

Aquest article és el guanyador del premi de comunicació científica Joan Lluís Vives, en la modalitat de ciències bàsiques, ciències de la salut, enginyeries i arquitectures.

L'autor explica un projecte europeu per dissenyar un sistema alternatiu de comunicació per a persones amb impediments motrius greus.

Una finestra oberta al món

Les persones amb impediments motrius greus són un col·lectiu nombrós que es troba amb molts obstacles a la societat actual per interrelacionar-se amb el món en què vivim.

Durant els últims sis anys he dedicat tots els meus esforços i coneixements a un apassionant projecte europeu en el qual hem dissenyat un sistema alternatiu de comunicació i control per obrir una finestra al món per a persones que pateixen impediments motrius greus.

Aquests sistemes es coneixen al món científic com a interfícies cervell-ordinador (*brain-computer interfaces*, en anglès) i permeten a una persona poder-se comunicar amb un sistema artificial fent servir únicament i exclusivament el seu pensament.

El títol de la meua tesi doctoral és *EEG-based Analysis for the Design of Adaptive Brain Interfaces*, això és, *Anàlisi del senyal EEG (electroencefalograma) pel disseny d'interfícies cerebrals adaptables*, i descriu amb profunditat com dissenyar una interfície cervell-ordinador.

Dues persones mundialment conegudes que, malgrat els seus impediments motrius, lluiten amb tots els mitjans al

seu abast per comunicar-se i relacionar-se amb la societat són el professor Stephen Hawking i l'actor Christopher Reeve.

Es calcula que, a Europa i als Estats Units, hi ha un total de quatre milions de persones afectades pels cinc tipus d'impediments motrius greus més freqüents: l'esclerosi lateral amiotròfica, la paràlisi cerebral, l'esclerosi múltiple, les lesions medul·lars, i les atrofies a l'espina dorsal. La incidència més important es troba en les paràlisis cerebrals i les esclerosis múltiples, amb un total estimat de més d'1,5 milions i d'1 milió de persones, respectivament, a tot el món.

La paràlisi cerebral és la malaltia que ens afecta més sensiblement pel fet que incideix principalment sobre els nens. Si la lesió es troba localitzada a les àrees motrius cerebrals, impedeix al nen comunicar-se per la impossibilitat de moure voluntàriament els múscles del seu cos i, per tant, limita directament el seu desenvolupament com a persona.

En tots els textos i articles que he redactat en la meua carrera professional he evitat sempre l'ús de la paraula "incapacitat" per la connotació negativa que té per a molta gent, incloent-hi el



JORDI PLAY

mateix afectat, la qual va malauradament més enllà de la que realment hauria de tenir. Acostumo a referir-me a persones amb "impediments motrius greus" ja que la seva patologia no els incapacita per fer moltes de les activitats que són a l'abast de les persones que no pateixen aquesta mena d'impediments.

Les interfícies cervell-ordinador. Quan es parla d'aquesta tecnologia és molt normal que, en un principi, a la gent li sembli ciència-ficció, però és una tecnologia real, que ja existeix i que té un futur molt prometedor. Una interfície cervell-ordinador és un sistema de comunicació que no depèn de les vies de sortida normals que van des del cervell –vies eferents– fins als nervis i músculs perifèrics. Aquesta definició es va fer a la Primera Reunió Internacional sobre la Tecnologia de les Interfícies Cervell-Ordinador, que va tenir

lloc a l'Institut Rensselaerville (Nova York) al juny del 1999.

Les interfícies cervell-ordinador només requereixen que les persones siguin conscients dels seus pensaments o d'una part d'aquests. Encara és més, no cal ni tan sols que tot el cervell funcioni perfectament. Sempre que la persona sigui conscient del control d'un nombre molt petit d'estats mentals, la interfície farà la resta i permetrà a aquesta persona comunicar-se completament i plenament amb al món exterior.

L'adquisició del senyal cerebral pot fer-se mitjançant dos procediments: amb elèctrodes distribuïts a la superfície del cap o amb elèctrodes implantats a sobre del còrtex cerebral. Les nostres investigacions, així com les de la majoria dels grups de recerca, es basen en sistemes estandarditzats d'adquisició que no requereixen implants cerebrals.

L'usuari de la interfície pot generar el senyal cerebral seguint dues estratè-

Josep Mourino, autor d'aquest article, treballa, des de fa sis anys en aquest projecte que vol oferir un sistema alternatiu de comunicació a aquells malalts afectats per persones que tenen impediments motrius greus.



JOSEP MOURINO

Mitjançant diverses accions cerebrals molt senzilles, com ara les ordres de moure la mà cap a la dreta o cap a l'esquerra, es fa anar el cursor en aquella direcció. Pot semblar paradoxal que persones paraltzades per una malaltia puguin realitzar aquestes accions, però no els suposen cap esforç.

gies: en primer lloc, la generació espontània i voluntària del senyal EEG (electroencefalograma) associat a una sèrie d'estats mentals, o, en segon, la generació de potencials evocats sobre la persona segons l'aplicació concreta que es vol controlar. La nostra recerca s'ha centrat en el primer tipus de senyal perquè dóna a l'usuari un major grau de llibertat.

Independentment del senyal adquirit, el sistema ha de reconèixer la informació d'interès amagada en aquest senyal per executar l'ordre corresponent sobre l'aplicació concreta que la persona estigui operant en aquell moment.

Per exemple, imaginem el cas general en el qual una persona vol controlar el ratolí d'un ordinador mitjançant una combinació d'estats mentals. Per a aquest efecte, la interfície només hauria d'identificar cinc estats mentals diferents que la persona generarà de manera voluntària segons la direcció o acció que vulgui emprendre. És a dir, un estat mental portarà el punter del ratolí cap amunt; un segon estat mental el portarà avall; un tercer, a l'esquerra; un quart, a la dreta, i finalment, un cinquè farà el clic sobre l'opció desitjada.

Els estats mentals. El cervell humà és, sense cap mena de dubte, l'estructura més complexa coneguda en tot l'univers. Explicarem, de manera molt general, el funcionament intern del cervell, per tal de saber quins són els estats mentals que hem esmentat prèviament i que ens permeten controlar la interfície.

El nostre cervell és estructurat en dos hemisferis, cadascun dels quals és físicament la imatge especular de l'altre. Si un dels hemisferis es perdés en les etapes inicials de la nostra existència, l'altre podria cobrir perfectament les necessitats dels dos.

Cada meitat del cervell adult té els seus potencials i les seves limitacions, les formes particulars de processar la informació i les seves habilitats especials. Cada hemisferi (el dret i l'esquerra) controla la part oposada del cos, és a dir, la nostra part dreta és controlada per l'hemisferi esquerre, i a la inversa. Cada una de les regions cerebrals en

què es troba dividit cada hemisferi està especialitzada en una funció concreta. Per exemple, el còrtex motor ajuda a controlar conscientment el moviment, així com l'hipocamp ho fa amb la memòria.

El cervell humà és constituït d'uns 100 bilions de neurones (amb una variació d'un factor 10). La principal diferència respecte al cervell de la resta d'animals es troba en l'àrea més superficial o neocòrtex, la qual és constituïda per uns 30 bilions de neurones, cada una de les quals estableix unes 2.000 sinapsis o connexions neurals, la qual cosa significa un circuit neural format per un total de... 60 trilions de connexions!

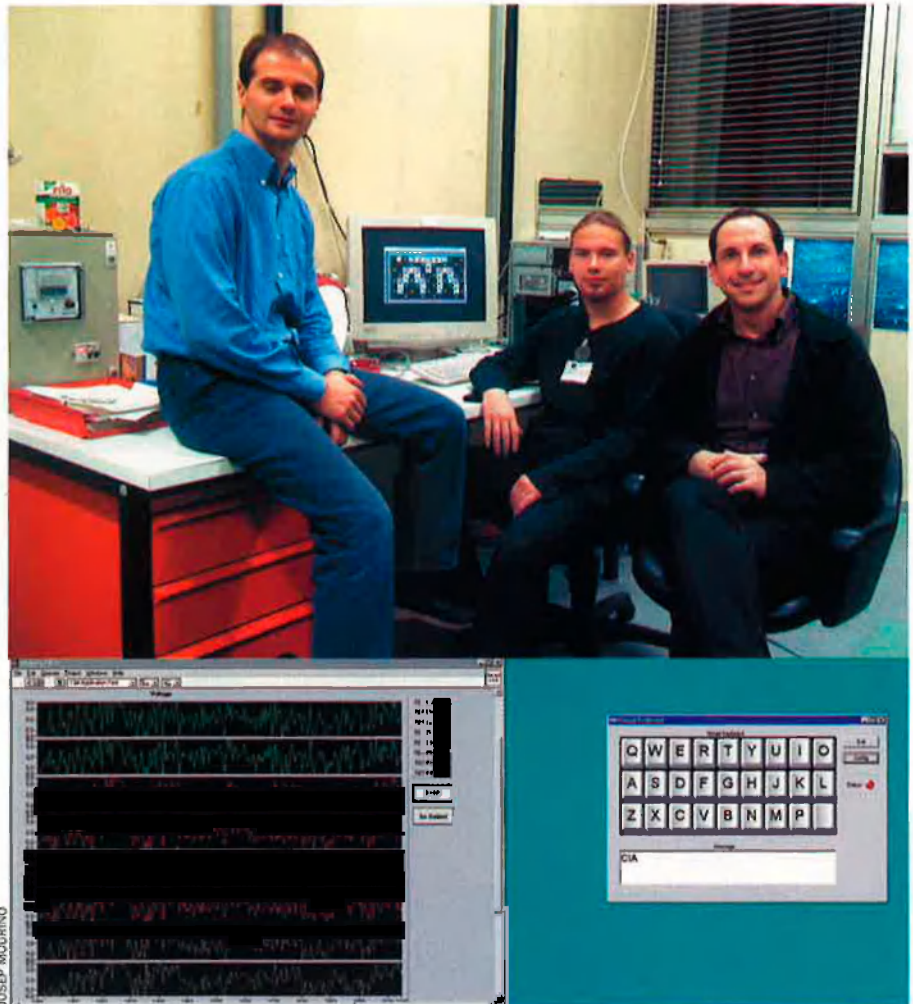
El psicobiòleg Roger W. Sperry, de l'Institut de Tecnologia de Califòrnia, va guanyar l'any 1981 el Premi Nobel de medicina pels seus descobriments sobre l'especialització funcional dels hemisferis cerebrals: cada hemisferi té la seva part de consciència i és completament independent pel que fa a aprenentatge i a retenció. I encara més, cada hemisferi té la seva percepció de les experiències, emocions, pensaments i memòria.

L'hemisferi cerebral esquerre està relacionat amb el pensament abstracte, la relació simbòlica i l'anàlisi lògica. És capaç de parlar, d'escriure i de fer càlculs matemàtics.

L'hemisferi cerebral dret és mut i incapaç de comunicar-se amb el món exterior o de fer càlculs. De totes maneres, aquest hemisferi, se l'ha relacionat amb el pensament concret, la consciència espacial i la comprensió de les relacions complexes. També és capaç d'interpretar els estímuls auditius i de comprendre la música, reconèixer melodies i distingir veus i entonacions.

A partir d'aquestes evidències podem seleccionar tota una sèrie d'estats mentals amb els quals una persona pugui controlar sense cap esforç una interfície cervell-ordinador. Els estats mentals, els dividim en dues grans categories: les tasques cognitives i les tasques motrius.

Alguns exemples de tasques cognitives són: 1) Rotació mental d'una figura geomètrica. Es visualitza una figura,



JOSEP MOURIÑO

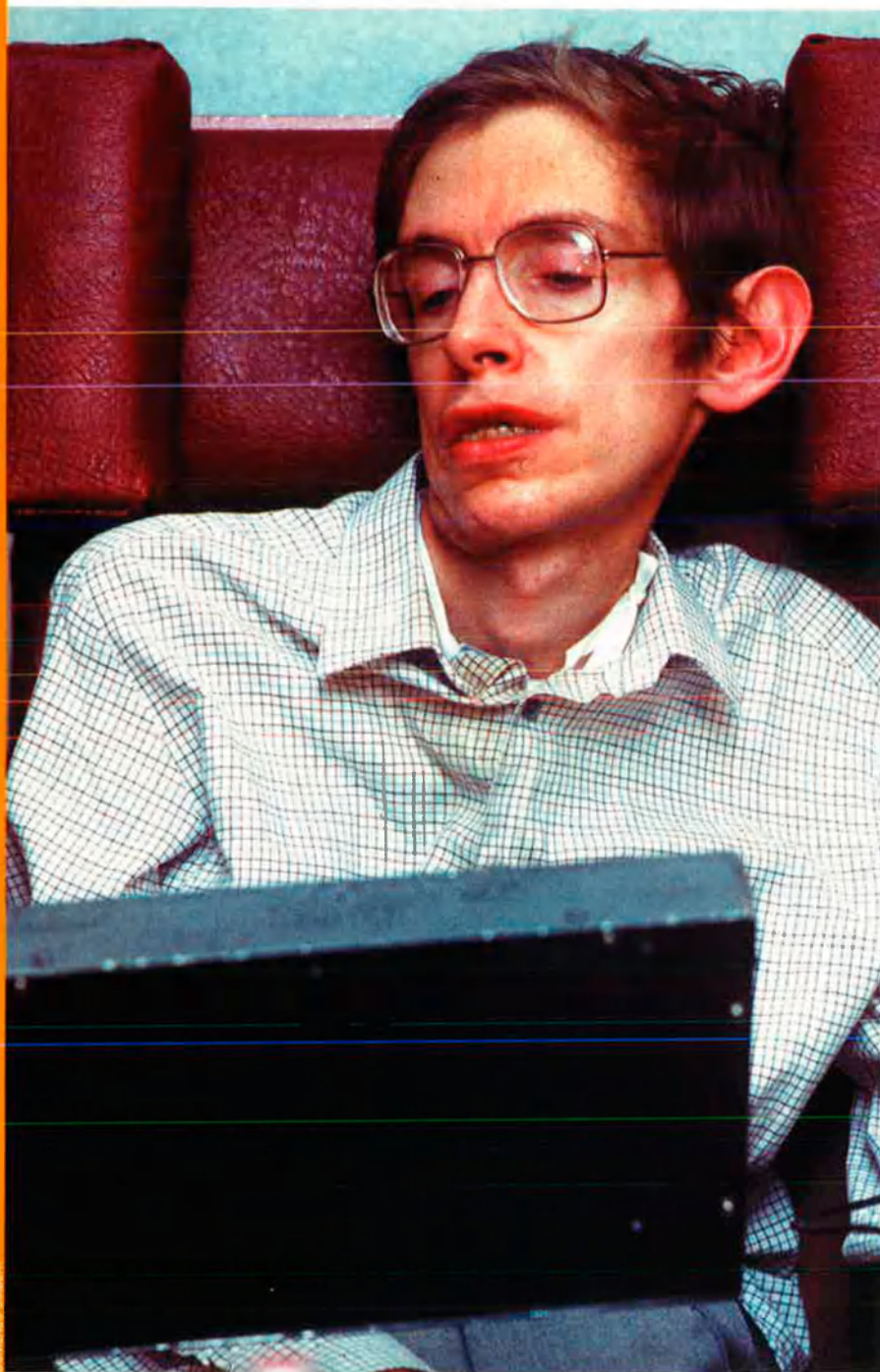
per exemple un cub, i se la fa rodar entorn d'un dels seus eixos a la velocitat desitjada. 2) Resta. Se seleccionen dos números a l'atzar, un de gran i un de petit, i es resta successivament l'un de l'altre ($64-3=61$, $61-3=58...$). 3) Navegació. S'imagina el recorregut des d'un punt inicial d'un lloc conegut fins a un punt final on es desitja arribar.

D'aquesta mena de tasques, n'hi ha un gran ventall i, òbviament, l'usuari sempre podria experimentar diferents estratègies mentals i portar-ne a terme de noves. Algunes tasques de tipus motriu podrien ser: 1) el moviment imaginat de la mà esquerra, on simulem l'ordre voluntària de moure la mà esquerra, o només un dels dits de la mà, o tot el braç esquerre; 2) igualment per al moviment imaginat de la mà dreta; o 3) per al moviment imaginat d'un dels peus.

Pot semblar contradictori que es vulguin fer servir tasques motrius en per-

A dalt, Mourino, a la dreta, amb dos companys del seu equip de recerca, Marco Franzé (esquerra) i Tommi Nikkopp.

A sota, a l'esquerra, es veu el senyal electroencefalogràfic (EEG) d'un subjecte i, a la dreta, el teclat que interpreta aquest senyal i mostra el resultat.



El físic Stephen Hawking ha demostrat que els impediments motrius no són un obstacle insalvable. Projectes com aquest li obren una finestra al món.

sones amb impediments motrius, però són altament efectives i perfectament realitzables per qualsevol persona. Basant-nos en l'exemple del ratolí, una possibilitat seria associar el moviment imaginat de la mà esquerra per desplaçar el punter a l'esquerra, i el moviment imaginat de la mà dreta per desplaçar-lo a la dreta.

La selecció inicial del grup d'estats mentals vindrà feta per un familiar o una persona propera a la persona que pateix l'impediment físic i que no es pot comunicar. Aquesta persona coneixerà bé la història personal del futur usuari, de manera que podrà seleccionar el conjunt d'estats mentals amb els quals es podrà sentir més còmode.

Una vegada passada la fase inicial de l'entrenament, l'usuari mateix podrà seleccionar per si mateix els estats mentals que més li agradin o amb els que vulgui experimentar estratègies noves.

El cor de la interfície. El procés d'anàlisi de la interfície cervell-ordinador que ha estat dissenyada amb motiu de la meua tesi doctoral segueix quatre etapes principals: 1) adquisició, amplificació i filtratge del senyal EEG; 2) estima de patrons d'activitat cerebral en el senyal adquirit; 3) discriminació de l'estat mental associat al patró prèviament estimat; 4) execució de l'ordre associada a l'estat mental.

Les quatre etapes es troben esquematitzades a la figura 1 (a la pàgina següent), on es pot observar com el bucle es tanca mitjançant la informació a l'usuari (o *feedback*) de l'ordre que cal realitzar.

A partir de l'esquema d'aquest gràfic, vegem de manera molt simplificada què representa cada una de les transformacions que es duen a terme en el senyal EEG des de l'adquisició fins a l'execució del comandament.

L'adquisició de l'activitat cerebral es fa mitjançant elèctrodes de superfície col·locats sobre el cap d'acord amb el sistema internacional estandarditzat 10/20 de col·locació d'elèctrodes per EEG. L'activitat elèctrica a la superfície del cervell és de l'ordre dels 10 mV (10 mil·livolts); malauradament, en el

seu viatge cap a la superfície, aquest senyal ha de passar a través de nombroses estructures –tres meninges, líquid cefaloraquídi, crani, pell, cabell– que atenuen el senyal per sota dels 300 mV (300 microvolts, mil vegades més petit que un milivolt). Aquest senyal tan dèbil ha de ser immediatament amplificat perquè el soroll ambiental no l'afecti.

Una vegada amplificat, el senyal EEG es digitalitza, de manera que passa a tenir les condicions necessàries per iniciar-ne l'anàlisi. Després d'un condicionament previ, s'apliquen mètodes de processament digital del senyal que permeten estimar una sèrie de patrons –com ara espectres de potència o models autoregressius– que revelen característiques singulars dels estats mentals que es troben amagades al senyal EEG.

Si els patrons es basen en l'espectre de potències, es poden identificar un conjunt d'interval·ls d'interès al món mèdic anomenats bandes delta, theta, alpha (μ), beta i gamma.

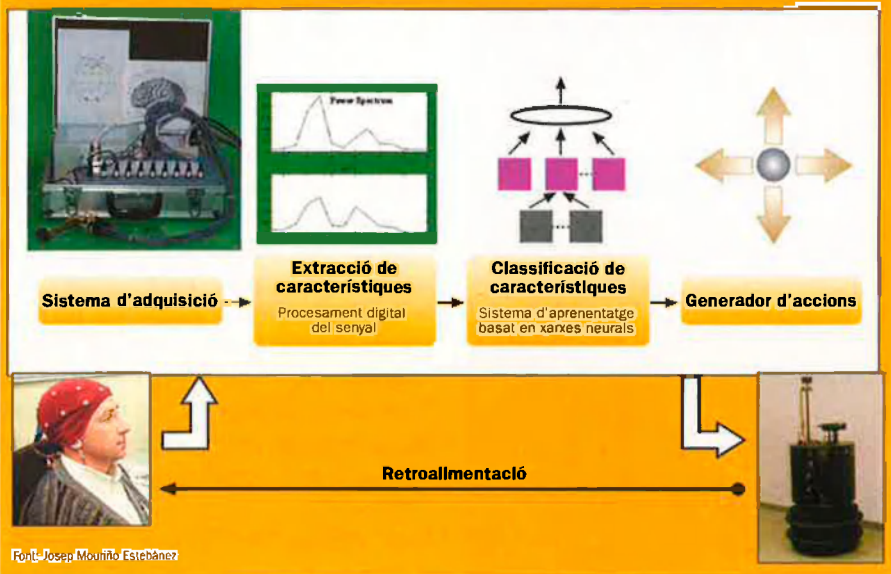
La discriminació dels estats mentals es porta a terme en dos passos complementaris: Primer s'identifiquen conjunts de prototips d'activitat cerebral associats als estats mentals; i, segon, es classifiquen acuradament els patrons cerebrals com a estat mental portat a terme per l'usuari, amb l'ajuda dels prototips comentats anteriorment.

La identificació dels prototips d'estat mental es fa mitjançant xarxes neurals artificials, que són capaces de definir conjunts de patrons representatius (o prototips) de cada un dels estats mentals que la persona hagi escollit per controlar la interfície.

Cada persona tindrà la seva estratègia a l'hora de reproduir els estats mentals, que de ben segur serà diferent de l'estratègia de qualsevol altra persona, de manera que les xarxes neurals hauran de definir patrons individuals per a cada usuari. Aquesta és la raó per la qual s'anomena la nostra interfície com a interfície cerebral adaptable, ja que es tracta d'una interfície cervell-ordinador que és capaç d'adaptar-se a cada usuari individual.

L'acurada classificació de cada un dels patrons mentals es realitza amb

Interfície cervell - ordinador



Font: Josep M. Bouño Esteban

funcions de discriminació específicament dissenyades pel sistema presentat fins ara. Aquestes funcions tenen compte de totes les variables d'interès que contenen informació rellevant de la distribució espacial de cada un dels patrons mentals.

Un cop feta la discriminació correcta de l'estat mental que la persona du a terme en cada instant, ja només queda executar el comandament que tingui associat sobre l'aplicació que estigui controlant.

L'aprenentatge. A continuació comentarem el procés d'aprenentatge amb una interfície cervell-ordinador i algunes de les aplicacions d'interès, no sols per a persones impedides físicament sinó per a la societat en general. Les interfícies cervell-ordinador dels equips d'investigació més avançats tenen períodes d'aprenentatge molt curts. Com qualsevol sistema existent, aquestes interfícies requereixen un temps mínim d'entrenament perquè l'usuari s'acostumi al sistema i el sistema aprengui les estratègies de l'usuari.

Tots recordem el primer dia que vam aprendre a muntar en bicicleta, o a tocar una cançó amb un instrument musical. El primer dia de la pràctica mai no surten les coses tan bé com hom desitjaria, perquè el cervell també necessita el seu

A més de permetre la comunicació, aquesta tecnologia pot tenir aplicacions futures en la domòtica, de manera que una persona paratitzada pot controlar des de la temperatura de casa seva fins a la inclinació del llit.

temps per assimilar les experiències i aprendre.

L'aprenentatge té lloc durant la nit, que és quan el nostre cervell reelabora i analitza de nou les experiències viscudes durant el dia per registrar a la memòria les que siguin del nostre interès. Per això, la repetició l'endemà de qualsevol pràctica sempre és millor que la del dia anterior.

En un període de pocs dies (tres o quatre com a molt), i amb només una hora d'entrenament diari, una persona pot aconseguir perfectament el control dels tres estats mentals amb els quals se senti més còmoda. Aquest és un nombre acceptable per poder controlar una aplicació amb completa normalitat.

Les aplicacions. Les aplicacions d'aquesta tecnologia són tan extenses com inimaginables. Només cal pensar en tot el que podem controlar amb el ratolí d'un ordinador. A partir d'aquí les possibilitats són immenses.

Les aplicacions més immediates estan relacionades amb el món de la rehabilitació. La primera aplicació, i la principal, de més interès és un sistema de comunicació que permeti escriure a les persones, i, així, trametre els seus desigs i necessitats. Per això, un teclat virtual és l'eina més pràctica (a la pàgina 49 podeu veure el teclat virtual amb el qual l'autor d'aquesta recerca ha fet nombroses exhibicions d'aquesta tecnologia arreu de tot Europa). Aquest teclat pot ser controlat amb un nombre d'estats mentals, que va des d'un fins al màxim possible que la persona sigui capaç de portar a terme. Com més entrenada estigui i més estats mentals sigui capaç de controlar, més agilitat tindrà amb la pràctica de l'aplicació.

Conjuntament amb el teclat, es pot dissenyar fàcilment un sistema que permeti navegar per Internet i comunicar-se amb altres persones a través del correu electrònic.

Una altra aplicació d'interès és un sistema domòtic. Aquest sistema permetria a la persona controlar l'ambient en què es troba, des de la inclinació del llit fins a la temperatura de l'estança, passant pel control de la televisió o l'obertura de les portes.

Però encara hi ha més, de la mateixa manera que podem controlar el moviment d'un ratolí, podem guiar una cadira de rodes intel·ligent –amb sistemes de navegació– pel pis on ens trobem i, així, per exemple, podem anar amb completa llibertat al terrat i relaxar-nos mirant el paisatge.

Però les aplicacions no es limiten al món de la rehabilitació: un sistema d'aquestes característiques té moltes sortides en àmbits tan diversos com ara la seguretat (des de la seguretat vial fins a la seguretat en instal·lacions de risc com ara centrals nuclears), la robòtica, la psicoteràpia, l'art, la recerca, els negocis o l'entreteniment.

El futur. Sens dubte, encara haurem d'esperar una mica més de temps perquè les interfícies cervell-ordinador arribin al mercat de masses.

Les tecnologies basades en el reconeixement de la veu seran el següent gran pas en el món de les ciències de la informació amb l'inici del control del sistema operatiu Windows amb aquesta tecnologia previst per al 2007.

Les interfícies cervell-ordinador demostren que actualment ja es disposa de la tecnologia necessària per oferir sistemes de comunicació ràpids, còmodes, portàtils i perfectament adaptables a les necessitats a les persones amb impediments motrius greus.

Les possibilitats d'una interfície cervell-ordinador en una persona motivada que la utilitzi durant períodes llargs de temps són encara inimaginables. Però els coneixements sobre aquesta tecnologia es troben limitats per les dificultats dels grups de recerca per trobar els fons necessaris per seguir un protocol clínic complet.

De tota manera, els fonaments ja han estat construïts i formen una base molt sòlida, de manera que només serà qüestió de temps i de recursos que les interfícies cervell-ordinador arribin fàcilment a les persones per a les quals han estat pensades i dissenyades, de manera que així se'ls obri tot un món de possibilitats i esperances, se'ls obri una finestra al món.

Josep Mourino Estebànez