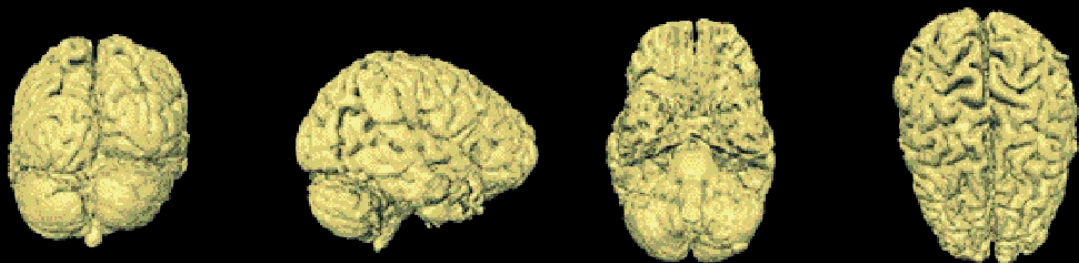
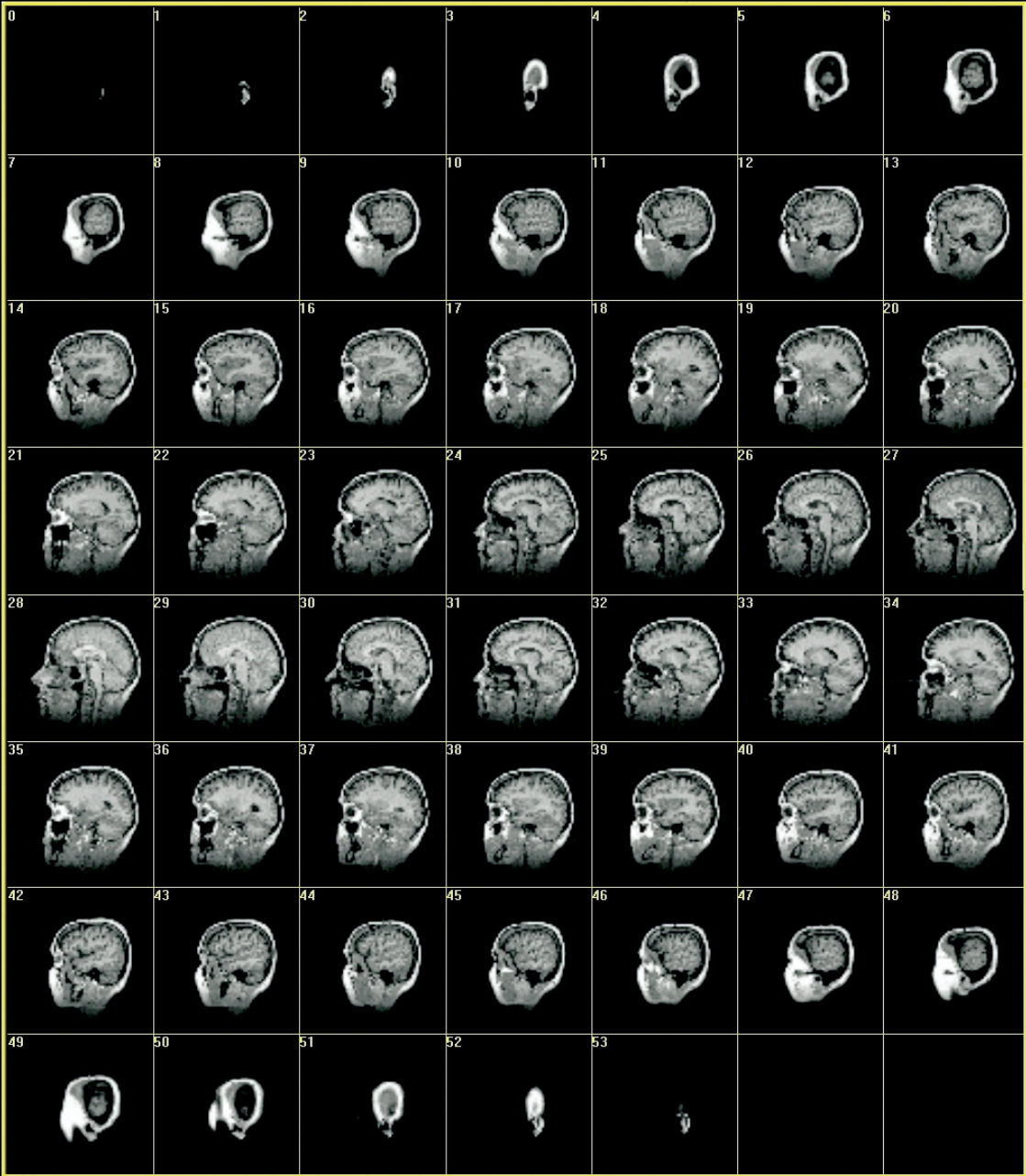


TECNOLÒGIA



Coberta: Seqüència d'imatges obtingudes per tomografia, que permeten, informàticament, fer una reconstrucció tridimensional, de la qual es mostren diferents punt de vista.

EDITORIAL

El número 2 de la REVISTA DE TECNOLOGIA segueix l'esperit que es va plantejar al seu inici, presentant una diversitat de temàtiques, fruit de les conferències que la societat organitza a l'Institut, ja sigui sobre tecnologies clàssiques, de les quals es presenta la situació actual, o d'altres tecnologies emergents.

La micro- i nanotecnologia és sens dubte un dels temes sobresortints avui dia, i potenciat per les administracions per les seves possibilitats en molts àmbits, des de la biologia i medicina fins a la robòtica, passant per altres camps com les ciències dels materials. El tema ha motivat l'organització de dues conferències aquest darrer any i un article en aquesta revista, escrit per investigadors catalans de reconegut prestigi, on es presenten els treballs recents duts a terme en el camp de la micro- i nanorobòtica.

Les aplicacions mèdiques de la tecnologia també han tingut una notable incidència en les activitats de la societat, amb dues conferències i un article a la revista. El treball que es publica presenta l'estat actual de la robòtica en el món de la medicina, fent una anàlisi de la problemàtica que apareix en aplicar la tecnologia en aquest àmbit, i dóna una visió de perspectiva de la seva evolució en el futur.

El tercer article planteja un tema sempre polèmic, el de l'energia nuclear, fent una valoració dels seus efectes, positius i negatius, enfront de les altres formes d'energia, sovint més apreciades per la societat, però de les quals es desconeix, sovint, tots els efectes o repercussions.

Encara en la línia de la preocupació social pel medi ambient i la sostenibilitat, però en un altre àmbit ben diferenciat, el darrer article dins la secció de «La tecnologia avui» tracta de l'aprofitament d'un material residual en molts processos per al seu ús com a material per a la fabricació de formigó, un material, d'altra banda, molt sol·licitat a causa del gran mercat de la construcció.

L'ensenyament i l'educació tecnològica, que ocupa la segona part de la revista, conté tres articles prou diferenciats. S'aborda el tema de les noves tecnologies de la informació i la comunicació (TIC) com a eina per a l'aprenentatge a distància, l'*e-learning*.

Un segon article fa una reflexió sobre la reforma educativa,

plantejant la preocupació en la manera com l'activitat en tecnologia ha perdut terreny en l'àmbit dels ensenyaments a secundària a conseqüència de la nova Llei orgànica d'ensenyament (LOE), després d'un període en què la Llei orgànica d'ordenació general del sistema educatiu (LOGSE) havia donat un fort impuls a l'educació tecnològica. Un planteig educatiu ben diferenciat és el que es presenta en el tercer i darrer article d'aquesta secció, passant la situació actual dels concursos de robots i com d'una forma sovint divertida es pot aprendre d'alguns temes de la tecnologia. En la secció de l'entrevista, en aquest número, es parla amb el reconegut professor i investigador Paolo Dario, amb motiu de la seva estada a Barcelona. El professor Dario és àmpliament conegut en el món de la robòtica i gran impulsor de la neurorobòtica, i en general de les seves aplicacions mèdiques, i en aquesta entrevista ens aporta la seva visió de l'evolució de la robòtica en el camp de la rehabilitació.

La REVISTA DE TECNOLOGIA pretén també ser un mitjà de comunicació de les activitats que es duen a terme en matèria tecnològica, tant dins la Societat Catalana de Tecnologia (SCT), com en altres entorns. Per aquest motiu, es presenten les darreres conferències realitzades a la SCT, així com altres activitats dutes a terme o informació de convocatòries o futures activitats. Des de l'equip redactor, esperem que aquesta secció creixi amb l'aportació d'informació dels mateixos lectors, atès que l'augment d'informació en aquesta secció pot ser una guia útil de les activitats en curs i una crida, especialment cap als joves tecnòlegs, a participar en activitats relacionades amb la tecnologia.

LA SOCIETAT CATALANA DE TECNOLOGIA I EL CENTENARI DE L'INSTITUT

Aquest segon número, que coincideix amb la celebració del Centenari de l'Institut, apareix amb un cert retard respecte al calendari inicialment previst, però amb l'ànim que sigui més dinàmic en el futur, i, complementant les activitats que es duen a terme dins la Societat, amb l'esperança que acosti més els seus socis, la mateixa Societat i l'Institut.

La Societat ha estat i estarà present en els actes amb motiu de la commemoració dels primers cent anys de l'Institut d'Estudis Catalans, fent un repàs de la història en aquest període i debatent sobre els reptes que ens presenta el futur. Per aquest motiu s'han previst, com a actes especials, una exposició d'alguns dels avenços més significatius d'aquest període tan prolífic per a la tecnologia, així com un debat sobre la tecnologia en el segle XXI, en què un grup de persones representatives de la nostra societat tecnològica exposin els punts de vista i promouguin un debat dins la Societat.

Revista de TECNOLOGIA
número 2
segon semestre 2006

Editora
Alicia Casals

Equip editorial
Aina Barceló
Marc Barracó
Roger Hoyos
Josep Ramon Izquierdo
Estanislau Tomàs
Jeroni Xampeny

© dels autors
© Editat per la Societat Catalana de Tecnologia, filial de l'Institut d'Estudis Catalans
Carrer del Carme, 47. 08001 Barcelona

Primera edició: febrer de 2007
Tiratge: 800 exemplars

Text revisat lingüísticament per
l'Oficina de Correcció i Assessorament
Lingüístics de l'IEC

Compost per Fotocomposició gama, s. l.
Carrer d'Aristides Maillol, 9-11, 08028 Barcelona

Imprès a Limpergraf, SL
Polígon industrial Can Salvatella. Carrer de Mogoda, 29-31. 08210 Barberà del Vallès

ISSN: 1698-2045
Dipòsit Legal: B. 32481-2004

Són rigorosament prohibides, sense l'autorització escrita dels titulars del *copyright*, la reproducció total o parcial d'aquesta obra per qualsevol procediment i suport, incloent-hi la reprografia i el tractament informàtic, la distribució d'exemplars mitjançant lloguer o préstec comercial, la inclusió total o parcial en bases de dades i la consulta a través de xarxa telemàtica o d'Internet. Les infraccions d'aquests drets estan sotmeses a les sancions establertes per les lleis.

Publicació i distribució

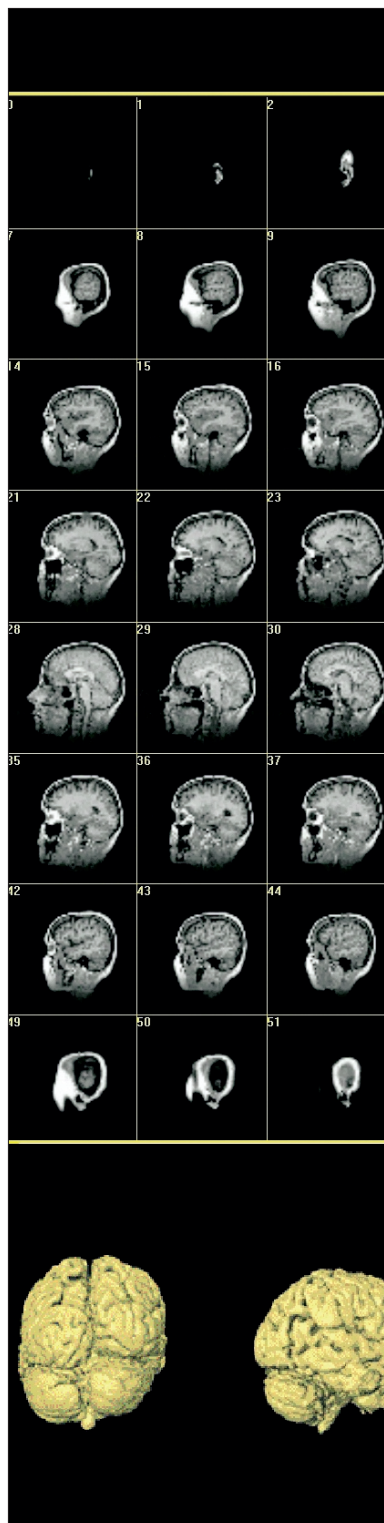
La *Revista de Tecnologia*, que es publica com a mínim un cop a l'any, es distribueix gratuïtament a tots els membres de la Societat Cata-

lana de Tecnologia, filial de l'Institut d'Estudis Catalans, i pot ser adquirida a través de l'Institut ja sigui per unitats o mitjançant subscripció, emplenant el full corresponent. La compra es pot fer directament al servei de Distribució de Publicacions de l'Institut, al carrer del Carme, núm. 47, de Barcelona, per correu electrònic a l'adreça publicacions@iec.cat o per telèfon al número 932 701 636.

Articles i anuncis d'activitats

L'equip editorial està obert a rebre contribucions per a la revista, que han de respectar l'estructura actual de la publicació, que es divideix en dues seccions: la que fa referència a temes tècnics i la relacionada amb aspectes o activitats sobre l'educació tecnològica. Així mateix, encoratja els lectors a donar a conèixer, a través de la revista, i considerant-ne la periodicitat, activitats relacionades amb la tecnologia: conferències, congressos, jornades, seminaris, convocatòries de premis, anuncis de publicacions, etc. Les contribucions es poden fer enviant, per correu electrònic, l'article o la informació en format Word o PDF a la senyora Teresa Balagué a l'adreça tbalague@iecat.net.

SUMARI



2 Editorial

La tecnologia avui

4 Robots per a aplicacions a la micro- i nanoescala

J. Brufau, J. Toset, J. Otero, A. Saiz, R. Casanova, A. Arbat, R. Ruiz, J. López, P. Miribel, A. Diéguez, M. Puig-Vidal, J. Samitier

11 La robòtica mèdica

Josep Amat

18 Estat actual de l'energia nuclear

Javier Dies i Francesc Puig

31 Aprofitament del sofre per a la fabricació de formigó. Una proposta sostenible

Violeta Gràcia

Educació tecnològica

42 Les noves tecnologies de l'aprenentatge

Federico Luque

48 Present i futur de l'àrea de tecnologia a l'educació secundària

Roser Cussó

50 Competicions de robots. Molt més que un joc

Jordi Ayza

Entrevista a Paolo Dario

54 Josep Amat

Actualitat

57 Conferències organitzades per la SCT

58 Convocatòria de premis

60 Jornada sobre educació

61 El ral·li solar Phebus 2006: Girona - Tolosa de Llenguadoc (320 km)

Patrick Renau i Meier

ROBOTS PER A APLICACIONS A LA MICRO- I NANOESCALA

J. Brufau, J. Toset, J. Otero, A. Saiz, R. Casanova, A. Arbat, R. Ruiz, J. López, P. Miribel, A. Diéguez, M. Puig-Vidal, J. Samitier

Sistemes d'Instrumentació i Comunicacions. Departament d'Electrònica. Universitat de Barcelona

El progrés de la tecnologia de microsisemes (MST) ha permès desenvolupar sistemes sencers miniatutzats que inclouen elements sensors (per a captar informació de l'exterior), sistemes electrònics per al processament de la informació i presa de decisions (xips electrònics) i sistemes d'actuació tant per al desplaçament com per a la manipulació de l'exterior. Aquesta combinació fa possible de desenvolupar el que denominem microrobòtica. Aquests sistemes poden aplicar-se en àmbits tan variats com la mecànica de precisió, la biologia, la medicina i darrerament la nanotecnologia.^{1,2} Tanmateix, el disseny i construcció d'aquests tipus de sistemes representa un gran repte tecnològic, per tal de trobar solucions a problemes relacionats amb l'energia necessària per a les funcions dels robots (emmagatzemament d'energia, sistemes de reabastament), mobilitat del robot (micromotors, sistemes piezoelèctrics, sistemes termomecànics), sistemes de manipulació (integració de sistemes de pinces per a agafar), sistemes d'observació (tant a escala local com de tot l'espai), capacitat de cooperació entre robots per a incrementar les capacitats dels robots individuals (robots cooperatius) i en resum la integració de tecnologies diverses amb un mínim d'espai i de consum energètic.

En aquest context, robots autònoms de la mida d'un centímetre cúbic serien en aquests moments el límit per a les tecnologies actuals. A continuació presentarem algunes d'aquestes realitzacions, implementades en el context de diversos projectes finançats per la Comissió Europea com el MINIMAN³ i el MICRON,⁴ així com no-

ves aproximacions en els àmbits de robots cooperatius I-SWARM⁵ o aplicacions en medicina com a càpsules gastrointestinals ARES o VECTOR.

La figura 1 mostra l'aproximació del projecte europeu MICRON.⁶ Petits grups de robots cooperant per a desenvolupar tasques en el micromón. L'objectiu és desenvolupar agrupacions de robots autònoms (de tres a cinc) de mides al voltant d'1 cm³ i que puguin col·laborar. Per tal que els robots tinguin energia suficient per a desenvolupar les seves tasques, aquests incorporen petites bateries i un sistema de transmissió d'energia sense fils per mitjà d'un sistema d'inducció electromagnètica. Els robots porten a més a més una sèrie d'accessoris per a la manipulació a escala micromètrica (microxerinygues o micropinces) o nanomètrica (palanques per manipulació mitjançant forces atòmiques). Per al correcte funcionament del sistema, s'inclou en l'espai on han de desenvolupar la seva tasca els robots un sistema de localització i de comunicació entre ells.

Disseny dels microrobots

Els principals mòduls dels robots dissenyats són: un mòdul de locomoció que permet un moviment de tres graus de llibertat (x, y, θ_z); un mòdul de manipulació basat en un braç i una eina específica; un mòdul electrònic que incorpora els circuits per a fer la interfície amb els sensors i actuadors, el sistema de comunicació per mitjà d'infrarojos; un sistema d'emmagatzemar energia i un sistema de localització basat en franges de Moiré (figura 2).

1. T. FUKUNDA, F. ARAI, L. DONG i M. NAKAJIMA, «Nanolaboratory – A Prototype Nanomanufacturing System», a *5th W. C. on Intell. Control and Automation*, Xina, 2004, p. 15-19.

2. S. MARTEL, M. SHERWOOD, C. HELM, W. GARCIA DE QUEVEDO, T. FOFONOFF, R. DYER, J. BEVILACQUA, J. KAUFMAN, O. ROUSHDY i I. HUNTER, «Three-legged wireless miniature robots for mass-scale operations at the sub-atomic scale», a *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, vol. 4, 2001.

3. J. LÓPEZ, P. MIRIBEL, E. MONTANÉ, M. PUIG, J. SAMITIER, U. SIMU i S. JOHANSSON, «Miniature robot based on smart piezoactuator units: MINIMAN», *International Technical Group Newsletter* (Technical Publications SPIE's) (2003).

4. R. CASANOVA, A. SAIZ, J. LACORT, A. ARBAT, A. DIÉGUEZ, P. MIRIBEL, M. PUIG-VIDAL i J. SAMITIER, «Towards Co-operative Autonomous

and Intelligent 1 cm³ Robots for Micro and NanoManipulation Applications: MICRON», a *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, IROS 2005*, Edmonton (Canadà), 2005, p. 760-765, ISBN: 0-7803-8912-3.

5. J. BRUFAU-PENELLA, J. SÁNCHEZ i M. PUIG-VIDAL, «Piezoelectric Polymer Model Validation Applied to mm size Microrobot I-Swarm (Intelligent Swarm)», a *SPIE Symposium on Smart Structures and Materials*, San Diego, 2006.

6. J. BRUFAU-PENELLA, M. PUIG-VIDAL, J. LÓPEZ-SÁNCHEZ, J. SAMITIER, W. DRIESEN, J.-M. BREGUET, J. GAO, T. VELTEN, J. SEYFRIED, R. ESTAÑA i H. WOERN, «MICRoN: small autonomous robot for cell manipulation applications», a *IEEE International Conference on Robotics and Automation ICRA'05*, Barcelona, 2005.

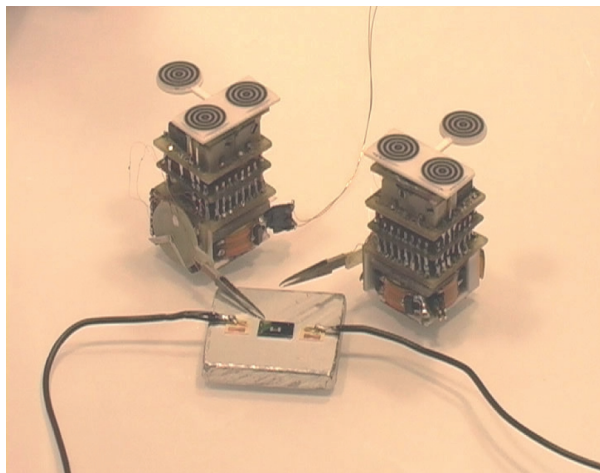


FIGURA 1. Robots MICRON cooperant per a tasques de microacoblament.

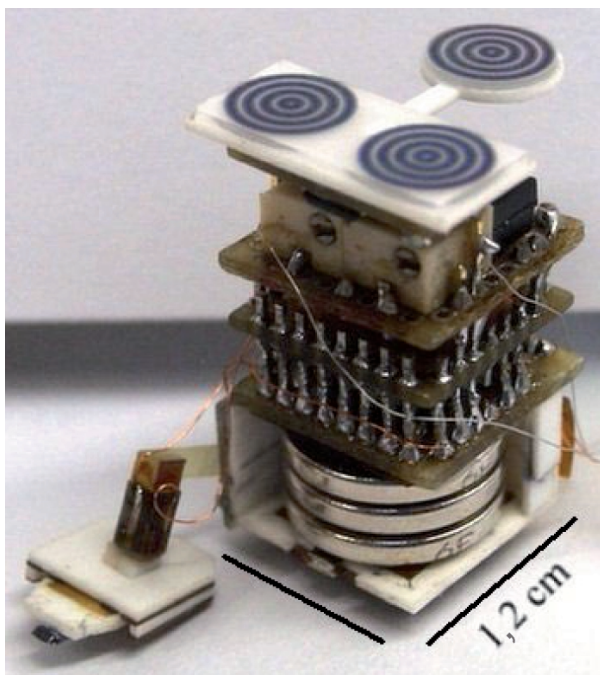


FIGURA 2. Estructura del robot MICRON.

L'autonomia del robot s'ha treballat de forma experimental fent que ells mateixos es desplaressin sobre una superfície en la qual per sota s'ha integrat un sistema de bobines. Mitjançant aquest sistema s'ha aconseguit una transmissió de potència de 500 mW.

El microrobot presenta dues parts mecàniques fonamentals: el sistema per al moviment i el braç de treball. Ambdós estan basats en material piezoelèctric, formant multicapes. Aquesta estructura permet un control del moviment de les estructures mecàniques amb resolució d'uns quants nanòmetres, quan apliquem senyals elèctrics de pocs volts.⁷ Treballar amb materials piezoelèctrics de baixa tensió és fonamental per a poder realitzar aquests tipus

7. N. SNIS, U. SIMU i S. JOHANSSON, «Piezoelectric drive platform for cm³-sized autonomous robot», a *ACTUATOR 2004*, 9th International Conference on New Actuators, Bremen, Germany, juny 2004, p. 106-109.

d'estructures i que siguin compatibles amb les tensions obtingudes mitjançant xips electrònics.

El mòdul per a realitzar el desplaçament del robot i moviment del braç està governat per deu senyals AC de 20 V pic a pic, de freqüències fins a 2,5 kHz, aconseguint velocitats de desplaçament de fins a 0,4 mm/s i de 7 rpm per al braç del robot.

Per a la localització dels robots en l'espai de treball, s'ha fet servir un sistema basat en franges de Moiré. Aquest sistema consta de cinc cercles concèntrics que es superposen de forma virtual sobre una graella que representa tot l'espai.⁸ Amb aquest sistema s'aconsegueix un error de localització inferior a 1 micra.

El sistema de subjecció que porta el braç del robot permet que pugui intercanviar els braços segons la tasca assignada al robot. Un braç que incorpora un sistema de microxeringa o un capçal de microscòpia de forces atòmiques (AFM) en són dos exemples. El sistema de microxeringa inclou una agulla d'injecció amb un recipient per a emmagatzemar el líquid a injectar i un sistema d'actuació termopneumàtic per a impulsar el líquid.⁹

El braç que incorpora el sistema de microscòpia de forces atòmiques inclou un sistema de piezoelèctrics per a controlar una petita palanca amb una punta molt afilada (de desenes de nanòmetres) com les que incorporen els microscopis de forces atòmiques per a realitzar experiències d'indentació a escales submicromètriques.¹⁰

Muntatge del sistema

Un dels majors reptes del microrobot és el muntatge dels sistemes mecànics amb els sistemes electrònics per tal que tot el conjunt sigui operatiu. Cal remarcar com a reptes tecnològics les petites dimensions, la necessitat de minimitzar el consum de potència per tal de mantenir l'autonomia en potència i la necessitat de rebre i transmetre informació de forma autònoma, és a dir, implementar un sistema sense cablejat.

Específicament el sistema electrònic integrat en el robot requereix incorporar diferents mòduls amb funcionalitats específiques:

- Llegir/escriure les instruccions necessàries en el robot per tal de realitzar-ne el moviment.
- Controlar els deu diferents piezoactuadors inclosos que com a característiques elèctriques presenten capaci-

8. R. ESTAÑA i H. WOERN, «Moire-based positioning system for microrobots», a *Optical Measurement Systems for Industrial Inspection III*, Proc. SPIE, Munic, 2003.

9. F. TAGLIARENI i T. VELTEN, «Microfabrication of microfluidic SyringeChip with integrated Actuator», a *Mechatronics & Robotics*, vol. 1, Aachen, 2004, p. 173-177.

10. J. LACORT, R. CASANOVA, J. BRUFAU, A. ARBAT, A. DIÉGUEZ, M. NIERLICH, O. STEINMETZ, M. PUIG-VIDAL i J. SAMITIER, «An integrated controller for a flexible and wireless Atomic Force Microscopy», a *Microtechnologies for the new millenium 2005*, Sevilla, 2005.

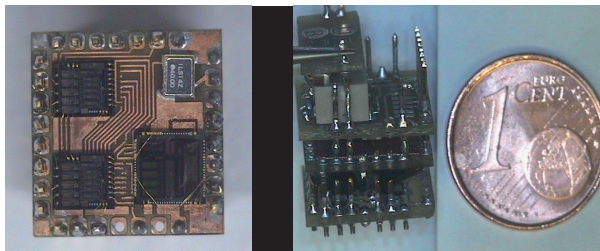


FIGURA 3. Sistema electrònic del microrobot MICRON.

tats entre 10 nF i 35 nF amb senyals AC de freqüència variable fins a 2,5 kHz.

— Incloure un sistema realimentat de control de força per a alguns dels sistemes de manipulació com és el cas de la microxeringa o el capçal d'AFM.

Per acomplir aquests requeriments, el sistema electrònic s'ha dividit en quatre mòduls: el sistema de generació de potència (PSG), el sistema per captació de forces (ISC), un sistema de control digital (MXS) i un sistema de control dels actuadors (PAA). Tots aquests sistemes es van dissenyar de forma específica i es van muntar en petits circuits impresos de dimensions 12 mm × 12 mm (figura 3).

Aplicacions dels microrobots en manipulació a la micro- i nanoescala

Una de les idees principals en projectes de microrobòtica consisteix a desenvolupar un equip de microrobots intel·ligents per tal de resoldre tasques que un sol robot no hauria pogut fer. Això s'ha demostrat experimentalment, per exemple, en tasques d'acoblament en tres dimensions mitjançant micropinces,¹¹ en tasques de manipulació de cèl·lules mitjançant braços equipats amb microxeringues¹² o en tasques de nanomanipulació mitjançant un braç equipat amb una punta de forces atòmiques.¹³

Aquesta darrera experiència ens porta al descobriment apassionant del món a l'escala nanomètrica. El capçal AFM implantat en el robot consta de dos elements: actuator piezoelèctric i sensor AFM (figura 4). L'actuator piezoelèctric té quatre entrades per tal de controlar la posició i el sensor té una sortida que ens dóna el valor de la força efectuada sobre la mostra a manipular.

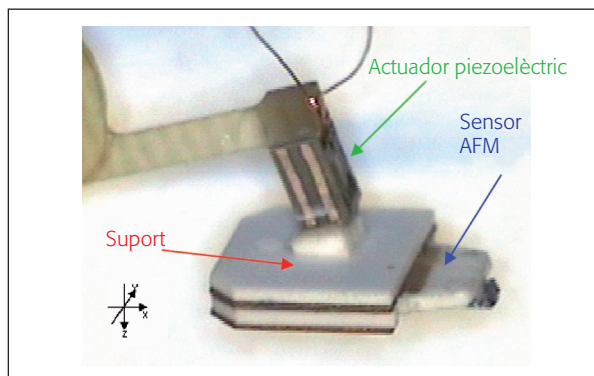


FIGURA 4. El capçal AFM.

Un capçal AFM clàssic en un microscopi de forces atòmiques conté un sistema làser de detecció de força. En el cas del microrobot no és possible integrar aquest sistema i per això utilitzem puntes comercials AFM on hi ha una resistència piezoelèctrica integrada que fa el paper de sensor de força. Amb aquest sistema reduïm dràsticament les dimensions i la potència consumida en comparació amb un capçal AFM clàssic.

Una experiència comuna per tal d'estudiar les propietats mecàniques de cèl·lules és la *nanoindentació*. Consisteix a aplicar una força amb una punta d'AFM sobre la cèl·lula i mesurar la penetració de la punta sobre la cèl·lula. Amb aquesta experiència es pot extreure la corba de força de la cèl·lula, representant el desplaçament en z en un eix i la força aplicada en l'altre. Analitzant aquesta corba és possible extreure el mòdul de Young de la cèl·lula.¹⁴

El muntatge experimental desenvolupat ha permès extreure les primeres corbes de força sobre diferents superfícies. Presentem en la figura 5 la corba desplaçament-força mesurada en el sensor AFM integrat durant la nanoindentació sobre una mostra de vidre. Tal com era d'esperar, tenim una relació lineal entre el desplaçament del capçal i la força produïda sobre la mostra.

Un pas endavant després d'aconseguir interactuar entre capçal AFM i mostra a l'escala nanomètrica és poder efectuar la manipulació d'aquestes mostres.

Manipulació de nanopartícules

Com que la ciència i la tecnologia tendeixen cada cop més a una constant reducció de les dimensions, ha sorgit la necessitat de poder arribar a manipular objectes cada cop més petits per a poder formar dispositius o per a poder estructurar elements a escala nanomètrica com ara cadenes d'ADN, proteïnes, nanopartícules funcionalitzades, etc. A

11. A. EISENBERG, K. HOUSTON, F. CAPARRELLI, B. AMAVASAI, M. BOISSERIN i P. DARIO, «Marking techniques for vision recognition of microgrippers for micromanipulation», a *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2006)*, Orlando, Florida, 15-19 de maig, 2006.

12. F. TAGLIARENI, M. NIERLICH, O. STEINMETZ, T. VELTEN, J. BRUFAU, J. LÓPEZ-SÁNCHEZ, M. PUIG-VIDAL i J. SAMTIER, «Manipulating biological cells with a micro-robot cluster», a *Int. IEEE Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, Edmonton, Alberta, Canadà, 2-6 d'agost, 2005, p. 426-431.

13. J. OTERO, A. SAIZ, J. BRUFAU, J. COLOMER, R. RUÍZ, J. LÓPEZ, P. MIRIBEL, M. PUIG-VIDAL i J. SAMTIER, «Reduced Dimensions Autonomous AFM System for working in Microbirobotics», a *IEEE International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics (BioRob)*, Pisa, 2006.

14. J. ALCARAZ i L. BUSCEMI, «Microrheology of Human Lung Epithelial Cells measured by Atomic Force Microscopy», *Biophysical Journal*, vol. 84 (març 2003), p. 2071-2079.

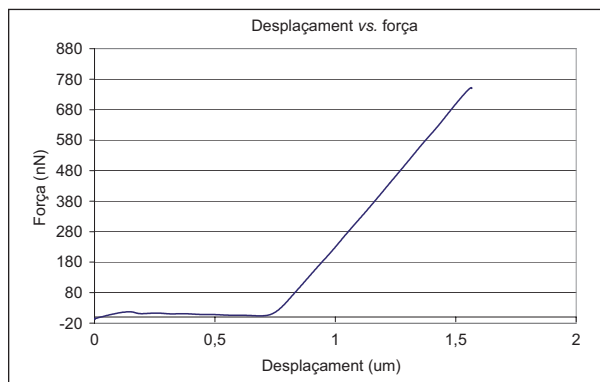


FIGURA 5. Corba desplaçament-força mesurada en el sensor AFM integrat durant la nanoindentació sobre una mostra de vidre.

mesura que reduïm les dimensions fins a escales nanomètriques, ens adonem que les lleis de la física tenen efectes diferents que en el món macroscòpic. La manipulació a escala nanomètrica es veu afectada en aquest sentit, per exemple, per la gravetat, que és una de les principals forces a tenir en compte en el moment de manipular objectes macroscòpics. Aquesta força de la gravetat no té cap rellevància a escala nanomètrica, i, per contra, sí que adquireixen més importància altres forces com poden ser la força de van der Waals i la força electrostàtica. Un altre factor a tenir en compte és que, en la majoria de casos, utilitzem la mateixa eina per a manipular que per a fer la imatge, encara que hi ha mètodes que utilitzen la combinació d'aparells com ara el SEM (microscopi electrònic de rastreig) i l'AFM. Això implica que no podem fer imatges d'allò que estem manipulant i fer la manipulació simultàniament. Per tant, estem obligats a fer primer una imatge per a saber l'estat inicial, fer la manipulació i després fer una altra imatge per a saber quin ha estat el resultat real d'aquesta manipulació.

Les primeres manipulacions a escala atòmica es van realitzar amb el microscopi d'efecte túnel. Actualment el microscopi d'efecte túnel continua essent una eina fonamental en la nanomanipulació, però presenta mancances importants. Les mostres han de ser conductores i la seva preparació és molt costosa. D'altra banda, l'AFM és més versàtil quant a la preparació de les mostres, ja que poden arribar a treballar dins de fluids. En el nostre cas, un altre avantatge de l'AFM és que detecta forces en lloc de corrents, cosa que ens serà molt útil en el moment de manipular la partícula.

Les primeres manipulacions que es van fer amb l'AFM es basaven en el fet d'empènyer la partícula amb la punta (*pushing*),^{15,16} fent-la lliscar per sobre del substrat. Aquest mètode s'ha demostrat molt útil en el moviment de nombroses partícules, ja que permet moure més d'una partícula

abans de realitzar la imatge següent. Tot i això, té dues mancances significatives. La primera és que no hi ha forma de saber si la partícula que manipulem ha arribat al seu destí fins que fem la segona imatge. Tenint en compte que la pèrdua de partícules pel camí és força freqüent, hem de fer diferents manipulacions sobre la mateixa partícula amb la consegüent realització d'imatges intermèdies abans que la partícula o conjunt de partícules arribin al seu destí. La segona mancança i la més important és que no podem realitzar estructures en tres dimensions només empenyent les partícules.

Actualment ja s'han arribat a manipular partícules de forma electrostàtica,¹⁷ però la manca de control sobre la punta fa que no es sàpiga amb certesa en quin moment la partícula s'ha adherit a la punta. El mètode que es proposa requereix un control més precís de la punta, però per contra és capaç de detectar el moment en què hi ha la transferència de la partícula sobre la punta, així com una eventual pèrdua de l'esmentada partícula durant el procés de translació.

Forces que intervenen en la nanomanipulació

Tal com hem dit, a mesura que anem disminuint les dimensions del sistema, les forces de van der Waals i les forces electrostàtiques van prenent un paper més rellevant, fins al punt que en el nostre sistema (fins a alguns nanòmetres) només tindrem en compte aquestes forces.

Les forces de van der Waals¹⁸ es poden considerar com a forces atractives, tot i que tenen una força de repulsió de curt abast i l'efecte que provoca sobre la partícula és que s'adhereixi sobre les superfícies.

El sistema consisteix en un substrat de grafit, una nanopartícula d'or de 50 nm de diàmetre i la punta d'AFM. El que es fa és estudiar les tres interaccions (partícula-substrat, partícula-punta AFM i punta AFM-substrat) per separat i considerar que són forces additives.

En la figura 4 es poden veure les tres forces d'interacció i es pot comprovar que la força entre la partícula i el substrat és sempre major que la força entre la partícula i la punta.

Amb aquesta figura es veu que no es tindran problemes per a fer la transferència de la partícula des de la punta al substrat, però per contra no ens serà possible fer la transferència de la partícula del substrat fins a la punta. Per tal de solucionar això aplicarem sobre la partícula un camp elèctric.

Aquestes tres forces són les forces reals que interactuen entre els tres objectes, però quan fem una corba de forces amb l'AFM no és aquesta força (punta-substrat) la que nosaltres veiem, sinó que és la força d'equilibri entre la força de la punta-substrat i la força de recuperació de la micropalanca.

15. C. BAUR, A. BUGACOV, B. E. KOEL, A. MADHUKAR, N. MONTOYA, T. R. RAMACHANDRAN, A. A. G. REQUICHA, R. RESCH i P. WILL, *Nanotechnology*, 9 (1998), p. 360-364.

16. S. FAHLBUSCH, A. SHIRINOV i S. FATIKOW, *2002 IEEE/RSJ, Conference on Intelligent Robots and Systems*, 2002.

17. S. DECOSAS, F. MAZEN, T. BARON, G. BRÉMOND i A. SOUIFI, *Nanotechnology*, 14 (2003), p. 1272-1278.

18. C. ARGENTO i R. H. FRENCH, *Journal of Applied Physics*, 80 (1996), p. 6081-6090.

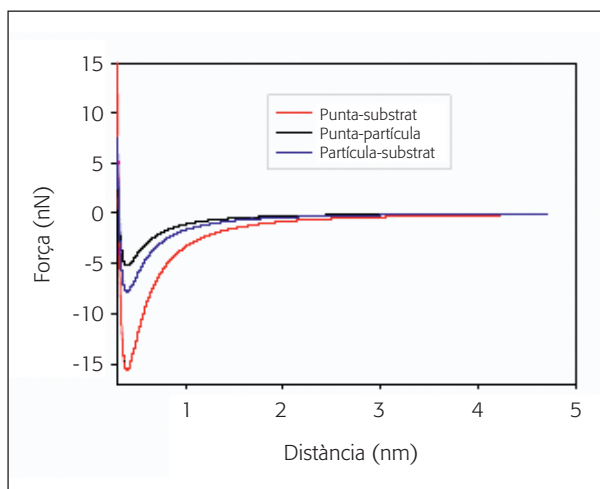


FIGURA 6. Forces d'interacció que intervenen entre la partícula i el substrat.

Aquesta força de recuperació la podem modelitzar com una molla. Per tant, si volem reproduir la corba de forces que extraurem de l'AFM, hem de calcular la posició del mínim d'energia per a cada punt en què posicionem la micropalanca.

Forces electrostàtiques

Tal com hem esmentat anteriorment, haurem d'aplicar un camp elèctric entre la punta i el substrat per tal de poder fer la transferència de la partícula cap a la punta. Això ens introdueix un problema nou, ja que en aplicar aquest camp la punta de la palanca i el substrat formen un condensador amb una diferència de potencial. Això fa que sobre la punta actuï una força deguda a la força electrostàtica i augmenti la deflexió de la micropalanca.^{19,20,21}

Per un costat tenim que la força electrostàtica que actua entre la punta i la partícula és molt sensible a la distància, ja que disminueix molt ràpidament quan aquesta augmenta. D'altra banda tenim una distància mínima a què ens podem apropar, si no la punta col·lapsaria sobre la partícula i provocaria un curtcircuit. Per tant, el control sobre la punta ha de ser com més acurat millor.

Força electrostàtica sobre la partícula

En aplicar un potencial entre la punta i el substrat, la partícula experimenta una força expressada en la gràfica de la figura 9.

Tal com hem comentat abans, la nanomanipulació mitjançant camps elèctrics requereix un control molt precís de

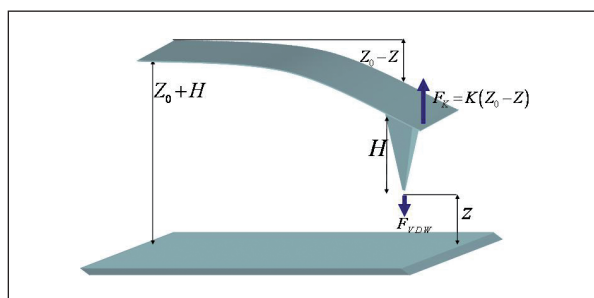


FIGURA 7. Esquema del sistema punta-substrat sense interacció electrostàtica.

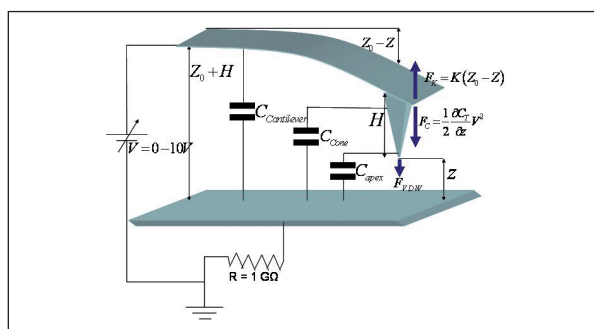


FIGURA 8. Esquema del sistema punta-substrat amb interacció electrostàtica.

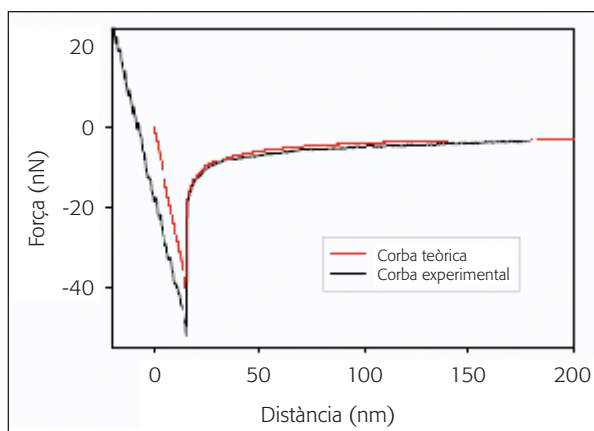


FIGURA 9. Corba de força experimental realitzada a una tensió entre la punta i substrat de 10 V. Comparació amb la corba teòrica.

la punta, ja que es tracta de situar-se a una alçada concreta sobre la partícula i sense tocar-la aplicar-li un camp elèctric per tal de desadherir-la del substrat i adherir-la a la punta. Un cop adherida a la punta, desconnectem els camps elèctrics i la força de van der Waals la mantindrà adherida fins que la dipositem un altre cop al damunt del substrat.

Podem veure (figura 10) els passos que hem seguit per tal de fer aquesta nanomanipulació. Primer, i amb mode *tapping* per tal de no moure involuntàriament la partícula, ens hem situat a sobre d'aquesta. Tot seguit hem passat a mode *contact* i aquí és on comença el procés d'adquisició de la deflexió.

Tal com es pot veure a la figura hem aixecat el capçal piezoelèctric (1). Tot seguit hem aplicat a la punta un pols quadrat de 10 V i de 6 segons de durada (2). Això ha provo-

19. P. GIRARD, *Nanotechnology*, 12 (2001), p. 485-490.

20. A. GIL, J. COLCHERO, J. GÓMEZ-HERRERO i M. A. BARÓ, *Nanotechnology*, 14 (2003), p. 332-340.

21. B. M. LAW i F. RIEUTORD, *Physical Review B*, 66 (2002), 035402(1-6).

cat una deflexió a la punta però no hi ha cap canvi, la qual cosa ens fa pensar que no hem atrapat la partícula. Per tant, hem fet baixar el capçal piezoelèctric 5 nm (4) i hem tornat a aplicar el mateix pols (5). De nou no hem observat cap anomalia i, per tant, hem tornat a baixar la punta i hem tornat a aplicar el pols (7-8-9). Mentre durava el pols hem comprovat una anomalia, la qual cosa ens ha fet pensar que hi havia hagut transferència de la partícula a la punta d'AFM. Quan ha acabat el pols, hem aixecat el capçal piezoelèctric 100 nm. Després hem fet el moviment i hem aproximat el capçal piezoelèctric a la superfície 100 nm en dos moviments de 50 nm cada un, i en el segon sí que es veu que ja hem entrat en contacte (11-12-13). Finalment, hem activat el mode *tapping* i hem tornat a fer la imatge en la qual es veu el moviment de la partícula respecte a la primera.

Un dels avantatges que té la manipulació electrostàtica és que podem dipositar la partícula a sobre d'altres partícules per tal de formar estructures en 3D. Això requereix molt de control en l'instant de dipositar la partícula, ja que si baixem molt el capçal piezoelèctric podem destruir l'estructura, mentre que si baixem poc el capçal piezoelèctric no podem deixar-la anar. També hem de tenir cura del *drift* del capçal piezoelèctric, ja que si hi ha *drifts* molt grans no deixarem la partícula en el lloc adequat. La figura 11 demostra la possibilitat de fer aquests tipus d'estructures amb nanopartícules de 50 nm.

El fet que es puguin manipular nanopartícules d'or dóna peu a manipular qualsevol tipus de partícula, molècula... que pugui ser carregada elèctricament. De forma indirecta

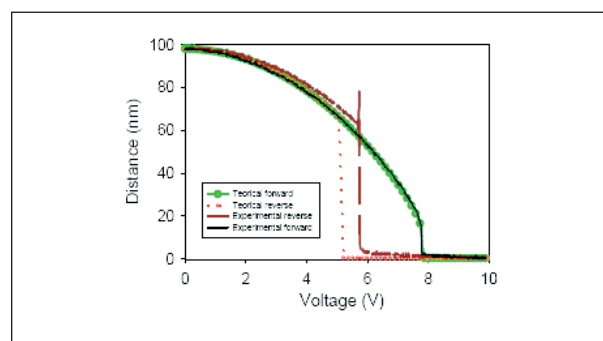


FIGURA 10. Resposta de la punta a una rampa de tensió des de 0 V fins a 10 V i des de 10 V fins a 0 V. Comparació entre els resultats experimentals i les simulacions.

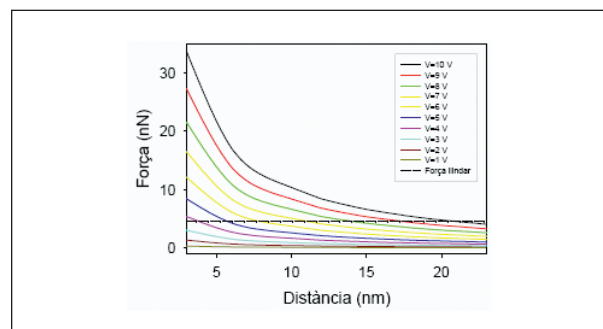


FIGURA 11. Força electrostàtica sobre la partícula per a diferents distàncies punta-partícula.

també es poden manipular altres tipus d'elements si podem funcionalitzar la partícula d'or per tal que s'hi enganxi.

Conclusions

És evident que la tecnologia de microsisemes ens permetrà en els propers anys millorar i incrementar les prestacions d'aquests tipus de robots, que han de ser la base per a l'automatització de processos a escala nanomètrica. Tanmateix, el repte que representa el disseny i construcció d'aquests tipus de sistemes requereix l'activitat de grups

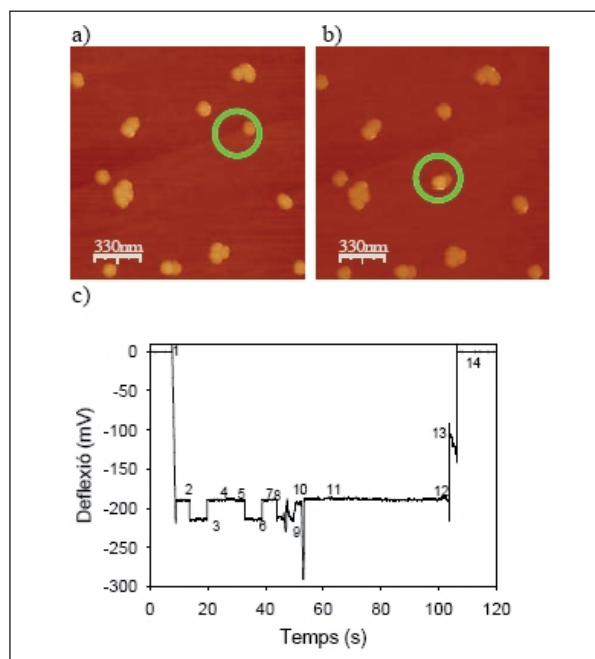


FIGURA 12. Les imatges a i b (abans i després) ens demostren el moviment de la partícula. La gràfica c és la deflexió de la micropalanca en el temps durant tot el procés.

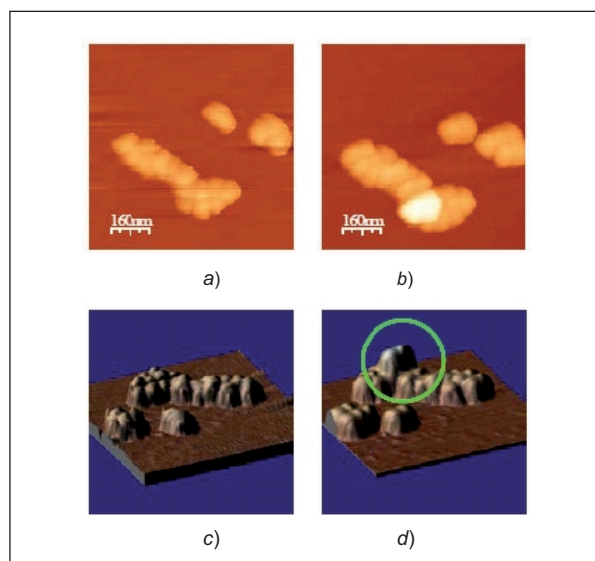


FIGURA 13. Imatges bidimensionals abans (a) i després (b) de crear l'estructura. Les imatges c i d són les mateixes imatges que a i b però amb una perspectiva 3D d'abans (c) i després (d) de fer l'estructura.

de recerca interdisciplinària que aportin coneixements molt variats per tal d'assolir sistemes útils per a la micro-nanomanipulació. Els resultats dels projectes presentats i

d'altres en curs són una bona representació de les activitats que en aquest camp es desenvolupen a escala internacional. ■

LA ROBÒTICA MÈDICA

Josep Amat

*Departament d'Enginyeria de Sistemes, Automàtica i Informàtica Industrial. Universitat Politècnica de Catalunya
Membre de l'IEC*

La tecnologia ha incidit fortament en la medicina en els darrers anys tant pel que fa referència a la utilització de nous materials i nous equipaments com al desenvolupament de nous procediments.

En els darrers cinquanta anys, la tecnologia ha tingut un procés creixent d'aportacions, entre les quals destaquen el marcapassos implantable (1958), el cor artificial extern (1966), el primer cor artificial implantable (1969, tot i que el pacient va sobreviure únicament seixanta-quatre hores), la tomografia computada de raigs X (1970) i la seva implantació en els hospitals a partir de 1974, la ressonància magnètica a partir del 1989 i la robotització en determinades intervencions quirúrgiques, que, de fet, es va començar a produir a partir de l'última dècada.

La robotització i les tecnologies associades a la robòtica en el camp de la medicina incideixen en sis aspectes diferents: el diagnòstic, el tractament, la cirurgia, la rehabilitació, les pròtesis i el camp assistencial.

La tecnologia en el camp del diagnòstic

Una primera aportació important de la tecnologia en el diagnòstic extern la constituïa la introducció dels raigs X de forma generalitzada a partir de 1915, però no va ser fins als anys setanta que la tecnologia informàtica va permetre reduir el temps de radiació a milisegons i poder aplicar la visualització d'imatges digitalitzades, i mitjançant el tractament digital poder realçar el contrast i fer visibles detalls que amb les imatges convencionals no seria possible observar.

L'observació de l'anatomia interna a partir de les imatges radiològiques quedava encara limitada a l'anàlisi d'imatges planes, fins que en la dècada dels vuitanta es van introduir les tècniques de la tomografia. A partir de l'obtenció de múltiples imatges planes, l'ordinador reconstrueix tridimensionalment l'anatomia interna. Les imatges obtingudes es poden basar tant en l'emissió de raigs X, en la ressonància magnètica, com en l'emissió de fotons, o en l'emissió de positrons; en aquest cas permet localitzar les zones de metabolisme més actiu del cervell, la qual cosa consti-

tueix una eina molt important per al diagnòstic de patologies com la de Parkinson.

A més, mitjançant la tecnologia de la robòtica s'han millorat els instruments d'endoscòpia que permeten l'observació interna directa; ja que l'endoscòpia duodenal presenta notables molèsties per al pacient i també possibles riscos. En els inicis, les tècniques de la robòtica es van orientar a desenvolupar elements endoscòpics dotats de propulsió pròpia mitjançant moviments peristàltics, que permetessin una més gran capacitat de penetració amb elements més reduïts.

Actualment, aquesta capacitat de diagnòstic per observació interna incruenta s'ha vist millorada amb el desenvolupament de càpsules ingeribles d'uns 2 cm de grandària (figura 1) dotades d'una càmera de TV radio-comunicada amb l'exterior. Així, a més de poder observar l'anatomia intestinal, per telecomandament es pot dirigir l'orientació de l'angle de visió i el zoom, i controlar el sistema d'il·luminació de què disposa la càpsula.

D'altra banda, les tècniques de reconstrucció 3D a partir d'imatges obtingudes per tomografia, que permeten distingir i identificar els diferents teixits anatòmics, també proporcionen models molt acurats de la zona explorada externament. D'aquesta manera es poden realitzar endoscòpies virtuals mitjançant les tècniques de navegació sobre models 3D, que permeten traslladar el punt d'observació a qualsevol punt del model i, per tant, emular les exploracions internes. Amb l'endoscòpia virtual s'eviten molèsties i possibles riscos per al pacient.

Els equips d'ecografia per ultrasons són molt utilitzats gràcies al seu cost reduït i perquè no presenten cap efecte negatiu per la salut. La millora en la qualitat de la imatge i la portabilitat n'han generalitzat la utilització, que permet, per exemple, un seguiment més freqüent del progrés de l'embaràs, amb la capacitat de diagnòstic que això representa (figura 2).

La tecnologia aplicada al tractament

Les tècniques de tractament també s'han vist molt beneficiades gràcies al desenvolupament tecnològic. Un exemple n'és la radioteràpia. La robotització del posi-



FIGURA 1. Càpsules ingeribles dotades de càmera de TV.

cionament de l'emissor respecte a la posició del pacient permet planificar l'angle i l'abast d'incidència. Així, es poden programar informàticament plans de treball basats en trajectòries centrades en un punt de focalització determinat. L'optimització de la focalització del tractament minimitza els nivells de radiació sobre els teixits de l'entorn.

La robòtica quirúrgica

La robòtica ha iniciat la seva introducció en la cirurgia en els darrers anys, per complementar les capacitats dels cirurgians en els aspectes en els quals la robòtica clarament pot superar les limitacions pròpies d'un treball manual. Les aptituds que un cirurgià aplica a una pràctica quirúrgica i les que podria assolir la robòtica es resumeixen a la taula 1.

TAULA 1
Capacitats comparatives

Aspectes	Cirurgia	Robòtica	Millor opció
Intel·ligència	Molt alta	Molt baixa	C
Intuïció	Molt alta	Molt baixa	C
Capacitat d'aprenentatge	Molt alta	Mitjana	C
Capacitat de càlcul	Baixa	Molt alta	R
Memòria	Mitjana	Molt alta	R
Precisió	Baixa	Molt alta	R
Velocitat de treball	Mitjana	Molt alta	R
Infatigabilitat	Mitjana	Molt alta	R
Fiabilitat	Alta	Alta	—
Cost	Molt alt	Alt	—

De l'anàlisi de la taula comparativa entre els diferents nivells de capacitats que es requereixen per a la pràctica quirúrgica es desprèn que les millors capacitats humanes no coincideixen amb els millors nivells en les capacitats actuals de la robòtica. En canvi, les millors capacitats de la robòtica es corresponen més amb les principals limitacions de l'ope-



FIGURA 2. Equip d'ecografia portàtil.

rador humà. Així doncs, cal considerar la robòtica com un element tecnològic d'ajut en determinades tasques quirúrgiques amb unes prestacions que no és possible aconseguir manualment, com és el cas de la precisió i la infatigabilitat.

No obstant això, la robòtica, que ha assolit un grau molt elevat d'utilització en molts processos industrials, s'ha introduït molt més lentament en el camp de la cirurgia. Aquest fet és degut que en la majoria de les aplicacions industrials l'entorn està completament definit geomètricament i, per tant, és possible la programació geomètrica prèvia de les trajectòries que configuren la tasca robotitzada, que pot ser repetida amb precisió indefinidament. En canvi, en l'entorn mèdic, tot i poder obtenir un model geomètric de l'anatomia de cada pacient previ a la intervenció, tal com permet la tomografia computada, també cal poder definir les coordenades a l'espai de la seva posició en el moment de la intervenció. És per això que les primeres intervencions robotitzades que es van portar a terme van ser de cirurgia cranioencefàlica. A part de requerir més precisió que la de les mans del cirurgià, és possible la immobilització del crani i obtenir-ne les coordenades.

Per a la utilització d'un robot com a eina de suport en cirurgia cal poder definir prèviament unes trajectòries que

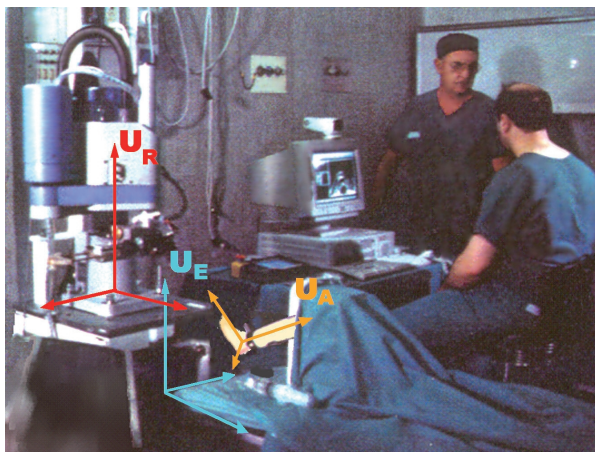


FIGURA 3. Eixos de referència dels diferents elements de l'entorn quirúrgic.

han de ser referenciades en els eixos de coordenades U_R del robot (figura 3). A més, la tasca a realitzar sobre un determinat element anatòmic requereix definir el conjunt de trajectòries sobre el seu model geomètric, obtingut a través de la tomografia, i referenciat sobre uns eixos de U_A definits sobre uns elements prou característics de la seva anatomia.

Tenint en compte que el pacient no ocupa una posició precisa predeterminada sobre la taula d'operacions, cal poder obtenir la posició a l'espai tridimensional d'aquest element anatòmic amb referència a les coordenades U_E de l'entorn de la sala d'operacions. Per això s'han d'utilitzar instruments de mesura que permetin obtenir les coordenades de l'espai d'un nombre mínim de punts rellevants definits sobre aquest element anatòmic, i assegurar-ne aleshores la immobilitat.

La possibilitat de poder realitzar una tasca utilitzant el robot va, doncs, més enllà de poder disposar del model geomètric de l'element anatòmic obtingut per tomografia, tal com es mostra en la figura 4. Per poder conèixer les posicions dels punts d'interès on ha d'operar el robot, cal poder referenciar aquest model a uns determinats sistemes de coordenades, per compensar possibles moviments relatius entre si. En aquest cas, els eixos associats al pacient, U_A , poden variar al llarg de l'operació, i s'han de poder referir als eixos del robot U_R i de l'entorn U_E , cosa que exigeix un potent sistema informàtic (figura 5).

Però això tan sols és possible si aquest element geomètric és indeformable i es pot immobilitzar, cosa que no es pot aconseguir en totes les modalitats d'operacions quirúrgiques.

Des del punt de vista de la utilització de la robòtica es poden diferenciar quatre tipus d'intervencions quirúrgiques:

- cirurgia ortopèdica
- cirurgia toràcica i abdominal
- cirurgia mínimament invasiva
- microcirurgia.

La *cirurgia ortopèdica* és la que s'aplica sobre elements ossis, és a dir, indeformables. Malgrat que és possible disposar del model geomètric invariable durant tota la intervenció, requereix poder fixar rígidament l'element, la qual cosa limita molt les seves possibilitats d'aplicació.

Tanmateix, és possible en algunes operacions, com ara les que es realitzen a l'espina dorsal o al maluc. En canvi, la immobilització de les extremitats, el fèmur o la tibia, és més difícil a causa de la massa muscular.

Actualment ja hi ha alguns robots específics capaços de realitzar aquest tipus de cirurgies. El primer a ser utilitzat de forma ja operativa als hospitals va ser el Robodoc, i posteriorment el Caspar (figura 6).



FIGURA 4. Model geomètric obtingut a partir de la tomografia.

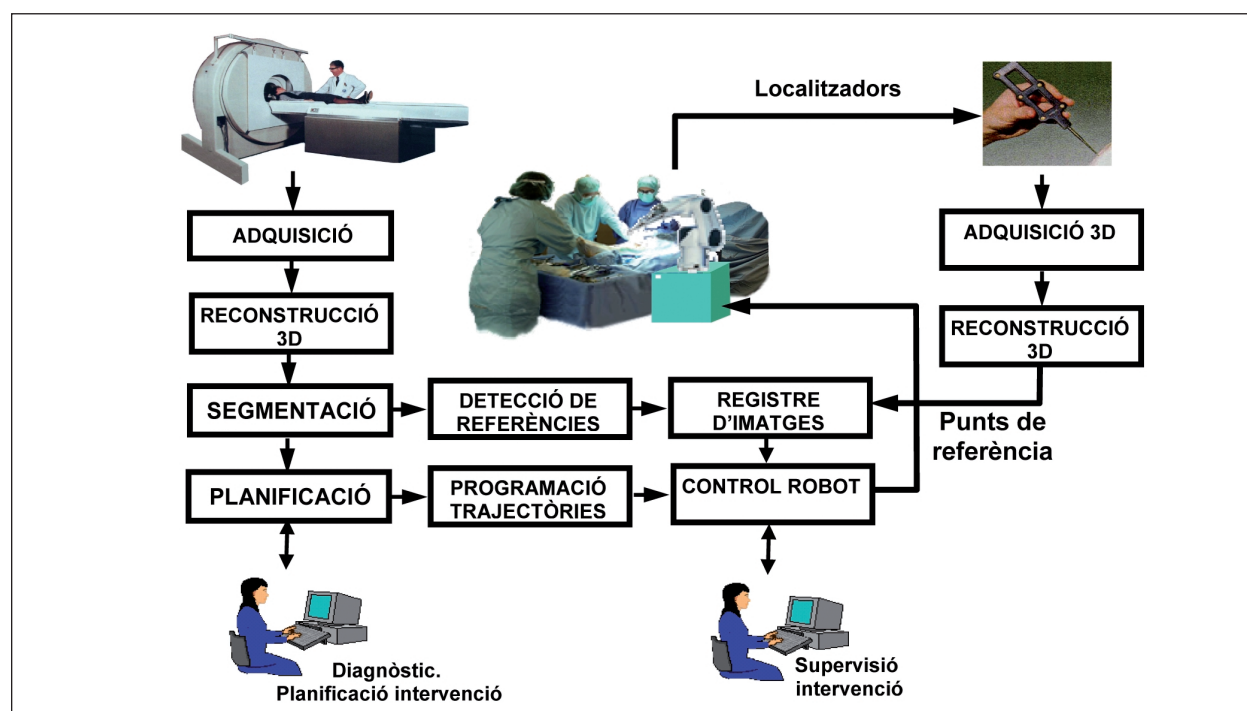


FIGURA 5. Procés de posada en correspondència dels eixos de referència i robotització d'una intervenció quirúrgica.



FIGURA 6. Robot Caspar.

La cirurgia toràcica i abdominal presenta majors dificultats d'aplicació a causa dels seus òrgans deformables. Això dificulta l'adaptació del model geomètric obtingut prèviament, respecte de la forma assolida en la taula d'operacions, a més de la immobilització.

No obstant això, es poden utilitzar tècniques de detecció i seguiment d'algun element anatòmic rellevant que permeti adaptar de forma contínua el model geomètric prèviament obtingut amb la geometria real de l'element en cada moment, la qual cosa permet referenciar de forma dinàmica els diferents eixos de coordenades i realitzar així l'operació adaptada a la geometria.

Mitjançant aquestes tècniques s'ha aconseguit, per exemple, sincronitzar les coordenades de treball d'un robot amb els moviments del batec del cor.

La cirurgia mínimament invasiva ha estat desenvolupada per a operar a través d'incisions mínimes fetes al pacient mitjançant unes petites pinces i unes eines específiques, per a reduir el trauma produït per tota intervenció, i els temps de recuperació. Aquest tipus de cirurgia exigeix un cert aprenentatge en la utilització d'aquestes eines específiques ateses les limitacions que implica treballar a través d'un punt fix, els orificis d'entrada, i la inversió del sentit dels moviments, i amb la necessitat de seguir-los a través d'un monitor de TV. Les limitacions del treball realitzat manualment impliquen la utilització d'una tecnologia molt més propera a la robòtica, ara bé, també suposen operar amb les mateixes limitacions de moviments pròpies d'un robot, especialment en accessibilitat.

Les primeres aplicacions de la robòtica en cirurgia mínimament invasiva van ser orientades a la cirurgia lapa-

roscòpica, ara bé, no a la realització de l'operació pròpiament, sinó com a suport i comandament de la càmera de TV. Es tracta d'una operació que requereix més atenció que habilitat; a més, les deficiències de manipulació, derivades del cansament, produeixen moltes molèsties i dificultats addicionals al cirurgia.

Malgrat que s'ha iniciat la robotització del comandament dels estris de treball de diverses operacions en cirurgia laparoscòpica, aquesta es produeix mitjançant teleoperació, és a dir, que és el cirurgià qui mou les pinces, ara bé, no de forma directa sinó a partir d'uns comandaments que permeten als braços-robots moure les pinces com si les moguéssin directament el cirurgià.

Hi ha diversos robots desenvolupats específicament per a la realització d'operacions en cirurgia laparoscòpica; els més destacats són el Zeus (1997) i el Da Vinci (2000), ambdós dotats de tres actuadors, per a controlar les pinces teleoperades i la càmera de TV (figura 7), que ja permeten realitzar habitualment determinades operacions tant de cirurgia laparoscòpica o histeroscòpica com per teleoperació.

La microcirurgia, per les seves característiques dimensionals i de precisió, no permet realitzar les operacions manualment; per aquest motiu ha calgut introduir-hi les tècniques robòtiques. Aquestes operacions robotitzades han permès, per exemple, millorar l'eficiència quirúrgica en cirurgia cranioencefàlica, gràcies a la precisió superior a la dels mètodes manuals.

En cirurgia oftàlmica, i utilitzant com a eina de treball el làser, s'ha aconseguit obtenir prestacions molt elevades, tant en la correcció de diòptries de la còrnia com en operacions de retina.

La tecnologia aplicada a la rehabilitació

La tecnologia aporta també equips que permeten millorar moltes tasques en rehabilitació. Els caminadors, els *tread-mills*, en són un exemple. Es tracta d'un equip de cost molt raonable ja que ha estat comercialitzat per a facilitar a



FIGURA 7. Estació de treball.

tothom la realització d'exercici físic de forma més còmoda i fins i tot en el propi domicili. És una ajuda molt apreciable en el procés de rehabilitació per a les extremitats inferiors, especialment en casos d'hemiplegia.

Igualment, la robòtica es pot aplicar en tasques de rehabilitació. El robot es pot programar per a permetre trajectòries determinades exercint forces també programables.

La capacitat del robot de poder programar, fins i tot gestualment, memoritzar i posteriorment realitzar tot tipus de moviments amb trajectòries, velocitats i forces programades, pot constituir, doncs, un terapeuta robotitzat infatigable adaptat a cada usuari, preparat per a realitzar qualsevol tasca de rehabilitació. A diferència dels caminadors, el seu elevat cost en limita l'ús.

Les pròtesis

El desenvolupament de la robòtica, tant pel que fa en micromecànica com en capacitat i miniaturització de la unitat

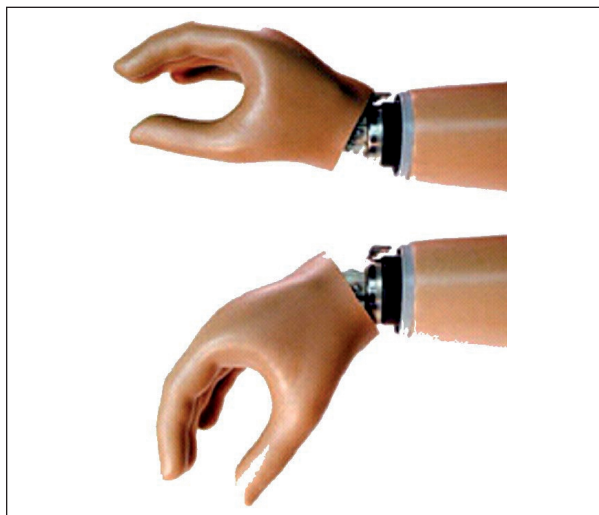


FIGURA 8. Pròtesi de braç amb una articulació passiva.

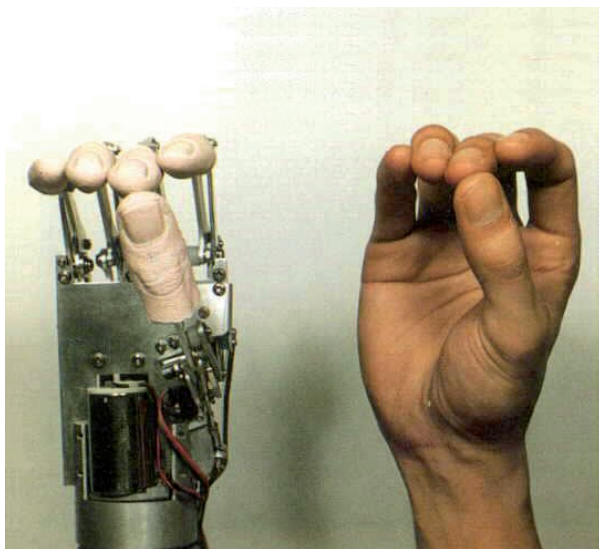


FIGURA 9. Aspecte intern i extern d'una pròtesi de mà motoritzada.

de control, és lògic que també s'orientés al desenvolupament d'arquitectures electromecàniques substitutives de braços i mans i de cames prostètiques, per a suplir la pèrdua d'alguna extremitat.

Inicialment, les primeres pròtesis articulades desenvolupades per a suplir la pèrdua de les extremitats superiors eren de tipus passiu, és a dir, els moviments de les articulacions no eren motoritzats, per tal d'estalviar el pes dels actuadors i, especialment, de les bateries, així com els problemes de control. Aquest tipus de pròtesis passives (figura 8) malgrat les seves limitacions, s'han demostrat de gran eficàcia per a molts usuaris, que, amb la seva habilitat, aconsegueixen una bona relació entre operativitat i simplicitat.

Ja a la dècada dels vuitanta, es van aconseguir bons nivells de prestacions de les pròtesis motoritzades utilitzant com a senyals de control la identificació dels senyals mioelèctrics que conserven els amputats traumàticament.

En la figura 9 es pot veure la mà del braç prostètic que va ser desenvolupat a la Universitat de Waseda el 1979. La mà era activada a partir de la voluntat de l'usuari, a partir de la interpretació dels senyals mioelèctrics obtinguts per uns elèctrodes situats en la zona propera a l'amputació.

A més, s'han desenvolupat pròtesis robotitzades de les extremitats inferiors, però a diferència de les superiors no ha estat possible el comandament a partir dels senyals mioelèctrics. En aquest cas, un microcontrolador controla els diferents actuadors utilitzant els sensors de força i presència de què està dotat, i permet controlar els actuadors que realitzen els moviments de la marxa que sol·licita l'usuari, tot seguint els moviments de l'altra extremitat, i mantenint l'equilibri de l'usuari. Aquest tipus de controladors permeten realitzar els moviments de caminar amb prou seguretat tant sobre superfícies planes, com per a pujar o baixar graons (figura 10).

La poca acceptabilitat d'aquest tipus de pròtesis, tot i el progrés tecnològic aconseguit en les dues últimes dècades, ve donada, d'una banda, pel seu elevat cost, però, de l'altra, pel pes dels acumuladors d'energia necessaris, d'autonomia reduïda i les prestacions encara limitades.

La robòtica ofereix suplir la pèrdua de capacitat motriu de persones discapacitades i també de les persones grans que, amb l'edat, veuen progressivament reduïda la seva motricitat i mobilitat. Les cadenes de rodes motoritzades constitueixen, per ara, una forma molt important d'adquirir o de mantenir la mobilitat tant al domicili com en espais públics. Això es deu, d'una banda, a les millores tecnològiques experimentades per aquest tipus de cadenes en els darrers anys, especialment a la reducció del seu pes i del seu cost i a la vegada a l'increment de la seva autonomia (figura 11). D'altra banda, l'increment en l'ús en els espais públics s'ha vist afavorida per la sensibilització quant a la supressió de les barreres arquitectòniques en les obres públiques, que fa que el nombre d'itineraris adaptats augmenti dia a dia.

L'ús de cadenes de rodes motoritzades als espais públics també s'ha vist propiciada amb la introducció de la telefonia mòbil com a element de seguretat i d'ajut remot, i la

dels sistemes GPS que permeten guiar en entorns urbans. A més, amplia les possibilitats de lleure i de cultura de les persones amb severes discapacitats motrius i fins i tot amb paràlisis cerebral, ja que permet desenvolupar sistemes de

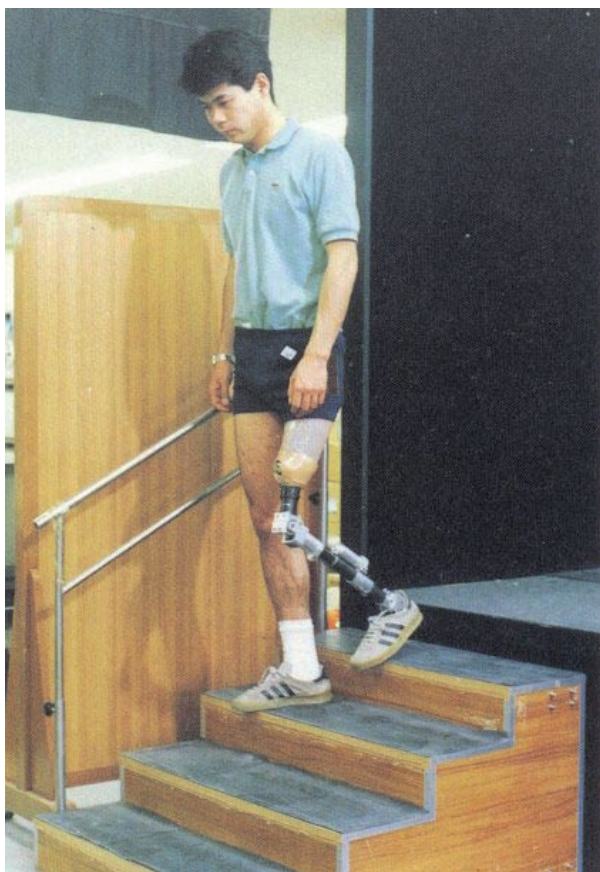


FIGURA 10. Pròtesi d'extremitat inferior.



FIGURA 11. Cadira motoritzada apta per a espais domèstics i urbans.

guiatge assistit o fins i tot automatitzat tot dotant la cadira d'un sistema de planificació de rutes i d'evasió d'obstacles per a poder circular amb seguretat per recintes restringits com ara d'exposicions o altres manifestacions culturals i lúdiques.

La necessitat de les persones discapacitades de disposar de certa autonomia, com en el cas dels tetraplègics, ha obligat a buscar solucions tecnològiques alternatives a l'assistència personal les vint-i-quatre hores del dia.

La robòtica ha presentat certes expectatives com ara un braç assistencial a disposició de l'usuari per a poder realitzar algunes tasques elementals com donar el menjar o begudes, assistir en la neteja personal, passar les pàgines d'un llibre o acostar i manipular elements propis de l'entorn domèstic. Els primers esforços significatius en aquest camp arrenquen el 1988 a la Veterans Administration Medical Center. Es volia donar resposta a l'increment de casos de tetraplegia i d'amputacions de les víctimes de la guerra del Vietnam. Es va desenvolupar una plataforma mòbil dotada d'un braç robòtic, projecte MOVAR, que no va anar més enllà de la fase experimental. Posteriorment, han sorgit altres iniciatives significatives en aquesta mateixa direcció, com el projecte MANUS (1992), que consisteix en un braç muntat sobre una cadira de rodes que controla l'usuari (figura 12), que han donat lloc a productes comercials de moderada o minsa acceptació. El 1996 va ser desenvolupat el projecte més ambiciós, el MOVAID, finançat per la UE, que pretenia desenvolupar un robot autònom capaç d'ajudar l'usuari en certes tasques domèstiques.



FIGURA 12. El MANUS, braç robot muntat sobre la cadira.



FIGURA 13. Robot TOU, desenvolupat a la UPC basat en una estructura flexible.

Tots aquests projectes (figura 13) han aconseguit avenços molt significatius; malgrat tot, encara no es disposa d'un robot assistencial eficient, fiable i econòmic que respongui plenament a la demanda d'autonomia de les persones severament discapacitades.

Actualment hi ha molts centres de recerca que estudien aquesta problemàtica, tant pel que fa al desenvolupament d'ajuts per a persones grans, com per a retornar la mobilitat a les persones amb lesions medul·lars. En aquest cas, hi ha diversos projectes en curs orientats en dues direccions diferents. En primer lloc, l'estimulació elèctrica muscular per a poder controlar el moviment de les extremitats i, en segon lloc, l'estudi de la connexió elèctrica dels senyals que la medul·la transmet en el punt del seccionament traumàtic.

En el primer cas, el de l'estimulació elèctrica funcional, l'obstacle a superar és el de la dosificació de l'excitació que ha de permetre controlar els moviments de forma precisa en força i en velocitat. Tot i els avenços assolits, encara no s'han obtingut resultats prou satisfactoris per a poder controlar les extremitats inferiors com es faria amb una estructura robòtica, i poder realitzar amb eficiència i seguretat els moviments de caminar.

En el segon cas, el de la recuperació de la connectivitat medul·lar, tampoc s'ha passat de l'experimentació positiva

realitzada en rates. S'ha aconseguit obtenir el senyal elèctric de les terminacions medul·lars sobre xips sobre un suport ceràmic implantats en el punt de la lesió, i obtenir una interpretació correcta de les ordres donades per aprenentatge mitjançant xarxes neuronals.

Aquests treballs que s'estan portant a terme en el camp de les lesions medul·lars han despertat grans expectatives en aquests tipus de lesionats. No obstant això, hi ha certes divergències entre l'alternativa de retornar la mobilitat amb les seves pròpies extremitats, tot acceptant les limitacions funcionals que imposen les limitacions tecnològiques, o bé utilitzar les cadires de rodes motoritzades dotades de sistemes de navegació autònoma cada vegada més eficients i més ràpides i còmodes.

El repte dels sistemes tecnològics que es desenvolupen en el camp assistencial és el d'aconseguir tant l'eficiència i uns costos més assumibles, com també el de la seva aparença i funcionalitat, és a dir, la seva acceptabilitat. ■

Conferències

- Robomed, 1st European Conference on Medical Robotics. Barcelona, 1994.
- International Conference on the Engineering in Medicine and Biology.
- IEEE International Conference on Engineering in Medicine and Biology.
- IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics.
- IEEE International Conference on Robotics & Automation (ICRA).
- International Conference on the Rehabilitation Engineering (RESNA).

Publicacions

- Journal of Biomedical Engineering.*
- Disadvantaged, Rehabilitation Robotics Newsletter.*
- IEEE Transactions on Biomedical Engineering.*
- IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering.*

ESTAT ACTUAL DE L'ENERGIA NUCLEAR

Javier Dies i Francesc Puig

Departament de Física i Enginyeria Nuclear. Universitat Politècnica de Catalunya

La radioactivitat i l'enginyeria nuclear en el nostre entorn

A la vida quotidiana estem convivint amb la radioactivitat. Considerant tota la població del món, una persona, en valor mitjà, rep una quantitat de radioactivitat de 2,8 mSv per any. El sievert és la unitat del sistema internacional que es fa servir per a mesurar la dosi, és a dir, la quantitat de radiació que una persona rep. Determina la relació d'energia rebuda per unitat de massa. A la figura 1 es pot veure quin és l'origen d'aquesta radioactivitat.

Una part de la radioactivitat prové de la natura i una altra és artificial com a conseqüència de les activitats que desenvolupa la humanitat.

La radioactivitat natural es deu a:

1. Radiació còsmica. Quan anem pel carrer o estem a casa, estem sotmesos a la radiació còsmica. Aquesta té uns valors més alts en funció de l'altitud sobre el nivell del mar del lloc on estem vivint.

2. Radiació gamma o terrestre. Surt de terra a conseqüència de la desintegració dels isòtops naturals que conté la terra. El seu valor depèn de la composició geològica del terreny, zones granítics, calcàries, etc.

3. Radiació interna. Surt del nostre propi cos a conseqüència de la desintegració dels isòtops naturals que té el nostre cos.

4. Radiació del radó i toró. Són dos gasos radioactius naturals que respirem habitualment. La seva con-

centració depèn dels materials amb què es construeixen els habitatges, la composició geològica del terreny i el nivell de ventilació de l'espai on estem. Com es veu al dibuix, és la contribució més important per a les persones.

La radiació artificial es deu a:

1. Aplicacions mèdiques. Utilització de les radiacions per radiodiagnòstic i per radioteràpia. Les més freqüents són les tècniques de radiodiagnòstic, radiografies, revisions amb aparells de raigs X, injecció d'isòtops radioactius a la sang per a diagnosticar, ressonàncies magnètiques nuclears, tomografia per emissió de positrons (PET). Aquelles persones que reben tractament per radioteràpia assoleixen valors molt més alts (figura 2).

2. Altres aplicacions. Aquest apartat inclou les aplicacions industrials de les radiacions, aplicacions en recerca, producció d'energia nuclear, etc.

Les aplicacions mèdiques de les radiacions ionitzants cada cop són més importants a la nostra societat, tant en el camp del radiodiagnòstic com en radioteràpia, i estan contribuint a la millora de la qualitat de vida de moltes persones.

A Granollers (Barcelona) existeix un irradiador industrial per a esterilitzar material mèdic i farmacèutic (gases, benes, xeringues, fil de cosir, pinces, pomades, cosmètics). Cada setmana tones d'aquests materials són sotmesos a fortes irradiacions amb fotons gamma procedents d'una font de Co^{60} per tal d'ésser esterilitzats.

Les aplicacions industrials de les radiacions ionitzants són també significatives: assajos no destructius, mesures de gruixos de paper, pintures, recobriments, mesures de nivells de líquids, mesures de densitats en enginyeria civil, construccions d'autopistes, construccions de trens d'alta velocitat. Detectors d'incendis. Hi ha països que fan servir les radiacions ionitzants també per a conservar aliments com, per exemple, fruita i patates.

Al camp de la investigació existeixen nombrosos

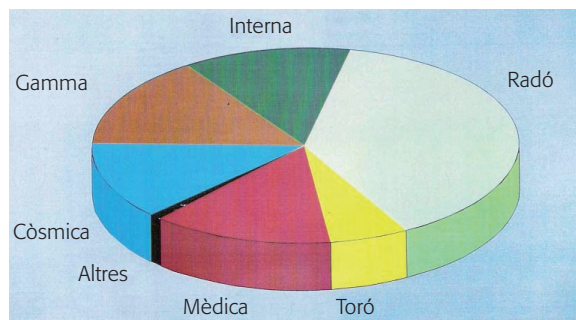


FIGURA 1. Dosi mitjana mundial provinent de les diferents fonts de radiació. Total 2,8 mSv/any. Les fonts de radiació artificial són: medicina i altres. Les fonts de radiació natural són: còsmica, gamma o terrestre, interna, radó i toró.

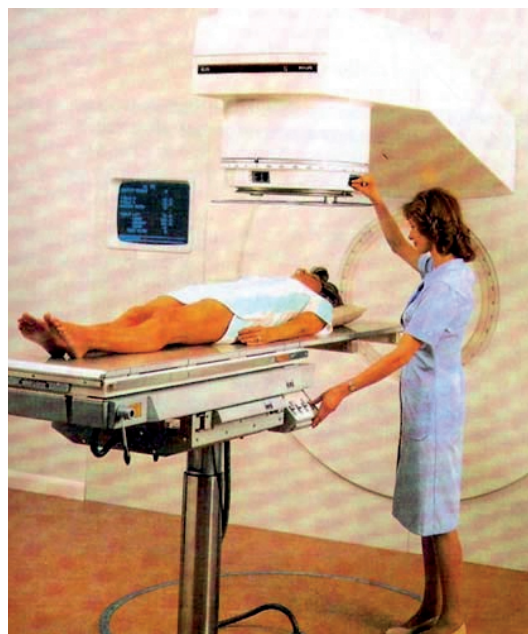


FIGURA 2. Les tècniques de radiodiagnòstic i radioteràpia ajuden a millorar la qualitat de vida de moltes persones.



FIGURA 3. Síncrotró Alba, Cerdanyola (Barcelona). Gran instal·lació de recerca en procés de construcció.

aparells que fan servir les radiacions ionitzants en el seu funcionament, des d'aparells petits fins a grans instal·lacions. A Cerdanyola (Barcelona) s'està construint el sincrotró Alba, que serà un potent instrument de recerca per a diferents disciplines de la ciència.

L'energia nuclear des dels orígens dels temps ja es fa servir. El sol és un gran reactor natural de fusió termonuclear que dóna llum i calor a la Terra. L'home està intentant copiar de la natura, que és molt sàvia, i està desenvolupant un ambiciós programa de R+D en el camp de la fusió nuclear. El proper pas és la construcció del reactor de fusió ITER. Aquest projecte és el segon projecte internacional més gran del món després de l'Agència Internacional de l'Espai, amb un pressupost de 4.500 milions d'euros. Hi participen Xina, Rússia, Estats Units, Índia, Japó, Corea i Europa, països que representen més del 50 % de la població del món.

El 28 de juny de 2005 es va aprovar la construcció de l'ITER a Cadarache (França) i la instal·lació de l'Agència Europea de l'ITER a Barcelona, en concret al campus del Besòs.

A Catalunya des de fa més de trenta anys s'utilitza l'energia nuclear de fissió per a produir electricitat. Actualment el 50 % de l'electricitat és d'origen nuclear. Les persones que conviuen amb aquesta font d'energia han pogut comprovar que és segura, respectuosa amb el medi ambient i que genera progrés econòmic al seu entorn.

En la figura 5 es veu la central nuclear de Vandellòs II, que

té una potència de 1.087 MWe. A la foto s'observa com hi ha persones que es banyen i prenen el sol a pocs metres de la central nuclear. També és freqüent veure com pescadors de la zona van a pescar davant mateix de la central nuclear.

Energia nuclear al món, a Europa, a Espanya i a Catalunya

Al món hi ha 440 centrals nuclears en operació, amb una potència instal·lada de 368.122 MWe. L'any 2004 van produir 2.686.000 milions de kWh, que representen el 17 % de l'energia elèctrica del món.

Durant els últims anys la Nuclear Regulatory Commission dels Estats Units (organisme equivalent al Consejo de Seguridad Nuclear a Espanya) ha renovat a les centrals nuclears les autoritzacions de funcionament per un període addicional de 20 anys, fet que incrementa l'autorització inicial fins a 60 anys en un total de 42 reactors nuclears. Es considera que durant els pròxims sis anys 27 reactors nuclears sol·licitaran aquesta renovació.

Actualment hi ha al món 28 centrals nuclears en construcció amb una potència de 24.000 MWe.

A l'Europa dels vint-i-cinc països hi ha 149 reactors nuclears amb una potència instal·lada de 132.840 MWe, que representa el 35 % de l'electricitat produïda.

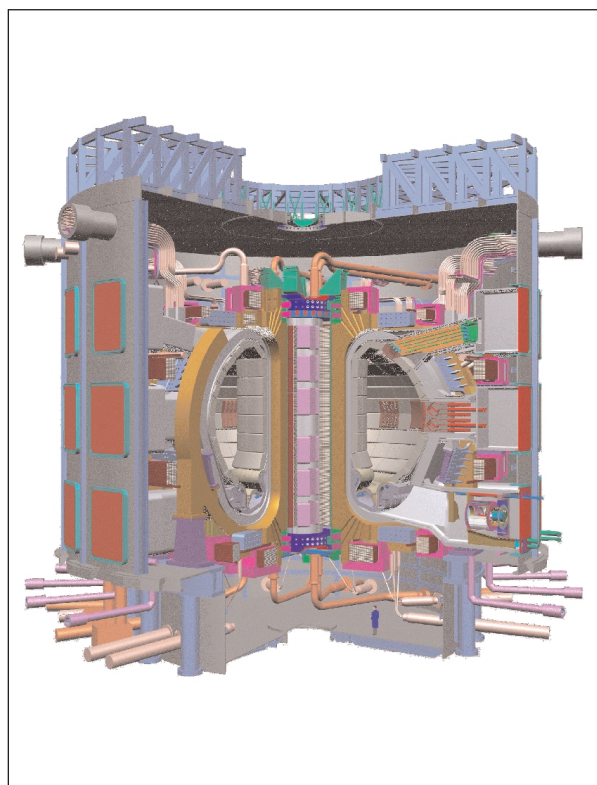
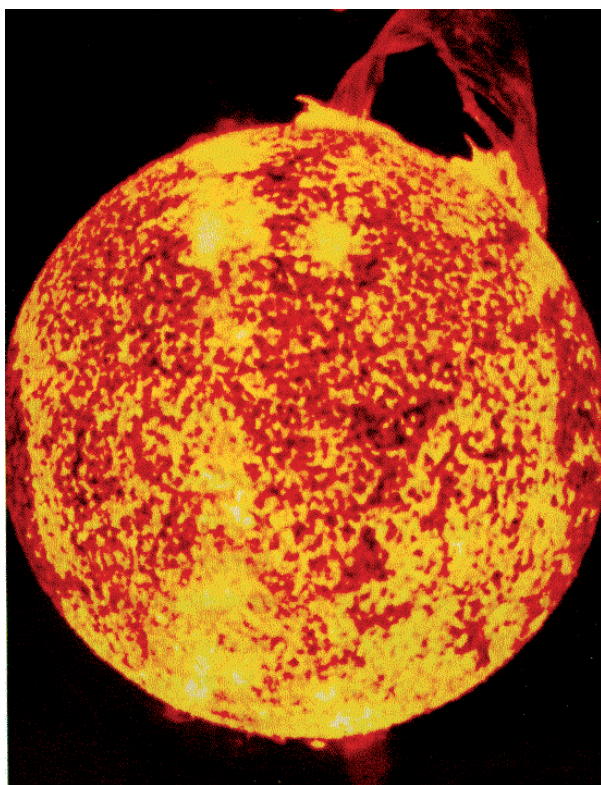


FIGURA 4. *Esquerra*: Reactor de fusió termonuclear natural, el sol. *Dreta*: Reactor de fusió termonuclear artificial ITER, de 500 MW de potència tèrmica, que serà construït a Cadarache (França).



FIGURA 5. Persones prenent el sol i banyant-se a pocs metres de la central nuclear de Vandellòs II, de 1.087 MWe.

TAULA 1
Centrals nuclears en construcció al món

País	Nombre d'unitats	Potència (MWe)
Argentina	1	692
Xina	2	2.000
Índia	9	4.092
Iran	1	915
Japó	3	3.237
Romania	1	655
Federació Russa	4	3.775
Taiwan	2	2.600
Ucraïna	2	1.900
Finlàndia	1	1.600
França	1	1.600

Finlàndia ha iniciat la construcció a Olkiluoto d'un reactor evolutiu d'aigua a pressió (EPR) que tindrà una potència de 1.600 MWe. França construirà un altre reactor EPR de 1.600 MWe a Flamanville. Aquest reactor introdueix millores a conseqüència de l'experiència adquirida durant aquests anys; per això se l'anomena evolutiu. Per exemple, fa una disminució del consum d'urani del 17 %/MWh i una disminució en la producció d'actinis de vida llarga d'un 15 %/MWh. El temps d'operació es considera que serà de 60 anys.

La potència elèctrica instal·lada a Espanya és de 71.954 MWe i produeix 266.316 GWh. Com es veu a la figura 6, la potència nuclear instal·lada a Espanya representa l'11 % de la potència elèctrica total; tot i això, la producció d'origen nuclear és el 23 % del consum total. Aquest fet dona seguretat en el subministrament de cara al consumidor, ajuda que el preu mitjà del quilowatt hora sigui més baix i per-

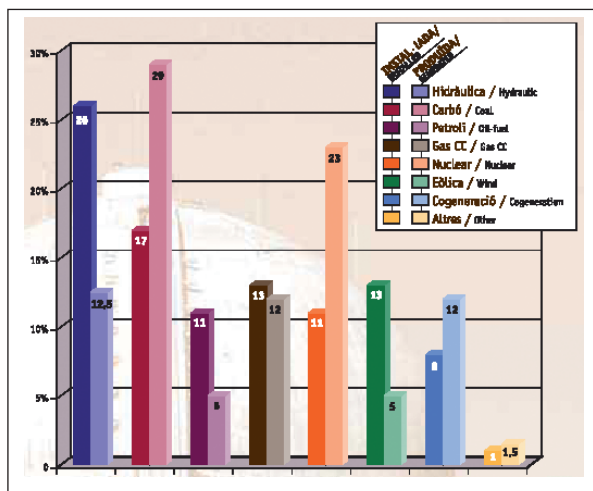


FIGURA 6. Comparació entre potència instal·lada i energia produïda a Espanya el 2004 (Asociación Nuclear, 2005).

met evitar l'emissió a l'atmosfera de 60 milions de tones de CO₂ cada any.

En la figura 6 s'observa com l'energia eòlica representa el 13 % de la potència instal·lada mentre que només produeix el 5 % de l'electricitat consumida. A més és una font d'energia que no es pot gestionar.

La contribució dels combustibles fòssils emissors de CO₂ és la més significativa: donat que és la suma de carbó, petroli, gas i cogeneració.

L'energia hidroelèctrica representa el 26 % de potència instal·lada i produeix el 12,5 % de l'electricitat consumida. Presenta l'avantatge que pot ésser utilitzada per a cobrir la demanda en hores punta. La seva contribució final al balanç energètic fluctua segons que sigui un any amb més o menys aigua.

L'energia és un bé estratègic la manca del qual en un determinat moment pot provocar la paràlisi d'un país. Un país sòlid ha de tenir un grau d'autonomia energètica suficient.

El Nadal del 2005 va ser un altre exemple de la poca autonomia energètica d'Europa. La crisi entre Rússia i Ucraïna relativa als preus del gas va encendre les alarmes a Europa.

La taula 2 presenta el grau d'autoabastiment d'energia primària a Espanya, que assoleix un valor del 21,1 % el 2004. És també preocupant observar l'evolució en el temps d'aquest percentatge. Si no es fa una modificació en l'estructura energètica del país, és a dir, en el *mix* d'energies a emprar, aquesta situació s'agreuja amb els anys.

La taula 3 presenta el *mix* energètic per a Espanya l'any 2004 amb relació al consum d'energia primària. S'observa que les dues fonts que tenen un pes major són el petroli i després el gas, ambdues amb un grau d'autoabastiment molt baix, 0,4 % i 1,3 %.

La capacitat d'emmagatzemament del gas a Espanya és molt petita; podríem dir que tenim una autonomia de pocs dies. Si per algun motiu no arriba subministrament de gas (mala mar, problemes polítics amb els països subministradors, altres països consumidors paguen més pel

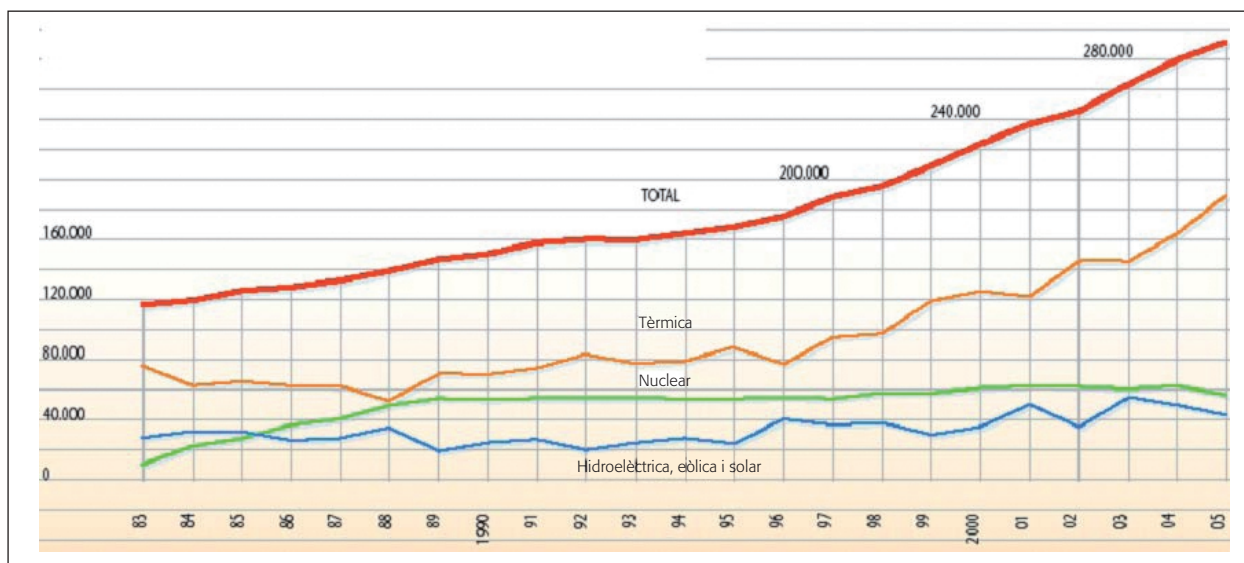


FIGURA 7. Evolució de la producció d'energia elèctrica d'Espanya en milions de quilowatt hora (UNESA, 2006).

TAULA 2
Grau d'autoabastiment energètic a Espanya, expressat en percentatge

	Carbó	Petroli	Gas	Renovables	Nuclear	Total
1980	77,6	3,5	2,0	100	100	34,4
1990	62,3	1,7	0,3	100	100	36,9
2000	38,6	0,3	1	100	100	23,3
2003	34,9	0,5	0,9	100	100	22,1
2004	32,9	0,4	1,3	100	100	21,1

FONT: Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética 2004-2012, MINECO.

TAULA 3
Consum d'energia primària a Espanya el 2004

Petroli	Gas	Carbó	Nuclear	Hidràulica (1)	Saldo (2)
51,4 %	17,8 %	16,0 %	12,0 %	2,9 %	-0,2 %

1) Inclou l'eòlica. 2) Saldo d'intercanvis internacionals d'electricitat. Referència: Direcció General de Política Energètica, Ministeri d'Indústria (González, 2005).

gas o tenen més força), en pocs dies ens hem quedat sense gas i s'han de produir talls en el subministrament als consumidors de gas i problemes amb l'electricitat.

De vegades es fa referència a l'estalvi energètic i a la millora de l'eficiència en els processos que consumeixen energia, i això són bones accions que cal anar fent. Però la realitat és que el consum d'energia està lligat al progrés econòmic i a la millora de la qualitat de vida. Podem veure com, quan l'economia d'un país creix, creix també el consum d'energia elèctrica (figura 7).

Cal vetllar perquè en tot moment existeixi energia suficient per a atendre la demanda i amb el marge suficient per a donar seguretat al subministrament. No és convenient que existeixin activitats que no es puguin realitzar per manca d'energia globalment a un país o en una determinada zona. La manca d'energia no ha de ser un fre al desenvolupament econòmic.

Durant el mes de març de 2005 hi va haver un dia en què la demanda d'energia elèctrica a Espanya va ser superior a l'energia disponible en uns 3.000 MW. En conseqüència, es va haver de tallar el subministrament corresponent a 3.000 MW. Per a il·lustrar la magnitud d'aquest tall de subministrament cal indicar que això equival a deixar el 50 % de Catalunya sense energia elèctrica.

La potència elèctrica instal·lada a Catalunya és de 9.910 MWe i l'any 2004 va produir 48.464 GWh. Aquest valor representa el 95 % de l'energia elèctrica consumida a Catalunya.

En la figura 8 es veu l'estructura energètica a Catalunya, amb indicació de la potència instal·lada i l'energia generada per cada font d'energia.

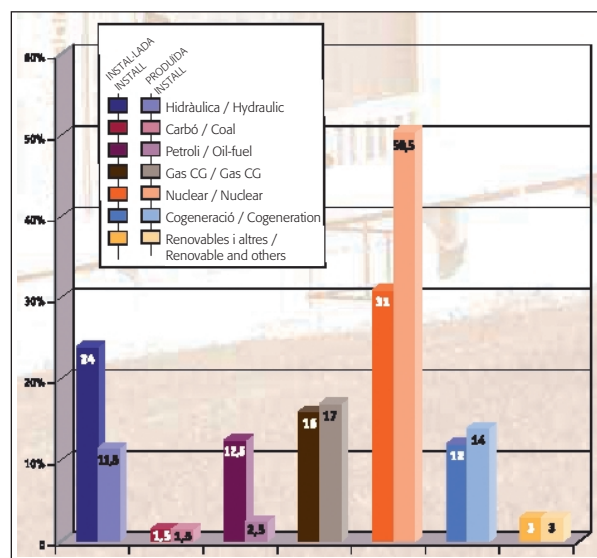


FIGURA 8. Comparació entre potència instal·lada i energia produïda a Catalunya el 2004 (Asociación Nuclear, 2005).

Les tres centrals nuclears catalanes, Ascó I (1.032 MWe), Ascó II (1.027 MWe) i Vandellòs II (1.087 MWe), representen el 31 % de la potència elèctrica instal·lada i van subministrar el 2004 el 50 % de l'energia elèctrica produïda a Catalunya. Això vol dir que a Catalunya 5 de cada 10 ordinadors funcionen amb energia nuclear, 5 de cada 10 fluorescentes funcionen amb energia nuclear, 5 de cada 10 tramvies funcionen amb energia nuclear, 5 de cada 10 mòbils funcionen amb energia nuclear.

Si no es fa un canvi en l'evolució del *mix* energètic a Catalunya, donat que la potència nuclear es manté constant i la demanda es va incrementant, el percentatge d'energia elèctrica produïda per aquesta font anirà disminuint.

Comparant les figures 6 i 8 s'observa que a Catalunya el pes dels combustibles fòssils en la producció d'energia elèctrica és clarament inferior que a la resta d'Espanya. Això, entre altres efectes, fa que les emissions al medi ambient (CO₂, sofre, NO_x) siguin més baixes; i, per tant, tenim un aire més net i estem més alineats amb les directrius de Kyoto.

Impacte ambiental de l'energia nuclear

Per a analitzar l'impacte ambiental d'una font d'energia és bo començar per considerar la quantitat de combustible que consumeix. Per a fer una comparació es consideren cinc centrals elèctriques, totes amb una potència elèctrica de 1.000 MWe i que funcionen contínuament tot l'any i, per tant, generen 8.760.000 MWh d'electricitat.

La figura 9 compara el combustible consumit, i contrasta el cas de combustibles fòssils (carbó, petroli i gas) que necessiten al voltant de 2 milions de tones de combustible l'any enfront de l'urani, de què només es necessiten 24 tones. Per tant, consumeix cent mil vegades menys de combustible. Aquest fet té moltes implicacions; per exemple, els problemes de transport i emmagatzemament de 2

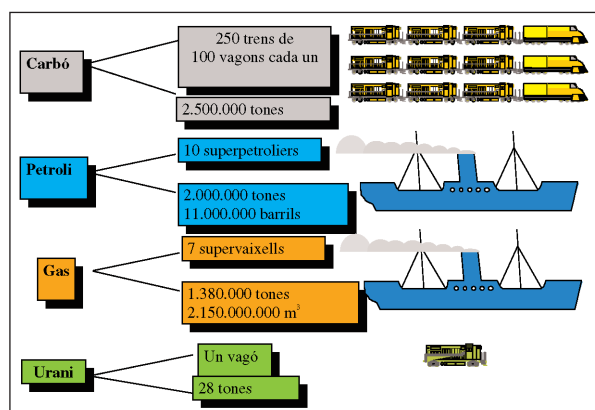


FIGURA 9. Comparació del consum de combustible de cinc centrals elèctriques, totes amb una potència elèctrica de 1.000 MWe i que funcionen contínuament tot l'any i, per tant, generen 8.760.000 MWh d'electricitat.

milions de tones l'any no són els mateixos que el de 24 tones l'any.

Per aquest motiu l'energia nuclear contribueix a la seguretat del subministrament donat que és molt senzill emmagatzemar l'urani d'un vagó de tren enfront de deu supervaixells de gas.

Les cendres d'aquestes fonts d'energia seran proporcionals a les quantitats de combustibles emprats per aquestes fonts. Les cendres de cremar milions de tones no són el mateix que les «cendres» de «cremar» 24 tones d'urani.

La taula 4 presenta les emissions anuals per aquestes cinc centrals elèctriques quant a CO₂, SO₂, NO₂ i partícules.

S'observa que les emissions de CO₂ d'una central nuclear són nul·les, i per aquest motiu les centrals nuclears que hi ha al món estalvien alliberar al medi ambient 550 milions de tones de CO₂, cosa que és equivalent a les emissions del 100 % del parc automobilístic d'Europa.

Les centrals nuclears en funcionament a Espanya eviten emetre 60 milions de tones l'any de CO₂ a l'atmosfera, cosa que equival al 75 % del parc automobilístic d'Espanya.

TAULA 4
Comparació del consum de combustible i emissions de cinc centrals elèctriques, totes amb una potència elèctrica de 1.000 MWe i que funcionen contínuament tot l'any i que, per tant, generen 8.760.000 MWh d'electricitat.
Es dona el rang de variació i en negreta un valor mitjà per a Espanya

Tipus de central	Carbó	Fuel / Gas	Gas natural Cicle combinat	Total tèrmica convencional	Nuclear
Consum de combustible	3,0 – 3,36 Mt	2,05 Mt	2.100 – 2.270 Mm ³	–	24,2 t
CO ₂	7,67 Mt – 10,4 Mt 8,7 Mt	4,7 Mt – 7,05 Mt 6,59 Mt	3,2Mt – 4,2Mt 3,07 Mt	7,88 Mt	0
SO ₂	33.280 t – 243.528 t 120.500 t	91.000 t 27.156 t	2.500 t – 3.390 t 61,32 t	93.732 t	0
NO ₂	8.516 t – 53.492 t 29.346 t	2.715 t – 24.503 t 11.651 t	21.200 t – 28.000 t 10.512 t	24.528 t	0
Partícules	1.752 t – 8.000 t 4.500 t	1.650 t 876 t	– 175,2 t	3.504 t	0

FONT: Dies et al., 2004.

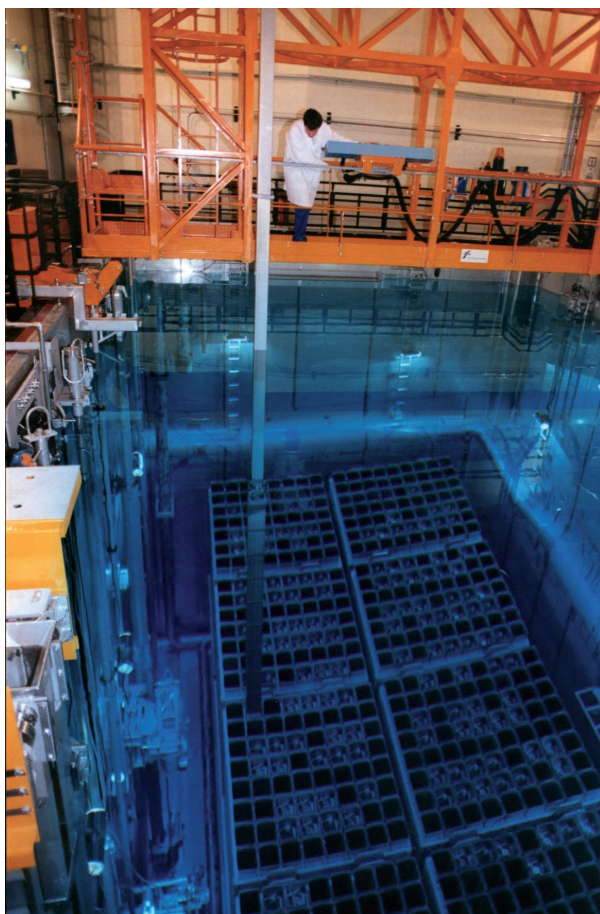


FIGURA 10. Piscina de combustible d'una central nuclear. S'hi emmagatzema el combustible gastat, i hi pot caber el corresponent a quaranta anys de funcionament de la central.

A Catalunya les centrals nuclears eviten emetre 25 milions de tones de CO_2 , cosa que equival al 31 % del parc automobilístic d'Espanya.

Aquestes dades posen de manifest que les centrals nuclears ara per ara són imprescindibles per a complir amb els acords de Kyoto.

Segons un informe de Price Waterhouse Coopers, a Espanya hi ha un excés d'emissions de CO_2 de 123 milions de t/any. Si es considera un cost entre 15 i 30 €/t, vol dir que el cost d'aquestes emissions oscil·la entre 1.800 i 3.600 milions €/any.

Per un període de vuit anys el cost de les emissions de CO_2 està entre 14.400 i 28.800 milions d'euros. Aquest import equival a: 2 cops el Fons de Cohesió de la Unió Europea rebut per Espanya el 2003; o 1,5 vegades el pressupost del Ministeri de Medi Ambient el 2003; o 1,5 vegades el pressupost dedicat a R+D el 2003.

A la vista d'aquestes dades potser seria convenient plantejar-se fer un programa de construcció de centrals nuclears per a doblar l'energia nuclear produïda a Espanya i així evitar que s'emetin 60 milions de tones més de CO_2 a l'any.

La taula 4 també evidencia que l'aire entorn d'una cen-

tral nuclear és més net que entorn d'una central de combustibles fòssils, donat que no emet SO_2 , NO_2 ni partícules.

Una central de cycle combinat amb gas natural emet 175,2 tones/any de partícules, 61,32 tones/any de SO_2 i 10.512 tones/any de NO_2 .

Les centrals nuclears generen residus radioactius; els de mitjana i baixa activitat són retirats per ENRESA, Empresa Nacional de Residus, SA, en bidons degudament condicionats per al seu emmagatzematge a l'emplaçament d'El Cabril. Els residus d'alta activitat són els elements de combustible gastats que s'emmagatzemen actualment en una piscina adient situada a cada central. El pes del combustible gastat pràcticament coincideix amb el pes de combustible nou. Es fissiona l'urani 235, que és aproximadament el 4,5 % de l'urani total del combustible. Segons la taula 4, anualment caldrà gestionar 24,2 tones de combustible gastat per una central nuclear. Per tant, el combustible gastat corresponent a quaranta anys d'operació d'una central nuclear ocupa un volum aproximat menor que mitja piscina olímpica.

La tendència internacional és construir magatzems centralitzats de combustible gastat o magatzems geològics profunds. També es considera la possibilitat en un futur de reciclar el combustible utilitzant la resta de material no utilitzat.

Com es pot veure, les implicacions derivades de la figura 9, relativa als volums de combustible emprat per cada tipus de central, són importants. En aquest sentit es pot afegir una altra reflexió: què té més risc per al medi ambient, la utilització del petroli o l'energia nuclear?

Recentment hem vist l'impacte ambiental del vessament al mar generat pel petrolier *Prestige*. Aquest no és un

SOULAISNE

Emmagatzematge superficial: 1 km²:
residu d'activitat mitjana i baixa



Activitat baixa:
12 000 m³/any

Activitat mitjana:
530 m³/any

Activitat alta:
130 m³/any

FIGURA 11. Gestió dels residus nuclears a França. Emplaçament de Soulaïsne, emmagatzemament en superfície: 1 km², per a residus d'activitat mitjana i baixa. Les dades il·lustren els metres cúbics de residus generats a l'any per les 58 centrals nuclears, que tenen una potència de 62.850 MWe i generen el 78 % de l'electricitat de França (Chambru, 2005).

accident aïllat; és conseqüència que es transporten volums molt grans de petroli i és una qüestió de probabilitats el fet de tenir un accident.

A Espanya el consum de petroli és de 100 milions de tones l'any.

Es podrien repassar els vessaments al mar de petroli de 1967 a 2002:

— *Torrey Canyon*, 1967, Illes Britàniques, vessament de 130.000 t.

— *Polycomander*, 1970, Galícia, vessament de 13.000 t.

— *Urquiola*, 1976, port de La Corunya, vessament de 20.000 t.

— *Amoco Cadiz*, 1978, costa de Bretanya, vessament de 234.000 t.

— *Mar Egeo*, 1992, port de La Corunya, vessament de 71.000 t.

— *Erika*, 1999, Finistère francès, vessament de 10.000 t.

— *Prestige*, 2002, vessament de 77.000 t.

Sense fer un estudi massa rigorós podríem dir que aproximadament cada deu anys hi ha un vessament significatiu de petroli al mar.

No sembla que les centrals nuclears espanyoles o catalanes tinguin un historial de contaminacions semblants ni de lluny.

A la nostra societat cada cop més es considera l'impacte visual d'una infraestructura. La taula 5 compara tres centrals elèctriques que produeixen la mateixa energia, amb una potència aproximada de 1.000 MWe. Una relació de 4 km² enfront de 150 km² justifica per què en molts llocs no s'accepta instal·lar una central eòlica.

Una de les fonts de riquesa de Catalunya és precisament el turisme. Cal tenir cura del territori, donat el fort impacte visual que tenen algunes energies renovables.

TAULA 5
Impacte visual de tres centrals elèctriques que produeixen la mateixa energia

	km ² de superfície
Central nuclear	1 a 4
Central solar	20 a 50
Central eòlica	50 a 150

La figura 12 pot servir per a il·lustrar l'impacte visual en un cas concret. Es tracta d'un fotomuntatge corresponent a l'emplaçament d'Olkiluoto (Finlàndia), on estan funcionant dos reactors nuclears tipus BWR de 840 MWe de potència cada un, i on s'està construint un tercer reactor nuclear tipus EPR de 1.600 MWe.

Olkiluoto (Finlàndia) tindrà una potència total de 3.280 MWe i generarà uns 24.000.000 MWh d'energia elèctrica a l'any. Aquesta quantitat d'energia és aproximadament el doble de l'energia elèctrica d'origen eòlic generada a tot Espanya durant l'any 2004. La diferència d'espai ocupat és molt diferent, tal com indica la taula 5.



FIGURA 12. Fotomuntatge. Olkiluoto (Finlàndia). Dues centrals nuclears en operació, 2 x 840 MWe, al costat d'una tercera en construcció, EPR-1600 MWe. Aquest emplaçament tindrà una potència de 3.280 MWe i generarà uns 24.000.000 MWh d'energia elèctrica a l'any, el doble de l'energia eòlica generada en tot Espanya el 2004.

Costos de l'energia nuclear

En la major part de les activitats industrials i de serveis es necessita l'energia; el seu preu incideix en el preu final dels productes o serveis. En aquest sentit és molt saludable per a l'economia d'un país aconseguir tenir preus baixos de l'energia; d'aquesta manera aquell país serà més competitiu.

És millor contribuir que un país sigui competitiu aconseguint costos de l'energia baixos, que no pas mantenint la mà d'obra barata.

Actualment a Catalunya estan proliferant les deslocalitzacions d'empreses. Un increment del preu de l'energia intensificarà les deslocalitzacions i farà menys competitives les nostres indústries i serveis.

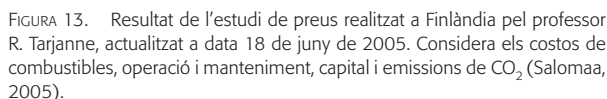
Podem recordar les mobilitzacions dels pescadors, indicant que no poden competir amb els pescadors francesos, perquè els pescadors catalans tenen preus del combustible més car.

Finlàndia, un país europeu modern i democràtic, ha iniciat la construcció d'una nova central nuclear de 1.600 MWe, bàsicament impulsada pel sector industrial, en concret per la indústria del paper. Si el preu de l'energia a Finlàndia creixia molt més que als països competidors, la indústria del paper hauria de tancar.

La figura 13 presenta el resultat de l'estudi de preus realitzat a Finlàndia pel professor R. Tarjanne i actualitzat a data 18 de juny de 2005. Considera els costos de combustible, operació i manteniment, capital i emissions de CO₂. Com es veu a la figura 13, l'energia nuclear és la més barata, amb un cost total de 23,7 €/MWh. A continuació, un 73 % més cara que la nuclear, ve el gas, a 41,0 €/MWh. Donat que des de juny del 2005 fins ara el preu del petroli i del gas han pujat molt, aquesta diferència entre el gas i la nuclear és actualment més important.

En la mesura que a un país en el mix energètic s'incrementi la presència d'energies cares (solar, eòlica i gas) enfront de les energies més barates, per exemple, la nuclear, el preu mitjà del quilowatt hora anirà pujant.

La taula 6 és el resultat d'un estudi fet per NUS Consul-



Però totes aquestes reflexions sobre els costos de l'energia s'han emfatitzat durant els últims mesos, cosa que ha fet encara més atractiu el preu de l'energia nuclear, do-

Posició	País	Preu (€/kWh)	Evolució (2004/2003) (%)	Energia nuclear (%)
1	Itàlia	0,0949	+6,8	0
2	Dinamarca	0,0792	+16,4	0
3	Alemanya	0,0791	+5,5	31
4	Bèlgica	0,0759	+7,5	55
5	Països Baixos	0,0712	+7,4	4
6	Espanya	0,0672	+3	23
7	Regne Unit	0,0651	+24,2	19
9	França	0,0522	0	78
10	Finlàndia	0,0468	+0,7	27
12	Suècia	0,0421	+4,3	52
8	EUA	0,0613	+5,2	20
11	Austràlia	0,0427	+6,2	0
13	Canadà	0,041	+1,2	15
14	Sud-àfrica	0,03	+2,9	6

■ EL PETROLI EN L'ECONOMIA MUNDIAL

Evolució dels preus del Brent

Dòlars per barril

21-4-2006
Màxim històric
88,80 dòlars
74,79 dòlars
Crisi d'Iran

30 d'agost
88,80 dòlars
Husarec
Kafarna i Rita

Crisi de Valúcs

Atac de l'11-S

Segona Guerra del Golf (1983 a l'85)

Crisi asiàtica

Final de la Guerra del Golf

Irak envaïx Kuwait

Comença l'Operació Tempesta del Desert

Dissolució de la Unió Soviètica

Primera gran guerra entre Iran i Iraq

Comença l'embargament de petroli dels països àrabs. D'octubre de 1973 a març de 1974

El preu del cru puja per la debilitat del dòlar

Els països de l'OPEP augmenten el control sobre la producció de petroli.

Revolució iranian. El rei és destruït

1970 1975 1980 1985 1990 1995 2000 2004 2006

Font: Analistes Financers Internacionals i Administració d'Informació Energètica dels EUA, Middle East Economic Survey (MEES), Bloomberg (publicat a *El País*).



FIGURA 15. Països que han signat el tractat de cooperació per a desenvolupar els reactors nuclears de quarta generació.

ció d'aigua dolça i producció de combustibles per a transport.

Producció d'aigua dolça

Un altre dels problemes que pateix la nostra societat és la manca d'aigua dolça. Com va exposar l'expresident de l'URSS M. Gorbatxov a la seva conferència a Barcelona en el marc del Fòrum de les Cultures el 2004, «el problema de l'aigua es transforma en un problema d'energia, en què l'energia nuclear té un paper clau».

L'experiència adquirida amb la central tèrmica de Carboneras (Almeria) i la planta dessaladora de Carboneras (osmosi inversa), de 500 MW i 40 Hm³/any (en aquests moments la més gran d'Europa), posa de manifest la magnitud del problema.

El Pla Hidrològic Nacional tenia previst el transvasament de 1.050 Hm³/any, projecte cancel·lat per l'actual Govern d'Espanya. Si el volum d'aigua previst en el transvasament s'ha d'obtenir amb plantes dessaladores, l'experiència de Carboneras ens indica que serien necessàries 25 centrals similars a la de Carboneras, és a dir, 12.500 MW (Leira, 2005).

Si no es vol fer un increment massiu de les emissions de CO₂ i, per tant, incrementar l'incompliment dels acords de Kyoto, i es vol un cost baix de l'energia, cal que l'energia nuclear contribueixi a subministrar aquest increment de demanda d'energia.

Producció d'un nou combustible per als cotxes: hidrogen

Com hem vist a la taula 3, l'any 2004 el 51,4 % de l'energia primària consumida a Espanya era petroli, majoritàriament dedicat al transport. A la mateixa taula es veu com l'energia nuclear representa el 12 % de l'energia primària, i tota es dedica a la producció d'electricitat.

Donada la situació internacional amb relació a l'evolució dels preus del petroli, hi ha un plantejament decidit per a trencar l'addicció al petroli. Un primer pas que des de fa anys s'està realitzant és procurar no utilitzar el petroli per a produir electricitat i un segon pas és disminuir el consum del petroli com a combustible per al transport.

Una de les alternatives que s'està impulsant a escala internacional és emprar l'hidrogen com a combustible per al transport.

Per a produir hidrogen es necessita energia, però es poden fer servir diferents fonts d'energia per a produir-lo. Quan l'hidrogen estigui introduït suficientment, ja no serà imprescindible emprar el petroli per al transport.

En aquest sentit s'ha signat un tractat de cooperació entre Estats Units, Regne Unit, Suïssa, Corea del Sud, Sud-àfrica, Japó, França, Canadà, Brasil i Argentina, per a impulsar el desenvolupament de reactors nuclears anomenats de quarta generació. Aquests reactors s'hauran de començar a construir entorn de l'any 2030. S'estan desenvolupant sis prototipus de reactors nuclears de quarta generació.

Els reactors nuclears de quarta generació incorporaran notables avantatges respecte dels reactors de tercera generació, però un dels seus nous objectius és l'orientació del seu disseny per a cogenerar hidrogen i electricitat.

La figura 16 presenta el reactor de quarta generació anomenat *reactor de molt alta temperatura*.

A conseqüència d'aquest ambiciós programa, per exemple, França ha anunciat que ha iniciat el projecte per a desenvolupar reactors de quarta generació amb l'objectiu que entorn del 2030 pugui construir el primer en el seu territori.

El programa de desenvolupament dels reactors de quarta generació per a produir hidrogen com a combustible per al transport fa preveure una ampliació important del paper de l'energia nuclear en el món.

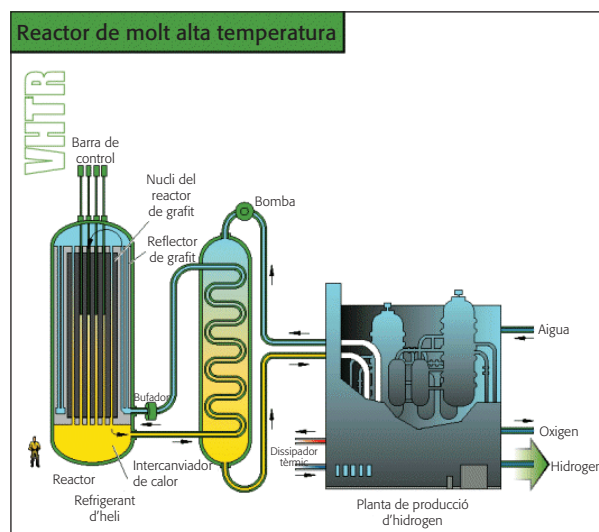


FIGURA 16. Reactor de generació quarta. Reactor de molt alta temperatura, orientat a la cogeneració d'electricitat i hidrogen.

On es poden construir les noves centrals nuclears que necessita la nostra societat?

La taula 7 permet fer una ràpida comparació de la utilització de l'energia nuclear entre França i Espanya. Recull les dades de població, superfície, producte interior brut, potència elèctrica, nombre de centrals nuclears funcionant, potència elèctrica instal·lada amb centrals nuclears, energia elèctrica produïda d'origen nuclear.

Amb aquestes dades és sorprenent constatar com, en dos països veïns aparentment no tan diferents, l'un té 58 centrals nuclears i l'altre només 8.

TAULA 7
Comparació de la utilització de l'energia nuclear a França i Espanya

	Any	França	Espanya
Població (habitants)	2005	63.213.894	44.108.530
Superfície (km ²)		675.417	505.811
PIB (milions \$)	2005	1.811.561	838.672
PIB per càpita (\$)	2005	29.203	24.803
Centrals nuclears (unitats)	2006	58	8
Potència elèctrica nuclear (MWe)	2006	62.850	7.736
Electricitat produïda amb nuclears (MWh)	2004	427.000.000	61.253.000
Contribució de l'energia nuclear en la producció d'electricitat (%)	2004	78	23

Com es pot veure a la figura 17, les 58 centrals nuclears franceses han estat construïdes en 20 emplaçaments, de tal manera que en un emplaçament hi ha més d'una central nuclear. En concret a França hi ha un emplaçament amb sis centrals nuclears i vuit emplaçaments amb quatre centrals nuclears.

La figura 18 mostra un exemple d'un emplaçament amb quatre centrals nuclears; correspon a Dampierre-en-Burly (França), on hi ha quatre centrals nuclears del tipus PWR de 900 MWe cada una. Per tant, amb una potència instal·lada de 3.600 MWe.

Si es fa extensiva aquesta observació als diferents països del món que tenen centrals nuclears, es constatarà aquest fet: es construeixen les noves centrals nuclears als emplaçaments on ja existeixen centrals nuclears.

Hi ha diferents motius que justifiquen aquesta tendència que es verifica a escala internacional:

— La població de l'entorn conviu amb la central nuclear i coneix el seu impacte ambiental.

— La població de l'entorn ha experimentat que la construcció i operació d'una central nuclear és una font de riquesa econòmica per a la zona (taula 8).

— Els llocs que tenen una central nuclear aconsegueixen els requisits tècnics per a construir centrals nuclears.

— Es poden aprofitar o ampliar infraestructures realitzades per a la primera central nuclear.



FIGURA 17. Les 58 centrals nuclears franceses han estat construïdes en 20 emplaçaments: hi ha un emplaçament amb sis centrals nuclears i vuit emplaçaments amb quatre centrals nuclears. La potència nuclear instal·lada a França és de 62.850 MWe i representa el 78 % de l'electricitat produïda (Chambru, 2005).



FIGURA 18. Dampierre-en-Burly (França), on hi ha quatre centrals nuclears PWR de 900 MWe cada una. Potència total instal·lada a l'emplaçament: 3.600 MWe (Chambru, 2005).



FIGURA 19. Vuit centrals nuclears actualment en operació a Espanya, i una central nuclear «jubilada» el propassat 30 d'abril de 2006. La potència nuclear instal·lada a Espanya és de 7.736 MWe i representa el 23 % de l'electricitat produïda.

En la figura 19 es pot veure els sis emplaçaments que hostatgen les vuit centrals nuclears actualment en operació a Espanya. També està indicat l'emplaçament de Zorita, on el propassat 30 d'abril de 2006 és va «jubilar» la central nuclear José Cabrera, de 160 MWe de potència.

Aplicant aquesta tendència internacional al cas d'Espanya, és podria fer, per exemple, que a cada un dels set emplaçaments actuals hi hagués tres centrals nuclears. Això permet hostatjar dotze centrals nuclears noves. Malgrat això, també seria convenient tenir algun emplaçament addicional per a millorar la distribució del subministrament pel territori.

L'impacte econòmic sobre el territori no és el mateix si es construeix una central nuclear o si es construeix una central de gas. A la central de gas el 61 % del cost del quilowatt hora correspon al cost de combustible (figura 13), i això és diner que es crema i va a parar al país productor de gas, i una part petita, 21,5 %, correspon a construcció, operació i manteniment, que és precisament la que s'inverteix majoritàriament en el territori.

En el cas d'una central nuclear, el repartiment de costos és l'oposat al d'una de gas. La construcció, operació i manteniment és el 88,7 % del cost del quilowatt hora, i el cost del combustible és petit, 11,4 %. Per aquest motiu la creació de riquesa en el territori a conseqüència de la construcció d'una central nuclear és entre quatre i sis vegades superior al cas d'una central de gas (taula 8, figura 13).

Per a tenir una referència dels llocs de treball que genera actualment la construcció d'una central nuclear de ter-

cera generació, es poden analitzar les dades corresponents a la central d'Olkiluoto, a Finlàndia (figura 20):

— 30.000 persones-any per llocs de treballs directes i indirectes, corresponents a la construcció de la central.

— 1.000 persones per llocs de treball directes i indirectes durant els seixanta anys de funcionament de la central.

— 2.500 persones serà el màxim de persones que treballaran en l'emplaçament durant la construcció.

TAULA 8

Escenari de construcció de 15.000 MWe a Espanya. Comparació de l'impuls a l'economia del territori, segons la utilització de centrals de gas o centrals nuclears (González, 2005)

	Gas	Nuclear
Inversió inicial (M€)	6.750	30.000
Participació nacional (M€)	3.037-4.387	18.000-25.500
Enginyeria i serveis (M€)	5 % 337	8,5 % 2.550
Bens d'equip (M€)	16 % 1.080	36 % 10.800
Construcció (M€)	24 % 1.620	32 % 9.600
Altres costos (M€)	10 % 675	10 % 3.000
Pagaments al sector exterior		
Inversió inicial (M€)	45 % 3.037	13,5 % 4.050
Combustible- 7500 h/any (M€/any)	4.500	256
Emissions de CO₂ (Mt/any)	60	—

Amb aquestes dades els ajuntaments, comerciants, empresaris, treballadors autònoms, dels municipis o comarques que tenen actualment centrals nuclears haurien de ser els primers a sol·licitar la construcció d'una nova central nuclear.

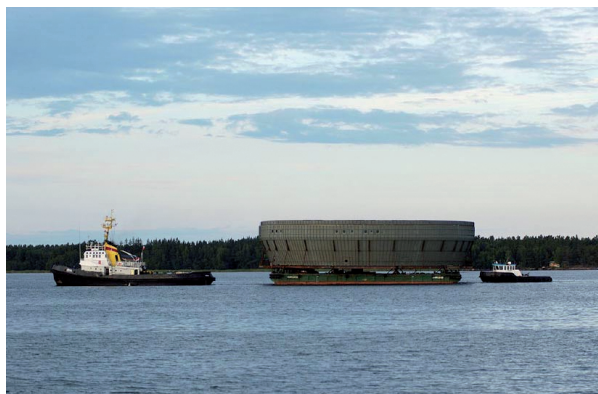


FIGURA 20. Construcció d'una central nuclear EPR de 1.600 MWe a Olkiluoto, Finlàndia, al costat de dues centrals nuclears en operació de 840 MWe cadascuna. Tres fotos il·lustren l'evolució del procés de construcció; la quarta és un fotomuntatge de la situació final. Aquest emplaçament tindrà una potència de 3.280 MWe (Salomaa, 2005).

Conclusions

Actualment existeixen al món 441 centrals nuclears en operació i 30 en construcció. A Espanya n'hi ha 8 en operació.

S'està patint una intensificació del problema energètic: preus del petroli molt alts (entorn de 75 \$/barril) i amb perspectives de continuar creixent. El preu mitjà del quilo-watt hora al nostre país té uns nivells massa alts a conseqüència d'emprar energies cares. Espanya ha excedit les emissions de CO₂ corresponents als acords de Kyoto amb 133 milions de tones per any. Hi ha energies que no es poden gestionar en funció de la demanda. Una part massa alta del *mix* energètic del país prové de països inestables políticament i, en conseqüència, és feble la seguretat de subministrament.

En aquest context, nombrosos països han decidit construir més centrals nuclears: Finlàndia (figura 20), França, Anglaterra, Xina, Estats Units, Índia, Japó, República de Corea, Rússia, Ucraïna...

Per a fer front a aquesta situació, a Espanya seria convenient establir un programa per a construir en els propers anys uns 15.000 MWe amb centrals nuclears de les anomenades de tercera generació.

Seguint les tendències internacionals, els llocs on hi ha una central nuclear són uns bons candidats per a posar-ne més.

La creació de riquesa en el territori a conseqüència de la construcció d'una central nuclear és entre quatre o sis vegades superior al cas de construcció d'una central de gas. ■

Bibliografia

- ASOCIACIÓN NUCLEAR ASCÓ-VANDELLÒS II, AIE. *Resum anual 2004*. 2005. 19 p.
- CHAMBRU, L. «El paper de les nuclears en la reducció de les emissions de CO₂ a França». A: *Kyoto i el seu compliment*. Cambra de Comerç, 2005, p. 41.
- DIES, J.; PUIG, F.; PEREIRA, C. *Multimedia de Física de Reactores Nucleares*. V. 2.01. Barcelona, 2004, p. 349.
- DIES, J.; PUIG, F.; PEREIRA, C. *Multimedia de Física de Reactores Nucleares*. CD-ROM, v. 2.01. Barcelona, 2004. 698 làmines.
- GONZÁLEZ, E. «Contribució de l'energia nuclear a la sostenibilitat a Espanya». A: *Kyoto i el seu compliment*. Cambra de Comerç, 2005, p. 26.
- LEIRA, G. «Una visión sobre la energia nuclear». *Seguridad Nuclear*, núm. 34 (2005), p. 16-23.
- SALOMAA, R. «Finlàndia aposta per l'energia nuclear per al compliment de Kyoto». A: *Kyoto i el seu compliment*. Cambra de Comerç, 2005, p. 66.
- UNESA. *Memoria estadística: Informe sobre las actividades eléctricas 2005*. UNESA, 2006. 198 p.

APROFITAMENT DEL SOFRE PER A LA FABRICACIÓ DE FORMIGÓ. UNA PROPOSTA SOSTENIBLE

Violeta Gràcia

Starlab Barcelona, SL

Introducció

El desenvolupament de nous materials és, avui en dia, una de les àrees prioritàries de la investigació científica i és responsable en gran mesura de nombrosos avenços en tecnologia. En l'àmbit de la construcció, la seva importància rau en la necessitat de disposar de materials de característiques optimitzades, és a dir, que manifestin, en tant que sigui possible, un alt rendiment, responen correctament als requeriments projectats per a la seva vida útil. D'altra banda, actualment s'ha reconegut la importància de l'impacte de les activitats humanes sobre el medi ambient, amb la qual cosa la minimització d'aquest impacte ha adquirit un interès preponderant en la ciència i la tecnologia. Pel que fa als materials de construcció, una de les seves importants contribucions a la conservació del medi ambient és la possibilitat d'utilitzar residus d'origen divers com a components d'aquests materials, amb la consegüent eliminació o minimització dels residus en quedar fixats en una matriu sòlida.

En les darreres dècades ha augmentat considerablement la disponibilitat de sofre en diversos llocs del món. Això es deu a les restriccions ambientals actuals pel que fa al procés de refinació del petroli i el gas natural, que limiten la quantitat màxima de sofre present en els combustibles amb el fi d'evitar la contaminació ambiental per diòxid de sofre procedent de vehicles i indústries. Per això, durant el tractament d'aquests recursos naturals previ al seu ús, s'obté sofre com a subproducte o residu en grans quantitats. Actualment, la majoria dels països han incorporat en les seves legislacions aquestes normatives ambientals, o bé les estan desenvolupant. A la Unió Europea, per exemple, es va acordar reduir de forma progressiva el contingut de sofre a la gasolina i el gasoil a partir de 2005, amb lleis que prohibiran des de 2009 combustibles amb més de 10 mil·ligrams de sofre per quilogram. En la figura 1 poden observar-se, com a exemple, dipòsits de sofre acumulat a Vancouver, procedent del refinatge de combustibles fòssils.

Cal esperar, per tant, que la producció de sofre a les refineries de petroli i gas natural augmenti significativa-

ment durant els propers anys. Per a tenir una idea de la magnitud del problema, es pot posar com a exemple el cas del petroli cru pesant (que és el principal en molts països), amb continguts de sofre entre el 3 % i el 5 % del pes total. A l'Amèrica del Sud, per exemple, un dels principals productors de petroli és Veneçuela: a les seves refineries es processen uns 280.000 barrils de cru al dia, dels quals se n'obtenen 1.780 tones de sofre diàries. En el cas de Xile, que també posseeix refineries de cru, s'estima que les quantitats obtingudes, que aniran augmentant gradualment, assoliran aviat uns valors de 60.000 tones per any i refineria aproximadament. En un altre context geogràfic, s'estima que, cap a finals d'aquesta dècada, a Kazakhstan es produiran uns 5 milions de tones anuals de sofre excedent com a resultat de l'explotació dels dipòsits petrolífers.

És poc probable que pugui utilitzar-se tot el sofre obtingut d'aquesta manera en les aplicacions tradicionals, que es troben a la indústria química i a l'agricultura, ni que els països productors puguin exportar aquestes quantitats. Per això, existeix un considerable i creixent interès a desenvolupar noves aplicacions per a aquest element, per estar considerat ja com un important dipòsit contaminant (a més, donat que es tracta d'un subproducte, la seva utilització comporta avantatges econòmics). De fet, aquest problema ja s'havia detectat a les últimes dècades, impulsant la investigació de nous camps d'aplicació per al sofre, essent-ne un dels més prometedors l'ús com a component de materials de construcció.

Els materials basats en el sofre que s'han desenvolupat majoritàriament s'inscriuen en tres grups: (1) compostos d'asfalt i sofre per a la construcció i reparació de paviments, en els quals el sofre representa un 30-50 % de la mescla; (2) materials amb certa plasticitat i gran capacitat d'aïllament tèrmic (escumes de sofre), i (3) formigó de sofre, material d'alta resistència a àcids, sals i humitat, i capaç d'assolir les seves propietats en edats primerenques. A més, s'ha investigat l'ús de sofre per a impregnar altres materials, com el formigó convencional, per a millorar les seves propietats mecàniques i químiques, i la fabricació de morters de sofre com a lligants en parets de blocs prefabricats. Tots aquests



FIGURA 1. Dipòsits de sofre obtingut com a subproducte del refinatge del petroli a Vancouver (Canadà).

materials han estat utilitzats i comercialitzats en alguns països, principalment al Canadà i als Estats Units, i més recentment a Xile, l'Iran, el Japó, Corea del Sud i a alguns països europeus, i s'han obtingut resultats altament satisfactoris en les aplicacions realitzades.

El concepte de formigó de sofre

El formigó de sofre és un material termoplàstic constituït per una mescla d'àrid fi, àrid gruixut i sofre com a lligant. No conté aigua ni ciment. La tecnologia del procés de fabricació, similar a la de l'asfalt, és relativament simple: els components es mesclen a una temperatura que es trobi per sobre del punt de fusió del sofre (119 °C), el qual, llavors, es torna líquid i embolcalla l'àrid fins a formar una mescla homogènia. En refredar-se posteriorment, el sofre se solidifica, lliga l'àrid i forma una massa dura i rígida. A diferència del formigó de ciment, l'enduriment del qual és conseqüència d'un procés químic, el refredament i enduriment del formigó de sofre és de tipus físic, sense necessitar cap reacció química ni condicions especials d'humitat; l'únic procés implicat és un canvi de fase del sofre.

El formigó de sofre no és un material nou. La utilització de sofre fos com a lligant es remunta al segle XVII, en què es va utilitzar per a adherir metall i pedra, i es conserven encara alguns exemples d'aquesta tècnica a l'Amèrica del Sud. En realitat, es tenen proves molt més antigues del coneixement del sofre i la seva utilització, ja que se'n troben citacions en alguns textos clàssics com l'Odissea i la Bíblia. El 1859 Wright va descriure les propietats aglutinants del sofre en una patent als Estats Units, però durant els seixanta anys següents no va haver-hi pràcticament cap investigació sobre el possible ús del sofre en la construcció.

No obstant això, durant la Primera Guerra Mundial va haver-hi una demanda molt alta de sofre i es van obrir diversos dipòsits d'aquest element a l'Amèrica del Nord per

a la seva explotació. Aquesta operació va duplicar la producció anual de sofre als EUA i va tenir com a conseqüència un excedent de sofre considerable, la qual cosa va impulsar la recerca de noves aplicacions per a aquest element. A partir de 1920 es van publicar alguns estudis sobre la utilització del sofre excedent en la fabricació de materials de construcció i es van realitzar els primers experiments sobre aquest tipus de materials. Es van estudiar morters de sofre amb proporcions de 60 % de sorra i 40 % de sofre, que van resultar ser resistents als àcids i amb bones propietats mecàniques. A més, es van començar a estudiar diferents additius per a modificar les propietats del sofre per a aplicacions específiques, però la majoria de les substàncies estudiades no van resultar satisfactòries.

Entre 1934 i 1940 diversos investigadors van descobrir que el morter de sofre patia una important variació volumètrica sota cicles tèrmics, amb pèrdua de resistència a la flexió. Aquesta inestabilitat ve donada pel fet que el sofre, després de la solidificació als 119 °C, en refredar-se per sota dels 95,4 °C, pateix una transformació entre dos estats cristal·lins del sofre monoclínic al sofre ortoròmbic. Aquest últim és més dens, i ocupa, per tant, un menor volum, i aquest fet fa que el sofre quedi en un estat tensional intern i subjecte a desintegració sota cicles tèrmics o altres inestabilitats. Per a solucionar aquest problema, es va modificar el sofre amb un polisulfur olefínic que retardava tant la tendència a augmentar de volum com la consegüent pèrdua de resistència; la possibilitat d'obtenir ciments més estables va portar a una major acceptació industrial i investigació del producte, i s'aconseguí estendre l'ús de formigó de sofre en plantes químiques, especialment per a la construcció de tancs d'àcid.

Durant els trenta anys següents es van dedicar grans esforços a l'estudi dels modificadors i plastificants per al formigó de sofre que eliminessin l'augment de fragilitat d'aquest element. La majoria de les substàncies utilitzades van ser compostos polimèrics de diversos tipus, que, en reaccionar amb el sofre elemental, formen polisulfurs i intervenen en la cristal·lització del sofre. A partir d'aquestes investigacions, es van desenvolupar noves formulacions per al formigó de sofre, que milloraven les seves propietats i la seva durabilitat en el temps. Aquest desenvolupament, que es va donar principalment durant les dècades dels setanta i vuitanta, va tenir com a resultat un gran augment de l'interès en aquest material orientat cap a activitats comercials, i es van obtenir patents per a alguns dels materials obtinguts.

Un impuls important a aquest desenvolupament va ser el fet que el sofre va començar a obtenir-se com a subproducte del refinatge del petroli per exigències ambientals respecte als combustibles, amb la qual cosa grans quantitats d'aquest element van començar a emmagatzemar-se als països productors de petroli. Es van realitzar diverses investigacions per a caracteritzar i optimitzar el formigó de

sofre, que es van centrar en l'objectiu de dissenyar un material amb un comportament fisicomecànic satisfactori, és a dir, amb bona resistència sota càrregues, tensions, variacions tèrmiques, etc. Els treballs de caracterització realitzats van ser considerablement complets i exhaustius pel que fa a propietats fisicomecàniques. Diversos equips van obtenir patents i es va iniciar la comercialització del formigó de sofre, encara que el seu camp d'aplicació va ser relativament limitat, principalment orientat a l'àmbit de la indústria.

Actualment, el formigó de sofre és un producte comercial utilitzat principalment al Canadà i als Estats Units, països amb sobreproducció de sofre. En algunes zones de l'Amèrica del Sud (Xile), Europa (Dinamarca, la República Txeca), l'Àsia (Iran) i l'Àfrica (Sud-àfrica), també s'ha utilitzat aquest material de construcció, encara que a escala relativament petita, és a dir, en aplicacions puntuals orientades principalment a la indústria.

Propietats del formigó de sofre

El formigó de sofre, si bé és similar al formigó de ciment quant a propietats mecàniques, presenta una sèrie de característiques especials. La taula 1 mostra algunes de les propietats físiques i mecàniques típiques del formigó de sofre. Les resistències a compressió, flexió i tracció del formigó de sofre són similars i fins i tot majors que les obtingudes amb formigó convencional.

TAULA 1
Propietats físiques i mecàniques del formigó de sofre
(ACI, 1988; Malhotra, 1978)

Propietat	Valors típics
Densitat	2,4 g/cm ³
Resistència a compressió	60 - 70 MPa
Resistència a flexió	10 - 12 MPa
Mòdul d'elasticitat	20 - 40 GPa
Retracció	0,7 - 1,4 mm/m
Coefficient d'expansió tèrmica	10 - 30 · 10 ⁻⁶ 1/°C
Conductivitat tèrmica	0,4 - 2 W/m°C
Porositat	1 - 4 %
Absorció d'aigua	0 - 1 %

El formigó de sofre exhibeix, a més, una propietat especial que el diferencia fortament del formigó de ciment convencional: com el seu enduriment consisteix simplement en un procés físic de canvi de fase, adquireix les seves propietats mecàniques molt ràpidament, i assoleix el 80 % de la seva resistència màxima a compressió en unes hores i el 90 % abans de les vint-i-quatre hores, fet que el diferencia considerablement del formigó convencional per la possibilitat de posada en servei gairebé immediata (ACI, 1988; Gregor i Hackl, 1978).

Una propietat interessant del formigó de sofre és que, a diferència del formigó convencional, pot ser reciclat, és a dir, que un cop acabada la seva vida útil pot ser recuperat, triturat, mòlt i fos novament per a ser utilitzat en una altra

aplicació. S'ha demostrat que les propietats i característiques fisicoquímiques d'aquest formigó no es veuen afectades negativament pel reciclatge, sinó que fins i tot milloren fins al cinquè reciclatge (Lee *et al.*, 1978). Aquesta propietat representa, en principi, un important avantatge econòmic, encara que es tracti d'un tema obert a investigacions més detallades pel que fa a la química i a l'impacte ambiental del procés.

Una de les diferències principals entre el formigó de sofre i el formigó convencional, que confereix al primer avantatges especials que determinaran les seves aplicacions, és la seva durabilitat en ambients especials. Les característiques més destacables d'aquest tipus de formigó són la seva gran durabilitat en ambients àcids i salins, i la seva resistència a l'abrasió. Un dels motius de l'elevada durabilitat química d'aquest material és que els mecanismes de transport de líquids a través seu es veuen fortament impeditos per la seva baixa porositat. Diversos investigadors han realitzat experiments per a determinar com afecta l'atac químic al formigó de sofre, i s'ha trobat que aquest posseeix una elevada resistència a la corrosió provocada per gran part d'agents químics, com àcids i sals. Les instal·lacions industrials construïdes amb formigó de sofre en ambients d'aquest tipus es mostren en molt bones condicions després de dècades en servei (Okumura, 1998).

La propietat química més destacable és la seva resistència a ambients àcids, sempre que l'àrid utilitzat sigui resistent a aquestes substàncies (àrid basàltic, granit o un altre material silícic). Fins i tot per a immersió en solucions àcides (àcid sulfúric al 10 %) durant llargs períodes de temps, no hi ha variació apreciable en les propietats mecàniques del formigó, així com en la seva integritat. Vroom (1991) reporta resistència a àcids sulfúric i clorhídric al 98 % de concentració, sense apreciar-se variació en les propietats. De manera similar, el formigó de sofre posseeix una alta resistència a ambients salins. S'ha comprovat que la immersió en solucions salines, com clorur i sulfat sòdics, i clorur càlcic, al 5 i 10 %, no produeix efecte apreciable en les propietats mecàniques ni en l'aspecte visual de les provetes, fins i tot per a immersions de fins a un any de durada.

Aplicacions: antecedents

Fins avui, els formigons de sofre s'han utilitzat principalment al camp de les construccions industrials. A causa de la natura de la seva estructura molecular, la pasta de ciment hidratada del formigó convencional no té un comportament satisfactori quan està exposada a ambients severos (contacte amb àcids altament concentrats, ambients salins, etc.); per aquesta raó és necessari utilitzar recobriments que evitin el contacte del formigó amb el medi. Normalment, per a protegir el formigó es recorre a l'ús de recobriments amb resines epoxi, ceràmiques, betums, pintures, etc. No obstant això, aquestes solucions presenten

diferents desavantatges, entre aquests el seu alt cost a causa de la complexitat de la seva tecnologia d'aplicació, baixes prestacions davant sol·licitacions mecàniques i curta vida útil. El formigó de sofre ha demostrat ser una bona alternativa per a aquest tipus de recobriment; fins i tot algunes estructures que normalment es construeixen amb formigó convencional han estat construïdes amb formigó de sofre, i se n'han obtingut resultats satisfactoris.

Dins el camp de les construccions industrials, les principals aplicacions en què s'ha utilitzat el formigó de sofre són paviments, murs, fundacions, drenatges, claveguerams i contenidors per a productes químics (Vroom, 1998). Els usos principals s'han basat en la seva alta resistència sota atacs químics, i s'ha utilitzat com a material per a sòls en ambients severs, com a alternativa al formigó convencional amb recobriments especials. Concretament, s'han construït paviments de plantes químiques, especialment en refineries de metalls, com, per exemple, les refineries de coure de CODELCO (Corporació Nacional del Coure) a Xile (Silva, 1998), refineries de zinc a Sud-àfrica (Nevin, 1998) i a la Colúmbia Britànica, al Canadà (Okumura, 1998), a més de diverses indústries de fertilitzants com les existents a Alberta, al Canadà (Okumura, 1998). Les plantes químiques (d'àcid sulfúric i sulfat amònic principalment) d'aquestes refineries i indústries han utilitzat aquest material des de finals de la dècada dels setanta, i en tots els casos la durabilitat del material ha estat altament satisfactòria; re-

visions actuals de les construccions mostren un excel·lent estat de conservació.

Una altra de les aplicacions que ha tingut aquest material a Xile ha estat la construcció de canals d'evacuació de líquids abrasius i la reparació dels ja existents, a les instal·lacions de CODELCO, per l'empresa Hormitec. Aquesta aplicació ha vingut donada per l'alta resistència a l'abrasió del formigó de sofre, la seva bona adherència al formigó convencional i, en especial, pel seu ràpid temps d'enduriment. La posada en servei i operació dels canals reparats ha estat possible al cap de poques hores d'efectuada la reparació, amb el consegüent avantatge en permetre la ràpida represa de les activitats de la indústria (Silva, 1998). S'ha constatat el bon comportament del formigó de sofre en aquesta aplicació, tant pel que fa a la seva col·locació (ràpidament i relativament senzilla), com a la seva durabilitat.

En les figures 2 i 3 es mostren diverses aplicacions que ha tingut el formigó de sofre en entorns industrials a Xile, al Canadà i als Estats Units.

Recerca a la Universitat Politècnica de Catalunya

Donat el gran potencial que ha demostrat tenir el formigó de sofre, es va decidir dur a terme un projecte de recerca a la Universitat Politècnica de Catalunya, en el transcurs del



FIGURA 2. Aplicacions del formigó de sofre a l'empresa minera CODELCO (Xile): paviments, elements prefabricats i recobriments per a ambients corrosius.



FIGURA 3. Diverses aplicacions del formigó de sofre al Canadà i als Estats Units: paviments industrials, recobriments, contenidors, elements prefabricats.

qual s'ha aprofundit en diversos aspectes d'aquest material que no havien estat completament coberts per anteriors investigacions. Cal esmentar que, per a la fabricació dels morters i formigons, s'ha fet servir sofre provinent del refinatge del petroli (vegeu la figura 4), proporcionat per la refineria de petroli de Concón (Xile), per tal d'assegurar la viabilitat d'utilitzar aquest tipus de sofre.

Malgrat la gran cobertura que van tenir els estudis de caracterització físicomecànica, s'evidencia un gran buit en el coneixement microscòpic d'aquest material i, especialment, pel que fa a la relació entre la seva microestructura i les seves propietats macroscòpiques. Aquesta falta de coneixement no sols impedeix una satisfactòria comprensió del comportament del formigó de sofre, sinó que a més té com a probable efecte limitar-ne el camp d'aplicacions, tal com ha succeït fins ara. Per tant, una part essencial del projecte ha tractat d'investigar la microestructura del formigó de sofre i la seva relació amb les seves propietats.

Avui en dia, a més, si es desitja desenvolupar un nou material de construcció i ampliar el seu camp d'aplicacions, no n'hi ha prou amb conèixer les seves característiques físiques i mecàniques com és ara la resistència, sinó que altres aspectes dels materials han esdevingut especialment importants. Entre aquests està la compatibilitat química dels materials de construcció i el seu impacte ambiental. Hi ha una quasi total absència d'estudis sobre l'impacte ambiental del formigó de sofre, deguda probablement al fet que, tal com s'ha esmentat, els usos projectats per a aquest material s'han dirigit fins ara a l'àmbit industrial, i en ambients químicament corrosius, en els quals una possible contaminació per part d'aquest material no era gaire significativa. Per a fer viable actualment l'ús del formigó de sofre és necessari completar la seva caracterització en el sentit indicat.

L'estructura global de la campanya experimental s'ha dissenyat i ha estat centrada al Departament d'Enginyeria de la Construcció de la Universitat Politècnica de Catalunya, mentre que part de les activitats experimentals s'han realitzat al Departament d'Obres Civils de la Universidad



FIGURA 4. Mostra del sofre que es va utilitzar en el present projecte, provinent del refinatge del petroli.

Técnica Federico Santa María de Valparaíso (Xile). El projecte consisteix, a grans trets, en un estudi del comportament físicoquímico del formigó de sofre, orientat a determinar les prestacions que ofereix i l'impacte ambiental que pugués presentar, a fi de delimitar correctament les seves possibles aplicacions i al mateix temps dissenyar formulacions que maximitzin la durabilitat i minimitzin l'impacte d'aquest material en diverses aplicacions constructives. S'ha tractat, en definitiva, de contribuir a determinar el valor afegit que pot oferir aquest material de construcció, perquè pugui justificar-se el seu ús com a solució al problema mediambiental de l'acumulació de sofre.

Fabricació i estudi de propietats bàsiques

Una primera etapa experimental d'aquesta investigació ha consistit a dissenyar un procés de fabricació de morters i formigons de sofre d'acord amb la hipòtesi de treball plantejada, i realitzar mesures de les propietats físiques i mecàniques dels materials obtinguts. L'objectiu principal d'aquesta etapa experimental ha estat comprovar si els materials confeccionats aconseguien tenir propietats similars o superiors als realitzats per altres investigadors, amb la diferència d'haver utilitzat, en aquest cas, sofre no modificat. A més, s'ha cregut convenient realitzar un estudi mecànic complet ja que encara que aquest tema ha estat investigat anteriorment, els estudis anteriors són molt fraccionaris. A grans trets, els aspectes estudiats en aquesta etapa han estat: a) optimització del procés de fabricació, incloent-hi selecció de materials; b) elecció de dosificació sota criteris de resistència i treballabilitat, i c) estudi de propietats físicomecàniques, com retracció, resistència mecànica, reciclatge i durabilitat tèrmica. En la figura 5 es mostren algunes de les provetes fabricades per a assajar diferents propietats.

Una de les propietats més destacables dels materials fabricats, tant de morters com de formigons, és la gran resistència mecànica que presenten. Les resistències a compressió, a flexotracció i a tracció indirecta trobades són

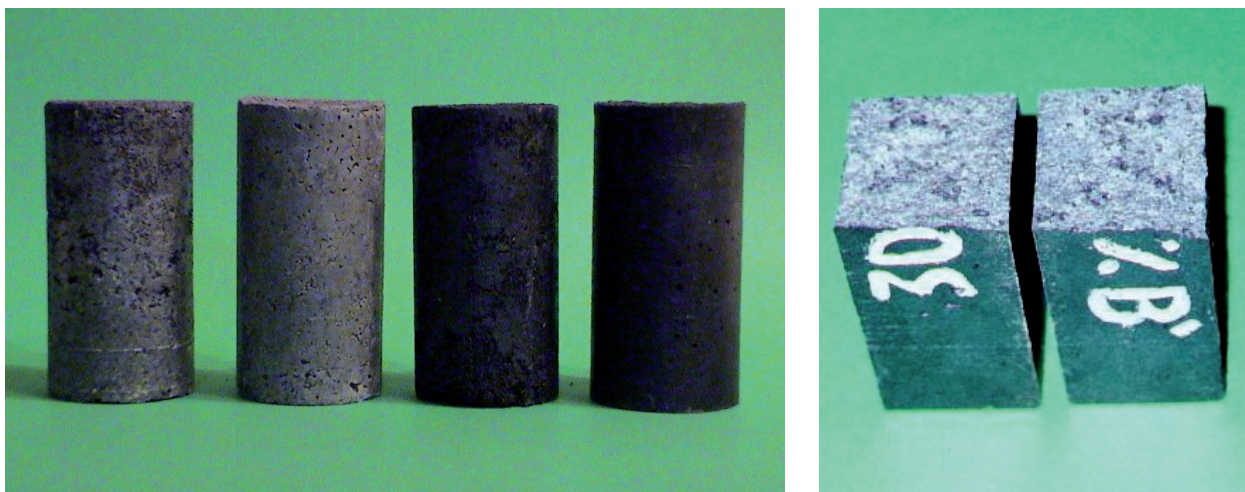


FIGURA 5. Exemples de provetes de morter de sofre, de composicions diferents, fabricades en el context del treball de recerca presentat.

molt elevades, i superen en la majoria de casos les del formigó convencional (de ciment), i similars a les del formigó d'alta resistència. Les resistències a compressió han estat al voltant dels 70 MPa per als morters i 50-60 MPa per als formigons, mentre que les resistències a flexotracció han estat d'uns 12 MPa per a morters i entre 9 i 10 MPa per a formigons, valors tots superiors als dels formigons i morters de ciment pòrtland convencionals.

El motiu d'aquesta propietat el trobem en la microestructura, concretament en el seu caràcter ben cohesionat, compacte i poc porós i en la bona adherència existent entre el sofre i els àrids. Si bé és cert que hi contribueix també el fet d'utilitzar sofre com a lligant, ja que el sofre cristal·lí és notablement resistent, és decisiva la intervenció de l'àrid per a evitar que els cristalls i els espais entre aquests siguin grans, fet que fragilitzaria massa el material i li impediria aconseguir una alta resistència. L'elevada resistència al desgast mostrada per les provetes es deu tant a la cohesionada microestructura com al tipus d'àrid utilitzat, basàltic, i per tant de gran resistència mecànica. Una altra propietat notable del morter i formigó de sofre és la rapidesa amb què assolixen altes resistències o, dit d'una altra manera, l'obtenció de les seves propietats mecàniques a edats primerenques. Això es deu, com s'ha esmentat, al fet que la rigidificació del material només depèn de la solidificació del sofre, transformació que es dona molt ràpidament (unes poques hores per al cas de provetes de formigó).

Microestructura

En una segona etapa experimental s'ha passat a estudiar propietats microscòpiques del material, amb l'objectiu de conèixer el comportament del sofre a microescala: la forma que adquireix, la capacitat d'actuar com a lligant, el tipus de cristallització que pateix, etc. S'ha observat la seva microestructura mitjançant les tècniques de microscòpia òptica i, princi-

palment, electrònica, en etapes successives. El principal resultat de l'estudi de la microestructura del morter de sofre confeccionat és que el sofre recobreix bé tot el material ja que està present en la immensa majoria de les superfícies de fractura estudiades, i, en conseqüència, es donen grans extensions d'aquest element en forma de mantells uniformes que cobreixen els àrids. A més, sembla adherir-se bé a aquests, fins i tot als àrids més fins. Aquesta característica confereix als morters una elevada homogeneïtat a petita i a gran escala.

Paral·lelament a aquesta capacitat de recobrir del sofre, cal destacar també que aquest omple bé els espais, deixa pocs buits o porositat i fa que el material sigui altament compacte. Aquesta propietat, que en part es deu a les pròpies característiques del sofre (elevada fluïdesa a la temperatura de fabricació, poder de recobriment i gran adherència respecte als àrids), també prové de la formulació del morter. Específicament, el fet que l'àrid estigui ben graduat, és a dir, posseeixi una granulometria adequada, i s'hagi completat a més la corba granulomètrica amb materials fins, comporta una optimització de l'espai que facilita l'ompliment dels buits per part del sofre. Les bones propietats físicomecàniques del material es deuen en gran part a la microestructura aconseguida en aquests morters, la qual, gràcies a una acurada dosificació, es caracteritza per la seva homogeneïtat i compacitat, i l'absència de grans cristalls de sofre que produirien una elevada fragilitat.

En la figura 6 s'observen algunes de les imatges de microscòpia electrònica obtingudes durant aquesta etapa, en les quals s'aprecien les característiques esmentades.

Impacte ambiental

Com s'ha explicat, l'impacte que un material produeix sobre el medi és complex i per a conèixer-lo és necessari tractar amb aspectes molt diversos que descriuen la relació d'aquest amb el medi durant tot el seu cicle de vida. Aquest es-

tudi s'ha limitat a tractar dues de les principals etapes del cicle del formigó de sofre, la seva vida en servei i la generació de residus al final d'aquesta. Respecte a la primera etapa, s'ha avaluat i quantificat la contaminació produïda pel formigó de sofre, mitjançant assajos de lixiviació. I pel que fa a la segona etapa, s'ha estudiat la possibilitat de reciclar el material totalment, i s'ha quantificat com aquest reciclatge afectaria eventualment algunes de les seves propietats mecàniques.

En estudiar els resultats de contaminació, s'ha observat que, en tots els casos, els valors de sulfats lixiviat al medi es troben molt per sota dels límits tolerats. Segons els resultats dels assajos realitzats, el formigó de sofre pot utilitzar-se en aplicacions exteriors sense tractaments o precaucions especials. Encara que l'extrapolació de la lixiviació a llarg termini no pot conèixer-se amb exactitud, els resultats obtinguts suggereixen un bon comportament en aquest sentit. Aquests resultats, a més, són coherents amb el fet de posseir el material una baixa porositat.

D'altra banda, respecte a la generació de residus al final de la vida útil del material, cal recordar que el formigó de sofre, com s'ha comprovat, és reciclable. Els assajos practicats han demostrat la factibilitat de reciclar el material fins a unes cinc vegades, la qual cosa reduiria el problema dels residus. En general, per tant, cal destacar la viabilitat de reciclatge del morter de sofre, que fins i tot millora en molts casos (almenys en els primers reciclatges) la resistència a compressió i a flexotracció.

Noves aplicacions: propostes

Elements prefabricats

Una primera possible aplicació del formigó de sofre és l'elaboració d'elements prefabricats per a la seva utilització en diversos àmbits. Les característiques del formigó de sofre que porten a considerar aquesta aplicació són, principalment, la seva elevada resistència, la rapidesa amb què l'assoleix i la possibilitat de reciclatge. L'elevada resistència asseguraria el compliment dels requeriments mecànics sol·licitats, mentre que la rapidesa del seu enduriment faria possible una immediata posada en servei, sense necessitat d'emmagatzematges llargs. D'altra banda, en cas de deteriorament o fractura de l'element, la seva reciclabilitat permetria una reparació senzilla i ràpida.

Alguns dels elements prefabricats que podrien realitzar-se són els següents:

- Elements relacionats amb les obres vials: mitjanes de carreteres (barreres de New Jersey), voreres.
- Tanques provisionals, suports de senyals, pedestals, etcètera.
- Rajoles i llambordes per a pavimentar exteriors i interiors. En la present investigació, per tal de comprovar la viabilitat del material en aquesta aplicació, s'ha fabricat una sèrie de rajoles de morter de sofre (figura 7) i s'ha comprovat que compleixen sobradament tots els requisits tècnics que es demanen per a aquests elements.

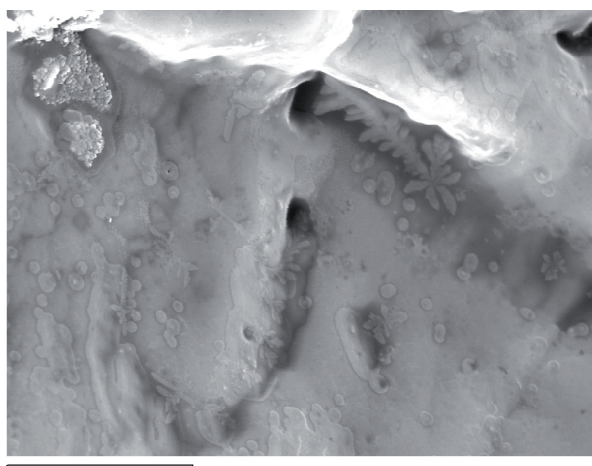
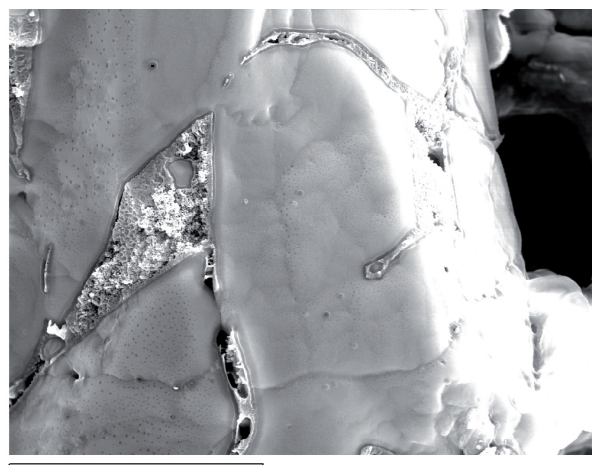
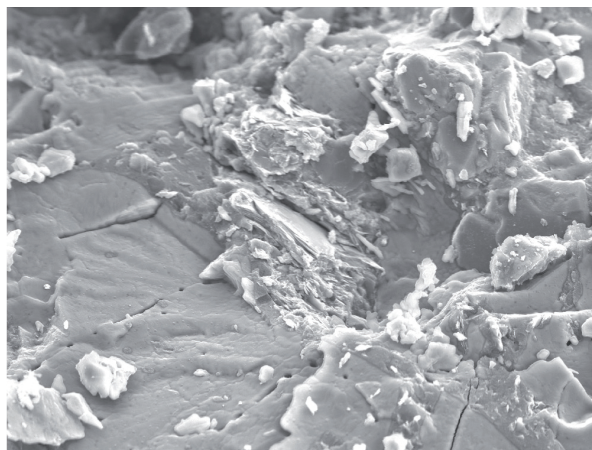


FIGURA 6. Imatges de microscòpia electrònica dels morters de sofre desenvolupats, a diferents escales (les marques d'escala representen 100, 30 i 10 micres, respectivament), on s'aprecia l'elevada homogeneïtat i l'absència de porositat i grans cristalls de sofre.

- Maons per a estructures exteriors senzilles.
- Elements per a instal·lacions de sanejament i drenatge: tubs de clavegueram, recobriments, pous... Cal esmentar que aquesta és una de les aplicacions amb major potencial i els principals fabricants de formigó de sofre l'estan considerant.
- Elements en ambient marí, com esculleres i elements de protecció de costes.

- Travesses de ferrocarril i tramvia.
- Cel·les electrolítiques i altres contenidors de productes químics corrosius.

Immobilització de residus

El formigó convencional s'ha utilitzat en nombroses ocasions com a matriu per a l'encapsulació de residus contaminants, però presenta alguns problemes en aquesta aplicació que limiten el percentatge de residus que poden incloure-s'hi. Un dels principals és la lixiviació de les substàncies encapsulades, que, mitjançant la xarxa porosa del formigó, poden passar al medi en certes quantitats i cal que es controli, per tant, aquesta possible contaminació. D'altra banda, com que l'enduriment del formigó convencional es deu a reaccions químiques entre el ciment i l'aigua, un excés de residus o alguna classe en particular d'aquests podria interferir en aquestes reaccions i dificultar-ne la solidificació.

El formigó de sofre ha demostrat ser un material altament impermeable; a més, el seu enduriment per solidificació està, generalment, menys afectat per la presència de diverses substàncies. Això fa que pugui utilitzar-se com a substrat o lligant per a la immobilització de residus, mesclant aquests amb el sofre i l'àrid en el moment de la fabricació. Com a exemple, poden considerar-se els resultats presentats en aquesta investigació, en l'apartat d'impacte ambiental, en què, encara que no es va tractar amb mostres amb residus encapsulats, sí que es va observar que el mateix sofre no és lixiviat tot i ser el principal component del material.

Alguns dels residus que podrien ser encapsulats en formigó de sofre són els següents:

- Metalls pesants
- Residus orgànics
- Àrids residuals de mineria o altres indústries
- Cendres d'incineradores, indústria del carbó, etc.
- Residus nuclears
- Pneumàtics usats
- Residus amb contingut en sulfats, clorurs i altres sals.



FIGURA 7. Rajola de formigó de sofre fabricada en el context del present projecte de recerca, com a demostració d'una possible aplicació.

És interessant comentar que pot desenvolupar-se una formulació de formigó de sofre composta enterament per residus. El sofre, com s'ha explicat, és un important subproducte dels processos de refinació de gas i petroli, així com de la desgasificació del carbó. D'altra banda, poden usar-se àrids procedents de la indústria minera, per exemple, que per la seva composició no sempre poden utilitzar-se en formigons convencionals. A més, com a material fi pot usar-se alguna cendra, com la procedent d'indústries de tractament de carbó, o altres.

Diverses empreses estan desenvolupant avui en dia formulacions de formigó de sofre que contenen residus problemàtics o especialment importants en diferents àrees.

Paviments i recobriments industrials

L'aplicació clàssica del formigó de sofre ha estat, donada la seva extremadament alta resistència química i la seva elevada resistència al desgast, la construcció de paviments i recobriments en ambients industrials corrosius. Aquesta pot continuar sent una de les principals aplicacions per a aquest material, encara que és possible diversificar les àrees per a les quals poden realitzar-se els esmentats paviments de formigó de sofre.

Alguns exemples de l'aplicació de formigó de sofre en paviments i recobriments són:

- Sòls de plantes químiques, especialment les d'ambient àcid
- Sòls per a la indústria alimentària
- Carreteres, bases de carreteres
- Paviments en zones de baixa temperatura
- Recobriment de fonaments
- Recobriment d'elements en ambient marí: proteccions, esculleres.

Cal destacar que les experiències anteriors en aquest tipus d'aplicacions, concretament en la construcció de paviments per a ambients químicament corrosius, han estat molt satisfactòries, com s'ha explicat. La prolongada durabilitat mostrada pel formigó de sofre en aquestes aplicacions, mantenint les seves propietats durant llargs períodes de temps, fa que continuïn sent un dels camps d'aplicació més prometedors per a aquest material.

Reparacions

Una de les propietats més interessants del formigó de sofre és la seva extrema rapidesa per a endurir-se i assolir bona part de la seva resistència màxima. Aquesta característica propicia un tipus d'aplicació en què pot oferir un gran avantatge: el de les reparacions. Alguns exemples poden ser:

- Reparació de paviments rígids
- Reparacions urgents en grans indústries.

Hi ha experiències de reparacions en la indústria minera del coure a Xile, concretament en els canals que evacuen líquid abrasiu provinent del rentatge del material mineral, de manera continuada, que sovint pateixen trencaments per les condicions en què operen. El formigó de sofre ha permès que no hagués de clausurar-se el canal tant de temps com si la reparació es realitzés amb formigó convencional. Això, òbviament, suposa un gran avantatge econòmic ja que minimitza la influència de les reparacions sobre la producció, i és especialment notable en les indústries de grans mides, com és el cas de l'exemple exposat.

Altres aplicacions

El formigó de sofre pot tenir molt diverses aplicacions, que hauran de ser estudiades en el futur. Com aquest article no pretén ser un catàleg exhaustiu de totes, sinó un conjunt de propostes de gran potencial, no s'han tractat en particular més aplicacions del tipus de les ja proposades.

No obstant això, hi ha una aplicació que, pel seu interès i originalitat, s'ha volgut esmentar aquí. Es tracta de la utilització del formigó de sofre per a construir a la Lluna. Una de les prioritats en els projectes a llarg termini per a establir bases en el nostre satèl·lit és la utilització dels recursos naturals d'aquest, en especial pel que fa als materials de construcció utilitzats. Encara que el formigó tradicional té propietats adequades per a la seva utilització a la Lluna, hi ha un problema quant als materials necessaris per a la seva fabricació. Pot obtenir-se àrid i fabricar ciment a partir dels recursos naturals lunars; no obstant això, l'aigua no hi és present, almenys en quantitats suficients per a justificar el seu ús massiu en construcció. Quant a la possibilitat de sintetitzar-la, és possible extreure oxigen de diversos minerals lunars, però no l'hidrogen necessari. Per tant, és altament probable que, si es desitja construir a la Lluna amb formigó de ciment, sigui necessari transportar part del material (l'aigua o l'hidrogen) des de la Terra, fet que té un cost econòmic extremadament alt.

El sofre, en canvi, sí que és present en la regolita lunar; de fet, és el volàtil més abundant en l'escorça lunar, i la seva extracció pot realitzar-se mitjançant diferents mètodes. L'oxidació de la troilita (FeS , el mineral de sofre més abundant en els materials lunars) a magnetita, per exemple, el proporciona en forma de diòxid de sofre, i s'ha proposat fins i tot la utilització de processos bacterians. En tot cas, per a l'extracció mineral es requereixen temperatures a l'entorn de 1.000-1.200 °C, que són fàcils d'aconseguir a la Lluna amb tecnologia relativament senzilla; els concentradors de radiació solar són molt eficients per no disposar la Lluna d'atmosfera. Diversos experiments duts a terme amb mostres del sòl lunar recollides per les missions Apollo 15 i 16 van demostrar que, en condicions de buit (com les existents a la Lluna), a 1.100 °C pot extreure's el 85-95 % del sofre. A més, el sofre és un subproducte de les reaccions per a l'obtenció d'oxigen a partir de la ilmenita, en quantitats del 10 % de la massa d'oxigen produïda.

La utilització de formigó de sofre a la Lluna va ser proposada per Leonard i Johnson (1988) i posteriorment la idea va ser desenvolupada per Kuck (1991), Issa i Omar (1994) i Gràcia i Casanova (1998). En general, les propietats d'aquest material el fan adequat per a la seva utilització com a material de construcció a la Lluna, especialment pel que fa a la seva elevada resistència, ràpid enduriment i absència de reaccions adverses a baixes temperatures. No obstant això, la seva pitjor resposta a altes temperatures o amplis cicles tèrmics el fa inadequat per a la col·locació en determinades zones de la Lluna. Les restriccions quant a la seva localització inclouen evitar les àrees equatorials per a les construccions a l'aire lliure i preferir les polars o les latituds mitjanes, o utilitzar-lo en construccions sota terra. En la figura 8 es mostra una visió artística del que podria ser una futura base lunar; part dels elements constructius utilitzats podrien confeccionar-se amb formigó de sofre.

S'han realitzat assajos amb morters de sofre fabricats amb àrid que simula el material lunar (granulometria, composició química), i s'han obtingut resultats molt prometedors. Així mateix, les estimacions de cost i comparatives econòmiques amb el formigó tradicional, que pot ser més car que el formigó de sofre (depenent dels costos del transport), han suposat un esperó més per a la investigació d'aquesta aplicació. Entre altres usos, el formigó de sofre a la Lluna podria utilitzar-se en forma de rajoles, com a paviment per a evitar la dispersió de la finíssima pols lunar durant les operacions a l'exterior i el dany a l'instrumental que això comporta, a més de minimitzar l'impacte de les activitats humanes sobre l'entorn lunar. La seva utilització com a material per apantallar la radiació solar també ha estat proposada, i juntament amb l'anterior aplicació seran probablement motiu d'estudi en les properes dècades.

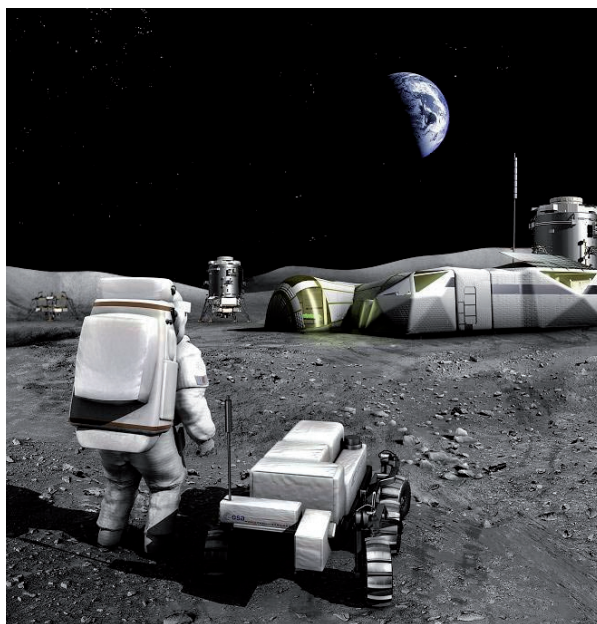


FIGURA 8. El formigó de sofre podria representar una solució per a la construcció de determinats elements de les bases lunars.

Conclusions

Les activitats del sector de la construcció, malgrat les múltiples innovacions que aquest ha incorporat en les darreres dècades pel que fa a materials i tècniques, continuen produint un elevat impacte mediambiental. La fabricació de ciment és responsable d'un percentatge considerable del total d'emissions de diòxid de carboni a l'atmosfera, mentre que l'explotació de pedreres per a obtenció d'àrids produeix un consum de recursos naturals i un impacte visual poc sostenibles. Els residus de construcció i demolició també representen una gran part dels residus totals produïts en els entorns industrials i urbans, de manera que, tot i no ser tan contaminants com els residus d'altres classes (orgànics, metalls pesants, etc.) són un problema cada vegada més preocupant. Per tant, les accions destinades a minimitzar l'impacte ambiental d'aquest sector són de gran importància i cal que siguin tingudes en compte i generalitzades.

La utilització de sofre com a component de materials de construcció pot contribuir a reduir aquest impacte, ja que aquesta pràctica comporta diversos avantatges mediambientals. Com s'ha explicat, el sofre és un residu o subproducte de diversos processos industrials, i es preveu que en el futur proper les aplicacions tradicionals per a aquest element no seran suficients per a utilitzar-ne tota la producció. L'ús d'aquest sofre com a lligant en materials de construcció compostos que substitueixin en part el formigó tradicional significa, a més, reduir les emissions de diòxid de carboni de la indústria cementera. D'altra banda, tal com s'ha demostrat en aquesta investigació, els morters i formigons de sofre són materials no contaminants i poden reciclar-se fàcilment un cop acabada la seva vida útil. El baix impacte ambiental d'aquest material no havia estat estudiat de manera global anteriorment, i els resultats positius obtinguts en aquest projecte suggereixen que gran part dels formigons de sofre comercialitzats poden considerar-se no contaminants, fins i tot sota els criteris i normatives ambientals més estrictes.

No obstant això, el bon comportament mediambiental d'un material de construcció no justifica per si sol la seva utilització; cal que existeixin valors afegits que facin viable la seva aplicació. En la present investigació s'han desenvolupat morters i formigons de sofre no modificat químicament, i s'ha demostrat que posseeixen altes prestacions mecàniques, que inclouen elevades resistències i durabilitat. S'ha confirmat, a més, la viabilitat d'utilitzar el sofre excedent del procés de refinació del petroli, sense necessitat de tractament previ, i la relativa simplicitat del procés de fabricació i posada en obra, que no necessita tecnologia d'alt nivell o diferent de la ja existent per a altres materials.

Tenint en compte les seves característiques i limitacions, pot definir-se un camp d'aplicacions per al formigó de sofre considerablement extens, i la seva utilització no pot descar-

tar-se, tal com ha succeït en el passat. Aquest material pot representar una solució constructiva de gran interès en àrees on, malgrat existir un excedent de sofre, no es disposa de tecnologia d'alt nivell. De fet, gran part de les reserves petrolíferes responsables d'aquest excedent es troben en zones poc desenvolupades, amb greus carències en infraestructura que el formigó de sofre podria pal·liar en part.

Per a dur a terme una generalització en l'ús del formigó de sofre, és necessària una sòlida base de coneixement, fet que ha pretès ressaltar aquest projecte. Entendre la relació entre la microestructura i les propietats del material permetrà definir uns criteris de qualitat adequats i establir el rang d'aplicacions exacte per a cada formulació. Si aquests dos aspectes es desenvolupen adequadament, el formigó de sofre posseeix un gran potencial com a material de construcció, contribuint al mateix temps al desenvolupament sostenible del sector. ■

Referències

- ACI (1988). *Guide for mixing and placing sulfur concrete in construction*. Report 548.2R-88. 12 p.
- BORDOLOI, B. K.; PEARCE, E. M. (1978). «Plastic sulfur stabilization by copolymerization of sulfur with dicyclopentadiene. New Uses of Sulfur — II». A: *Advances in Chemistry Series 165*. American Chemical Society, p. 31-53.
- GANNON, C. R.; WOMBLES, R. H.; HETTINGER, W. P.; WATKINS, W. D. (1983). «New concepts and discoveries related to the strength of plasticized sulfur». *Special Technical Publication*, 807, ASTM.
- GILLOTT, J. E.; JORDAAN, I. J.; LOOV, R. E.; SHRIVE, N. G.; WARD, M. A. (1978). «Characteristics of some sulfur-bonded civil engineering materials. New Uses of Sulfur — II». A: *Advances in Chemistry Series 165*. American Chemical Society, p. 98-112.
- GRÀCIA, V. (2005). *Estudio de la microestructura, las propiedades y el impacto ambiental del hormigón de azufre*. Tesis doctoral. Universitat Politècnica de Catalunya. 232 p.
- GRÀCIA, V.; CASANOVA, I. (1998). «Sulfur concrete: a viable alternative for lunar construction». A: *Engineering, Construction and Operations in Space VI (Space'98)*. American Society of Civil Engineers, p. 180-189.
- GREGOR, R.; HACKL, A. (1978). «A new approach to sulfur concrete. New Uses of Sulfur-II». A: *Advances in Chemistry Series 165*. American Chemical Society, p. 54-78.
- ISSA, M. A.; OMAR, H. A. (1994). «Feasibility of dual technology in manufacturing lunar concrete». A: *4th Int. Conf. Space'94*. ASCE, p. 933-941.
- JORDAAN, I. J.; GILLOTT, J. E.; LOOV, R. E.; SHRIVE, N. G. (1978). «Improved ductility of sulphur concretes and its relation to strength». A: *Int. Conf. on Sulphur in Construction, CANMET, Energy, Mines and Resources Canada* [12-15 set. 1978, Ottawa], p. 475-488.

- KUCK, D. L. (1991). *Lunar sulfur. Resources of Near-Earth Space (abstract)*. Arizona University, p. 18.
- LEONARD, R. S.; JOHNSON, S. W. (1988). «Sulfur-based construction materials for lunar construction». A: *1st Int. Conf. Space'88*, ASCE, p. 1295-1307.
- MALHOTRA, V. M. (1978). «Mechanical properties and freeze-thaw resistance of sulphur concrete». A: *Int. Conf. on Sulphur in Construction, CANMET, Energy, Mines and Resources Canada* [12-15 set. 1978, Ottawa], p. 433-453.
- MCBEE, W. C.; SULLIVAN, T. A. (1978). «Development of specialized sulphur concrete». A: *Int. Conf. on Sulphur in Construction, CANMET, Energy, Mines and Resources Canada* [12-15 set. 1978, Ottawa], p. 454-474.
- NEVIN, P. J. (1998). «Assessing sulfur concrete applications». *Concrete International*, vol. 20, núm. 2, p. 87-89.
- OKUMURA, H. A. (1998). «Early sulfur concrete installations». *Concrete International*, vol. 20, núm. 1, p. 72-75.
- SILVA, L. (1998). Hormitec Ltda., comunicació personal.
- VROOM, A. H. (1998). «Sulfur concrete goes global». *Concrete International*, vol. 20, núm. 1, p. 68-71.

LES NOVES TECNOLOGIES DE L'APRENTATGE

Federico Luque

Professor de tecnologia de l'IES Ramon Muntaner de Figueres

Tu ets una criatura més de l'univers.
I per més que a tu no et semblin clares les coses
no dubtis que l'univers et desenvolupa tal com cal.
Fortifica sempre la teva ment perquè pugui servir-te
d'escut en qualsevol sobtada mudança de fortuna.

Anònim. Pergamí de Baltimore

Introducció

Vivim temps de canvis. Bé, aquesta frase sembla que es diu des de fa moltíssim temps però no per això està mancada de sentit. Els canvis als quals em refereixo tenen alguna cosa a veure amb les tecnologies de la informació i la comunicació (TIC). No cal afegir l'adjectiu *noves* perquè sempre ho seran, de noves, des del moment que sempre anem descobrint-ne, de coses noves. Les que sí que poden ser noves són les aplicacions.

Em referiré al *learning* amb una lletra i un guió davant. Des de petit sempre m'he preguntat per què els aprenents de conductor porten al cotxe una L de *learning* i no pas una A d'*aprenent* com seria el més lògic; com que en els temps de Franco tot estava molt fiscalitzat, fins i tot he arribat a pensar que no deixaven posar la A perquè era el símbol dels àcrates i, com a mal menor, es quedaven amb la L de l'anglès, tot i allò de la pèrfida Albíó i de l'Armada Invencible. O pot haver-hi una altra teoria?

Però el cas és que per a designar l'aprenentatge electrònic s'utilitza normalment el terme original anglès *e-learning* (*electronic learning*). La forma catalana seria, segons el TERMCAT, *aprenentatge virtual*. És d'aquest tema que parlarem i de les seves aplicacions. I no el confonguem amb l'ensenyament a distància, que podria realitzar-se, per exemple, mitjançant correu ordinari.

L'ensenyament. L'aprenentatge

L'ensenyament ha sofert molts canvis al llarg de la història, però en el fons tot es basa en *què cal ensenyar* i en *com cal ensenyar*. En el *què cal ensenyar* tot depèn de l'època i dels condicionants socials imperants en cada moment, però en el *com cal ensenyar* trobem més consens ja que hi ha poc marge de variació: els deixebles reben els ensenyaments directes dels seus mestres i es dediquen a memoritzar-los, o bé els deixebles van adquirint i organitzant els coneixements amb l'ajuda dels seus mestres, en definitiva, els dos tipus d'ensenyament, el conductista i el constructivista.

Em fa molta gràcia quan es parla dels sistemes actuals d'ensenyament com si fossin grans descobri-

ments. Per exemple, ja en la Xina del segle v a. de C. s'ensenyava amb el Meng-Tsé o Llibre de Menci, que va ser deixeble de Confuci i que preconitzava l'educació com a autodesenvolupament i el subordinava a la natura; el mestre pot orientar, donar pautes, estimular l'esperit del deixeble però quedant sempre en un segon pla. Per poc observador que un sigui és el mateix que intentem aplicar actualment amb la teoria constructivista, però amb la gran diferència que permet poder fer ús de les tecnologies de la informació i la comunicació.

El constructivisme es basa en la persona, i a partir de les seves experiències fer les construccions mentals. Aquesta teoria té les seves variacions depenent de l'autor:

- La persona interactua amb l'objecte del coneixement (Piaget).
- La persona interactua amb les altres. Constructivisme social (Vogotsky).
- La construcció es fa si és significativa per a la persona (Ausubel).

El professor de la Universitat de Missouri David Jonassen utilitza un model que anomena Entorn d'Aprenentatge Constructivista (EAC). Aquest model parteix de la proposta d'un projecte, d'un problema o d'una pregunta i els alumnes han d'elaborar el coneixement, arribar a l'objectiu, a la resolució correcta. El model té en compte els elements següents:

- Les fonts d'informació i elements relacionals.
- Les eines cognitives.
- Les eines de conversa i col·laboració.
- Els sistemes de suport social.
- La tutoria.

Com veurem més endavant, aquest model es pot aplicar perfectament amb les noves plataformes que es van creant i perfeccionant actualment.

En això que anomenem *e-learning*, l'alumne —el discent, deixeble, participant o client— va construint els coneixements i el mestre —el professor, docent, administrador o tutor— va orientant-lo. Els rols dels uns i dels altres van canviant radicalment pel que fa a l'ensenyament tradicional que hem conegut les generacions actuals, igual que van haver de canviar en l'època de Meng-Tsé per a lluitar contra altres corrents com, per exemple, el taoisme.

Centrem-nos, per tant, en el sistema actual. Si un té l'edat suficient per a comparar vivències s'adonarà que no és el mateix la manera d'ensenyar de fa quaranta anys que la manera d'ensenyar actual. I no s'hi val a culpar sempre elements externs: un mateix també s'ha de renovar, sobretot si la seva funció entra dintre del grup de mestre, professor, administrador, tutor. Renovar-se o morir. Les TIC són a tot arreu, formen part de la societat actual. Es busca un professor amb un perfil lleugerament diferent del que sempre hem entès per professor.

Però potser aquest tipus de professor no pugui cobrir totes les facetes que requereix un sistema *e-learning*. Segons Raffaele Pinto:¹ «La intervenció del docent en la preparació del material i el seguiment dels alumnes durant el curs mitjançant Internet (tasques diferents que moltes vegades no coincideixen en la mateixa persona) no es pot comparar ni de lluny amb el treball didàctic de la classe en presència.»

Fa un temps es va utilitzar un sistema d'ensenyament assistit per ordinador. A on ha anat a parar aquest concepte d'EAO?² Recordo que, fa uns vint anys, en el marc d'uns estudis d'informàtica educativa, a l'embrió del que seria més tard el PIE,³ després la SGTI⁴ i actualment l'Àrea TIC, vàrem visitar una escola de primària de Barcelona a on ens van ensenyar un sistema pioner per a ensenyar matemàtiques. Hi havia una aula d'informàtica amb tots els ordinadors connectats a un ordinador central. Cada grup-classe entrava a una hora determinada i cada alumne ocupava una pantalla. Durant vint o trenta minuts es presentaven a l'alumne diferents exercicis de càlcul per a resoldre'n la major quantitat i donar la solució correcta. Al final de la classe sortia a la pantalla la puntuació obtinguda i, com tothom pot suposar, l'alumne acabava estressat. A qui se li pot acudir actualment aplicar un sistema com aquest? Les TIC s'han humanitzat.

Actualment està molt de moda el concepte *ensenyament/aprenentatge virtual*. La paraula *virtual* sembla una mica innocent aplicada a la tecnologia. Recordo que fa uns anys quan hom anava a comprar un ordinador un dels elements cars era la memòria RAM⁵ i per a suplir aquesta es va inventar la memòria virtual, que l'única cosa que feia era intercanviar informació amb una part del disc dur i, per tant, reduïa la velocitat del procés. Però el client no entenia d'això i l'única cosa que entenia era que el seu ordinador tenia més memòria. L'adjectiu *virtual* senzillament enganxava. Avui dia estem immersos en moltes realitats virtuals i com si res. La paraula *virtual* s'aplica a tot el que no és però simula ser-ho. La paraula *virtual* sofreix un abús o és una realitat.

1. «La desaparició del professor i l'absència del seu rol educatiu. Noves formes d'ensenyament: la didàctica "no presencial"» (diari *Avui* del 21.06.04).

2. Ensenyament assistit per ordinador.

3. Programa d'Informàtica Educativa.

4. Subdirecció General de Tecnologies de la Informació.

5. Random Access Memory ('memòria d'accés aleatori'). La memòria volàtil del nostre ordinador.

Però el que és cert és que l'ensenyament o l'aprenentatge no és el que era abans, en el sentit literal de la frase. Actualment tenim *e-learning* pertot arreu i per a tots els gustos.

Rafael Casado (2001) proposa una divisió de les tecnologies educatives en el gràfic següent:

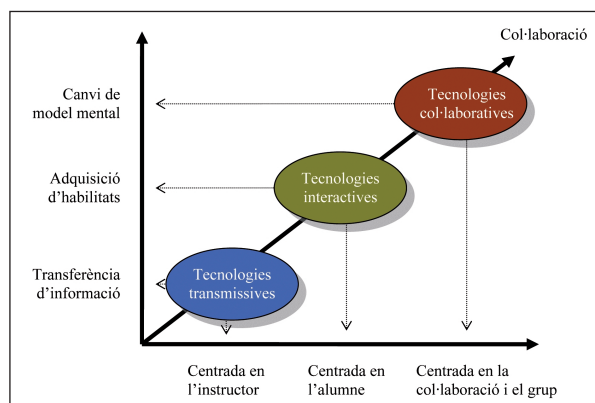


FIGURA 1. Les tecnologies educatives (Rafael CASADO ORTIZ, «El aprovechamiento de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) para la creación de redes de aprendizaje cooperativo. La experiencia de Telefónica de España», *Training & Development Digest* (maig 2001)).

En aquest gràfic els mètodes de formació *e-learning* seguiran al màxim la tendència de la fletxa de «Col·laboració»; pràcticament totes són tecnologies col·laboratives.

L'e-learning

Hi ha dues raons que avalen la introducció progressiva i imparable dels sistemes d'aprenentatge amb *e-learning*:

- La mobilitat geogràfica en augment (per activa).
- La interconnexió entre tots els ordinadors del món (per passiva).

I, com podem definir l'*e-learning*? Doncs com el conjunt de metodologies i estratègies d'aprenentatge que fan servir tecnologia digital o informàtica per a produir, transmetre, distribuir i organitzar coneixement entre individus, comunitats i organitzacions.

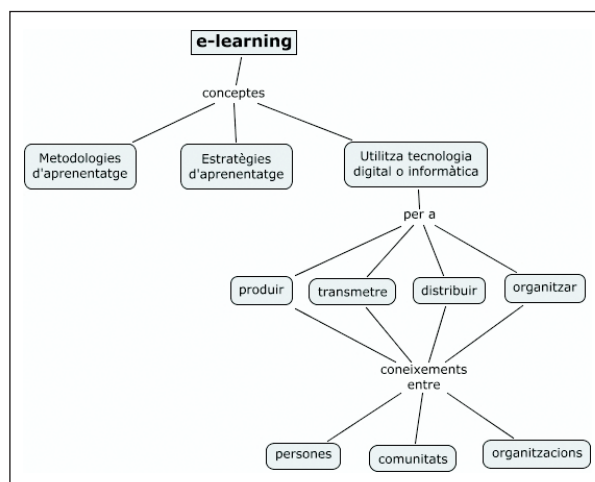


FIGURA 2. Mapa conceptual amb la definició d'*e-learning*.

Hem de partir de la base que l'*e-learning* no és la panacea en l'ensenyament o en l'aprenentatge. La virtut sempre està al mig. Excepte pel que fa als ensenyaments o aprenentatges a distància, en què precisament aquesta distància és un problema, la tendència és mirar d'aplicar un sistema mixt, això que anomenem *b-learning* (*blended learning*), i pot ser que la discussió sigui quin petit percentatge ha de tenir l'apartat presencial.

Un dels grans problemes que té tot l'ensenyament a distància, i potser el principal, és la gran quantitat d'abandonaments. I, a més, si normalment el docent coneix perfectament la matèria que explica però moltes vegades li costa saber fins a quin nivell arriba el coneixement de l'alumne sobre la qüestió, amb l'*e-learning* tenim un problema afegit ja que encara és més difícil de saber fins a quin punt arriba el desconeixement de l'alumne.

L'educació no presencial ha sofert grans canvis al llarg de la història. Bàsicament podem dividir aquesta història en tres etapes segons el model utilitzat:

— *Model didàctic-imprès*. Utilitzat en la dècada dels seixanta, es basava en textos impresos que es distribuïen per correu ordinari. Això es deia *ensenyament per correspondència*.

— *Model modular-multimèdia*. Propi de les dècades dels setanta i vuitanta, la seva característica principal era la inclusió massiva de recursos de videocasset, la radiodifusió o la televisió. Aquests recursos van ser molt populars i fàcilment accessibles per a tothom.

— *Model telemàtic*. Model en què estem immersos actualment. La seva característica principal és la utilització de la xarxa telemàtica, Internet, que darrerament s'ha estès a gran part de la població. Té el gran avantatge de personalitzar al màxim l'educació, a través de les TIC.

L'expressió per a fer referència a l'educació no presencial ha tingut diverses formes segons l'època i el país. Als Estats Units es va utilitzar *distance education* ('educació a distància'). A Alemanya, *Fernunterricht* ('instrucció a distància'). A França, *télé-enseignement* ('teleensenyament'). I a la Gran Bretanya, *Open University* ('universitat oberta').

A Espanya va tenir èxit el terme *educación a distancia*, però a Catalunya la universitat pionera a oferir estudis a distància es diu Universitat Oberta de Catalunya.⁶

Actualment s'ha estès i generalitzat el terme *e-learning* amb totes les seves variants, *b-learning*, *w-learning*...

Els mètodes de formació amb *e-learning* poden tenir diverses variants, segons com s'apliquin:

— *Immersion total en el procés*. La distància és una anècdota. Aquest sistema s'utilitza, per exemple, a la UOC.

— *Utilització del sistema de manera compensatòria*. S'utilitza pensant que la distància és un obstacle per a realitzar els estudis. Un exemple d'on s'aplica és la UNED.⁷

— *De manera complementària amb l'ensenyament presencial*.

Aquest sistema s'utilitza sense pensar en les distàncies. Es denomina *b-learning* (*blended learning*) i és el sistema més utilitzat actualment. Tot l'aprenentatge a través de les TIC es completa amb l'aprenentatge presencial. Això evita alguns problemes, com, per exemple, el major percentatge de desercions que hi ha en l'ensenyament exclusivament amb *e-learning*.

— *Com a alternativa a l'ensenyament presencial*. És l'alumne qui tria quin tipus d'ensenyament vol rebre, o presencial o no presencial. A la UAB en diuen *ensenyament bimodal* i va començar a experimentar-se a partir del curs 1996/1997 en el denominat *campus virtual*.

Per portar a terme totes aquestes formes d'*e-learning* es necessita muntar un EVA⁸ i per a fer-ho s'utilitza una plataforma.

Les plataformes e-learning

Les plataformes per a *e-learning* són sistemes TIC muntats sobre un servidor, és a dir, una màquina a la qual poden accedir moltes persones alhora.

Les plataformes poden ser propietàries o lliures, de codi tancat o de codi obert, de pagament o gratuïtes, però totes han d'acomplir les funcions següents:

a) Gestió dels usuaris (alumnes, tutors, professors, gestors, administradors...)

b) Gestió dels cursos (recursos i activitats)

c) Gestió de la comunicació (seguiment i avaluacions).

Si fem un petit repàs de les plataformes dinàmiques a Internet tenim tres tipus de tecnologies:

— CMS (Content Management System). Es basa en notícies, recursos i fòrums, és a dir, en continguts. Compleix els apartats a i b anteriors.

— LMS (Learning Management System). Compleix els tres apartats. Aquesta tecnologia és la més comuna per a muntar un EVA.

— LCMS (Learning Content Management System). Té totes les característiques de l'LMS més els grans avantatges dels CMS.

Hi ha una petita gran diferència entre LMS i LCMS. A l'LMS la unitat més petita d'aprenentatge és el curs i a l'LCMS la unitat més petita és un objecte d'aprenentatge.

Un exemple de plataforma

Actualment hi ha una plataforma d'*e-learning open source*⁹ amb una forta expansió a tot el món, Moodle (Modular Object Oriented Dynamic Learning Environment). Un usuari de Moodle es diu *moodler*.

6. UOC.

7. Universitat Nacional d'Educació a Distància.

8. Entorn virtual d'aprenentatge.

9. Programari de codi obert.

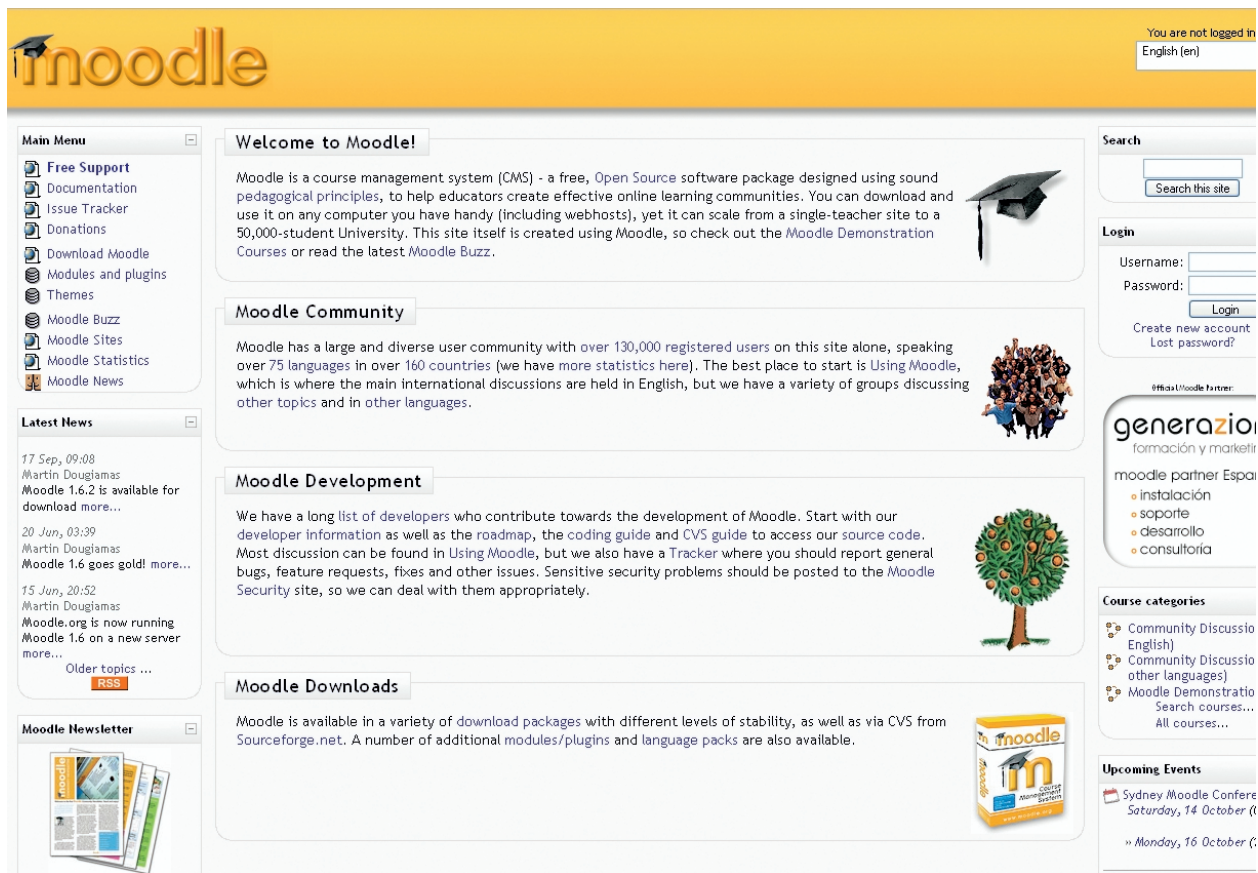


FIGURA 3. Portal d'inici de moodle.org.

Moodle va nèixer de la mà de Martin Dougiamas, enginyer informàtic i doctor en ciències de l'educació. L'agost de 2002 en va sortir la versió 1.0 i actualment s'ha arribat a la versió 1.6, amb moltes millores respecte a la primera. Moodle està fet amb llenguatge de programació PHP i pot gestionar diverses bases de dades, com, per exemple, MySQL. La pàgina oficial de Moodle és <http://moodle.org>.

Moodle es basa en el constructivisme social i conté tots els ingredients que es pot demanar actualment a un EVA. La seva unitat és el curs i, per tant, és un LMS, però té una tendència cap a l'LCMS i a la utilització de les noves tecnologies amb paquets LO¹⁰ o RLO.¹¹ Moodle està implantat en més de cent quaranta països i la seva utilització té una corba de pujada vertiginosa segons les estadístiques de <http://moodle.org/stats/>.

Enumerem algunes de les característiques de Moodle:

- És fàcil d'instal·lar. Tan sols s'han de canviar algunes línies d'un únic fitxer de configuració o executar des del navegador un únic fitxer <install.php>.
- Es pot fer servir sobre diverses bases de dades.
- Es poden seleccionar més de setanta idiomes.
- Gestiona els diferents tipus d'usuaris: administradors, professors-tutors, alumnes-participants.

10. *Learning object* ('objecte d'aprenentatge').

11. *Reusable learning object* ('objecte d'aprenentatge reutilitzable').

- Es poden muntar cursos basats en el temps, en els temes o en la comunicació dels participants (fòrums).
- Incorpora editor propi de HTML.
- Pot contenir qualsevol tipus de recurs que pugui ser tractat informàticament.
- Proposa activitats molt diverses: assistència, glosari, tasques, lliçons, tallers, diaris, qüestionaris, consultes, wiki...
- Pot tenir tants fòrums com calgui.
- Pot crear grups de participants.
- Fa el seguiment individualitzat, amb avaluacions.
- Utilitza eines de xat i correu per a la comunicació síncrona i asíncrona.
- Accepta paquets estàndards SCORM. (S'està estudiant incorporar les especificacions IMS.)

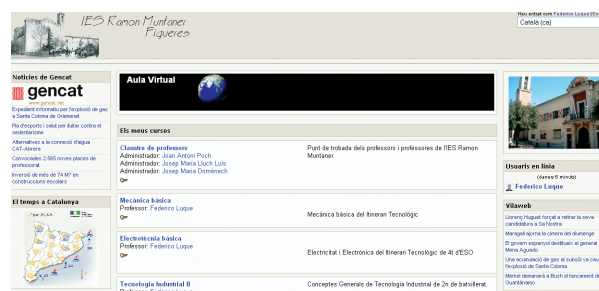


FIGURA 4. Exemple de pàgina d'entrada d'una aula virtual amb plataforma Moodle.

fraction:

- Syntax: `\frac{numerator}{denominator}`
- Use font sizing commands for specific sizing if you don't want the predefined one to be taken.
- Ex. (with predefined sizing): `$$f(x,y)=\frac{2a}{x+y}$$` gives

$$f(x,y)=\frac{2a}{x+y}$$
- Ex. (with specific sizing): `$$f(x,y)=\frac{\scriptstyle 2a}{\scriptstyle x+y}$$` gives

$$f(x,y)=\frac{\scriptstyle 2a}{\scriptstyle x+y}$$
- You may nest fractions as much as you want.
- Ex. (nested fractions): `$$\frac{\frac{a}{x-y}+\frac{b}{x+y}}{1+\frac{a-b}{a+b}}$$` gives

$$\frac{\frac{a}{x-y}+\frac{b}{x+y}}{1+\frac{a-b}{a+b}}$$

FIGURA 5. Exemple d'equacions amb Moodle.

Moodle pot ser útil com a eina d'aprenentatge de ciència i tecnologia. Té un mòdul per a escriure equacions matemàtiques en format semblant a LaTeX.

Moodle està en el punt de mira de moltes universitats del món i estudien la manera menys problemàtica de traspassar tota la informació dels cursos que tenen en format propietari a Moodle. A Catalunya, per exemple, a la UPC tenen el projecte Atenea 4.0, de migració de la seva infraestructura d'UPCnet a Moodle.

El futur (present?)

Al meu entendre, el futur de l'*e-learning* passa per tres conceptes que fa temps que s'estudien:

- L'estandardització
- La utilització de píndoles d'aprenentatge
- La reutilització.

L'estandardització s'està convertint en quelcom imprescindible avui dia. No pot ser que la creació de material d'aprenentatge quedi ancorada en la plataforma de creació. S'ha de poder permetre l'intercanvi entre les diferents plataformes i els diferents sistemes informàtics. El problema és que actualment hi ha molts estàndards i, per tant, molta dispersió, però s'observa una tendència de la normalització d'IMS (<http://www.imsglobal.org/>) i amb l'estàndard SCORM (Sharable Content Object Reference Model). Moodle, per exemple, incorpora la quasi compatibilitat total amb SCORM.

La utilització de píndoles d'aprenentatge és el que s'anomena LO o *learning object*. Encara no hi ha una definició acceptada per tothom sobre els LO. El comitè d'IMS treballa sobre el projecte LOM (Learning Object Metadata) i defineix com s'han d'especificar i etiquetar els continguts i com s'ha d'organitzar la informació per a poder ser intercanviable entre els diferents sistemes LMS. Podríem dir que l'LO és qualsevol entitat que pot ser utilitzada, reutilitzada o referenciada per un sistema d'aprenentatge basat en web o un sistema complet LMS. La reutilització dels LO té un nom concret, RLO (*reusable learning object*).



FIGURA 6. L'autor fent proves amb dispositius Bluetooth per a aplicar a l'aula virtual.

Hi ha moltes persones darrere de l'estudi d'aquesta tecnologia. Podem dir que consisteix en petites unitats de conceptes ben clars i definits sobre temes també ben clars. Aquests LO es poden recopilar i classificar (dipòsits digitals, *repositories* en anglès) en un portal de la xarxa, amb la qual cosa hom podrà anar directament a aprendre una cosa concreta del seu interès. Actualment hi ha moltes universitats que tenen els seus dipòsits digitals amb LO, però amb temes molts especialitzats, com, per exemple, de medicina. Però, a tall d'exemple, tenim dos dipòsits digitals amb LO genèrics d'estudis superiors, que inclouen programes d'aprenentatge, animacions, simulacions, llibres i pàgines web:

— MERLOT (<http://www.merlot.org>)

— CAREO (<http://careo.ucalgary.ca/cgi-bin/WebObjects/CAREO.woa>).

El *hardware* també ajuda amb la seva evolució. Actualment hi ha molts dispositius per a fer més fàcil l'accés a la informació, *wireless* WiFi, Bluetooth, UMTS, GPRS, aparells de satèl·lit, etc. Això vol dir que l'aprenentatge pot estar a l'abast de tothom i en qualsevol lloc. No cal obligatòriament un fil telefònic.

Conclusió

L'ensenyament i l'aprenentatge han sofert molts avatars al llarg de la història. Els sistemes han canviat poc o molt, depenent de l'època o del tipus de societat. Però els canvis actuals tenen molt a veure amb la tecnologia. Tot s'hi val per a aprendre, la ràdio, la televisió, el mòbil, l'ordinador, la consola de videojoc, la PDA, la pissarra digital, etc., però la tecnologia de la ferralla no fa res sense la tecnologia de l'aprenentatge. Per a crear un bon EVA hem de formar gent experta en noves disciplines: creadors, distribuïdors, administradors, tutors d'entorns d'*e-learning*.

Stephen Downes¹² presenta un escenari d'*e-learning* 2 amb tots els diferents elements d'utilització del web: blocs, RSS, *newsmaster*, *podcasts*, wikipèdia, etc.

12. <http://www.downes.ca/cgi-bin/page.cgi?post=33623>.

I sobre les possibilitats de negoci, si consultem les xifres que donen els estudis econòmics de prospecció sobre la implantació d'aquestes tecnologies virtuals els propers anys, ens podem espantar. ■

Bibliografia

- ADELL, J. (1997). «Tendencias en educación en la sociedad de las tecnologías de la información». *Edulec. Revista Electrónica de Tecnología Educativa* [en línia], 7. <<http://www.uib.es/depart/gte/edulec-e/revelec7/revelec7.html>>
- BELL, Mary Anne [Sam Houston State University] (2002). «Why Use an Interactive Whiteboard? A Baker's Dozen Reasons!». *Teacher's Net Gazette* [en línia], 3 (1) (gener). <<http://teachers.net/gazette/JAN02/mabell.html>>
- BOU BAUZÁ, Guillem [et al.] (2003). *E-learning*. Anaya Multimedia.
- DELORS, J. (1996). *La educación encierra un tesoro*. Madrid: Santillana / Ediciones UNESCO.
- ECHEVERRÍA, J. (2000). «Educación y tecnologías telemáticas». *Revista Iberoamericana de Educación* [en línia], 24. <<http://www.campus-oei.org/revista/rie24f.htm>>
- ECHEVERRÍA, J. (2000). *Un mundo virtual*. Espanya: Plaza y Janés.
- FUNDESCO (1999). *Teleformación: un paso más en el camino de la formación continua*. Barcelona.
- GARCIA AREITO, Lorenzo (2002). *La educación a distancia: De la teoría a la práctica*. Ariel Educación.
- GÓMEZ GARCIA, Melchor (2005). *La pizarra digital* [en línia]. <<http://observatorio.cnice.mec.es/modules.php?op=modload&name=News&file=article&sid=232>>
- JONASSEN, David [pàgina oficial]. <<http://www.coe.missouri.edu/~jonassen/>>
- JONASSEN, D. H.; PECK, K.; WILSON, B. G. (1999). *Learning With Technology: A Constructivist Perspective*. Columbus, OH: Merrill/Prentice-Hall.
- JONASSEN, D. H.; HOWLAND, J.; MOORE, J.; MARRA, R. M. (2003). *Learning to solve problems with technology: A constructivist perspective*. 2a ed. Columbus, OH: Merrill/Prentice-Hall.
- MARQUÈS GRAELLS, Pere (2002). *La pizarra digital en los contextos educativos* [en línia]. <<http://dewey.uab.es/pmarques/pizarra.htm>>
- (2004). *La educación informal en los albores del siglo XXI* [en línia]. <<http://dewey.uab.es/pmarques/eparalel.htm>>
- (2006). «Cambios en los centros: contruyendo la escuela del futuro». *La web de Tecnología Educativa* [en línia]. <<http://dewey.uab.es/pmarques/perfiles.htm>>
- MARTÍN PATINO, José Maria [et al.] (2003). *Cómo aprender con Internet*. Fundación Encuentro.
- Tecnologies estàndards d'e-learning* [en línia]. <<http://www.cetis.ac.uk/static/standards.html>>

PRESENT I FUTUR DE L'ÀREA DE TECNOLOGIA A L'EDUCACIÓ SECUNDÀRIA

Roser Cussó Calabuig

Presidenta de l'Associació de Professorat de Tecnologia de Catalunya

Situació actual

L'àrea de tecnologia va aparèixer amb l'aprovació de l'anterior llei educativa, la Llei orgànica d'ordenació general del sistema educatiu (LOGSE). És, per tant, una àrea molt jove, amb una implantació de només tretze anys. La matèria es va convertir en la bandera de la reforma i pretenia acostar el món tècnic a tot l'alumnat. Era, realment, una decisió revolucionària.

La resposta de l'alumnat i el professorat va ser i segueix sent molt positiva. La realització de projectes mitjançant l'aplicació del procés tecnològic permet desvetllar la iniciativa, fomentar l'esperit crític, estimular la creativitat, potenciar el treball en equip i aplicar i ampliar els continguts tractats a d'altres àrees com ara ciències, matemàtiques, llengua, socials i anglès. D'aquesta forma, la matèria de tecnologia es converteix en un eix fonamental de l'ensenyament secundari, sent per la seva natura una àrea eminentment procedimental i interdisciplinària.

D'altra banda, els continguts teòrics proporcionats permeten a l'alumnat entendre els processos tècnics i industrials que ens envolten cada dia, i li proporciona eines per convertir-se en consumidors responsables, ciutadans respectuosos amb el medi i persones adaptables als canvis socials i d'hàbits que provoquen els avenços tècnics. Tampoc cal obviar el seu component de formació professional de base que permet donar eines suficients per a l'orientació en la tria dels estudis postobligatoris.

Especialment positiva és la influència de l'àrea en les noies. El fet que sigui actualment una àrea comuna fa que tot l'alumnat es posi en contacte amb conceptes que tradicionalment es consideren masculins. És potser la primera i única oportunitat de moltes noies per conèixer processos, eines, màquines i plantejar-se aquest àmbit com una possibilitat de futura ocupació. El nombre de noies matriculades en cicles formatius i carreres tècniques, tot i seguir sent baix, ha augmentat amb les successives promocions d'alumnat provinent de l'educació secundària obligatòria (ESO).

La implantació de la tecnologia als centres de secundària ha significat un gran canvi. La creació de l'aula-taller ha estat, potser, la prova més evident. Per primer

cop es posava a l'abast de l'alumnat un espai dotat amb eines i màquines que permetien reproduir l'entorn tècnic i industrial i els processos relacionats. Però existien altres canvis, no només de dotacions materials sinó també de formació del professorat. Sent una àrea tan àmplia que engloba continguts molt diversos, no existeix cap professor especialista en tots, la qual cosa fa imprescindible una formació continuada. Tot això s'ha traduït en una forta inversió en recursos i formació per part de l'administració i en una inversió horària molt alta per part del professorat en reciclatge i creació de materials i pràctiques docents.

L'aposta per l'educació tecnològica a l'educació secundària ha estat molt forta a Catalunya des de la implantació de la LOGSE. El caràcter industrial i innovador de la societat catalana fa necessària la inversió en la formació dels futurs enginyers, arquitectes, tècnics, informàtics, etc. que mantinguin i amplïïn el nostre teixit industrial i tecnològic. És una inversió de futur.

La nova reforma educativa

La Llei orgànica d'educació (LOE), aprovada pel Congrés dels Diputats el passat 3 de maig, suposa un canvi substancial en l'organització de la secundària obligatòria en diferents aspectes (<http://www.mec.es/mecd/gabipren/documentos/A17158-17207.pdf>):

- supressió del concepte de cicle i tractament de cada curs de forma independent
- reducció del nombre d'assignatures a primer i segon d'ESO
- classificació de les matèries en dues categories en funció del seu caràcter comú o bé optatiu
- definició d'un quart d'ESO amb un bloc de matèries optatives en funció del posterior itinerari de l'alumnat
- canvi de denominació de l'àrea de tecnologia, que passarà a anomenar-se «Tecnologies»
- eliminació de l'actual batxillerat tecnològic, que queda englobat dins d'un batxillerat científicotècnic.

L'efecte d'aquest projecte sobre l'àrea de tecnologia és nefast. Aquesta matèria queda reduïda, de forma tes-

timonial, a un únic curs entre primer i tercer d'ESO i és optativa a quart d'ESO. D'aquesta forma agafa un caràcter de matèria *de segona* que contradiu totes les necessitats de la societat actual.

Si sempre s'ha dit que l'escola no segueix el ritme de la realitat, ara més que mai aquesta frase es fa evident. Com podem concebre, des de l'ensenyament obligatori, ignorar el món tecnològic que envolta la vida diària del nostre alumnat? Com es pot dissenyar un ensenyament amb les mateixes directrius de l'escola del segle passat quan els canvis són continuats i necessitem educar ciutadans del segle XXI amb les característiques de la societat del segle XXI?

La valoració no pot ser més negativa ja que contradiu totes les recomanacions de la UE i la UNESCO respecte a les polítiques educatives estatals. Aquestes institucions insten els governs a fomentar els estudis tecnològics i científics per lluitar contra la desigualtat de gènere i afavorir el desenvolupament tecnocientífic i econòmic.

La nova llei d'educació realitza una declaració de principis en les seves disposicions preliminars força atractiva, referint-se a la necessitat d'una bona base tecnocientífica per a tot l'alumnat, però el desenvolupament posterior contradiu aquest preàmbul, convertint l'àrea de tecnologia en una matèria no fonamental i negant-li el seu caràcter de troncal com té actualment.

Quines són, doncs, les causes que porten a aquest canvi de tractament de l'àrea? Per què es passa de considerar una matèria com a comuna i a apostar-hi des del punt de vista pedagògic, d'inversió de recursos i formació del professorat a deixar-la com a matèria no troncal? La resposta del Ministeri d'Educació i Ciència (MEC) és única: la reducció de matèries a primer i segon d'ESO afavorirà la lluita contra el fracàs escolar. Però el mateix MEC, preguntat per la Plataforma Estatal d'Associacions del Professorat de Tecnologia (<http://www.sialatecnologia.org>; <http://www.aptc.net>) en entrevistes mantingudes conjuntament, no ha donat cap explicació de quin ha estat el criteri pel qual es tria tecnologia com a matèria a reduir enfront de la resta. No exis-

teix cap avaluació de l'àrea que mostri la necessitat de fer-la desaparèixer. Cap criteri apunta en aquest sentit, al contrari, totes les indicacions de la UE, de la UNESCO, de les universitats i col·legis professionals i de personalitats de renom dins del món tecnològic valoren molt negativament aquest fet, tant per a l'alumnat com per al creixement tècnic i econòmic de la nostra societat, i així ho han fet arribar als responsables del MEC, tant la ministra com els responsables màxims d'educació estatals i autonòmics.

Una altra decisió presa en aquesta llei que va en contra de les recomanacions de la UE és la separació de la tecnologia i la informàtica tractant-les com a matèries independents a quart curs d'ESO. Cal considerar la informàtica com una eina d'ensenyament-aprenentatge, utilitzada de forma transversal a totes les matèries. Aquest és el tractament que se li dona a l'educació primària i que ha de continuar a l'educació secundària. El nostre alumnat ha de treballar amb la informàtica: processadors de textos a llengües, fulls de càlcul a matemàtiques, bases de dades a socials, simuladors a tecnologia i moltes altres aplicacions que enriqueixen la forma d'aprendre. Què és més útil, una assignatura de dues hores a la setmana o treballar informàticament a totes les matèries de forma continuada? Aquesta és l'única posició raonable. Què ha portat, doncs, el MEC a crear aquesta àrea com a independent? La informàtica cal tractar-la com una de les moltes altres tecnologies i, per tant, el seu contingut teòric i descriptiu ha d'anar lligat a l'àrea de tecnologia i la seva utilització ha de fer-se de forma global a tot l'ensenyament.

El futur de l'àrea és molt incert i depèn només de decisions polítiques, no de decisions pedagògiques. La LOE presenta moltes indeterminacions i contradiccions que cal resoldre coherentment, no per pressions de col·lectius laborals. Aquesta és la realitat. Estem perdent una oportunitat històrica de modernitzar l'educació secundària i optar per un ensenyament classicista i encarcerat o per una educació immersa en el món real i la societat actual que viu el nostre alumnat. ■

COMPETICIONS DE ROBOTS. MOLT MÉS QUE UN JOC

Jordi Ayza

Departament d'Enginyeria de Sistemes, Automàtica i Informàtica Industrial. Universitat Politècnica de Catalunya

Ja fa uns quants anys que van aparèixer a Espanya els primers concursos de robots orientats a estudiants d'enginyeria. Un dels primers grups organitzadors va ser el de la Universitat Politècnica de Catalunya, en concret l'associació AEES Estudiants, capítol d'estudiants a l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Telecomunicació de Barcelona (ETSETB) de la societat de l'IEEE Aerospace & Electronic Systems Society (AEES). El 29 de març de 1995 es va fer el primer concurs de microrobots lluitadors de sumo a Espanya. A aquesta primera edició en van seguir d'altres i s'hi van afegir noves modalitats. El novembre del 2005 es va celebrar la darrena edició: l'11è Concurs Nacional de Robots Lluitadors de Sumo, el 9è Concurs Nacional de Robots Rastrejadors i el 2n Concurs Nacional de Robots Lluitadors de Minisumo.

En pocs anys altres universitats van començar a promoure aquesta mena de concursos. Una altra de les universitats pioneres va ser la Universitat de Deusto (1988), que va utilitzar un altre model: el professor José M. Angulo Usategui, veient el potencial de motivació d'aquestes competicions, va decidir convocar els estudiants de la seva classe a participar en un concurs de microrobots; per donar-hi més al·licient va convidar estudiants d'altres universitats, amb experiència en concursos a Barcelona, a participar-hi.

En pocs anys, a Espanya, van proliferar aquestes competicions. A la primavera de l'any 2000 eren els alumnes de l'Escola Politècnica de Mataró els que també organitzaven un concurs obert a tots els estudiants espanyols i ràpidament s'hi van afegir la Universitat d'Alcalá de Henares, la Universitat Miguel Hernández, de Múrcia, la Universitat de Valladolid, la Universitat Politècnica de Madrid, i la llista no s'acaba.

A més de competicions de caràcter estatal també n'existeixen d'internacionals. A Europa, una de les més populars és l'Eurobot, que aquest any s'ha celebrat a primers de juny a Catània. La primera edició va ser el 1998, i va néixer com a extensió de la competició francesa que s'havia iniciat tot just quatre anys abans.

A més a més, com a competicions internacionals en podem trobar d'altres com la Robocup, que aquest any es celebra a Alemanya, coincidint amb els mundials de

futbol i que inclou diferents modalitats. La Universitat de Girona i la Universitat Jaume I han participat en diferents ocasions en una d'aquestes modalitats, la Lliga de Format Petit (Small Size League).

Als Estats Units també tenen una competició de robots orientada a estudiants d'entre onze i divuit anys, i amb el suport de la National Tooling and Machining Association: la Battleboot. A més dels concursos orientats a estudiants, d'altres han convertit la competició en lluita i han buscat explotar la vessant més violenta i espectacular; aquest és el cas de la Warrior Wars, Robotica i d'altres, algunes objecte de programes per a la televisió (figura 1).

Tot parlant de competicions de robots podríem escriure planes i planes parlant de modalitats, reglaments, participació, característiques dels robots en competició, com construir aquests robots, etc. En aquest article tractaré de comentar aquesta activitat com a estímul per a la formació tècnica: nivells de concurs, modalitats i característiques dels robots. Per fer-ho parlaré de Robolot i d'Eurobot.



Robolot

Aquest concurs, que el 15 d'octubre d'aquest any celebrarà la seva cinquena edició, respon a una iniciativa de l'IES-SEP La Garrotxa, d'Olot (vegeu <http://www.ieslagarrotxa.net/Robolot>) orientada principalment als estudiants de batxillerats tecnològics i de cicles formatius, però també oberta a estudiants universitaris o d'altres nivells formatius (figura 2). La construcció d'un robot requereix un conjunt de coneixements tecnològics (electrònica, mecànica, sensors, motors, microcontroladors, programació, etc.) i un conjunt d'habilitats personals (iniciati-



FIGURA 1. Sargent Bash, robot guerrer de 125 kg. Les seves dimensions són $140 \times 90 \times 90$ cm i es pot moure fins a 8 mph. Entre les seves armes inclou un bufador de propà.

va, creativitat, enginy, afany de superació, etc.); si, a més, es fa en equip encara hi podem afegir unes quantes habilitats addicionals (treball en equip, responsabilitat, compromís, etc.) i a més és atractiu i divertit: pots veure com el que has projectat funciona, sembla una mica màgic, però saps que tot plegat és fruit dels teus coneixements i habilitats.

Una de les gràcies dels microrobots, o microbots, és que tenen una mida molt manejable, tenen un cost assequible i poden ser tan senzills o sofisticats com vulguem. Per això tant els estudiants de cicles formatius com els d'estudis universitaris superiors poden fer robots a partir dels seus respectius coneixements i que, en ambdós casos, el seu disseny i construcció representi un repte per a ells. Per això a Robolot hi ha dues categories: una per a estudiants de batxillerat i cicles formatius i l'altra oberta. I això a les dues modalitats de competició: robots rastrejadors i robots sumo.

Els robots de rastreig han de seguir una línia blanca des de l'inici fins al final i arribar amb el menor temps possible. La competició es fa per parelles, utilitzant dos perfils de camí simètrics. El perfil del camí és molt important, podem tenir angles molt aguts i desviacions i l'algorisme del robot pot ser més adequat per a un tipus de perfil que per a un altre. Hi ha robots que disposen de diferents algorismes i el dissenyador activa el més adequat per al perfil que es troba perquè, això és important, el perfil a seguir és un secret que els participants no coneixen fins al moment de la competició (figura 3).

Els robots de sumo estan limitats a unes dimensions de superfície (abans de l'inici del combat) de 20×20 cm i a un pes màxim de 3 kg. El combat és a tres assalts. L'objectiu és detectar el contrincant i fer-lo fora de l'àrea de combat. Es tracta de construir un robot amb la màxima adherència, la màxima força per empènyer el contrincant i un bon algorisme d'evasió i localització del contrincant (figura 4).



FIGURA 2. Exposició dels robots presentats a Robolot.

Si algú està interessat a introduir-se en aquest tema, podeu trobar un programa d'aprenentatge al web de Robolot o podeu fer un dels tallers que ofereixen les universitats. Una de les possibilitats és el curs d'estiu que del 3 al 19 de juliol es va fer a la Politècnica de Mataró (<http://www.eupmt.cat>).

Eurobot

Ja he comentat que la competició Eurobot, amb periodicitat anual, està específicament adreçada a estudiants i procura que els equips participants siguin guanyadors de competicions nacionals. Eurobot, actualment, és una activitat que compta amb el suport de la Comissió Europea,



FIGURA 3. Exemple de pistes en un concurs de rastrejadors. Al final de la pista hi ha el detector d'arribada.



FIGURA 4. Combat de sumo en el campus nord de la UPC. Malgrat les pales desplegades, davant i darrere, el robot de la dreta ha estat sorprès pel flanc i és empès, sense pietat, pel seu contrincant.

per mitjà del Programa Ciència i Societat de la Direcció General per a la Recerca (<http://www.eurobot.dees.unict.it>).

Crec que val la pena destacar els objectius que es proposen els seus organitzadors: engrescar els joves estudiants a introduir-se en el món de la robòtica i de la tecnologia en general; sortir del laboratori i entrar en contacte amb un món real, amb els seus condicionants; aprendre a realitzar treballs tècnics, en un temps limitat i treballant en equip, tractant que tots puguin aportar el màxim; i treballar i competir en un entorn multinacional. També es busca difondre el coneixement científic entre el públic en general. Es tracta de motivar els participants a conèixer totes les possibilitats que ofereix la tecnologia, i de saber aplicar aquesta tecnologia amb eficàcia. Per aconseguir-ho, les regles del concurs varien cada any i tracten de maximitzar l'aplicació de solucions tècniques, així com la utilització de la fantasia i de la creativitat. Com a exemple tenim la prova d'aquest any: Funny Golf.

En un terreny de joc de 210×300 cm tenim distribuïts 14 forats envoltats per un cercle de color blau i 14 per un cercle de color vermell. En el camp hi ha, inicialment, 15 pilotes de ping-pong blanques i 10 de negres. A més tenim quatre disparadors que poden llançar pilotes blanques i negres (barrejades aleatòriament). Competeixen dos robots simultàniament i l'objectiu de cada un és, en 90 segons, col·locar el màxim nombre de pilotes blanques en

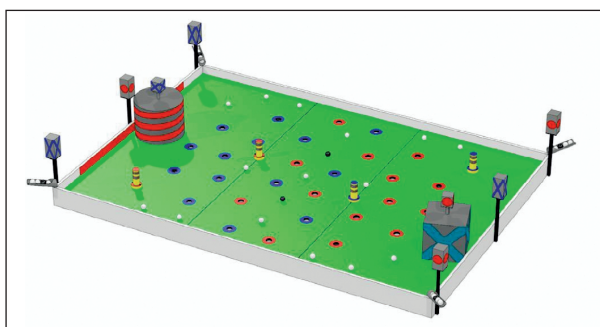


FIGURA 5. Esquema de la pista per al concurs Funny Golf d'Eurobot 2006.



FIGURA 6. Dos equips concursant a l'Eurobot 2006 (Catània, Itàlia).

els forats del seu color (sols cap una pilota a cada forat). Com a estratègia es poden ocupar els forats del contrincant amb pilotes negres. A més hi ha quatre tòtems, amb dos anells metàl·lics que poden ser curtcircuitats pels robots; en aquest cas el disparador associat al tòtem llançarà una nova pilota al terreny de joc. Per a la detecció de la posició del robot contrari i del propi robot es poden utilitzar balises, una col·locada sobre el robot contrari (figura 5).

Els robots han de ser autònoms i no es poden activar per control remot. El perímetre del robot durant el joc no pot superar els 140 cm. I la seva alçada no pot ser superior als 30 cm. Ah!, i a més han de treballar en un ambient en el qual hi poden haver interferències electromagnètiques, una forta il·luminació i condicions lumíniques variables en el temps i l'espai.

Si visiteu la web d'Eurobot, trobareu les regles de joc completes i fotografies de com va anar la competició (figura 6).

Consideracions

Aquestes activitats i els equips d'estudiants aficionats no són fruit de la casualitat; perquè les vocacions individuals es desperten i creixen cal que les universitats i centres formatius les acullin i promoguin. La figura del professor té

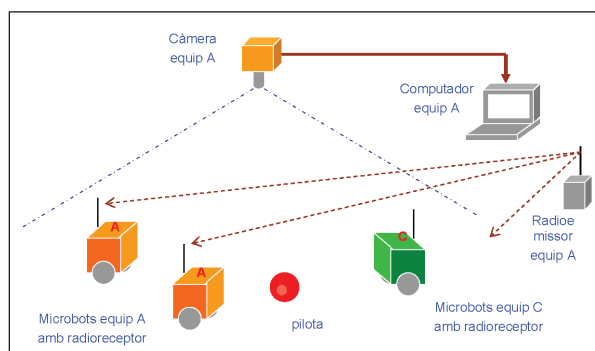


FIGURA 7. Esquema d'un equip de futbol. El computador rep la imatge del camp. Detecta la posició de cada jugador propi, de cada jugador contrari i de la pilota. Decideix l'estratègia a seguir. Envia les ordres corresponents a cada jugador del seu equip.

un paper important a jugar per tal de fer créixer tècnica-ment els estudiants, facilitar l'obtenció d'ajudes i suport i assegurar la disponibilitat d'una infraestructura per a dur a terme el disseny i la construcció dels robots.

Per arribar a certs nivells de tecnologia la infraestructura pot ser més costosa i els coneixements força elevats. Aquest és el cas de les competicions de futbol on s'utilitzen càmeres, eines potents de tractament d'imatge i ordinadors ràpids (vegeu la figura 5). A Catalunya, universitats com la de Girona o la Jaume I utilitzen aquestes competicions com una eina de formació i estímul per als seus estu-

dants, i són professors els que estimulen i donen suport als seus estudiants a fi que arribin tan lluny com siguin capaços. A més, en aquest cas, els costos d'equipament ja no són tan baixos si es volen assolir resultats decents (en la figura 7 hi ha l'esquema de funcionament d'un equip de robofutbolistes).

Per tot el que hem vist, considero molt rendible que les universitats promoguin aquest tipus d'activitats, amb professors engrescats, oferint tallers equipats i dedicant recursos per afavorir la participació en els concursos de més nivell. ■

ENTREVISTA A PAOLO DARIO

Josep Amat

Departament d'Enginyeria de Sistemes, Automàtica i Informàtica Industrial. Universitat Politècnica de Catalunya
Membre de l'IEC



Paolo Dario, nascut a Piombino, Itàlia, el 1951, és enginyer mecànic per la Universitat de Pisa (1977). Ha estat professor visitant a la Universitat Brown, als EUA, i a l'Acadèmia Sínica, a Pequín, guardonat a AIST, a Tsukuba, i professor convidat a l'École Polytechnique Fédérale de Lausana i visitant a la Universitat de Waseda, a Tòquio. Des de 1986 és professor de bioenginyeria a la Scuola Superiore Sant'Anna, de Pisa. El 1989 crea l'Advanced Robotics Technology and Systems Laboratory (ARTS), que compta actualment amb seixanta investigadors, i el 1991 el Microfabrication Technologies Laboratory (MiTech). La seva recerca actual abasta camps com la microenginyeria, la percepció artificial, aplicacions de la robòtica a la medicina i a l'espai. Ha estat guardonat amb premis molt reconeguts a escala internacional i té una gran implicació en diverses institucions científiques internacionals, principalment en el camp de la robòtica, en les quals té responsabilitat. És àmpliament reconegut per la seva recerca prolífica i de qualitat entre la comunitat internacional, principalment en el camp mèdic, tant en cirurgia com en neurorobòtica, i pel seu lideratge i capacitat formativa.

El professor Paolo Dario és el director d'un grup de recerca molt actiu i reconegut en enginyeria mèdica de la Scuola Superiore Sant'Anna, a Pisa, Itàlia. Els seus treballs són molt destacats especialment en el disseny de mans implantables que poden ser actuades a partir dels senyals obtinguts per les mateixes ordres que dona el cervell.

Atès l'interès que mereixen les possibilitats d'implantació de mans, braços o cames artificials, o les possibilitats d'aconseguir recuperar mobilitat en casos de lesions medul·lars, aprofitant una estada de treball del professor Dario a la UPC, li preguntem:

Com es va iniciar en aquest camp de la recerca, va ser per interès propi o els metges el varen anar a buscar per resoldre aquest tipus de problemes?

La veritat és que sempre he estat jo l'interessat en l'aplicació de l'enginyeria a la medicina. De fet jo vaig començar a estudiar medicina però vaig acabar titulat en enginyeria. Estava interessat en el desenvolupament d'òrgans artificials: cors, pulmons o el pàncrees. També em vaig interessar pels sensors, especialment els sensors de la pell: el tacte. I és a través del tacte que em començo a interessar per la robòtica. Sempre he cregut que la robòtica havia de tenir molta aplicabilitat a la medicina, i per això vàrem començar a desenvolupar la robòtica per a la medicina d'una forma sistemàtica, desenvolupant sistemes biorrobòtics no només com una aplicació, com és el cas de la percepció tàctil, sinó com un instrument científic per comprendre millor com funcionen els sistemes biològics.

En les pròtesis de mans, quins són actualment els problemes que encara cal resoldre?

En estudiar les possibilitats de desenvolupar pròtesis de mans amb capacitats tàctils, sempre vaig creure que no era possible, ni convenient, ni tampoc ecològic, utilitzar robots industrials. No existeix cap robot com una mà. Sempre he cregut que era molt interessant desenvolupar una mà robòtica com el mateix sistema biològic. Jo sempre he cregut que el problema principal era poder controlar aquesta mà amb el cervell.

Durant molts anys des del camp de la prostètica no es coneixia el de la robòtica, i es desenvolupaven sistemes molt simples, mans com una pinça, sense sensors. Aquests dos mons vivien separats.

Jo de fet vaig començar a experimentar els sensors tàctils per a una mà robòtica els anys 1982-1983, i ja en els anys 1985-1986 vaig començar a treballar en la regeneració nerviosa sobre determinats materials, per poder fer créixer nervis perifèrics amb la idea d'obtenir els senyals provinents del sistema nerviós que permetessin controlar una pròtesi i també per poder enviar senyals de la pell artificial al cervell. En aquells temps la tecnologia era encara imperfecta.

En els anys noranta, nosaltres, com també altres grups, desenvolupem ja sistemes amb aquesta connexió entre el sistema de control de la pròtesi i el sistema nerviós perifèric. En aquests moments nosaltres estem desenvolupant una mà amb destresa pròpia: s'està treballant en una mà que conté tots els seus elements integrats: la mecànica, els motors (que són els músculs), els sistemes de transmissió, els sensors, les bateries i les connexions amb els elèctrodes, i tot implantable. Es vol que aquesta mà sigui utilitzable i que l'usuari pugui agafar alguna cosa i que, amb els sensors utilitzats, la mateixa mà proporcioni al cervell de la persona amputada alguna percepció sobre l'objecte agafat.

Des del meu punt de vista, les perspectives per als propers anys són molt bones, tot i que el nombre d'amputats és reduït i el mercat és molt petit. Tot i això, actualment, amb les guerres aquest nombre creix, i molts d'ells són nord-americans. Per això als EUA s'està fent una important recerca en aquest camp, i per això crec que en els propers dos anys estarà desenvolupada una mà industrial molt millor que les actuals, i dintre de quatre anys aquesta mà estarà controlada directament pel cervell.

La meua resposta és que, efectivament, en els propers anys hi haurà el llançament d'aquest tipus de mans prostètiques.

I sobre les pròtesis inferiors, les cames, i més especialment per als lesionats medul·lars, hi ha les mateixes perspectives? O, des d'un altre punt de vista, cal renunciar a l'estimulació elèctrica dels músculs de les cames o cal seguir millorant les cadenes elèctriques que tant contribueixen a millorar la seva mobilitat i autonomia, o buscar altres alternatives tecnològiques?

Jo en aquests moments no treballo gaire en el camp de les pròtesis inferiors, però penso que, per a la major part de les persones paralizades, recuperar mobilitat a través de l'estimulació elèctrica no és la solució més acceptable. Però jo crec que amb aquesta tecnologia que estem desenvolupant per a les pròtesis superiors serà possible desenvolupar millores importants per a les pròtesis inferiors.

Una altra via és la dels exosquelets. Els exosquelets és una recerca molt important perquè hi ha tot un món, el de les persones grans. Les persones grans constitueixen un col·lectiu molt més important que el de les persones impossibilitades per traumatisme. La idea de potenciar la capacitat motora de les persones grans és ara una idea molt difusa, i és una solució molt sofisticada.

Voldria recordar que ara fa uns vint anys es va desenvolupar a França un projecte molt famós, el projecte Espartacus, que va originar molta polèmica, consistent a estimular elèctricament el propi esquelet, una idea del doctor Rabis-hong molt bona, però que va arribar massa aviat, era massa d'hora per poder ser realitzada.

Jo penso en una solució mixta, amb un exosquelet amb materials molt avançats, amb actuadors molt millors que els actuals, amb una estructura cinemàtica millor. Hi ha qui pensa, especialment els japonesos, que és possible una arquitectura dissenyada per ser muntada no com a exosquelet a fora, sinó a dins del cos, és a dir, no amb els motors a fora sinó a dins i amb el controlador a fora. De fet es tracta de substituir *de facto* les articulacions i posar el robot a dintre. És una idea que es pot considerar boja, però és una bona idea que podria resultar factible per a situacions greus. Per què no? Per què no creure que una persona parализada pugui arribar a ser moguda més fàcilment per un assistent amb un controlador extern i uns actuadors interns?

També s'ha desenvolupat un nou sistema de rehabilitació, per ajudar a tornar a caminar, el Lokomat, que ha assolit un gran èxit. És un exosquelet que es basa en la idea de la col·laboració entre la persona i la màquina. Jo penso que els sistemes mixtos són molt interessants, els que per una part es basen en el que fins fa poc es pensava, en sistemes de control extern basats en la interacció de la persona amb la màquina, en què la persona discapacitada controla ella mateixa la màquina en el límit en què intenta fer el moviment, i per altra part amb la idea que és el mateix cervell que mana, percep i que d'alguna forma considera la màquina com una part del propi cos.

Però els cotxets elèctrics són igualment importants, possiblement per a tots els discapacitats és un bon ajut una cadira elèctrica, cosa que no vol dir que no s'hagi de seguir treballant amb la idea de l'estimulació elèctrica, però amb una visió orientada cap a sistemes mixtos.

Per acabar, m'agradaria que ens donés la seva impressió sobre la recerca que es du a terme en alguns laboratoris sobre sistemes robòtics inspirats en la biologia, com els sistemes que emulen alguns animals o insectes. Aquesta recerca és d'un interès purament científic o tindrà també a curt o mitjà termini una aplicabilitat en medicina o en rehabilitació?

Quan es va començar a treballar en robòtica mèdica no es considerava una tasca fàcil i menys encara acceptable, i ara la utilització de robots en cirurgia ja és acceptable. De la mateixa manera, en un futur també serà acceptada la robòtica en neurorehabilitació i les aplicacions de la robòtica en rehabilitació seran molt importants. Els robots esdevindran uns companys de l'home i estaran integrats en tot el nostre entorn. Hi ha d'haver una col·laboració estretíssima entre la màquina i l'home; per a això la màquina ha de funcionar bé amb l'home, ha de conèixer molt bé l'home. Jo no dic que la màquina hagi de pensar com l'home, però ha

d'incorporar el coneixement sobre l'home, i per no produir danys hi ha d'haver un bon coneixement de la biomecànica. De la mateixa manera com una persona adulta mai farà mal a un nen petit, perquè sap que pot fer una cosa i no una altra. Per això la màquina ha de ser d'alguna manera dissenyada com l'home, i no com a còpia de l'home, i per a això cal estudiar la natura, els insectes o altres animals.

Jo penso que una altra gran perspectiva de la biorobòtica no és tant la construcció de màquines útils i amigables, sinó que fa falta anar a una nova generació de màquines que incorporin el coneixement bioenginyerístic de l'home, per fer unes màquines que esdevinguin quasi uns assis-

tents personals, i al mateix temps els robots es converteixin també en un instrument d'estudi del model del comportament i del funcionament de l'home, models que a la vegada han d'ajudar a perfeccionar noves màquines.

Com es veu, doncs, l'estudi de màquines inspirades en la biologia és un camp que ha de ser la base per al desenvolupament de noves màquines que ens ajudin a millorar la qualitat de vida de moltes persones, i desitgem al professor Dario que pugui seguir treballant molts més anys amb la mateixa eficàcia, perquè aquestes fites esdevinguin una realitat més propera. ■

ACTUALITAT

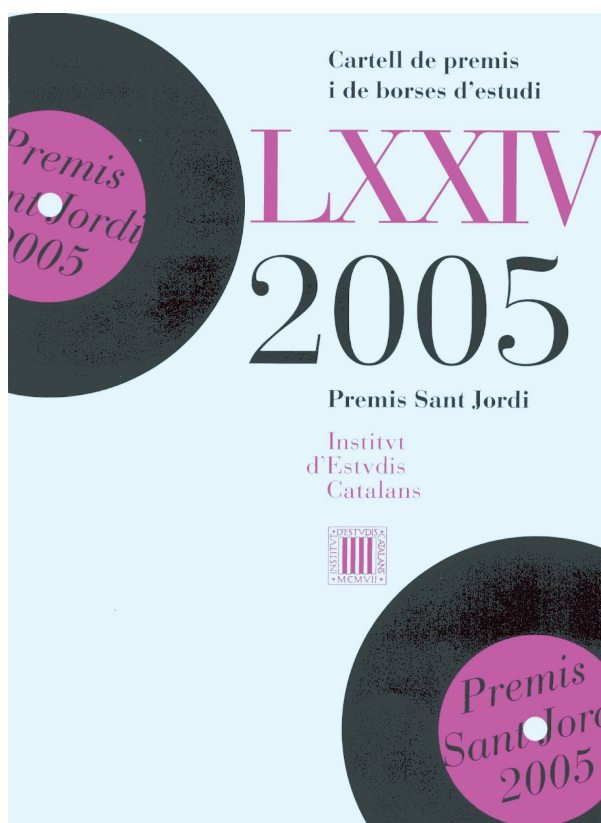
Conferències organitzades per la Societat Catalana de Tecnologia

- Federico LUQUE I CARRILLO, professor de tecnologia d'educació secundària i membre del grup de recerca DiM de la UAB: «*e-learning* amb Moodle. Un campus virtual d'aprenentatge». Institut d'Estudis Catalans, 14 de setembre de 2004.
- Adrián GONZÁLEZ PARADA, del Departament d'Enginyeria Elèctrica de la UPC: «Estado de la tecnología de cables superconductores para distribución de energía eléctrica». Institut d'Estudis Catalans, 10 de novembre de 2004.
- Albert CUSPINERA, enginyer elèctric, IMI NORGREN, SA: «Vitalitat de la pneumàtica a la indústria actual». Escola d'Enginyeria Industrial, 1 de desembre de 2004.
- Arun NAIK, de l'Institut d'Investigació Tèxtil i Cooperació Industrial: «Nanotecnologia aplicada a la indústria tèxtil». Institut d'Estudis Catalans, 2 de desembre de 2004.
- Francisca GUEROLA, de l'IES Celestí Bellera de Granollers: «Fem-ho possible: instal·lació solar fotovoltaica en un centre d'ensenyament». Institut d'Estudis Catalans, 15 de desembre de 2004.
- Jordi LLUMÀ I FUENTES, professor associat del Departament de Ciència dels Materials i Enginyeria Metal·lúrgica de la UPC: «El projecte de cotxe de baix consum de l'EUETIB». Escola Universitària d'Enginyeria Tècnica Industrial, 13 de gener de 2005.
- Violeta GRÀCIA I DÍAZ, investigadora del Departament d'Enginyeria de la Construcció a la Universitat Politècnica de Catalunya: «Aprofitament del sofre per a la fabricació de formigons. Una proposta sostenible». Institut d'Estudis Catalans, 3 de març de 2005.
- Roser CUSSÓ CALABUIG, professora de l'IES Príncep de Viana: «La tecnologia a l'ESO. L'experiència de l'IES Príncep de Viana». Institut d'Estudis Catalans, 7 d'abril de 2005.
- Josep Anton FERRÉ VIDAL i Gabriel USERA, de la Universitat Rovira i Virgili: «Velocímetre mitjançant desplaçament de partícules (Particles Image Velocimetre)». Escola d'Enginyeria Industrial de Barcelona, 13 de maig de 2005.
- Xavier DIES LLOVERA, catedràtic d'universitat del Departament de Física i Enginyeria Nuclear de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona: «Estat actual de l'energia nuclear». Institut d'Estudis Catalans, 26 de maig de 2005.
- Pere ROCA I FABREGAT, catedràtic del Departament d'Enginyeria de la Construcció de la Universitat Politècnica de Catalunya: «Estudi de l'estructura de la catedral de Mallorca. La relació entre la investigació històrica i l'anàlisi resistent». Institut d'Estudis Catalans, 28 de juny de 2005.
- M. Clara TORRENS, responsable de les relacions internacionals del programa INNOVA de la Universitat Politècnica de Catalunya: «Una aproximació a la creació d'empreses i el desenvolupament sostenible: el projecte FORCREST». Institut d'Estudis Catalans, 4 d'octubre de 2005.
- Josep SAMITIER, catedràtic de la Universitat de Barcelona i vicerector de Política Internacional d'aquesta Universitat: «Nanorobòtica i nanomedicina. Aplicacions de les nanotecnologies a l'àmbit de la salut». Institut d'Estudis Catalans, 13 de desembre de 2005.
- Josep M. CANAL ARIAS, catedràtic d'universitat. Departament d'Enginyeria Tèxtil i Paperera de la Universitat Politècnica de Catalunya: «Indústria tèxtil: línies d'innovació». Institut d'Estudis Catalans, 11 de gener de 2006.
- Xavier ROSELLÓ I MOLINARI, doctor enginyer industrial, professor associat de l'ETSEIB de la UPC i director tècnic adjunt de l'Autoritat del Transport Metropolità: «El procés d'integració tarifària del transport públic a la regió». Institut d'Estudis Catalans, 23 de febrer de 2006.
- Raimon JANÉ, investigador de la UPC i coordinador del programa de doctorat en enginyeria biomèdica de la UPC: «Anàlisi i interpretació de senyals biomèdics. Aportacions de l'enginyeria biomèdica al diagnòstic i al monitoratge». Institut d'Estudis Catalans, 6 d'abril de 2006.
- Vicenç OLIVELLA I BLANCO i Jordi POU I PRATDESABA, enginyers industrials: «La propulsió elèctrica en motors submergits. Cas particular de 200 N de propulsió nominal A». Facultat de Nàutica de la UPC, 20 d'abril de 2006.
- Joan ANTÓ I ROCA, professor de la UPC i antic director tècnic de TELSAR, SA: «Instrumentació òptica aplica-

- da a l'enginyeria mecànica». Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona, 28 d'abril de 2006.
- Martí ROSAS CASALS, enginyer industrial del Departament de Màquines i Motors Tèrmics de la UPC: «El transport d'energia elèctrica, complexitat i apagades». Institut d'Estudis Catalans, 22 de juny de 2006.

Convocatòria de premis

PREMI PER A ESTUDIANTS DE LA SOCIETAT CATALANA DE TECNOLOGIA DE L'INSTITUT D'ESTUDIS CATALANS



La SCT, dins el marc de premis per a estudiants de l'Institut d'Estudis Catalans, convoca anualment el premi instituït l'any 1969. Enguany es convoca per trenta-setena vegada.

El premi està destinat a reconèixer un treball d'investigació, bibliogràfic o d'assaig sobre tecnologia. El treball ha d'ésser redactat en català i elaborat abans d'aquesta convocatòria. No es podran considerar treballs ja premiats anteriorment o subvencionats per l'Institut o un altre institució.

Poden prendre part en aquesta convocatòria estudiants universitaris i persones titulades des de l'1 de gener de 2003. La dotació del premi és de 600 €. Es poden concedir fins a dos accessits.

Termini d'entrega de la documentació: desembre de 2007

Lliurament dels premis: abril de 2008

Per a més informació: <http://www.iec.cat>

El Premi per a estudiants de la Societat Catalana de Tecnologia 2006 s'ha atorgat al treball «Obtenció de guies d'ona òptiques amb nucli buit basades en silici», del senyor Víctor Javier Cadarso Busto.

8è PREMI UPC DE CIÈNCIA I TECNOLOGIA PER A ESTUDIANTS DE BATXILLERAT



La Universitat Politècnica de Catalunya, amb el suport del Consell Social de la UPC, convoca el 8è Premi UPC de Ciència i Tecnologia amb l'objectiu de potenciar l'interès dels alumnes de secundària per les àrees de la ciència i de la tecnologia i incentivar la tasca educativa que es porta a terme als centres de secundària en aquest àmbit. Es valoraran els treballs de recerca que incorporin millor els valors de la sostenibilitat, en la concepció i el desenvolupament del projecte.

S'atorgaran premis als qui presentin els millors treballs de recerca de batxillerat de les modalitats de tecnologia o de ciències de la naturalesa i de la salut, en els vessants de les ciències aplicades que tinguin continuïtat en els estudis de la Universitat Politècnica de Catalunya i que tinguin en compte aspectes relacionats amb la sostenibilitat.

Aquesta convocatòria s'adreça a l'alumnat de segon de batxillerat de Catalunya. Els premis són un ordinador personal per al guanyador o guanyadora i un altre per al tutor o tutora del treball, així com quatre beques per als estudis

de la UPC als quatre finalistes. A més, tots els participants seran obsequiats amb una entrada al Museu de la Ciència i de la Tècnica.

Termini d'entrega de la documentació: maig de 2007

Lliurament dels premis: juny de 2007

Per a més informació: Pla de Promoció dels Estudis de la Universitat Politècnica de Catalunya

Tel. 934 011 662

<http://www.upc.edu/acces>

pla.promocio@upc.es

Els premis atorgats el 2006 van ser:

Primer premi: «El renéixer de la Tordera. Estudi de l'estat ecològic d'un transecte del curs alt de la Tordera», realitzat per Rubén Correa Soler. Tutores del treball: M. Josep Oro i Ana Isabel Díaz, de l'IES L'horitzó.

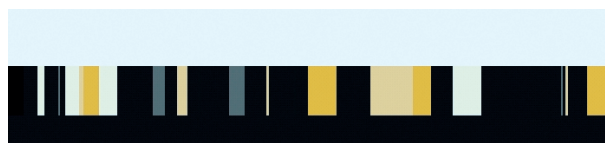
Primer finalista: «Una realitat accessible aplicada a l'arquitectura», realitzat per Meritxell Perxachs Vide. Tutora del treball: Carme Figuerola, de l'IES Isaac Albéniz.

Segon finalista: «Els Visió de futur: mòdul habitable mínim sostenible», realitzat per Maria Elena Domínguez Sevilla i Ana Rodríguez Palmeiro. Tutor del treball: Josep M. Funes, de l'IES Francesc Ferrer i Guàrdia.

PREMIS DE LA FUNDACIÓ EPSON

La Fundació Epson – Institut de Tecnoètica es va crear l'any 1998 amb la finalitat d'unir desenvolupament tecnològic i valors ètics. Entre altres activitats, la Fundació Epson convoca anualment els tres premis que es detallen a continuació:

Premis José Cantero



Es convoca la vuitena edició dels premis José Cantero als millors treballs de batxillerat i cicles formatius de grau superior en l'àmbit de les tecnologies i el seu impacte en la societat.

Els premis José Cantero es concediran als treballs realitzats per alumnes entre setze i vint-i-tres anys que cursin batxillerat o cicles formatius de grau superior. Els treballs podran ser individuals o d'un màxim de tres autors. El premi també reconeixerà la tasca dels tutors i el suport del centre en la realització del treball.

Poden ser de tipus pràctic, experimental o d'investigació. Poden correspondre a qualsevol àmbit de la tecnologia o bé consistir en una reflexió sobre el seu impacte social. Hauran de ser inèdits i no premiats en altres concursos.

Es concediran cinc premis que consistiran, cadascun, en

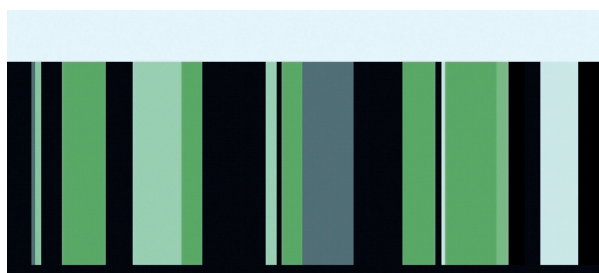
un lot de material informàtic valorat en 1.230 € i que es distribuïran entre l'autor o autors, el tutor o tutors i el centre.

Calendari: Publicació oficial de la convocatòria: setembre de 2007

Termini d'entrega de la documentació: abril de 2008

Notificació del jurat: maig de 2008

Premis Rosina Ribalta



Es convoca la novena edició de premis Rosina Ribalta, dirigits als millors projectes de tesis doctorals en l'àmbit de les tecnologies de la informació i la comunicació.

Es concedeixen dos premis, de 12.000 € i 6.000 €, respectivament, que estan adreçats a doctorands que encara no hagin llegit la tesi, de qualsevol universitat espanyola o portuguesa.

Calendari: Publicació oficial de la convocatòria: setembre de 2007

Termini d'entrega de la documentació: febrer de 2008

Notificació del jurat: maig de 2008

Premi d'assaig Eusebi Colomer



Es convoca la setena edició del premi Eusebi Colomer, destinat a premiar el millor assaig sobre aspectes socials, antropològics, filosòfics o ètics relacionats amb la nova societat tecnològica.

Les obres han de ser originals i inèdites, escrites per un sol autor, en qualsevol de les llengües de l'estat espanyol o portuguès, i no premiades en altres concursos. La dotació del premi és de 6.000 €.

Calendari: Publicació oficial de la convocatòria: setembre de 2007

Termini d'entrega de la documentació: març de 2008

Notificació del jurat: maig de 2008

Per a més informació sobre aquests tres premis: <http://www.fundacion-epson.es>

PREMIS VICTORIANO MUÑOZ OMS

Dintre de les activitats de formació a realitzar a través de la Càtedra Victoriano Muñoz Oms, anualment es convoca el Premi VMO dirigit als millors treballs acadèmics relacionats amb els valors humans en enginyeria.

Va dirigit a estudiants de les diferents titulacions que s'imparteixen en centres propis o adscrits de la UPC, i que donin una visió transversal de la formació assolida. Es concedeixen tres premis de 1.300 €, 900 € i 500 €.

El termini de presentació dels treballs per accedir a la convocatòria del 7è Premi Victoriano Muñoz Oms és l'octubre de 2007.

Per a més informació: <http://www.catedravmo.org>

PREMIS BONAPLATA JOVES

Els premis Bonaplata per a joves pretenen fomentar l'esperit de recerca entre les capes joves de la població. Recerca en els camps de l'arqueologia industrial, la història industrial i l'antropologia històrica de la industrialització de la societat catalana. Enguany es celebra la desena convocatòria.

Els participants poden ser equips reduïts de joves (en cap cas superiors a cinc persones) o individuals, amb edats compreses entre els setze i els divuit anys. En el cas que se segueixin estudis reglats corresponents als nivells educatius de primer i segon de batxillerat i de cicles formatius d'ensenyament professional, s'hi podrà participar independentment de l'edat que es tingui.

Es premiaran els millors treballs tenint en compte les condicions de l'apartat 2 i l'esforç dels participants amb relació a l'edat i al curs o nivell d'estudis. Es concediran un màxim de tres premis que consistiran en una dotació econòmica de 600 € cadascun.

Termini d'entrega de la documentació: juny de 2007

Notificació del jurat: desembre de 2007

Per a més informació: <http://www.amctaic.org/index2.html>

PREMI JOAQUIM TORRENS-IBERN

Premi que es convoca anualment, instituït l'any 1977. Ofert al millor lèxic científicotècnic o al millor treball sobre terminologia científicotècnica.

La dotació del premi, que aporta la Fundació Torrens-Ibern, és de 3.000 €.

Vegeu l'adreça:

<http://www.torrens-ibern.org/>

VI CERTAMEN ARQUÍMEDES

El certamen universitari Arquímedes, convocat per la Direcció General d'Universitats del Ministeri d'Educació i Ciència, pretén fomentar l'esperit científic entre els estudiants de les universitats espanyoles.

L'objectiu d'aquest certamen és premiar els estudiants universitaris que hagin desenvolupat idees originals que contribueixin al desenvolupament de la investigació científica a la comunitat universitària espanyola.

Termini d'entrega de la documentació: agost de 2007

Per a més informació: <http://www.mec.es>

Jornada sobre educació

2as Jornadas de Innovación en Educación Tecnológica



Durant els mesos de febrer i març del 2006 es van dur a terme les 2as Jornadas de Innovación en Educación Tecnológica, on es van tractar diversos temes relacionats amb l'educació, com ara la *situació actual* de l'educació tecnològica que es va implantar ara fa 8-12 anys, els *currículums* de l'àrea de tecnologia dins de l'ESO i de les matèries tecnològiques del batxillerat, la configuració de la modalitat de ciències i tecnologia en el batxillerat, la *metodologia*, la identificació de les necessitats específiques d'aquesta àrea d'ensenyament, etc.

A la pàgina web <http://www.sialatecnologia.org/IIJJIIET.php> es recullen una sèrie de propostes que tenen com a objectiu millorar la qualitat de la formació tecnològica en totes les etapes educatives, tenint en compte les necessitats específiques de la societat actual.

EL RALLI SOLAR PHEBUS 2006: GIRONA - TOLOSA DE LLENGUADOC (320 KM)

Patrick Renau i Meier

Enginyer industrial. President de l'associació promotora del vehicle elèctric Volt-Tour

L'Associació Volt-Tour, associació que es dedica des de l'any 2000 a la divulgació i promoció del vehicle elèctric i a fer-ne recerca i desenvolupament, ha organitzat enguany el ral·li solar Phebus entre Girona (Catalunya) i Tolosa de Llenguadoc (Occitània).

1. Objectiu

Són ben coneguts els problemes mediambientals que el nostre model energètic actual, insostenible, està ocasionant. Pel que fa al consum energètic en el transport, la recerca d'una major eficiència energètica i la reducció dràstica dels actuals elements contaminants són els eixos bàsics en què la nostra societat ha de treballar en l'avenir.

En aquest sentit, i cada vegada amb més insistència, les empreses del sector de l'automoció (un dels majors responsables) intenten trobar motors més optimitzats. Però les millores tecnològiques del model actual d'automoció no són suficients. Cal tenir uns objectius més ambiciosos i cercar alternatives reals per tal de poder atansar-nos més ràpidament a un model de transport més sostenible.

S'entén per vehicle elèctric aquell que empra un motor elèctric per fer els desplaçaments. Són vehicles que s'anomenen *d'emissió local zero* perquè quan circulen no emeten fums ni fan soroll, independentment de l'origen de la font d'energia emmagatzemada en el vehicle.

Amb l'objectiu d'avançar cap a l'ús de les energies renovables, des de fa anys s'està promovent un ral·li solar en què els vehicles, a mesura que sigui possible, emmagatzemin l'energia renovable del sol per fer els desplaçaments.

2. Precedents

Aquest projecte tecnològic i transfronterer és fruit d'anteriors projectes en què les dues associacions organitzadores (Phébus-Ariège i Associació Volt-Tour) ja han col·laborat intensament.

1) Ral·li Phebus 2000 (Mirepoix - Tolosa de Llenguadoc), organitzat per l'associació Phébus-Ariège.

2) Ral·li Phebus 2001 (Font-romeu - Tolosa de Llenguadoc), organitzat per l'associació Phébus-Ariège.

3) Ral·li Solar 2002 (Barcelona - Sant Cugat), organitzat per l'associació Volt-Tour.

4) Ral·li Phebus 2002 (Font-romeu - Tolosa de Llenguadoc), organitzat per l'associació Phébus-Ariège.

5) Ral·li Phebus 2004 (Puigcerdà - Tolosa de Llenguadoc), organitzat per l'associació Phébus-Ariège i l'associació Volt-Tour.

6) Ral·li Phebus 2005 (Figueres - Tolosa de Llenguadoc), organitzat per l'associació Phébus-Ariège i l'associació Volt-Tour.

3. Ral·li solar Phebus 2006

Objectiu

La finalitat del ral·li és posar a prova tot tipus de vehicles (de sèrie o prototips) d'emissió local zero emprant bàsicament la tracció elèctrica. Hom pretén fomentar que l'energia a bord consumida pel vehicle provingui d'energies renovables. És un ral·li més divulgatiu que competitiu i vol aportar a la societat catalana un saber fer (*know-how*) propi sobre la R+D d'aquests vehicles. L'objectiu és acostar a l'opinió pública un major coneixement sobre els avantatges i els inconvenients dels vehicles elèctrics.

Programa 2006: Girona - Tolosa de Llenguadoc

Dimecres 31 de maig: arribada dels vehicles participants a Girona

Dijous 1 de juny: Girona - Vilafant

Divendres 2 de juny: Els Angles - Font-romeu - coll de Pimorent

Dissabte 3 de juny: Aigües Vives - Mirepoix

Diumenge 4 de juny: Mirepoix - Tolosa de Llenguadoc

Dilluns 5 de juny: circulació per dins de la vila de Tolosa de Llenguadoc.

Euroregió i l'agermanament cultural

El ral·li traspasa la frontera entre Espanya i França. Simbolitza l'agermanament de dos pobles (Països Catalans i Occitània) amb arrels històriques i culturals comunes, atès que en els darrers segles els actuals estats que els representen han girat l'esquena a aquesta realitat. A través d'aquesta aposta en la recerca d'un transport més sostenible es pretén també retrobar aquestes dues cultures (l'occitana i la catalana).

El suport institucional

Enguany l'Ajuntament de Girona, l'Ajuntament de Vilafant i el Departament de Medi Ambient i Habitatge (DMAH), a través de la Caixa Laietana, donen suport al ral·li solar Phebus en el traçat per terres sud-catalanes.

Pel que fa a la banda sud-francesa (occitana), les institucions que donen suport al ral·li són el Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) i l'Escola d'Enginyers Industrials INP ENSEEIHT, i l'organització és dirigida per l'associació Phébus-Ariège.

Enguany hi ha un total de vint-i-tres equips participants d'arreu del món (Alemanya, França, Austràlia, Suïssa i Luxemburg). En l'annex a l'article podeu veure la llista oficial de participants inscrits, el país d'origen, el tipus de vehicle i algunes de les seves característiques.

De vehicles participants provinents de Catalunya, n'hi ha una desena, encara que no tots els participants inscrits al final han pogut venir a la sortida del ral·li.

El ral·li Phebus es caracteritza per no tenir un guanyador únic perquè no es tracta d'un ral·li competitiu sinó d'un ral·li divulgatiu, on cadascú pot mostrar les possibilitats i prestacions del seu vehicle. A Tolosa de Llenguadoc, per tant, tothom ha rebut un reconeixement pel seu esforç.

De totes maneres, el premi més important l'ha rebut el participant alemany Joachim Kamm, que amb el seu cotxe



El cotxe guanyador al coll de Pimoret, 1.915 metres, construït fa quinze anys.

solar construït gairebé ja fa quinze anys i que ha participat en moltes edicions del ral·li solar suís alpí (Tour de Sol 1985-1993) ha mostrat gran habilitat i bona gestió de l'energia en reptes tan importants com superar el coll de Pimoret (1.915 m).

La notícia trista del ral·li és que el vehicle solar favorit, Aurora, d'Austràlia, (<http://www.aurorasolarcar.com>), es va cremar totalment en la primera etapa del ral·li, entre Girona i Vilafant. Sembla que portava bateries d'ió liti-polímer, que es van incendiar. Els australians, tot i perdre el seu vehicle proveït de components de molt alta tecnologia, varen mostrar una gran capacitat de reacció i esperit de superació. S'adjunta la foto que els mateixos australians varen voler mostrar als altres equips i a l'organització en què es veu una caixa vermella amb els restes del vehicle solar i la bandera australiana, així com les restes del vehicle.

Els australians es varen quedar i van continuar tot el ral·li fins a Tolosa donant suport als participants.

Un altre participant interessant a destacar va ser la furgoneta elèctrica Piaggio de la Universitat Autònoma de



Imatges del cotxe cremat i de les restes a la caixa amb la bandera.



Barcelona (UAB). És la primera vegada que una universitat catalana participa en el ral·li amb un vehicle utilitari elèctric que utilitzen ells mateixos per a les mobilitats internes del campus.

Més informació

La pàgina web oficial (en francès, català i anglès) és <http://rallyesolaire.free.fr>. En aquesta web s'actualitzen totes les informacions sobre l'evolució del ral·li, així com també fotografies de les altres edicions. També podeu trobar més

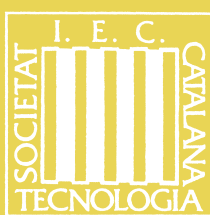
informació sobre els vehicles elèctrics en general en les pàgines web següents: <http://www.voltour.net> i <http://www.electromobil.net>.

4. Expectatives

L'any que ve està previst organitzar un altre cop el ral·li solar Phebus entre Girona i Tolosa de Llenguadoc. El recorregut encara està per definir; s'estan estudiant dues opcions, l'eix Girona-Perpinyà o bé Girona-Olot-Puigcerdà, amb final de ral·li a Tolosa com cada any. ■

TAULA 1
Participants al ral·li solar Phebus Girona 2006

Classificació	Persones	Nom vehicle	Tipus vehicle	Nom equip	Població	Tipus matriculació	Prestacions		
							Pes (kg)	V. màx. (km/h)	Autonomia (km)
Sunracers	—								
1	6	Solehada	prototip solar	Stephan Astier	Tolosa (F)	placa francesa prototip	120	90	250
2	1	Helix	prototip solar	Joachim Kamm	Stuttgart (D)	placa francesa prototip	140	120	300
3	2	HelioDet	prototip solar	Detlef Schmitz	Munic (D)	placa francesa prototip	160	70	200
4	7	HeliosLille	prototip solar	Alexandre Pourier	Lille (F)	placa francesa prototip	100	80	250
5	6	Aurora	prototip solar	David Fewchuk	Austràlia (AUS)	placa francesa prototip	130	110	400
6	8	Despertaferro	prototip solar	Ricard Bosch	Barcelona (CAT)	placa francesa prototip	140	90	200
Escúters de dues rodes	—								
7	1	Mobileco 1	escúter elèctric	Jean-Pierre Texier	St Aubin Médoc (F)	matrícula francesa	40	40	50
8	1	Mobileco 2	escúter elèctric	Jean-Pierre Texier	St Aubin Médoc (F)	matrícula francesa	40	40	60
9	1	Patinet Aleix	patinet elèctric	Aleix Layola	Barcelona (CAT)	no és procedent	15	25	20
Vehicles de dues rodes amb assistència muscular	—								
10	1	SIE	bicicleta elèctrica	Roger Layola	Barcelona (CAT)	no és procedent	10	30	80
11	2	Selectric	bicicleta elèctrica	François Guerbet	Versailles (F)	no és procedent	10	30	40
12	1	Bicicleta elect	bicicleta elèctrica	Xavier Masvidal	Barcelona (CAT)	no és procedent	10	30	40
13	1	Roller System	bicicleta elèctrica	Rochier Dominique	Biganos (F)	placa francesa prototip	40	60	60
14	1	DAVI	bicicleta elèctrica	J. Tejedor Garcia	Alcamices (E)	no és procedent	10	30	30
Cotxes amb assistència muscular	—								
15	3	Twike	tricicle elèctric	Francesc Baselga	Barcelona (CAT)	matrícula espanyola	90	90	70
16	2	Twike	tricicle elèctric	Thomas Bechtiger	Suïssa (CH)	matrícula suïssa	90	90	70
Cotxes elèctrics	—								
17	1	Elektrika (IT)	cotxe elèctric	Dietrich Koch	Mettingen (D)	matrícula alemanya	200	80	80
18	3	Piaggio electric	furgon. elèctrica	Anna Florensa	Barcelona (CAT)	matrícula espanyola	350	70	80
19	1	Renault Kangoo	cotxe elèctric	Lennart Hellberg	Luxemburg (LUX)	matricula lux.	400	70	150
Prototipus autoconstrucció	—								
20	1	Electromobil	tricicle elèctric	Patrick Renau	Barcelona (CAT)	placa francesa prototip	80	60	110
21	3	Sinclair	bicicleta elèctrica	Felix Gallego	Tarragona (CAT)	no és procedent	40	25	30
22	1	Bitron	tricicle elèctric	Lluís Borbancho	Barcelona (CAT)	placa francesa prototip	50	50	50
23	3	Mini-el (Intiam)	tricicle elèctric	Pere Soria	Barcelona (CAT)	placa francesa prototip	50	40	50



IECentanys19072007