Gran Tarbes, per tant, va molt avançada en comparació amb la resta de mancomunitats d'aglomeracions de França. De fet, es pren d'exemple a tot arreu. S'intenta, evidentment, arribar a cobrir, més o menys, les despeses de tots aquests equipaments. A més a més, hi ha un servei de neteja que passa diàriament. Ara bé, cal dir que la mancomunitat és una mica víctima del seu mateix èxit, perquè tot i que, teòricament, aquesta *gent du voyage* com els gitanos, només s'hi haurien de quedar quatre o cinc mesos com a màxim, finalment acaben per romandre de manera permanent en aquestes zones. I això està començant a plantejar alguns problemes, perquè al capdavant aquestes zones s'acaben per convertir en espais, en certa manera, privats, quan no n'era aquesta la intenció inicial.

Finalment, cal fer referència a la zona universitària de Tarbes, amb un ensenyament basat en ciències tecnològiques, activitats físiques i esportives i escola d'enginyers. En aquest punt la mancomunitat no treballa sola, disposa de finançament de l'Estat i del Departament. Per tant, tot plegat sorgeix de la col·laboració econòmica de diferents administracions. Tot això gràcies al senyor Lionel Jospin, que l'any 1992, quan era ministre d'Educació, ho va engegar, i va estar reforçat també pel senyor Claude Allègre, l'any 1998.

Espero haver pogut mostrar una mica com funcionen aquestes mancomunitats d'aglomeració. Jo crec que les mancomunitats d'aglomeració són realment un element de modernització de les estructures territorials. A més a més, evidentment, això ha topat amb altres esculls, com ara el de la complexitat de treballar amb la resta de municipis. Però, en general, he de dir que la feina que fan és molt eficaç. Com a antic membre del Govern he de dir-vos que ha estat per a mi un gran plaer poder dirigir una d'aquestes mancomunitats d'aglomeració. Ha estat una experiència positiva perquè estem molt en contacte amb els ciutadans, i perquè els podem donar una resposta directa als problemes.

LES TECNOLOGIES  
DE LA INFORMACIÓ  
I LES COMUNICACIONS  
A CATALUNYA

27 de febrer de 2007



# Les tecnologies de la informació i les comunicacions a Catalunya. Presentació

Lluís Jofre, IEC

Professor del Departament de Teoria del Senyal i Comunicacions  
de la Universitat Politècnica de Catalunya

Francesc Serra Mestres, IEC

Director del Centre Nacional de Microelectrònica  
a la Universitat Autònoma de Barcelona

En el decurs del Primer Cicle de Conferències sobre les Ciències Experimentals i la Tecnologia a les Terres de Parla Catalana al Segle XX, organitzat per la Secció de Ciències i Tecnologia dintre dels actes commemoratius del Centenari de l'Institut d'Estudis Catalans, s'ha dedicat una jornada a les tecnologies de la informació i les comunicacions a Catalunya (TIC). L'objectiu és dur a terme una reflexió sobre el paper de les TIC a Catalunya en el passat i plantejar la seva problemàtica de cara al futur.

La situació actual de la societat catalana admet una certa analogia amb la problemàtica que tenia principi del segle passat, just quan es va fundar l'IEC. En aquell temps, igual que ara, Catalunya es trobava davant d'uns reptes derivats de la transformació profunda de la societat en tots els aspectes: socials, polítics, econòmics, ètics, etc. Avui, els canvis als quals ens

enfrentem comporten uns problemes específics en relació amb la nostra identitat, derivats de fenòmens inherents a aquesta mateixa dinàmica. Podem esmentar, a tall d'exemple, la globalització o la immigració que, si són tractats inadecuadament, poden ser una amenaça, però a la vegada poden esdevenir un motor per a superar amb èxit tots aquests canvis.

Al principi del segle passat les transformacions van esclatar en una revolució industrial, tecnològicament assentada en qüestions relacionades amb l'energia. Ara, davant de la revolució de la societat de la informació i l'arribada de la societat del coneixement, Catalunya ha de respondre amb el motor que menen aquestes revolucions: les tecnologies de la informació i les comunicacions, les TIC.

Fa cent anys, Prat de la Riba fundava l'IEC i un grup d'enginyers nord-americans inventava els tubs de buit, cosa que va marcar el naixement de l'electrònica i va fer possible que la ràdio esdevingués un fenomen de comunicació de masses. Quaranta anys més tard es produeixen dos fets d'una importància cabdal per al futur desenvolupament tecnològic del segle XXI: la invenció del transistor per W. Shockley, J. Bardeen i W. Brattain (1947) i el descobriment de l'estructura de la doble hèlix de l'ADN per J. Watson i F. Crick (1953). El transistor i, posteriorment, el circuit integrat o xip inventat per J. Kilby i R. Noyce (1958) van donar el suport físic adequat al processament digital de la informació, propiciant el naixement de la informàtica amb el conseqüent desenvolupament dels ordinadors. Una mica més tard les comunicacions també van emprar el codi digital i el suport físic del xip per a la transmissió de la informació. Dues conseqüències més paradigmàtiques d'aquest fet són el desenvolupament de la telefonia cel·lular i Internet.

Catalunya no ha quedat mai al marge d'aquest fenomen de les TIC. Recordem que la primera emissora comercial de ràdio d'Espanya fou Ràdio Barcelona EAJ1, inaugurada el 14 de novembre de 1924, i la primera emissora que va emetre la seva programació en català (tres hores al dia) fou Ràdio Associació de Catalunya EAJ15 (1930). Després de la Guerra Civil i a l'empara de l'autarquia econòmica d'aquella època, va sorgir a Catalunya una indústria electrònica incipient en el sector del so i de la televisió amb empreses com Iberia, Inter, Vanguard, etc. Posteriorment, després de la liberalització de l'economia espanyola en la dècada dels seixanta, es van crear empreses d'electrònica professional molt innovadores, com per exemple EYSSA, Telesincro, etc. Malauradament la crisi dels setanta va bandejar tot aquest embrió industrial de les TIC a Catalunya.

En el decurs dels últims vint anys, la investigació a les nostres universitats i als instituts de recerca que s'han anat creant ha fet un tomb positiu notable, tant en general com pel que fa a les TIC en particular. Al mateix temps han anat sorgint petites i mitjanes empreses en el sector de les comunicacions, i sobretot en el camp de la informàtica, molt dinàmiques i innovadores. Aquests fets, però, no poden amagar que tant la transferència de tecnologia de les universitats i dels centres de recerca com la creació de noves empreses de base tecnològica està en un nivell molt inferior a aquell que Catalunya hauria de



tenir si es compara amb el seu desenvolupament econòmic i, fins i tot, atenent el nivell de la nostra recerca.

És per aquest motiu que la Secció de Ciències i Tecnologia de l'IEC ha programat aquesta jornada amb l'objectiu de fer una anàlisi del nostre passat, però sobretot d'analitzar el futur de les TIC a Catalunya. Cal arrossegar els nostres empresaris i els nostres científics i tecnòlegs amb idees emprenedores a crear empreses en aquest sector fonamental per al futur de Catalunya.

Catalunya ha tingut un passat industrial que ha ajudat a mantenir la nostra identitat. En els propers anys seran les TIC les que tindran aquest rol dintre d'una societat del coneixement. Voldríem que els qui celebren el segon centenari de l'IEC poguessin dir: principi del segle XXI Catalunya va fer, un altre cop, la feina que li pertocava.



# Les tecnologies de la informació i les comunicacions a Catalunya. Una visió històrica al llarg del segle XX

Antoni Elías

Catedràtic de Teoria del Senyal i Comunicació de la Universitat  
Politécnica de Catalunya i conseller de la Comissió del Mercat  
de les Telecomunicacions

La història de les tecnologies de la informació i les comunicacions a Catalunya comença amb la convergència tecnològica de tres elements: la telecomunicació, la informàtica i l'audiovisual. La telecomunicació, que neix com una solució a una sèrie de necessitats sorgides durant la Revolució Industrial. Fins aleshores, els únics que necessitaven comunicar-se a distància eren els governants i els militars que tenien els seus mètodes per a fer-ho. Però la Revolució Industrial va comportar el naixement d'empresaris que necessitaven comunicar-se amb proveïdors, financers i clients. Això genera la creació del telègraf òptic i, al cap de pocs anys, del telègraf elèctric. Com a suport de la telecomunicació va néixer l'electrònica. Actualment, és difícil trobar una àrea de l'activitat humana on no intervingui l'electrònica, però és la telecomunicació la que va impulsar-la.

Després de la Segona Guerra Mundial, neix, com a nova ciència, la informàtica, que es caracteritza per tenir una gran capacitat de càlcul i permetre traduir, emmagatzemar i processar informació. La informàtica

també es recolza ràpidament en l'electrònica, sobretot en el moment en què l'electrònica es digitalitza. Durant els anys seixanta, la informàtica empeny la telecomunicació i permet, a través de la seva xarxa, transmetre informació i enllaçar equips i ordinadors a distància. Quan has d'enviar un document a una impressora que està al teu costat no es necessiten tècniques de telecomunicació, però quan està a uns quants quilòmetres comencen a fer falta aquestes tècniques de telecomunicació. L'única xarxa que hi havia disponible en aquells moments era la de telefonia i va ser la primera que es va utilitzar. Durant els anys vuitanta apareix la banda ampla. Aquesta permet transmetre més informació que qualsevol altre dispositiu al voltant de la seva freqüència central. Això provoca el gran salt que ens ha permès arribar a tots els sistemes actuals de telecomunicació, com Internet.

L'altre element és l'audiovisual. Si les imatges i el so també es poden digitalitzar, perquè no hi ha res que no puguem posar dintre d'un ordinador i tractar-ho com si fossin bits, tot junt configura la convergència tecnològica, de la qual fa quinze o vint anys que es parla, però que ara comença a fer-se realitat a les nostres llars.

Actualment, estem en un procés de canvi social important que anomenem *societat de la informació*, la qual s'hauria de transformar en societat del coneixement. Per aconseguir-ho, cal que tothom hi participi.

La possibilitat d'enviar, processar, reduir i tractar informació ens està configurant un nou model social, una nova escola, un nou comerç i una nova economia. El paradigma potser és Internet i el comparo amb allò que va representar la impremta al segle XVI. També va suposar una nova escola i una nova manera de fer les coses i de transmetre la cultura. Si s'analitza, seguim acceleradament tot allò que va representar la impremta. Al segle XVI també van sorgir intel·lectuals que pensàvem que s'havia acabat la universitat, perquè s'imprimien enciclopedies. I la universitat no s'ha acabat, sinó que utilitza els llibres com a suport de la seva formació. També va aparèixer la multinacional de l'època: l'Església, que es va constituir com l'única institució que podia imprimir llibres. Ara, també tenim un intent de dominar el medi: Microsoft acapara el 95 % dels sistemes operatius, paga una multa diària d'un milió d'euros i no allibera el codi.

La impremta li va dir una cosa molt clara a la societat del segle XVI: ets una societat analfabeta, per a utilitzar-me has d'aprendre a llegir. Doncs hem trigat cinc-cents anys a aprendre a llegir tots. Internet ens està dient, ara, que hem d'aprendre a navegar i a utilitzar aquest nou mètode. Desitjo no trigar cinc-cents anys, ja que aquesta societat de la informació naixerà, tindrà el seu fruit i desapareixerà en uns vint o trenta anys.

Remarco unes quantes dades sobre Internet, un tema que tractarà amb més profunditat el professor Valverde. Internet Explorer és el navegador que té més quota de mercat. Va néixer l'any 1997 i convivia amb altres com Netscape. L'any 2002 era pràcticament únic i ara en comencen a aparèixer d'altres com el Mozilla, el Firefox o el Netscape 6++. Window té el 97,34 % del mercat de sistemes operatius i Linux, la gran esperança, en té només un 0,51 %.

Pel que fa a la penetració d'usuaris d'Internet al món, la Unió Europea (UE) tenia l'any 2005 un 47,4 % d'usuaris. La regió amb més participació és l'Amèrica del Nord, amb el 62 %. Les dades mostren grans divisions entre les diferents regions mundials, amb zones amb un percentatge molt baix, per exemple, la Xina i l'Índia, amb un 6,5 %.

Si s'analitzen les dades de la Unió Europea, la mitjana de persones que accedeixen a Internet a la UE dels quinze és d'un 49 %; a la UE dels vint-i-cinc, és d'un 47 %. A Espanya tenim un 39 % d'usuaris i a Catalunya, un 56 %.

Per trams d'edat, la franja més important és la que inclou les persones entre els quinze i els vint-i-quatre anys. Aquesta franja és la gran esperança per a tots els que encara volen controlar els mitjans de comunicació, ja que en pocs anys, els usuaris ja no necessitaran veure tanta televisió per a informar-se. Les dades també mostren que la bretxa digital existeix perquè la classe alta i la mitjana-alta, tot i que no supera el 50 %, és més usuària d'Internet que les classes mitjana-baixa i baixa.

Si fem el paral·lelisme, la Revolució Industrial va comportar el naixement de la màquina de vapor, de l'electricitat com a conductor d'energia i del petroli i de l'automòbil com a ens personal. I l'actual societat de la informació ha permès el naixement de xarxes de telecomunicacions, d'Internet, de la banda ampla i de les comunicacions mòbils. Si l'automòbil ens va independitzar de l'espai i ens va donar una autonomia més enllà de les nostres possibilitats físiques, les comunicacions mòbils ens independitzen de l'espai i del temps. Ens podem comunicar amb qualsevol persona quan vulguem i sense tenir en compte on es troba el nostre interlocutor, perquè la xarxa ja es preocupa de localitzar-lo. I, a més, si no el trobem podem deixar un missatge a la bústia de veu i, per tant, la variable temps també està superada.

El que s'ha de tenir en compte és que la Revolució Industrial va durar uns dos-cents anys i, en canvi, la societat de la informació durarà uns vint-i-cinc anys, i suposa un canvi total de model social i una nova economia, basada en el coneixement, la innovació, la recerca i l'intercanvi constant d'informació. I tot això necessita infraestructures i sistemes i serveis de telecomunicació.

Fins a la meitat dels anys noranta, la situació era fàcil. Teníem sistemes i serveis de pocs per a molts (premsa, radiodifusió i televisió), i sistemes i serveis persona a persona (telegrafia, tèlex i telefonia). Els de pocs per a molts eren els que van interessar polítics com Hitler, Stalin i Franco, que no van potenciar el telèfon, però sí la ràdio, perquè els sistemes persona a persona són més contrarevolucionaris.

El nucli de la informació és la xarxa, que està evolucionant. Fins ara teníem xarxes verticals, estanques entre si, com ara la telefonia, la televisió i la tecnologia de dades. Per la xarxa de telefonia no hi passava televisió, ni per la televisió hi passava telefonia ni dades. Ara evolucionem cap a una xarxa horitzontal, basada en unes infraestructures sobre les quals es construeix una arquitectura, uns serveis, unes aplicacions i uns continguts.

A Espanya, Agustín de Bethancourt Molina és el pare de l'enginyeria moderna. Un canari que va crear l'Escola d'Enginyeria de Camins i Mines de Madrid i va ser mariscal del tsar Alexandre VI. Va marxar, com molts il·lustrats, d'Espanya, l'any 1780 i va fer experiments d'aplicació de l'electricitat a la telegrafia emprant ampolles de Leyden en un telègraf entre Madrid i Aranjuez.

Aquí a Catalunya, aquest paper el va fer Francesc Salvà i Campillo; va publicar tres memòries a la Reial Acadèmia de Ciències i Arts de Barcelona, on explicava que havia fet una demostració pràctica d'un telègraf de sis fils amb ampolles de Leyden, l'any 1795, entre les Drassanes i l'Acadèmia de Ciències, que es trobava al teatre Poliorama. Com a fita consolidada mundial, al Museu de Ciència i Tecnologia de Munic el consideren l'inventor del cable, ja que va fer anar sis conductors tots junts en una corda, enrotllats entre paper untat amb oli perquè no hi hagués conducció. Els alemanys el consideren l'inventor del cable.

La telegrafia se li atribueix a Samuel F. B. Morse, però només va idear un codi optimitzat de l'escriptura anglesa de punts i ratlles. L'enginyer Vail va ser el primer que va crear una xarxa de repetidors de senyals.

A Espanya, va ser J. M. Mathé qui va introduir la telegrafia. Va ser comissionat a l'estranger (França, Bèlgica, Alemanya i Anglaterra) per a estudiar els telègrafs elèctrics i va recomanar desplegar tres línies telefòniques: Madrid-Irun, que continuaria fins a París; Madrid-Badajoz, que continuaria fins a Lisboa, i Madrid-Barcelona, per enllaçar amb la segona metròpoli peninsular. La primera que es va construir va ser Madrid-Irun, i no va poder enllaçar amb París directament perquè el sistema no era compatible. A Irun un telegrafista havia de transformar el que sentia i transmetre-ho a un altre aparell. El telègraf es posa en marxa, així, i creix en progressió geomètrica el nombre de telegrams enviats.

Alexander Graham Bell està considerat l'inventor de la telefonia, tot i que hi havia hagut proves abans. Bourseul, un telegrafista militar belga, l'any 1854 havia intentat parlar davant d'una espècie d'altaveu, i Felip Reis, alemany, l'any 1861 havia fet ressonar una caixa amb la veu davant de la Societat Física de Frankfurt.

El 14 de febrer de 1876, Alexander Graham Bell va patentar el telèfon. Elisha Gray va arribar tres hores més tard amb un telèfon que sí que funcionava, però no va tenir la patent. Al final, Bell va haver de perfeccionar el seu model amb les idees d'Elisha Gray.

El més important no va ser l'invent del telèfon, sinó de la xarxa, creada per Theodore N. Vail, el primer president de l'American Telephone and Telegraph (AT&T). Quan estava pràcticament arruïnat, va contractar un enginyer de ferrocarrils que va crear el concepte de *xarxa*: «una política, un sistema i un servei universal». Ja que no podem enllaçar tots els usuaris amb si mateixos perquè això ens representaria una meitat d' $n^2$ , T. Vail va idear una xarxa commutada basada en una determinada probabilitat de congestió, i un negoci basat en trucades locals i de llarga distància amb tarifes en funció del temps i de la distància i lloguer de terminals. Aquesta xarxa ha estat vigent fins avui en dia i està calculada perquè no

es pugui utilitzar per tothom al mateix temps i amb una determinada probabilitat de congestió. Aquesta xarxa ha sostingut una tarifa plana, que trenca els conceptes del disseny, ja que els usuaris es connecten el temps que desitgen, el que demostra la validesa del concepte.

La primera conversa telefònica a Espanya es va produir a Barcelona. Ramon de Manjarrés i Bofarull i Francisco de Paula Rojas, professors de l'Escola d'Enginyeria Industrial, van establir una línia entre el Parc de la Ciutadella i Montjuïc. L'any 1877, Narcís Xifra va intentar el mateix entre Barcelona i Girona, utilitzant el cable telegràfic ferroviari, però la literatura no esclareix si va funcionar o no.

L'any 1878 ja es fan els primers assaigs en sèrie. El 1915 un reial decret estableix les concessions de les xarxes provisionals de Guipúscoa i Catalunya. L'any 1923, s'instal·la a Balaguer, a la província de Lleida, la primera central automàtica d'Espanya i l'any 1924 el general Primo de Rivera i el rei d'Espanya Alfons XIII signen amb l'ATT la constitució de la Compañía Telefónica Nacional de España (CTNE). Totes les línies passen a formar part de la CTNE progressivament i finalment el servei telefònic espanyol és concedit en forma de monopoli a la CTNE. La concessió és signada pel rei Alfons XIII i el general Primo de Rivera.

L'any 1928 s'inaugura la xarxa automàtica de Barcelona. El general Primo de Rivera desplega en aquells moments la xarxa telefònica automàtica més extensa d'Europa, 5.625 km de circuits i vint ciutats enllaçades.

L'any 1946, després de la Guerra Civil, hi ha un nou conveni entre l'Estat i la CTNE. L'Estat augmenta la participació en la companyia d'un 10 a un 15 %. L'operadora es compromet a desplegar línies telefòniques a totes les ciutats i pobles de més de 1.000 habitants dins del nucli urbà. El contracte acabava el darrer dia de 1975. A Madrid i Barcelona s'estava al límit de saturació amb la numeració de només cinc xifres, i la capacitat màxima eren cent mil telèfons.

L'any 1953 s'estén entre Madrid i Barcelona el primer enllaç coaxial de gran capacitat. A l'Escorial s'instal·la la primera central automàtica del sistema Rotary 7-D, dissenyada i fabricada per SESA en la seva totalitat.

L'any 1971, a través de la CTNE, Espanya s'integra al Consorci Internacional de Satèl·lits INTELSAT. Cinquanta capitals de província disposen ja de centrals automàtiques interurbanes.

La companyia telefònica va progressant. L'any 1974 i després de cinquanta anys de CTNE s'acaba l'automatització urbana començada l'any 1958. En xifres, Espanya ocupa el novè lloc mundial en nombre de telèfons instal·lats; 22,5 telèfons per cada 100 habitants; 890 milions de conferències anuals (84 % d'automàtiques) i 617.000 sol·licituds d'alta sense ser ateses.

L'any 1979 CITESA fabrica la primera centraleta de commutació electrònica (TesyS). L'X25 es construeix després i és un dels primers sistemes de commutació de paquets del món que no va acabar de funcionar perquè no es va adaptar a tothom. Una variant la va

comprar la companyia de telecomunicació Nortel, que li va permetre fer el seu llançament al mercat.

L'any 1982 és important per a la telefonia perquè Harold Green, jutge als Estats Units obliga l'American Telephone and Telegraph (AT&T) a dividir-se en set operadores regionals i una operadora de llarga distància. Aquest fet es considera el principi de la liberalització de les telecomunicacions als Estats Units, que uns anys més tard va arribar a Europa. També és important destacar que l'any 1989, sota la presidència de Cándido Velázquez, la CTNE elabora el pla estratègic 1990-1994, que permet a Espanya, al final de 1994, posar fi a les llistes d'espera, superar els trenta-set telèfons per cada cent habitants i ser el primer país europeu a facilitar la factura detallada per trucades als usuaris.

L'any 1992, la CTNE té 180.000 usuaris de telefonia mòbil analògica (Moviline); 45 línies per cada cent habitants a Catalunya, Madrid i Balears i no té llistes d'espera.

La telefonia mòbil es va començar a desenvolupar a Anglaterra i als Estats Units, però els millors sistemes van fer-se a Anglaterra i a Suècia. Ericsson presenta el sistema NMT 450, que proveïa canals de 25 kHz amb una amplada de banda total de 10 MHz centrada en 450 MHz. A Gran Bretanya apareix el TACS (Total Acces Communication System), 1.000 canals de 25 kHz, un sistema que a Espanya seria conegut com el de telefonia mòbil analògica. L'any 1995, més del 70 % de telèfons mòbils fabricats al món seguien la norma NMT o TACS, cosa que constata que tots eren de patent europea.

L'any 1982, es crea el Grup de Treball de Serveis Mòbils (GSM/Groupe Special Mobile), un grup europeu que té per objectiu desenvolupar un sistema de telefonia mòbil paneuropeu en la banda de 900 MHz amb tecnologia digital TDMA (accés per multiplexació de temps). A Espanya, van participar en el grup europeu els grups espanyols dels catedràtics Hernando Rábanos, de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Telecomunicació de la Universitat Politècnica de Madrid, i Ramón Agustí i Ferran Casadevall, de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Telecomunicació de Barcelona (ETSETB) de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), que actualment són els experts més importants en telefonia mòbil. L'any 1992 i en ocasió dels Jocs Olímpics de Barcelona, el sistema GSM s'estrena i Telefónica dona la cobertura tècnica de ràdio als Jocs.

El juliol de 1994 es posa en marxa la telefonia mòbil digital GSM de Telefónica, amb el nom comercial de Movistar. El 28 de desembre de 1994, es resol el concurs per a la segona llicència de telefonia mòbil GSM, que guanya el consorci Airtel. Inicialment, hi va haver cinc consorcis interessats: Airtel, Cometa (participat per "la Caixa"), Reditel (participat per Caixa Catalunya), Sistelcom i SRM.

Finalment, es van fusionar en dos: Airtel (Airtel, Reditel i Sistelcom) i Cometa (Cometa i SRM). Airtel guanya la segona llicència i "la Caixa" entra a formar part de l'accionariat de Telefónica, i comença així la inversió d'aquesta companyia en els sistemes de telecomunicació.



El febrer de l'any 1998, el Govern convoca un nou concurs per a la concessió de tres llicències GSM-DCS 1.800. El 24 de juny resulten adjudicataris del concurs Telefónica Móviles, Airtel i Retevisión Móvil, que s'estrena com a operadora mòbil el gener de 1999, amb el nom comercial d'Amena.

La telefonia mòbil GSM va tenir un èxit espectacular, amb un creixement de la demanda exponencial arreu del món, i que es va imposar també als Estats Units i al Japó.

Després neix la tercera generació de telefonia mòbil. Si el GSM està basat en multiplexació per temps, la nova generació UMTS es basa en tecnologia CDMA (accés per multiplexació de codis). Aquesta tercera generació es va retardar perquè va néixer una variant del GSM, el GPRS, que va permetre que els telèfons mòbils, a més de la veu, poguessin també disposar de servei de dades, el WAP i els missatges SMS, fent encara més atractiu aquest servei per a la demanda.

A partir de l'any 2000 es comencen a fer concursos d'adjudicació per tot Europa. A Espanya, resulten adjudicatàries del concurs UMTS, Telefónica Móviles, Airtel, Retevisión Móvil i Xfera, per un total de 98.000 milions de pessetes. El comissari europeu Mario Monti va criticar la llavors ministra de Ciència i Tecnologia Anna Maria Birulés per haver cobrat tant per les llicències mòbils. Tres mesos més tard, Anglaterra i els Estats Units subhasten trams de freqüència. El preu de venda va ser més alt que el pagat per les operadores a Espanya, però el comissari no diu res.

Sobre l'evolució de la telefonia mòbil i fixa a Espanya, les dades mostren que la fixa està més o menys estacionària i la mòbil va creixent. Hi ha un efecte de substitució de telefonia mòbil per la fixa. La penetració de la telefonia mòbil està en el 103 %, però no hi ha dades exactes perquè no se sap quantes persones tenen dos números, quants números els quantifiquen dues companyies ni tampoc se sap exactament la població que som.

Quant a quotes de mercat, Telefónica és la companyia amb més quota de mercat, seguida de Vodafone i d'Amena. I l'any 2006, la CMT declara la dominància conjunta en el mercat majorista de telefonia mòbil i obre la porta a l'existència d'operadors mòbils virtuals OMV.

Pel que fa a la ràdio, Heinrich Hertz, a l'Escola Tècnica Superior de Karlsruhe, a Alemanya, demostra experimentalment l'existència de les ones electromagnètiques que ja preveïen els estudis de James Clerk Maxwell, qui el 1864 va expressar en quatre equacions tota la física electromagnètica. La invenció de la ràdio s'atribueix a G. Marconi, tot i que realment va inventar el radiotelègraf, perquè només transmetia el codi Morse. Va ser Reginald Fessenden qui, l'any 1906, va aconseguir transmetre per primer cop la veu humana en suport ràdio.

L'any 1906, Lee de Forest inventa el Triode, que permet amplificar i fer que l'abast de la ràdio deixi de dependre de la potència d'emissió, tan clarament com abans.

L'inventor de la radiodifusió és David Sarnoff que va ser el primer que va veure que a través de la ràdio es podia enviar música a les llars. Vendre Ràdio Music Box als comerços

amb un preu assequible i enviar música a les llars. Aquesta idea va donar lloc a la Radio Corporation of America (RCA), de la qual Sarnoff va ser el director comercial i en va acabar sent president. El novembre de 1920, Frank Conrad, de la Westinghouse Company, inaugura i dirigeix la primera emissora de ràdio amb programació regular diària, la KDKA de Pittsburg (Pensilvània). L'any 1921 apareix la primera emissora francesa, Radiola, des de la torre Eiffel de París, dirigida pel general Ferrié, i l'any 1922 la British Broadcasting Company (BBC) inicia la seva programació.

A Espanya, Antonio Castilla crea la Compañía Ibérica de Telecomunicación, que es dedica a la fabricació d'emissors i receptors de radiotelegrafia i radiotelefonía. L'any 1917, Antonio Castilla inicia a Espanya la radiodifusió emetent concerts directament d'un fonògraf per demostrar la qualitat dels seus aparells. L'any 1922 es crea a Madrid Radio Club España i a Barcelona, Ràdio Club Catalunya, associacions dedicades al fenomen de la ràdio. L'any 1924, Antonio Castilla obté la concessió per a emetre regularment amb equips propis. Radio Castilla, que poc després s'anomena Radio Ibérica, és la primera emissora de radiodifusió espanyola.

El 14 de juliol de 1924 la Direcció General de Telègrafs atorga la primera concessió per a la radiodifusió regular espanyola, EAJ-1 Ràdio Barcelona. Fundada i dirigida per Josep Maria de Guillén-García, emetia des de l'hotel Colon de la plaça de Catalunya (avui l'actual El Corte Inglés), amb una emissora de 200 W de potència de la Western Electric Company; ben aviat va ser substituïda per una emissora de 2,5 kW, el 20 de juny de 1925, sota la direcció de Joaquín Sánchez Cordovés, que donaria origen a la televisió.

Quant a la indústria electrònica, l'any 1908, l'empresa Muntadas constitueix a Barcelona la Sociedad Española de Lámparas Eléctricas Z (SELEZ), i l'any 1912 SELEZ signa un conveni d'assistència tècnica amb els laboratoris Philips d'Holanda. Als anys seixanta ja s'havia creat Barcelona Miniwatt SA i Philips arriba a acords amb Invicta, Elbe i Iberia perquè incorporin components seus en la fabricació de televisors; és l'hora del Poblenou de Barcelona. Ben aviat Vanguard, Inter i Lavis també s'instal·len al Poblenou per fabricar televisors. Aquestes empreses van néixer perquè cap al final dels anys seixanta van començar les vendes a terminis, però com que no eren financers, aquest negoci no els va funcionar, van començar a descapitalitzar-se i finalment van anar tancant.

Per a fabricar equips electrònics de Telefónica també es van crear empreses com ara una fàbrica de cables a Santander i a Barcelona, una filial d'Standard Elèctrica. A Barcelona, una altra empresa important és la fàbrica de *plotters* i impressores HP de Sant Cugat, que encara estableix i marca les pautes en recerca i R+D+I sobre impressores a tot el món. Altres empreses destacades en el sector de la indústria electrònica i que van sorgir arran dels Jocs Olímpics són AD Telecom, que fa enginyeria de telecomunicació a mida; Knossos, que fabrica buscadors i localitzadors GPS; DOXA Consulting, la consultora tecnològica purament de capital espanyol més important d'Espanya; Nald, l'empresa d'Eudal Domènech

que permet, ara, gravar els programes de televisió digital i veure'ls quan vols, i Voz Telecom, que, juntament amb la Fundació Catalana per a la Recerca, ha fet un telèfon IP, que es comercialitza a tot Europa.

Destaca l'empresa Mier Comunicacions, perquè és l'única empresa de radiofreqüència que encara resta a Catalunya. Pedro i Ramón Mier Allende creen a Barcelona, l'any 1946, Ràdio Lyra dedicada a la fabricació i reparació d'aparells radioreceptors. El 1950, perfeccionen les antenes dels receptors Philips i es converteixen en proveïdors de Philips, la nova empresa es diu EMMA (Electromecànica Mier Allende). El gran impuls de l'empresa és la incorporació de Pere Mier Albert, fill de Pedro, l'any 1976, com a enginyer. Del 1978 al 1980, es desenvolupa un receptor de TV satèl·lit en un acord de recerca subvencionat pel CDTI, entre Mier Comunicacions, Tagra, SA i el Grup de Recerca d'Antenes, Microones i Radar de l'ETSETB de la UPC, en el qual participàvem jo mateix i el professor Lluís Jofre. Quan vam tenir el prototip, només n'hi havia tres a Europa: el *ful* alemany, l'àgora anglès i el de Mier Comunicacions, el Tagra, que el van patentar l'any 1983.

L'any 1985, l'empresa Mier Comunicacions guanya un concurs de l'Agència Espacial Europea (ESA) per a dissenyar i fabricar amplificadors a la banda de 12 GHz per a ser embarcats en satèl·lits. I, actualment, té amplificadors embarcats en diversos satèl·lits i exporta equipament d'aquests a Palo Alto, a Califòrnia, als Estats Units, per a la nova xarxa de satèl·lits de petites dimensions. Ha creat xarxes de repetidors a Portugal, Nova Zelanda i Europa, i una part a Espanya. Va ser el soci tecnològic de Quiero. Mier Comunicacions és actualment l'únic fabricant d'equipament de radiofreqüència que hi ha a Catalunya. La resta han anat desapareixent.

Un altre cas singular és el de Fractus, una idea de fer antenes multibandes amb tecnologia fractal, que neix de Carles Puente, i que va trobar el seu entorn adequat en el Grup d'Enginyeria Electromagnètica i Fotònica de l'ETSETB. Van fer una antena multibanda fractal que s'utilitza en telefonia mòbil, una antena única que serveix a diferents bandes per l'efecte fractal. Aquesta empresa va rebre l'Oscar europeu de la Tecnologia en els Grans Premis Europeus a les Tecnologies de la Informació (EITP'98, European Information Technology Prize, 1998).

Un altre invent català és la Universitat Oberta de Catalunya (UOC), que va ser un encàrrec directe del president de la Generalitat de Catalunya Jordi Pujol, el 6 d'octubre de 1994 a l'enginyer, catedràtic i exrector de la UPC Gabriel Ferraté. El plantejament que el doctor Ferraté fa per a la nova Universitat era totalment nou, ja que des del primer moment estructura el seu funcionament sobre les noves tecnologies. Fruit de la necessitat de la UOC de comunicar-se amb els seus estudiants a distància, el centre d'informàtica de la UOC, en col·laboració amb enginyers de Telefónica, desenvolupa un sistema perquè tots els estudiants accedeixin a la informació. Va ser la base de l'accés a Internet de Telefónica, anomenat Infovia.

Des de la seva creació, la UOC ha configurat una comunitat universitària molt diversa que aplega més de trenta-set mil persones de més de quaranta-cinc països, que té com a interès comú el coneixement, l'enriquiment personal i l'aprenentatge al llarg de la vida, i que utilitza les tecnologies de la informació i la comunicació per a interactuar, formant una comunitat en xarxa, dinàmica i en creixement.

Quant a la televisió, es considera que l'inventor va ser Vladimir K. Zworykin, el pare del tub. Un dels primers televisors va ser construït amb el sistema *baird* de TV. A Espanya, les primeres proves de TV les fa Joaquín Sánchez Cordovés, director tècnic d'EAJ-1 Ràdio Barcelona. Seguint els plantejaments de J. L. Baird, es fa una experiència pública a la sala Werner de Barcelona.

El 27 de juny de 1936, el BOE recull la desestimació, per part del Ministeri de Comunicacions i Marina Mercant, de la sol·licitud dels barcelonins Lluís de las Cuevas i Joan Morató per a instal·lar i explotar una emissora de televisió a Barcelona. El pare de la idea era Carles de las Cuevas, germà d'en Lluís, aleshores menor d'edat.

L'any 1948, a la Fira de Mostres de Barcelona, Philips va realitzar una demostració de televisió, l'emissió experimental de l'ària «La locura» de l'òpera de Donizetti.

El 1952, es crea el Ministeri d'Informació i Turisme i la Direcció General de Radiodifusió passa a dependre d'aquest Ministeri. Al número 77 del passeig de l'Habana de Madrid s'instal·la el primer centre emissor de TV a Espanya sota la direcció tècnica de Joaquín Sánchez Cordovés.

El 1955, es fa l'emissió experimental del «desfile de la victoria». I el 1956, s'inicia la programació regular (tres hores diàries) de Televisió Espanyola (TVE).

Les quotes d'audiència des de l'any 1969 fins al 1971 de Televisió Espanyola indiquen que, per sexes, la veïen més els homes a través de la UHF i les dones, per la VHF. El 10 de gener de 1980, es crea l'ens públic Radio Televisión Española RTVE. L'1 de gener de 1983, es crea l'ens públic Radiotelevisión Vasca. L'11 de setembre de 1983, s'inaugura TV3, l'emissora catalana de televisió, i la Corporació Catalana de Ràdio i TV. Es van crear dotze canals autonòmics de TV: ETB1, ETB2, TV3 i Canal 33, Canal Sur i Canal 2, Canal 9 i Punt 2, Telemadrid i La Otra, TVG i Televisión Canaria. El 1989, es crea l'ens públic Red de Transporte y Difusión de la Señal de TV Retevisión, i apareix la Federación de Organismos de Radio y TV Autonómicos (FORTA).

El 25 d'agost de 1989, s'adjudiquen tres llicències de TV privada: Antena 3 (accionista de referència; Grup Godó), Telecinco (Anaya, ONCE i Berlusconi) i Canal Plus (Grupo Prisa i Canal Plus França). L'any 1997 apareixen dues plataformes de TV digital per satèl·lit: el gener, Canal Satélite Digital (Prisa-Sogecable) i el setembre, Vía Digital (Telefónica)

L'any 2000 va començar a funcionar la primera plataforma comercial de Televisió Digital Terrestre (TDT) a Espanya, QuieroTV; una plataforma de pagament que no va arribar a la rendibilitat esperada i va cessar les seves emissions el 30 de juny de 2002. Quiero s'arruïna

perquè el parc de receptors dels edificis no estan preparats i en molts casos ha de canviar tota la instal·lació.

El 30 de novembre de 2005 es va produir el relançament del sistema en començar les seves emissions digitals en obert les cadenes que fins aquest moment emetien en analògic i es van incorporar, al mateix temps, noves emissions inaugurades amb aquest motiu, així com noves cadenes atorgades exclusivament per a TDT.

En el cas de la televisió digital per satèl·lit, es van acabar fusionant les dues plataformes perquè no hi havia clients per a tots i es van imposar unes condicions, que van vèncer el novembre del 2007, i que controlen sobretot els continguts.

Actualment, també s'estan fent proves per a la televisió en mobilitat. La televisió mòbil permet veure televisió en telèfons mòbils, agendes PDA i altres dispositius portàtils, a qualsevol hora i en qualsevol lloc. Segons una enquesta, la majoria d'usuaris estarien disposats a pagar una mica més pel servei de mòbil per veure televisió. La nova televisió pot representar molta més interactivitat i possibilitats per a l'usuari, però no serà tan fàcil de fer funcionar.

Pel que fa a estudis i legislacions, l'Estatut de Núria (1932) només es refereix a telèfons i radiodifusió. La Constitució espanyola (1978) també parla de les telecomunicacions; cables aeris, submarins i radiocomunicació. L'Estatut d'autonomia de Sau (1979) es concentra exclusivament en la televisió, la ràdio i la premsa i també hi ha una disposició transitòria per a finançar la televisió autonòmica.

A l'Estatut del 2006, tot correspon a la Generalitat de Catalunya. Correspon a la Generalitat la competència compartida en matèria de comunicacions electròniques, que inclou, en tot cas:

- a) La regulació de l'accés i la definició d'un conjunt mínim de serveis d'accés universal.
- b) La garantia de la interoperabilitat dels sistemes i dels equips de recepció dels serveis de comunicacions electròniques i dels continguts que s'hi distribueixen, i d'accés a aquests serveis i continguts.
- c) L'ordenació, la regulació i el control de les xarxes de comunicacions electròniques.

Durant aquests anys, s'ha elaborat el Llibre Blanc sobre les Telecomunicacions a Catalunya, dirigit per Manuel Martí i Recober. Una obra molt pessimista perquè analitzava molt bé el que hi havia, però es quedava tancat, perquè afirmava que ja no hi havia res més a fer en telecomunicacions. La realitat ha demostrat que era completament fals. El Llibre Blanc de 1991 sobre les telecomunicacions a Catalunya analitzava molt bé la situació de les infraestructures de Catalunya, però sobre les propostes d'actuació no hi havia ni imaginació ni prospectiva, era més aviat depriment, no albirava ni la telefonia mòbil, ni Internet, ni la necessitat d'amplada de banda per a les dades, i deia clarament que el sector no crearia gaires llocs de treball en el futur.

El desembre de l'any 1997, a Brussel·les, la Unió Europea va presentar el Llibre Verd sobre la convergència dels sectors de telecomunicacions, mitjans de comunicació i tecnologies de la informació, i sobre les conseqüències per a la reglamentació.

L'any 1998, Miquel Puig, comissionat per a la Societat de la Informació, encarrega a Lluís Jofre Roca, catedràtic de la UPC, la confecció del pla estratègic «Catalunya en Xarxa», que es presenta el juny de 1999.

En el capítol d'inversions, les iniciatives de Catalunya en Xarxa s'han de desplegar en quatre anys (1999-2003). Es calcula que les institucions administratives catalanes han d'invertir en TIC un 2 % anual del seu pressupost. El sector privat també hi ha d'invertir un 2 % del PIB de manera sostinguda durant aquests quatre anys. Es calcula que d'aquesta manera el sector TIC podrà créixer un 2 % anual fins arribar a un 6 % del PIB. Catalunya podrà créixer un 2 % per sobre de la mitjana europea. Les iniciatives són set: infraestructures i serveis bàsics; indústria, comerç i continguts; educació; administració i serveis al ciutadà; sanitat i qualitat de vida; societat i canvi cultural, i el marc de la Societat de la Informació.

L'any 2000, el servidor d'Internet OLÉ, desenvolupat per la Fundació Catalana per a la Recerca (FCR), va ser venut a un treballador per dues-cents mil pessetes. Mig any més tard, el servidor OLÉ era comprat per Terra (Telefónica) per prop de tres mil milions de pessetes.

Carles Martín Badell, secretari per a la Societat de la Informació, impulsa el pla ARGO, que consisteix a dotar d'equips informàtics els centres educatius primaris i secundaris de Catalunya, amb un total de dos mil cinquanta milions de pessetes, dels quals mil cinc-cents són aportats per la Secretaria. Engega també el programa «Educalia» amb l'objectiu que 2.304 escoles d'educació infantil puguin comunicar-se mitjançant Internet; es creen els «telecentres» i el node neutre d'interconnexió Internet CATNIX.

Tot el model de liberalització prové dels Estats Units. Van començar a fer lleis *antitrust* l'any 1912, quan es van adonar que el banquer J. P. Morgan controlava el 25 % del PIB. A partir d'aquell moment no els ha tremolat mai la mà. Quan la Bell compra Western Telegraf, es converteix en l'American Telephone and Telegraph (AT&T). Theodore Vail s'incorpora com a president de la Bell. Crea les bases de negoci de la telefonia i defensa que hi hagi una xarxa única i una regulació que assegurari el mercat. L'any 1914, el Govern federal obliga l'AT&T a despendre's de la companyia de telègrafs; l'any 1926, de la xarxa d'emissores RCA, i el 1984, el jutge Harold Green divideix la companyia en sis parts de telefonies locals i una de llarga distància. Als Estats Units tenen tradició d'això, a diferència d'Europa. I, sobretot, a França, Alemanya, Espanya i Itàlia, ens costa més.

La xarxa és massa important perquè estigui en unes soles mans i per això la solució és crear xarxes alternatives i obligar a compartir les infraestructures existents, això vol dir liberalització. Per a mantenir els avantatges d'una situació de monopoli en una estructura d'economia de mercat, el que cal és que hi hagi interconnexió de xarxes; llibertat d'accés, cosa que suposa que tothom pugui directament o indirectament escollir quina companyia

vol, i que s'asseguri el servei universal per als llocs on no hi ha mercat per a oferir un servei mínim de qualitat. Això representa una intensa regulació en el moment d'iniciar-se el procés de liberalització.

Les xarxes de nova generació, les horitzontals, estan integrades per infraestructures, arquitectura, serveis, aplicacions i continguts. La infraestructura és el mitjà físic més o menys estructurat que utilitza la xarxa per a transmetre la informació (fibra òptica, ràdio o satèl·lit). L'arquitectura és el que permet l'estructura (ATM, Ethernet, UMTS, xDSL, TCP i IP) i el servei és allò que aprecia l'usuari i, per tant, és la part més subjectiva (servei telefònic, TDT, Internet i SMS).

Si parlem de neutralitat de la xarxa ens estem equivocant. Si s'obliga per regulació que hi hagi neutralitat de tota la xarxa, és a dir, que tots els bits tinguin el mateix valor, siguin d'Internet o de veu, poder dificultar que aparegui una nova opció per a la qual actualment hi ha finançament i enginyeria consistent en fer aparèixer xarxes més sofisticades per a la gent que les puguin pagar.

Per acabar volia afegir unes paraules d'Arvind Johnson, professor de Computer Science and Engineering de l'Institut Tecnològic de Massachussets (MIT), a propòsit del professor Mateo Valero:

Anglaterra amb Alan Turing i els Estats Units amb Maurice Wilkes i Tom Kilburn van liderar el disseny de computadors moderns just després de la Segona Guerra Mundial, l'únic altre gran inventor europeu del sector va ser l'alemany Konrad Suze, els treballs del qual es van perdre en gran part en l'esmentada guerra. A partir dels anys cinquanta, només els Estats Units i el Japó van mantenir el lideratge en arquitectura de computadors, per a molts de nosaltres des dels anys seixanta fins al final del segle XX, Europa va deixar de ser una força en arquitectura de computadors. Avui (pel juny de 2003), si preguntes a qualsevol per la investigació en aquesta disciplina, la resposta passa forçosament per Barcelona. El professor Mateo Valero ha posat no només Espanya sinó novament Europa en el mapa de la informàtica i l'arquitectura de computadors.

I això és cert perquè els ordinadors personals amb què treballem actualment porten idees de Mateo Valero.





## Internet i societat: una visió crítica

Llorenç Valverde

Vicerector de tecnologia de la Universitat Oberta de Catalunya

És cert que el 95 % dels ordinadors que hi ha al món funcionen amb Microsoft Windows, però l'única manera que el meu ordinador em parli en català és a través de programari lliure, Linux essencialment. No puc entendre que, tenint la possibilitat de treballar amb Linux, continuem treballant amb un sistema operatiu com Windows, que menysprea els catalans en no considerar la nostra llengua prou important com per incorporar-la a les seves distribucions. Hem de fer un acte de resistència, dir no i deixar de treballar amb un sistema que no ens valora i fer-ho només amb qui ens tingui en consideració.

En referència a la ponència del professor Antoni Elías, vull afegir que Almon B. Strowger era propietari d'una funerària i va inventar el commutador perquè va descobrir que no li arribaven trucades de comandes a la seva empresa. L'operadora de la centraleta dels telèfons de Kansas era la dona de l'amo de la funerària de la competència, i no passava cap trucada a la funerària d'Strowger. Aquest va arribar a la conclusió que la millor solució era crear un sistema mecànic que no depengués d'interessos subjectius d'una persona per a poder funcionar.

La llegenda urbana sobre el naixement d'Internet com a resposta a una necessitat militar no és certa. La llegenda explica que va néixer per evitar que les comunicacions quedessin tallades si una bomba atòmica destruïa alguns dels nodes de connexió. Però en realitat, Internet respon a una pre-

gunta molt simple. Bob Taylor era el cap de l'Oficina de Projectes Tècnics Informàtics de l'Agència de Projectes de Recerca Avançada (ARPA) i havia de controlar diversos projectes de diverses universitats i centres de recerca. Ell dirigia els projectes des de la seva oficina, i tenia tres o quatre terminals diferents, a través dels quals en feia el seguiment. Era l'any 1969 i, per tant, cada terminal pertanyia a un fabricant diferent i tenia un llenguatge de comandament també diferent. Un dia es va cansar i va preguntar si era possible que tota la informació amb la qual ell treballava la pogués controlar des d'una sola màquina. La resposta a aquesta pregunta és Internet: un sistema, una xarxa que permet compartir recursos. Per això, és normal que, actualment, els internautes utilitzin Internet per a compartir música o informació, perquè està pensada, dissenyada i feta precisament amb aquest objectiu.

Poc temps després, Paul Barant, un investigador de la Grand Corporation, va analitzar com era l'estructura de la xarxa telefònica de veu dels Estats Units, que en aquella època era radial, per a molts pocs nuclis i tenia molt pocs nodes. Això convertia la xarxa de veu en una xarxa molt feble que, no per una bomba atòmica, sinó simplement tallant un fil convenientment, podia deixar mitja Amèrica del Nord incomunicada amb l'altra mitja. Paul Barant va analitzar el fenomen i va decidir construir una xarxa de veu que utilitzés la mateixa tecnologia de base de la commutació per paquets. La xarxa de telefonia normal fa commutació de circuits. Cadascun dels usuaris té un circuit únic de casa seva a la centraleta, i quan es truca des de la centraleta commuta i estableix un pont entre els dos circuits. El circuit es manté durant la conversa. Aquesta commutació de paquets de la xarxa permet que tots els nodes estiguin comunicats i simplement es comparteixi la informació que circula en paquets i que té les adreces de l'emissor i del destinatari. Aquesta xarxa de veu que proposava Barant era una xarxa basada en commutació de paquets. Va demanar finançament i la resposta del president de l'AT&T va ser negativa, va argumentar que no funcionaria i que, en cas que funcionés, no li donaria finançament a un sistema que era competidor seu. La commutació per paquets és la telefonia per IP actual, i hem trigat trenta anys a tenir-la.

La reivindicació d'utilitzar un sistema operatiu que no ens menyspreï no és una reivindicació de talibà informàtic, sinó d'algué que vol viure en català i viu en català com a professor universitari que sóc. Per això, si em passo la major part del dia mirant a través d'aquesta màquina, vull que aquesta màquina em parli en català. L'única resposta que tinc satisfactòria d'aquesta demanda me l'ofereix el programari lliure. Per tant, estic en aquest 5 % marginal que no sabem en quin món vivim i que no seguim el corrent.

Actualment, l'únic lloc on es pot viure perfectament i completament en català és Internet. El .cat és un exemple de la força d'un sector de la població que ha manifestat aquesta voluntat de viure i treballar a la Xarxa en català. I sense l'existència d'aquest domini, probablement el sentit d'allò que explicaré seria totalment diferent.

Una de les coses que ha de fer la tecnologia és treballar per reforçar la identitat i mai afeblir-la. I .cat va en aquesta línia, perquè l'única eina que tenim per a reduir els efectes perversos

de la globalització és el reforç de la identitat. És la idea que defensa John Perry Barlow, president de l'Electronic Frontier Foundation, que tot i ser americà, tenia molt clara la idea del que significa l'imperialisme i el colonialisme cultural. Arran de la Llei per a la decència de les telecomunicacions va emetre, en el decurs del Fòrum Econòmic Mundial de Davos, la Declaració d'Independència del Ciberespai, que té uns punts essencials per a la perspectiva catalana.

Les nostres identitats no tenen cos [...] i poden ser distribuïdes per moltes de les vostres jurisdiccions. [...] (Les vostres) mesures colonialistes i cada vegada més hostils ens col·loquen en la mateixa posició de tots els defensors de la llibertat i de l'autodeterminació que ens han precedit i que han hagut de rebutjar l'autoritat de potències llunyanes i mal informades. Hem de declarar els nostres éssers virtuals inaccessibles a la vostra autoritat...

La tecnologia respecte de la llengua no és neutral. Hi ha sistemes que tenen en consideració el català i d'altres que no. Per això, no entendria que l'IEC i Caixa Sabadell tinguessin aquí un ordinador amb Windows, perquè no respecta el català. No hi cap explicació ni raó tècnica per utilitzar un sistema operatiu que no tingui en consideració al català.

Hi ha dos impulsors importants d'Internet als Països Catalans: la universitat i la societat civil. Internet va arribar primer a la universitat i va ser actor de la transferència d'aquesta tecnologia cap a la societat. L'any 1983 jo vaig començar a utilitzar Internet per enviar correus a la Universitat de Berkeley (Califòrnia). L'any 1984 ja l'utilitzem a Catalunya i els professors universitaris vam ser els primers que l'utilitzem a casa.

La societat civil és la gran impulsora de l'adopció d'Internet a Catalunya. Vinton Cerf, el meu apadrinat, afirma que Internet no és més que un mirall que retorna la imatge de la societat que la fa servir, arran d'una pregunta sobre el creixement de l'SPAM i dels fraus que augmenten a Internet. Si quan estàs davant d'un mirall, no t'agrada el que veus, no toquis el mirall. La culpa no és del mirall, sinó que hi ha un altre problema diferent que cal solucionar. Aquesta lectura ens serveix per entendre com ha evolucionat Internet a Catalunya, i hi ha indicadors que posen en relleu que les coses no estan ni tan bé, ni tan malament.

La tecnologia és una pacte faustic, segons Neil Postman, un dels tècnics en telecomunicació més importants del segle XX. És a dir, guanyes unes coses a canvi de perdre'n unes altres. També diu que abans que Internet tingués l'estatus actual, la barrera digital només manifestava la separació entre els que hi tenen accés i els que no en tenen. Un exemple és l'escriptura, que va ser la primera tecnologia que va crear una barrera. Abans de l'escriptura no hi havia analfabets. Ignorants sí, però d'això n'hi ha hagut sempre. I és la impremta qui fa rellevant el fet de ser o no analfabet.

Un altre element que permet contextualitzar la situació d'Internet a Catalunya és que la tecnologia és un indicador d'un canvi social. Quan, per exemple, es fa el Pla d'Internet a Catalunya (PIC) per veure com està evolucionant la *societat xarxa* a Catalunya, el que fa és una radiografia. Si el resultat és que hi ha un 50 % de connexió de llars a Catalunya, el pro-

blema no rau ni en el cost ni en res tecnològic, sinó en l'analfabetisme tecnològic. Una de les coses que detecta el PIC és que el nivell de formació de la societat catalana no és suficient per a utilitzar amb normalitat tecnologia i no arriba als coneixements necessaris.

Pel que fa al cas de Vilaweb, va ser el primer portal català d'Internet, que va néixer l'any 1994 i que encara es manté. És un portal de comunicació i redacció estrictament digital, i en català, que només en comptades ocasions, com l'11-S, ha fet alguna edició en paper. Vicent Partal i Assumpta Maresme van tenir clar com fer país, des de la seva professió de periodistes, i en un nou context social de canvis tecnològics. La resposta va ser Vilaweb, un exemple de la interacció entre el país i Internet.

Altres pioners, segons una llista meua molt subjectiva, van ser:

Jordi Adell, professor de la Universitat Jaume I, pedagog i responsable del primer buscador que hi va haver, que s'anomenava Dónde i que va néixer abans que Google.

Jordi Vendrell és el periodista del primer programa de Catalunya Ràdio on s'analitzava Internet i que va contribuir a crear comunitat a través de la Xarxa. Era un programa de ràdio, un xat i un fòrum pioner. Actualment, aquestes fórmules radiofòniques són normals, però en el seu moment era un exemple pioner de com la societat civil va empènyer perquè Internet fos una eina per fer país.

Amadeu Abril és l'estratega de .cat i Tinet, el primer exemple de xarxa ciutadana a Tarragona (Tarragona Internet), un petit experiment que va ajudar que molta gent s'iniciés en Internet abans d'hora.

Un altre exemple és Softcatalà, que va néixer d'una agrupació de voluntaris que es dedicaven a traduir programari al català. Quan Microsoft va prohibir, l'any 1978, la traducció al català del sistema operatiu, es va fer palès que la colonització no només era en forma de programari sinó també en forma lingüística. Aquesta traducció no tenia cap cost, perquè l'assumia la Generalitat, simplement Microsoft no volia la traducció al català, perquè considerava que amb el castellà n'hi havia prou. Aquest és un capítol històric que s'hauria d'explicar més, justament per entendre que el programari lliure és l'única via que tenim per a poder continuar amb l'evolució del català a la Xarxa. No hem de demanar el favor, sinó fer-ho nosaltres mateixos sense necessitat que ningú ens ho hagi autoritzat.

Webmàsters Independents en Català de Cultura i d'Àmbits Cívics (WICCAC) fan la feina de vigilància, d'observar i de tenir un registre de les pàgines a Internet en català.

Pel que fa a dades, el català és la dinovena llengua més utilitzada a Internet i la segona llengua més emprada als blogs, segons dades de Softcatalà i de WICCAC. Això indica que la comunitat civil catalana és important i potent, i és una mostra de la bona salut de la llengua.

També cal esmentar el projecte «Catalunya en Xarxa». L'Administració va tenir clara la necessitat de crear primer un comissionat de la societat de la informació i després, convertir-lo en una secretaria perquè Catalunya tingui un lloc capdavanter a Internet.

Probablement, no ha estat l'empenta de l'Administració el que ha fet que estiguem on estem actualment, sinó l'empenta de la societat civil, que ha conduït l'Administració a valorar la importància d'Internet. S'han fet també alguns errors com l'aposta per traduir programari o per traduir el portal de Yahoo!, per la qual els presidents de Catalunya, Balears i Andorra van donar vuitanta milions per catalanitzar el seu portal, i no s'ha fet realitat. Considero que hi ha maneres més efectives de fer aquesta feina. Hi ha hagut un Pla Director d'Infraestructures que, amb el govern de tripartit vigent, i hi ha actualment un Pla Director de Continguts i una estratègia de programari lliure.

El Pla d'Internet a Catalunya (PIC), finançat per la Generalitat de Catalunya i executat per l'institut de recerca de la UOC Internet Interdisciplinary Institute (IN3), ha fet la primera fase i està a punt de publicar-ne els resultats. El que ha fet el PIC és radiografiar el conjunt de la societat catalana en la seva relació amb les formes d'organització i de relació social característiques del nou context tecnològic i cultural de la societat en xarxa. La primera part mostra que la base sociocultural dels catalans no és la necessària per poder utilitzar aquesta nova tecnologia, i la segona part distribueix l'ús d'Internet per àrees (salut, empreses, educació...).

El PIC és una mostra de recerca des del punt de vista de la sociologia i també mostra la sensibilitat del Govern de la Generalitat de Catalunya per finançar un projecte d'aquestes característiques i entendre que és important saber què fem i què podem fer a la Xarxa i com la Xarxa ens pots ajudar a fer país.

Davant els resultats, els governs es comporten de manera contradictòria. Utilitzen les dades d'ús d'Internet com una icona de modernitat i per mostrar que el país funciona bé, però al mateix temps, tenen por de tot allò que es pot fer amb aquesta tecnologia. L'Administració, tot i voler ser tecnològica, no sap fer front a la impossibilitat de controlar totes les opcions que la Xarxa ofereix als usuaris.

En relació amb els mòbils, el *blackberry* és un model de telèfon que té una versió catalana, però no sempre és així. Sembla que la sensibilitat cap al català i les llengües minoritàries va canviant i va millorant. Però preocupa més el model de TDT, no el d'explotació tecnològica sinó el model d'explotació de continguts, el model de negoci. Es pretén imitar el model de fer televisions generalistes i competir en el mercat global, i la TDT és essencialment una televisió de proximitat. I, difícilment, m'imagino una televisió de proximitat que no em parli en català.

Des de les institucions culturals catalanes no s'ha entès que darrere d'aquestes tecnologies hi ha amenaces, però també hi ha grans oportunitats. Ens hem concentrat en la part negativa i no hem fet res o gairebé res per aprofitar les oportunitats. Hem perdut de vista les possibilitats de visibilitat que Internet ofereix a les llengües i cultures minoritzades. Per exemple, està clar que el món editorial català no és sostenible. Hi ha molt poques coses que puguin competir en un mercat de masses com el que vivim, i les administracions han solucionat aquest aspecte subvencionant. La cultura de la subvenció està ben instaurada. Cada

vegada que es publica un llibre en català hi ha una subvenció. Però el retorn d'aquesta inversió de l'Administració és tenir un nombre il·limitat d'exemplars en un soterrani, perquè no saben què fer amb ells, on s'omplen de pols i on ningú no els veu. Seria molt més fàcil, en lloc de fer més paper, fer una contrapartida digital del llibre. Això no suposa penjar tot el llibre en format digital, sinó que se li podria donar visibilitat digital. Una altra cosa seria, per exemple, fer-ne impressió a demanda. Totes aquestes possibilitats no s'han explotat i, segurament, estem malgastant recursos mantenint sistemes que no s'havien de mantenir. No tot és dolent, perquè hi ha el projecte del Patrimoni Digital de Catalunya (PADICAT), que té per objectiu capturar, processar i donar accés permanent a tota la producció cultural, científica i de caràcter general catalana produïda en format digital.

L'any 1992, quan hi havia la disputa entre IBM i Apple, vaig escriure un article amb el *Tirant lo Blanc* com a argument i la vídua reposada, com a protagonista, on explicava la meva preocupació per Microsoft. Crec que en aquell moment em van titllar de boig, però crec que avui em puc apuntar la medalla de la visió. Ara, tinc la mateixa percepció respecte de Google, perquè no sé si és el millor model de cercador.

Per acabar, m'agradaria reforçar la idea, amb la frase de Lawrence Lessig, que ajuda a explicitar-ho. No hem fugit del model tradicional imposat. Internet ens permet alliberar-nos d'aquesta càrrega i no ho hem fet pas. Però no sols no ho hem fet els catalans, sinó ningú, ni tan sols la universitat, que deixa l'avaluació de la qualitat de la recerca pública en mans d'un sistema controlat pels impressors. Actualment, si no publiques a les revistes catalogades com a índex d'impacte, no fas recerca. L'índex d'impacte el van inventar els bibliotecaris per saber quines revistes havien de comprar. El resultat és que l'única manera de validar la recerca, pagada per les institucions públiques, és publicar en aquestes revistes que controlen les quatre impremtes grans que hi ha a Europa. Bàsicament, paguen uns, treballen uns altres i avaluen i marquen els criteris de qualitats uns tercers que estan fora del sistema. Probablement, sigui ja el moment que la universitat utilitzi Internet com un nou mitjà per difondre la recerca d'una manera ràpida i immediata, i deixem de passar per les forques de revistes d'impacte que triguen dos anys a disseminar la recerca.

Per tant, potser ara és el moment de fugir d'aquest model arcaic i anacrònic, i passar a un model on l'avaluació de la qualitat sigui d'una altra manera, i que la supervivència de la cultura no depengui d'un procés industrial, sinó de les pròpies condicions de generació i dels creadors, que en definitiva, és el que ens falta.

A Internet, és cert que pots trobar-hi qualsevol cosa, però de llibres n'hi ha de tots els colors. Cada vegada que algú m'argumenta en contra de la poca fiabilitat de les fonts d'Internet, responc de la mateixa manera: *Mein Kampf* era un llibre. I no era un web.

## Recerca i supercomputació al segle XXI

Mateo Valero

Director del Barcelona Supercomputing Center-  
Centre Nacional de Supercomputació

La supercomputació evoluciona gràcies a diversos factors. El primer ha estat la invenció del tub de buit. El segon és aconseguir que els transistors siguin cada cop més petits. Durant seixanta anys, els tecnòlegs han estat capaços de duplicar la densitat dels transistors cada divuit mesos i, actualment, ho aconsegueixen fer cada dos anys. I el tercer factor és la capacitat que tenen els arquitectes de computadors de duplicar la velocitat dels processadors. Tots aquests elements han fet que, actualment, el processador de qualsevol telèfon mòbil sigui més potent que qualsevol dels processadors que hi havia al món quan l'home va arribar a la Lluna.

Els arquitectes de computadors utilitzem les tècniques que va utilitzar Henry Ford per a fabricar cotxes: una cadena de muntatge. El fabricant de la companyia Ford Motor Company volia fer cotxes i va dividir la fabricació de cotxes en etapes. Així, una cadena podia tenir un cotxe en cada etapa. Nosaltres fem els processadors d'aquesta manera. Quan diem que un Pentium funciona a 3 GHz vol dir que s'ha aconseguit que les instruccions viatgin d'una etapa a una altra a tres mil milions d'operacions per segon i que els processadors tinguin la capacitat d'executar quatre instruccions alhora. Un Pentium d'aquestes característiques, que funciona a 3 GHz i executa quatre instruccions per cicle, realitza unes  $10^{10}$  operacions per segon.

Els experts que es dediquen a plegar proteïnes a través de la simulació necessiten  $10^{22}$  operacions per plegar una proteïna. Un processador normal trigaria  $10^5$  anys per acabar tots els càlculs que es necessiten. Per això, encara que els processadors vagin molt ràpid, hi ha aplicacions que requereixen una potència molt més gran que la que té un processador. Fer una pel·lícula digital és fàcil perquè el nombre d'operacions que s'ha de realitzar es pot dividir fàcilment. Però, en canvi, hi ha aplicacions en les quals els processadors han d'intercanviar resultats parcials cada mil·lèsima de segon per a poder avançar en l'algoritme. I per a fer-ho es necessita una potència de càlcul i un mecanisme que permeti que els processadors es comuniquin a una velocitat molt alta. Això ho permeten superordinadors com el MareNostrum, que té deu mil processadors i es comporta com un processador que és deu mil vegades més ràpid. Aquests superordinadors són màquines molt ràpides que estan construïdes amb molts processadors, molt ràpids en si mateixos però que, gràcies a un ràpid mecanisme de comunicació entre ells, s'aconsegueix, si es programa de manera adequada, tenir un sol processador avançat segons la llei de Moore.

L'any 1994, un processador podia fer una operació per segon, actualment tenim la capacitat de fer dos-cents vuitanta bilions d'operacions per segon (280 Tflop/s). Encara que la potència de càlcul hagi augmentat molt, l'única forma de crear superordinadors és col·locant molts processadors i fent que treballin conjuntament. El BlueGene és el supercomputador més ràpid del món, amb el qual nosaltres, des de Barcelona, hem treballat en cinc projectes amb IBM. En cada xip del BlueGene hi ha un parell de processadors, col·locats en targetes i en seixanta-quatre armaris, que tenen en el seu conjunt una potència de càlcul en punta de 367 Tflop/s.

Aquests supercomputadors permeten executar les aplicacions que els investigadors necessiten per a investigar en el funcionament dels sistemes vius i trobar nous fàrmacs i nous materials, dissenyar millor els avions i els cotxes, estudiar l'evolució de l'Univers i predir el canvi climàtic. Junt amb la teoria i l'experimentació, la supercomputació constitueix el tercer suport de la ciència i de l'enginyeria. Per a dissenyar avions, per exemple, necessitem la teoria, així com l'experimentació, però actualment es fa imprescindible la supercomputació. Gràcies a aquest suport, es poden simular els projectes abans de veure'ls i els científics poden millorar la seva ciència i predir-ne els resultats. Un exemple és el projecte Blueblein, que s'està realitzant des de Suïssa, i que intenta descodificar l'enginyeria del cervell; en aquest projecte s'utilitza el supercomputador per simular com funciona el cervell. La col·laboració entre la teoria, l'experiment i la simulació permet l'obtenció de resultats que es realimenten i permeten fer avançar la ciència.

El nostre grup de recerca va començar als anys vuitanta, a Barcelona, desenvolupant, amb els nostres recursos, multiprocessadors. Dissenyàvem plaques amb 8-12 microprocessadors amb els quals vam guanyar algun concurs. Gràcies a aquesta recerca i a la qualitat del grup, empreses com Intel o Compact es van establir a Barcelona i van donar-nos suport per



a continuar desenvolupant arquitectura de computadors d'una manera multidisciplinària. El nostre grup treballa tots els nivells del programari, des de l'aplicació fins a l'últim bit. Dissenyem xips, targetes, sistemes petits i intermedis i fa quinze anys que treballem en un concepte, que per a nosaltres ja és antic, com el GRID.

Actualment, som cent vint persones treballant a la Universitat Politècnica de Catalunya, al Barcelona Supercomputing Center-Centre Nacional de Supercomputació (BSC-CNS). Un equip constituït per catedràtics d'universitats espanyoles, europees i americanes, que atrau investigadors d'arreu del món i que ha permès la formació de quatre-cents doctors. Actuem, així, com a pols d'atracció de nous cervells i investigadors.

El grup ha motivat a Europa la recerca en arquitectura de computadors, que era inexistent, i actualment coordina una xarxa d'excel·lència en aquesta àrea on es desenvolupa no només recerca, sinó diferents activitats, com l'Escola d'Estiu, que durant una setmana reuneix dos-cents doctorands europeus amb els millors professors i experts mundials en supercomputació. Desenvolupem i participem en molts projectes europeus i investiguem amb les empreses més importants del món del maquinari i del programari. Per exemple, vam ser el primer equip que va treballar en arquitectura de computadors amb Microsoft.

L'any 1984 vam aconseguir que la Generalitat de Catalunya, el Ministeri d'Educació i Ciència i la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) creessin el primer centre espanyol en recerca de tècniques de computadors paral·lels, el CEPBA. Gràcies a tota la recerca que vam desenvolupar, vam aconseguir associar-nos amb IBM i crear el CEPBA-IBM Research Institute (CIRI), un centre de recerca mixt que va treballar a la UPC durant quatre anys i que ens va permetre investigar a un alt nivell en arquitectura de computadors i programari de computadors paral·lels.

El CIRI va catalitzar més de quaranta milions d'euros en projectes europeus i la nostra recerca va permetre la difusió en l'àmbit europeu de la cultura del paral·lelisme, i vam coordinar durant tres anys diferents projectes: el PCI-PACOS (Parallel Computing Initiative Spain). Vam col·laborar amb més de cinquanta empreses europees, espanyoles i catalanes de diversos àmbits. Amb Ferrari, per exemple, vam treballar en tècniques de simulació perquè el vehicle anés molt ràpid, però que no volés. Volkswagen, Hesperia i Iberdrola són altres empreses amb les quals vam col·laborar.

A Catalunya, també va ser molt important la iniciativa de la Generalitat de Catalunya, que va crear l'any 1991 el Centre de Supercomputació de Catalunya (CESCA), com un centre de servei i com una eina per a millorar la recerca dels investigadors catalans. De l'any 1994 al 1998 la Generalitat va coordinar el CESCA i el CEPBA, i es va crear el C4, que va estar actiu durant quatre anys.

Com a conseqüència de l'experiència, de la recerca i de la transferència de tecnologia, va néixer la idea amb IBM de construir a Barcelona un supercomputador, el MareNostrum, que alberga el Barcelona Supercomputing Center-Centre Nacional de Supercomputació,

creat l'any 2005 pel Ministeri d'Educació i Ciència, la Generalitat de Catalunya i la UPC, les mateixes institucions que van crear el CEPBA.

L'avantatge del MareNostrum respecte als altres superordinadors existents és que es va construir amb tecnologia *commodity*, que permet comprar les peces de manera senzilla, com si anéssim a comprar-les a un supermercat, i muntar-les. Volíem que aquesta màquina estigués entre els cinc primers llocs del món i que passés el test dels Top 500 el novembre del 2004. Aquest test el fan tots els supercomputadors dues vegades a l'any per conèixer la velocitat de càlcul i se'ls fa resoldre un sistema d'equacions.

El MareNostrum va costar dotze milions d'euros. IBM ens el va vendre a un preu molt econòmic per la relació existent durant tants anys. El preu incloïa tres anys de manteniment gratuït.

El BSC-CNS està integrat al mapa espanyol d'Infraestructures Científiques i Tecnològiques singulars, i és l'única que tenim a Catalunya, fins que arribi el sincrotró. Com a gran instal·lació té un reglament d'ús. Hi ha un comissió formada per quaranta-quatre experts de quatre àmbits de la ciència que reben tots els projectes que sol·liciten utilitzar el MareNostrum i avaluen i decideixen quins projectes utilitzen el supercomputador.

El MareNostrum, ubicat a Torre Girona, una capella desacralitzada, va començar oficialment el 25 d'abril de l'any 2004 amb vint-i-cinc projectes i, actualment, en aquest centre treballem 175 investigadors en els camps de la ciència de computadors, ciències de la vida i ciències de la Terra.

El MareNostrum té vuit gigabytes de memòria, dos discos i 2.580 *blades* (plaques) que es comuniquen entre si. Cada *blade* o placa està composta per dos processadors. De cada *blade* surt una fibra òptica que es connecta amb una sèrie de *racks*, on hi ha centrals de telefònica que permeten que qualsevol parella de processadors pugui intercanviar informació en quatre microsegons i a una velocitat de quatre gigabytes per segon. És el prototip més gran de xarxa d'interconnexió del món. Diversos mòduls de 1.024 processadors es connecten a un primer nivell i un segon nivell permet que qualsevol processador es pugui connectar amb qualsevol altre.

El MareNostrum és un processador deu mil vegades més ràpid que un ordinador de taula, i en algunes aplicacions s'aconsegueix anar encara més ràpid. El MareNostrum té cinc petabytes (PB) de cintes, que el converteix en el magatzem més gran d'informació d'Europa. Alguns investigadors, com els que dissenyen les ales dels avions, produeixen moltes dades que guardem al MareNostrum. Aquests cinc PB és l'1 % de tota la informació que es va produir al món fa tres anys, segons un estudi elaborat a la Universitat de Berkeley.

El MareNostrum està instal·lat dins d'una urna de vidre de 16 × 9 metres. Sota l'urna, estan instal·lats tots els cables d'alimentació, els tubs de l'aigua i les xarxes de connexió. Fora de la capella hi ha diversos transformadors d'1,5 megabytes, que el mantenen a la temperatura necessària. Una de les coses que pot fer que no hi hagi superordinadors més potents en el

futur serà el cost energètic d'aquestes màquines. L'han qualificat com el supercomputador més maco del món, ha acollit filmacions de pel·lícules i l'han visitat més de dotze mil persones.

Al test Top 500 del mes de novembre del 2004, el MareNostrum va ser el primer d'Europa i el quart del món. Des de llavors ha estat el superordinador més ràpid en un centre públic de recerca. El ordinadors que se situen en els primers llocs estan instal·lats en centres privats, algun dels quals és militar. En l'últim rànquing que s'ha fet, el MareNostrum se situa com el cinquè superordinador més ràpid del món.

Els superordinadors són una manera d'amplificar la llei de Moore. El arquitectes de computadors hem duplicat la velocitat dels processadors i quan n'ajuntem molts és com si hi hagués una nova llei de Moore. En dades, l'evolució de les tecnologies fa que el superordinador que ocupa el primer lloc del Top 500, en sis o set anys baixi al número cinc-cents de la llista. El nostre ordinador personal de la versió 2006 hauria estat l'any 1994 el supercomputador número cinc-cents de la llista. I això continua evolucionant.

La recerca del BSC-CNS s'estructura en les àrees d'astronomia, espai i ciències de la Terra; biomedicina i ciències de la vida; física i enginyeria, i química i ciència i tecnologia dels materials. El MareNostrum ha donat suport a uns dos-cents projectes i ha assolit un nivell d'ocupació del 100 %.

Des del començament, el superordinador ha estat connectat a la xarxa europea DEISA, que connecta els onze supercomputadors més ràpids a través de la Red Geant. Aquesta xarxa permet que qualsevol investigador europeu pugui utilitzar qualsevol dels onze supercomputadors fàcilment.

El BSC-CNS atrau investigadors d'arreu del món. Des de l'any 1991, més de quatre-cents investigadors europeus a Barcelona han fet estades de tres mesos i col·laboren amb els nostres investigadors. A més, actualment, més de vint-i-cinc investigadors del centre que no han estat formats a Espanya formen part del planter del centre.

Des del BSC-CNS, també contribuïm a integrar Espanya en les grans infraestructures que vertebraran la recerca europea en el futur. Dins del setè programa marc, el MareNostrum és el representant espanyol i està en bona posició per a ser una de les seus, juntament amb França, Alemanya i Gran Bretanya. L'objectiu és cada quatre anys, i amb finançament europeu, canviar i millorar un dels supercomputadors.

El MareNostrum es va crear el novembre de 2004 i ara fa uns mesos, el novembre del 2006, s'ha renovat amb la introducció de dos processadors en cada una de les 2.560 plaques que incorpora, la qual cosa li ha conferit més potència de càlcul. El nou MareNostrum ha costat onze milions d'euros i és el doble de ràpid que el que vam comprar l'any 2004. D'aquesta manera, en poc temps hem tingut dos MareNostrum i per vint-i-tres milions d'euros. Els components substituïts del MareNostrum han tornat a tenir vida en sis centres de supercomputació espanyols (Madrid, Cantàbria, Saragossa, València, Màlaga i Canàries), que integren la xarxa espanyola de supercomputació, creada pel Ministeri d'Educació i

Ciència per donar suport a la comunitat científica. El BSC-CNS serà el coordinador d'aquesta xarxa. Amb la renovació, el BSC-CNS és el primer centre que ha tingut set entrades al Top 500.

En l'àrea de l'arquitectura de computadors, dirigida pel professor Jesús Labarta, estem investigant amb Microsoft el disseny del programari i el maquinari paral·lel que s'executarà en els futurs computadors personals. Aquests tindran d'aquí a deu anys centenars de processadors molt ràpids en xips de 4 cm<sup>2</sup> i seran tan potents com qualsevol dels trenta-un armaris del MareNostrum. IBM i Intel han garantit crear cada divuit mesos processadors més ràpids. Però això ja no és possible, perquè els arquitectes de computadors ja no sabem fer processadors més ràpids. Davant d'aquesta nova situació, hi ha diverses solucions. Una és multiplicar. On abans posàvem un processador, ara en posem dos, quatre, vuit o setze. Aquesta nova realitat planteja a empreses com Microsoft preparar el seu programari per poder executar les aplicacions. Amb aquesta finalitat, el BSC-CNS ha signat un acord d'un milió de dòlars amb Microsoft per a investigar com el seu programari paral·lel, el del futur, en el qual treballen més de quinze mil persones, pot executar-se en plataformes *multicore*, amb més d'un processador dins del xip. Amb IBM treballem en el disseny d'un supercomputador cent mil vegades més potent que el MareNostrum. Tindria cent petaflops i podria estar llest en quatre anys.

Per al projecte Desafío Español Copa América 2007, estem desenvolupant programes per fer prediccions locals de vent amb molta precisió. Aquests programes són útils per als esports de vela, però també per a la planificació de la producció elèctrica dels parcs eòlics. Amb l'empresa Gas Natural s'ha realitzat un estudi de l'impacte ambiental sobre la qualitat de l'aire produït pel trànsit de ciutats com Barcelona i Madrid. Amb Airbus ajudem a dissenyar millor l'aerodinàmica dels futurs avions i amb Repsol fem simulacions amb el superordinador per trobar petroli al golf de Mèxic.

En l'àmbit de les ciències de la vida treballa un grup de quaranta persones liderades pel professor Modesto Orozco. La recerca de nous fàrmacs o el plegat de proteïnes són alguns dels treballs de l'equip, entre els quals destaca la creació d'una base de dades de dues-centes proteïnes no només amb imatges sinó també amb dinamisme. Aquest mapa és la base per a tota la comunitat científica que treballa en la recerca de nous fàrmacs.

En l'àrea de les ciències de la Terra, liderat pel professor José María Baldasano, s'han realitzat models de la qualitat de l'aire. Es poden consultar les previsions de la qualitat de l'aire per als propers tres dies a Barcelona i a Madrid. I no fallen. S'han realitzat també models de la dispersió de la sorra del Sàhara, per a la Unió Europea, i s'estan executant aplicacions per conèixer el model de canvi climàtic dels propers cinquanta anys.

Una altra solució a la impossibilitat de crear processadors més ràpids és orientar l'ús dels transistors, com fa el Cell. Un xip que té IBM fa dos anys, de 2,35 cm<sup>2</sup>, amb 235 milions de transistors i nou processadors, un de general i vuit acceleradors específics. Sony utilitza

aquests xips per a la Playstation 3 (el desenvolupament d'aquest xip va costar un milió d'euros) i Toshiba el fa servir per a la televisió d'alta definició.

Intel també ha anunciat la creació d'un xip de vuitanta processadors que comercialitzarà d'aquí a quatre o cinc anys. Un dels problemes del xip és que, encara que tingui molta potència de càlcul, l'has d'alimentar. Per solucionar-ho, s'han creat tecnologies en 3D que permeten que la memòria per a alimentar els xips sigui vertical.

La barrera del teraflop de  $10^{12}$  operacions en un xip de  $4 \text{ cm}^2$  va ser superada per primera vegada l'any 1991, amb deu mil pentiums que tenien vuitanta-cinc armaris i ocupaven  $200 \text{ m}^2$ . Aquesta potència, gràcies a la recerca, la tindrem als nostres ordinadors personals en quatre o cinc anys.

Els supercomputadors del futur seran com el MareNostrum però amb molts més processadors. Això complicarà més la programació. Per això, tots els investigadors que tinguin un programari per a setze processadors i no facin un esforç per fer servir un programari paral·lel, veuran com el seu programari anirà més lent per falta de potència.

Una altra solució a la impossibilitat de crear processadors més ràpids serà combinar processadors opteron generals amb acceleradors. IBM està construint una màquina per al Los Alamos National Laboratory que combina processadors opteron i xips Cell.

La supercomputació ha canviat la manera de fer ciència. Abans els experiments s'apuntaven en un paper, actualment qualsevol recerca produeix una quantitat molt gran de dades i d'informació, que s'ha de processar i es pot emmagatzemar gràcies a la supercomputació. A més, el treball d'equips multidisciplinaris, d'altres àmbits de la ciència i d'arquitectura de computadors, permeten millorar la ciència. Actualment, el BSC-CNS treballa amb enginyers de Madrid per a desenvolupar un *software* per nanotecnologia. És important que treballin junts els experts en algorismes i els que controlen l'arquitectura per a crear un programari que pugui utilitzar un ampli espectre d'experts en nanotecnologia. A més, tenim projectes amb vint-i-tres grups espanyols per desenvolupar conjuntament tècniques informàtiques, en els quals hi ha intercanvi d'informació que permet que el resultat del treball conjunt interdisciplinari sigui diferent.

Experts de renom internacional consideren que la supercomputació ha assolit actualment el paper que les matemàtiques van tenir per a desenvolupar la física. Per això, qualsevol àrea experta necessita el suport de la supercomputació, i si no desenvolupa noves tècniques basades en informàtica, no podrà avançar.

En aquest context, el MareNostrum ja s'ha convertit en un centre de creació de recerca i un pol d'atracció de la recerca al sud d'Europa.

