

Potencials evocats cognitius (ERP) aplicats a l'estudi del llenguatge i l'aprenentatge de segones llengües

Antoni Rodríguez-Fornells

Institució Catalana de Recerca i Estudis Avançats (ICREA)
Universitat de Barcelona. Departament de Psicologia Bàsica
antoni.rodriguez@icrea.es

Toni Cunillera

Universitat de Barcelona. Departament de Psicologia Bàsica

Anna Mestres-Missé

Universitat de Barcelona. Departament de Psicologia Bàsica

Ruth de Diego Balaguer

Équipe Avenir, INSERM U421/IM3, Paris XII
École Normale Supérieure. Département d'Études Cognitives. Paris

Sumari

L'estudi de les relacions entre el llenguatge i el cervell	Aprenentatge del lèxic
Què és un ERP?	Aprenentatge morfosintàctic i gramatical
Aspectes lèxics i semàntics que influeixen l'N400	Conclusions
Processament sintàctic	Bibliografia

L'estudi de les relacions entre el llenguatge i el cervell

En els últims trenta anys s'ha aportat molta informació sobre les relacions que existeixen entre el cervell i el llenguatge, sobretot pel que fa a l'adquisició d'aquest (tant en infants com en segones llengües) i dels processos computacionals, fisiològics i psicològics que sostenen la comprensió i la producció del llenguatge. Malgrat tot el coneixement que hem anat adquirint sobre com s'implementen aquests algoritmes utilitzats en el llenguatge, incloent-hi informació a nivell cerebral, encara avui en dia no ens ha estat possible construir un robot que emuli perfectament aquest procés, que pugui reconèixer perfectament qualsevol paraula que se li presenti o bé que arribi a produir paraules de forma més natural (vegeu Steels, 2003). Per què el llenguatge és un tipus de comportament que es resisteix a ser

emulat i requereix tanta recerca? Tot i que no hi ha una resposta clara a aquest problema, el que sí que podem intentar és enfocar l'estudi del llenguatge d'una forma multidisciplinària, com per exemple utilitzant el marc de la neurociència cognitiva, que estudia la implementació dels processos cognitius i emocionals en el cervell integrant dades de totes les disciplines que se n'ocupen: lingüística, psicologia, neuropsicologia, psicolingüística i neurociències. Totes aquestes disciplines aporten informació diferencial sobre: *a)* l'estructura i l'organització interna del llenguatge i *b)* l'organització del cervell. Però, com que el llenguatge no és un fenomen o un procés cognitiu aïllat, totalment modular (Fodor, 1983), també ens valem de la informació que coneixem sobre els altres processos cognitius que hi estan implicats i que participen directament en el llenguatge (entre ells, processament visual i auditiu, memòria semàntica o declarativa, memòria de curta durada, raonament analògic, control executiu, control motor, etc.), els quals complementen o participen directament en la comprensió i producció de la parla. Un dels punts interessants de la recerca actual és esbrinar la possible modularitat d'aquests processos lingüístics i també la seva interactivitat, en el sentit que alguns nivells de processament no són independents els uns dels altres sinó que interactuen contínuament durant, per exemple, el processament d'una frase. Finalment, malgrat les limitacions tècniques que tenim per a l'observació del cervell, el desenvolupament de noves tècniques de neuroimatge i sobretot la seva combinació ens ajudaran a "llegir" com el cervell implementa el llenguatge.

Des d'un punt de vista neurofisiològic, hom podria parlar en aquests termes per relacionar el llenguatge amb el funcionament del sistema nerviós central: "cada paraula que es produeix no és més que un esdeveniment electroquímic, on una sèrie de proteïnes especialitzades a funcionar com canals de membranes regulen el voltatge intra- i extra- cel·lular mitjançant el transport actiu o passiu d'una sèrie d'ions a través d'aquestes membranes. Quan aquest intercanvi iònic, que succeeix a les dendrites de les neurones, aconsegueix produir una oscil·lació important en el con axònic, s'esdevé l'impuls nerviós (també es produeix el fenomen invers, dificultant o inhibint la transmissió de l'impuls nerviós). Llavors, mitjançant aquest impuls, grups de neurones, localment i també de manera distal, pateixen canvis electroquímics similars. L'impuls nerviós es condueix, de manera eficient i ràpida, en gran part a causa de l'embolcall mielínic dels axons i de les separacions entre ells (nòduls de Ranvier), que connecten les neurones entre si, fins i tot a distàncies molt llargues, i permeten el transport actiu i regeneratiu de l'impuls nerviós i la creació de feixos de substància blanca especialitzats a connectar diferents regions del cervell (corticocorticals o corticosubcorticals)".

Aquesta visió microscòpica (parlem de nivells d'observació de micromil·límetres) del funcionament del sistema nerviós es pot complementar amb perspectives més macroscòpiques, depenent del nivell d'explicació escollit. Localment, grups de neurones properes s'especialitzen a respondre als mateixos tipus d'impulsos i la seva activitat sol correlacionar-se amb comportaments específics semblants els uns als altres (Penfield & Roberts, 1959). Aquesta possibilitat és la que ens permet escollir tècniques d'imatge (neuroimatge) per poder observar grups o poblacions neuronals (nivells d'observació de mil·límetres) que tendeixen a transmetre l'impuls ner-

vió de forma sincrònica o amb intervals de temps molt petits entre ells. Si bé és veritat que conductes específiques van associades a poblacions neurals localment actives i connectades, també es cert que l'impuls nerviós es transmet molt ràpidament a altres regions o poblacions neuronals del cervell i, per tant, necessitem poder estudiar els canvis o sinergies observades entre diverses regions i, sobretot, l'existència de circuits d'activació o d'inhibició.

Durant les darreres dècades del segle xx, els psicòlegs i neuropsicòlegs van escollir un nivell d'observació macroscòpic, on el comportament observat en tasques controlades i de laboratori era l'indicador fonamental del funcionament del sistema nerviós central i també del funcionament o participació de l'àrea lesionada en el procés cognitiu estudiat. Actualment, el complement idoni d'aquestes observacions són les tècniques de neuroimatge electrofisiològiques (EEG: electroencefalograma; ERP: potencials evocats cognitius [*event-related brain potentials*]; ERD: descomposició temps freqüència), magnetoencefalogràfiques: MEG, i metabòliques (tomografia per emissió de positrons: PET; ressonància magnètica nuclear funcional: fMRI), que permeten observar directament, en línia, el funcionament del sistema nerviós i el cervell. La possibilitat d'utilitzar aquestes tècniques ha obert un ventall de possibilitats enormes en l'àmbit de la neurociència cognitiva i, particularment, en l'estudi del llenguatge.

En aquest article revisarem breument la tècnica que creiem que està aportant més informació en l'estudi del processament del llenguatge, en concret, els ERP. Bàsicament il·lustrarem com els ERP han ajudat a avaluar diferents hipòtesis postulades per diferents models psicolingüístics i lingüístics. Les preguntes finals són *com, quan i a on* en el cervell estan representats i es processen els diferents components i unitats que intervenen en el llenguatge, des dels sons i fonemes, els morfemes, la comprensió de paraules i la seva producció, el seu significat o semàntica, l'ortografia i els grafemes corresponents, fins a les regles gramaticals, l'anàlisi estructural d'oracions i la construcció coherent del discurs. Com veurem tot seguit, els ERP ens poden donar informació no només sobre l'estructuració del llenguatge sinó també sobre la seva dinàmica. Tot i que ens centrarem en aquesta tècnica, complementarem la revisió amb certs apunts obtinguts amb altres tècniques de neuroimatge quan sigui adient per mostrar la complementarietat entre les diverses tècniques.

Abans de continuar, ens agradaria comentar dos aspectes molt rellevants dintre d'aquest àmbit d'estudi: d'una banda, les implicacions que tenen a nivell teòric i, de l'altra, les raons d'escollir aquestes tècniques en lloc d'altres. Sobre el primer punt, freqüentment els estudis de neuroimatge sobre llenguatge són criticats perquè molts d'ells no aporten res o sorgeixen sense un marc teòric prou elaborat. La nostra opinió és que la utilització d'aquestes tècniques indiscutiblement pot ajudar a desenvolupar nous models i a redefinir els antics, en la mesura que permeten descobrir la dinàmica del cervell i, per tant, la informació que aquestes dades proporcionen esdevé crucial per entendre com es processa la informació i les característiques de les representacions amb què s'opera (Münte *et al.*, 1999; De Diego Balaguer *et al.*, 2006; Koehlin *et al.*, 2003). Evidentment, això només afecta models que són de vessant fisiològica o que generen prediccions d'aquest tipus.

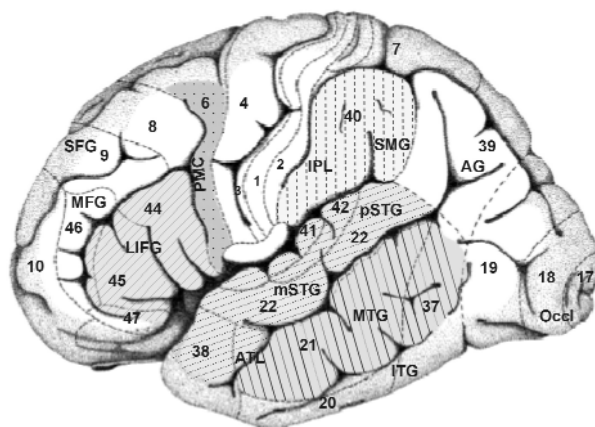


Figura 1. Regions anatòmiques amb la nomenclatura de les àrees de Brodmann (BA) a partir de les divisions citoarquitectòniques (adaptades de Duvernoy, 1991). S'han assenyalat també els principals girs o circumvolucions: LIFG (gir inferior frontal esquerre), mSTG (gir superior temporal mitjà), pSTG (gir superior temporal posterior) ATL (lòbul anterior temporal), MFG (gir frontal mitjà), SFG (gir frontal superior), IPL (lòbul parietal inferior), PMC (còrtex premotor), SMG (gir supramarginal), AG (gir angular), Ocel (lòbul occipital), ITG (gir inferior temporal).

Algunes tècniques, com PET o FMRI, són molt limitades quant al tipus d'inferències que es poden fer a partir d'aquestes, ja que gran part de la informació que aporten és sobre localització d'àrees implicades en determinats processos. Però aquesta informació avui en dia és molt valuosa, ja que sabem que l'àrea de Brodmann (BA 21, vegeu les regions cerebrals a la figura 1) de l'hemisferi esquerre (lòbul temporal medial del cervell), clàssicament relacionada amb el llenguatge, participa en un procés concret i no només aporta informació de la localització sinó que també informa sobre altres processos cognitius associats a aquesta àrea. Això no hauria estat possible deu anys enrere, quan no hi havia prou recursos per poder tenir informació sistemàtica sobre les funcions d'algunes àrees del cervell. De fet, quan una regió del cervell és activada per a tasques diferents que avaluen funcions cognitives suposadament diferents, una de les possibilitats és que aquesta regió participi en una operació cognitiva comuna a les diferents funcions avaluades (es comparteix un procés). L'altra possibilitat és que una regió cerebral comuna estigui de fet formada per diverses subregions que estan implicades de forma diferencial en les diferents funcions cognitives avaluades (subdivisió de la regió cerebral). Si aquest és el cas, vol dir, que a mesura que la resolució espacial de la tècnica (FMRI) millori, així com també els procediments experimentals, podrem anar dissecionant de forma més precisa les funcions de cada subregió i, per tant, l'encavallament regional tendirà a desaparèixer. Una forma d'avaluar aquest fenomen d'encavallament és estudiar funcions cognitives de forma simultània en el mateix experiment i, per tant, obtenir patrons comuns i exclusius de cada una d'aquestes

funcions (vegeu Cabeza *et al.*, 2002). Aquesta informació, per tant, no només ajuda a respondre la pregunta d'on s'esdevé el fenomen sinó que aporta informació funcional de com pot ser el mecanisme cerebral implicat en aquest fenomen. Aquesta informació és la que pot ajudar a dirigir i complementar models fonamentats en els coneixements existents sobre neurociència i que versen sobre el processament lingüístic i cognitiu en general.

Podríem posar-ne un exemple molt senzill. Imaginem el procés d'adquisició del llenguatge en infants. Per exemple, com se segmenta el flux lingüístic sense l'existència clara de fronteres entre paraules. Tenim un model determinat que planteja que és un procés de caràcter eminentment lingüístic i que, per tant, en principi respon de forma modular a un tipus d'*input* i només és específic d'aquest procés. Tot i que dins de l'arquitectura cerebral és poc probable que els recursos cognitius esdevinguin específics d'un domini, un model psicolingüístic possible podria plantejar aquesta hipòtesi. Mitjançant tècniques de neuroimatge, un primer estudi demostra que aquest procés de segmentar paraules implica dues regions del cervell: l'àrea premotora del cervell (BA 6) i el gir temporal posterior (BA22); aquesta última regió és la primera a esdevenir activa. Llavors, un segon estudi, utilitzant estímuls visuals, a diferència dels lingüístics (seqüències possible de patrons visuals amb les mateixes probabilitats de transició que les síl·labes utilitzades en l'estudi anterior), assenyala també l'àrea premotora com a responsable de la segmentació d'aquests patrons visuals i altres àrees implicades en el processament visual. Aquest model segurament hauria de replantejar-se, ja que almenys un procés que intervé en la segmentació de la parla no és modular (específic del llenguatge), i segurament, basant-se en la informació de les tasques en què està implicada aquesta àrea del cervell (bases de dades sobre neuroimatge i tasques cognitives), s'hauria de plantejar quin és el possible mecanisme cerebral que hi està implicat. En aquest exemple, seria fàcil pensar que, en la segmentació de la parla, part del procés se sustenta en un mecanisme d'aprenentatge no específic capaç de captar patrons i regularitats sistemàtiques en l'ambient (segurament de caràcter probabilístic). És a dir, l'observació de l'activitat del cervell esdevé crucial per poder esbrinar els mecanismes cerebrals i els processos cognitius que intervenen en determinades tasques cognitives i lingüístiques.

La informació proporcionada per altres tècniques amb resolució temporal (ERP i MEG) també pot ajudar directament a respondre preguntes relacionades amb el patró temporal dels processos estudiats i, per tant, a avaluar la veracitat de models on diversos processos interactuen dins d'un patró temporal concret. En el cas del llenguatge, això encara és més important, atès que el processament lingüístic esdevé temporal per naturalesa ja que descodifiquem aquest missatge en el temps. Això fa que els ERP siguin una tècnica que s'ha de considerar en l'estudi del llenguatge per la naturalesa temporal d'aquest (vegeu-ne un exemple en els estudis en l'apartat de producció del llenguatge). De fet, la velocitat amb què es produeix el llenguatge i la complexitat dels processos que hi intervenen, en molts casos inconsistents i amb múltiples unitats d'anàlisi (fonològic, semàntic i sintàctic), fa necessari escollir una tècnica que reflecteixi almenys nítidament aquests aspectes temporals.

Finalment, d'aquí a uns anys, el desenvolupament de tècniques d'fMRI amb millor resolució temporal permetrà (vegeu-ne possibilitats futures utilitzant DTI, Le Bihan, 2003) que aquesta tècnica esdevingui més important del que actualment ho és en l'estudi del llenguatge. Val a dir que hi ha la possibilitat de provar models teòrics sobre la dinàmica i la connectivitat cerebral en fMRI utilitzant models d'equacions estructurals (*path models*), on s'avalua l'adequació d'un determinat patró d'activació d'àrees del cervell i que ha estat predit per un model teòric. En aquest sistema d'equacions, on l'ordre d'activació és la variable que s'ha d'esbrinar, es poden imposar restriccions per fer el sistema més determinat. Aquestes restriccions estan originades per altres tècniques, com per exemple: *a*) patrons temporals d'activació amb ERP o altres tècniques electroencefalogràfiques (MEG, EEG intracortical en pacients) i estudi dels generadors neuronals (espaciotemporals, p. e., anàlisi de fonts elèctriques cerebrals [BESA] i tomografia electromagnètica de baixa resolució del cervell [LORETA], Pasqual-Marqui *et al.*, 1994), *b*) informació morfomètrica (Ashburner *et al.*, 2000) i de connectivitat entre àrees cerebrals (Büchel *et al.*, 1997) (mitjançant tècniques de traçat dels feixos de substància blanca o axonals que connecten àrees cerebrals amb imatges amb tensor de difusió [DTI], *c*) informació neuroanatòmica i *d*) neurofisiològica provinent d'estudis animals.

El segon aspecte fa referència a les raons per escollir una tècnica com els ERP davant d'altres més freqüents en psicolingüística. De fet, en cap cas nosaltres no creiem que aquesta tècnica sigui ni més important ni més rellevant que les altres, ni que l'experimentador l'hagi d'escollir d'una forma cega. De fet, estem d'acord amb Mitchell (2004; vegeu també Mitchell, 1984) quan posa en dubte el que han aportat de nou els ERP (i això es pot fer extensiu a les altres tècniques de neuroimatge) respecte a tècniques clàssiques en línia, molt més barates i molt més fàcils d'aplicar, com ara tècniques de lectura lliure o autolectura (lectura autoadministrada, temps de lectura de paraules o parts de frases) o registre de moviments oculars (seguiment de la mirada). Creiem que l'elecció d'una tècnica només ha d'estar relacionada amb el valor diferencial d'aquesta, és a dir, si realment és apropiada per avaluar la hipòtesi proposada i si aportarà informació nova no disponible amb altres tècniques. En el fons, dissenys molt més senzills i molt creatius, sense tant desplegament de mitjans tècnics, poden ser molt més interessants per a l'estudi del llenguatge. Evidentment, si l'objectiu d'estudi és el processament del llenguatge, els ERP permeten l'observació directa d'aquest sense que s'hagi de demanar tasques artificials (com ara prémer botons davant de cada paraula, etc.). Això sí que realment és un avantatge, ja que els components ERP es poden estudiar directament com qualsevol altra variable dependent (temps de reacció, regressions oculars en el text, errors, etc.). Qualsevol variació d'un component deguda a la manipulació experimental o a la tasca indica que aquest és sensible a aquesta i que, per tant, no calen altres mesures conductuals (tot i que són aconsellables). Això obre un ventall de possibilitats per estudiar el processament del llenguatge en contextos més naturals (vídeos, seqüències d'interacció comunicativa, processament del discurs) que són difícils d'emular mitjançant altres tècniques d'estudi.

Els ERP aporten, a més a més, un altre avantatge relacionat amb aquest punt. En estudis conductuals ens trobem sovint amb una absència de diferències entre les condicions que ens interessin. Vol dir això que no hi ha realment diferències en el processament? Poca cosa podem concloure d'aquests resultats. De fet, múltiples estudis han trobat diferències en els ERP quan no apareixen diferències a nivell conductual i a la inversa (Chwilla, 1996; Brown & Hagoort, 1993; Holcomb, 1993; Kounious & Holcomb, 1992). Aquesta contradicció aparent desapareix si pensem, per exemple, en el cas del desenvolupament del llenguatge. Les investigacions conductuals en infants depenen del desenvolupament de les habilitats motores i d'atenció dels nens, mentre que les mesures neurofisiològiques són capaces de mostrar, de forma directa, processos neurobiològics responsables, per exemple, de la capacitat per discriminar el llenguatge, i que no depenen de la maduració cognitiva o motora de l'infant (vegeu-ne el comentari a Aslin & Fiser, en premsa: un nadó que encara no mostra diferències conductuals pot, però, començar a mostrar una traça d'aprenentatge a nivell del funcionament cerebral tot i que necessiti una maduració més llarga per fer-se palès (vegeu Weber *et al.*, 2004).

Què és un ERP?

Podem definir els ERP (vegeu un esquema de com s'obtenen a la figura 2) com a canvis elèctrics del cervell sistemàtics i associats a un esdeveniment o situació experimental determinada, com ara la presentació d'un estímul sensorial, una tasca cognitiva o l'emissió de respostes. Teòricament reflecteixen els potencials postsinàptics produïts sincrònicament en àmplies poblacions neuronals (deguts a la neurotransmissió) i possiblement originats en els tractes piramidals de l'escorça cerebral. Aquest potencial elèctric es transmet de forma passiva al llarg del cervell, les meninges, el líquid cefaloraquídi i el crani, fins que finalment és registrat a la superfície del cap pels sensors. En aquest punt, l'amplitud del senyal ha minvat molt a causa de la resistència que oposen els diferents teixits que travessa (Núñez 1981). Per poder registrar, doncs, aquesta activitat elèctrica, ens caldrà un amplificador del senyal (que ens donarà valors de l'ordre de μV). Per reduir també el soroll del senyal, el que analitzarem serà la mitjana de totes les respostes elèctriques generades pels estímuls sensorials presentats.

Normalment, els components es defineixen de forma multidimensional; per exemple, per la seva polaritat (són positius o negatius), la finestra de temps en què apareixen (p. e., N100 apareix entre els 80 i 120 ms), per la seva topografia o distribució espacial, inici del component, amplitud del pic del component i per la seva latència. Els components es poden descriure de manera funcional, és a dir, associats a la variació experimental que els produeix o que en modula l'aparició (Donchin, 1978, 1981), o bé de forma fisiològica, intentant associar-los també al seu possible origen neuronal o a les possibles poblacions neuronals (Näätänen & Picton, 1987; vegeu la discussió sobre la definició dels components ERP a Rugg & Coles, 1995). Per exemple, a la literatura es pot parlar del component N400 associat simplement a la memòria semàntica o bé del component N400 associat a un determinat generador neuronal (p. e., el lòbul temporal mitjà esquerre). A con-

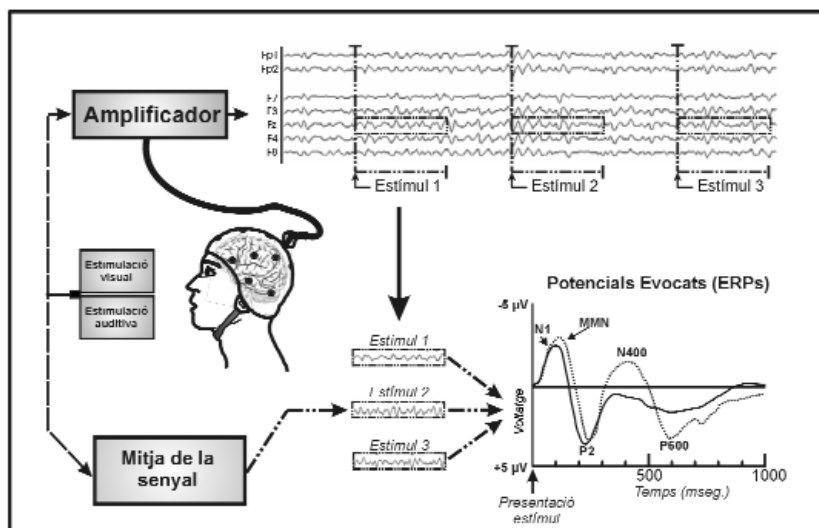


Figura 2. Esquema de l'obtenció dels ERP. El registre electroencefalogràfic (EEG) s'obté mitjançant els el·lectrodes col·locats a la superfície del cap i posteriorment s'amplifica, es talla i se'n fa la mitjana segons el tipus d'estímul o condició experimental que s'ha presentat (per exemple, comparar paraules amb no-paraules). En fer la mitjana dels estímuls (o de les respostes), el que succeeix és que el senyal no associat al processament de l'estímul (és a dir el soroll) té tendència a desaparèixer i, en canvi, l'activitat elèctrica sistemàtica roman en la mitjana final, i això depèn de la utilització del nombre adequat d'estímuls per condició experimental (~35-50 estímuls per condició) i de la relació senyal/soroll del component mesurat (en alguns casos la LAN és molt baixa). Com es veu a la figura, al final obtenim l'ERP associat a l'estímul, que consisteix en una sèrie de pics i valls, que són anomenats segons el seu moment d'aparició temporal i la polaritat. La seqüència d'aquests components es pot interpretar com la seqüència d'esdeveniments neuronals generats per l'estímul i la tasca realitzada per aquest, des dels processos sensorials inicials fins als processos més centrals, com la presa de decisions i l'emissió de respostes. L'amplitud i la latència dels components es pot fer servir com a estimació del moment en què succeeixen aquests processos, i la seva distribució espacial o topografia (línies d'isovoltatge i mapes de densitat de corrent, CSD) permet inferir aspectes relacionats amb el tipus de fonts o generadors neuronals que produeixen els diferents components.

tinuació, descriurem alguns dels components més rellevants en l'estudi del llenguatge, i alhora intentarem il·lustrar com es poden utilitzar per descriure i modelar els processos psicològics i les bases neuronals del llenguatge.

Comprensió del llenguatge

Diferents components ERP de caràcter general s'han utilitzat per estudiar aspectes relacionats amb el processament lingüístic [p. e., la N1, P2, N2 noGo, LPC (*late positive component*: component positiu tardà), MMN (*mismatch negativity*:

component negatiu de disparitat), Nd (*negative difference*: diferència negativa), PN (*processing negativity*: component negatiu de processament), P3, ERN (*error-related negativity*: negativitat evocada per un error) i LRP (*lateralized readiness potential*: potencial de resposta lateralitzat]. Alguns components s'han considerat més específics de l'estudi del llenguatge, tot i que la seva especificitat encara no està totalment demostrada. Entre ells, els més coneguts són l'N400, el LAN (*left anterior negativity*: negativitat anterior esquerra), el P600 o SPS (*syntactic positive shift*: modulació positiva sintàctica) i d'altres menys coneguts, com l'LPN (*lexical processing negativity*: negativitat de processament lèxic), l'FSN (*frequency-sensitive negativity*: negativitat sensible a la freqüència) o el CEN (*clause-ending negativity*: negativitat associada al final d'una clàusula), i també diversos potencials de freqüència d'oscil·lació baixa associats a l'anàlisi estructural d'oracions.

Processament fonològic

Estudis recents han posat en evidència que els ERP poden servir per estudiar les representacions fonològiques existents en nens i adults. En aquests tipus de recerca s'ha utilitzat com a eina principal el component negatiu de disparitat (MMN), que consisteix en un increment de negativitat (l'inici es produeix entre els 130 ms i es manté actiu fins als 250-300 ms) i reflecteix processos preatencionalment automàtics associats a canvis en les característiques físiques dels estímuls (freqüència, duració, intensitat, temps d'inici i estructura fonètica). En aquests estudis, per exemple, els investigadors presenten un estímulo sonor de manera freqüent (per exemple, un fonema) que s'anomena "estàndard". Aquest es compara amb sons del llenguatge que es presenten molt poques vegades en la seqüència i que difereixen en algunes característiques dels estímuls estàndards (estímuls "rars"). Durant l'experiment, aquests sons es presenten mentre el participant té l'atenció concentrada en qualsevol altra tasca; és, per tant, un paradigma passiu (vegeu la revisió de Näätänen, 2001). Aquests estímuls rars generen una MMN de més amplitud quan formen part d'una categoria fonètica de la llengua, i són de menor amplitud en el cas de fonemes no representatius de la llengua (Näätänen *et al.*, 1997). Aquest resultat tan interessant s'ha interpretat com que aquests fonemes que pertanyen a la llengua estan representats de forma diferent a nivell neuronal, possiblement en la memòria sensorial o ecoica, i es poden fer servir com a detectors de disparitats físiques dels sons de la parla. El generador neuronal d'aquest component se sol considerar situat al còrtex temporal (àrees auditives) amb contribucions prefrontals. Aquestes dades s'han replicat també amb nadons (vegeu la revisió de Cheour *et al.*, 2000). Recentment també s'ha descrit l'obtenció de MMN quan es comparen paraules amb no-paraules (Pulvermüller *et al.*, 2004).

L'MMN també s'ha utilitzat per avaluar el període d'adquisició dels contrastos fonològics en els nadons. Sabem que els nens acabats de néixer són sensibles a qualsevol distinció fonològica, incloses les que no són pròpies de la seva llengua (Eimas *et al.*, 1971). Però l'experiència lingüística fa cristal·litzar la capacitat per percebre categories fonològiques i el sistema perceptiu se sensibilitza per captar els contrastos fonològics que existeixen en la pròpia llengua i perd la sensibilitat als

contrasts fonològics d'altres llengües (Kuhl *et al.*, 1992). Cheour *et al.* (1998) van comprovar, utilitzant l'MMN, que nens finlandesos de sis mesos mostraven una MMN davant d'una vocal pròpia de l'estonià que no diferia de la vocal finlandesa. En canvi, quan els mateixos nadons es van avaluar als dotze mesos, havent passat el període de cristal·lització fonològica, el patró va variar notablement, i l'amplitud de l'MMN va ser molt més gran en el cas de la vocal finlandesa. El mateix test realitzat en un grup de control de nadons de dotze mesos, nascuts a Estònia, va donar el patró invers. Aquestes dades són molt interessants en la mesura que assenyalen que, a l'edat d'un any, existeix una MMN fonològica incrementada pels contrastes fonètics nadius, comparats amb el no nadius, que demostra que, durant el desenvolupament cognitiu, l'habilitat per discriminar sons no nadius es va perdent.

Aspectes lèxics i semàntics que influeixen l'N400

L'N400 és un component que es va observar per primera vegada en els treballs de Kutas i Hillyard (1980) en paraules semànticament incongruents presentades al final d'una frase (vegeu la figura 3). Normalment, en aquests paradigmes de lectura de frases es presenta una paraula cada 500 ms i es deixa al final una petita pausa. El component N400 consisteix en un increment de la negativitat entre 250 i 600 ms després de presentar la paraula incongruent en aquell context; la distribució topogràfica normalment és central parietal lleugerament predominant a l'hemisferi dret (figura 3b). De tota manera, és possible obtenir resultats molt semblants fins i tot amb presentacions de paraules molt ràpides, una paraula cada 100 ms, i en aquest cas la latència del component N400 es retarda uns 100 ms (Kutas, 1987a). Els mateixos efectes s'han evidenciat presentant estímuls auditius (o parla natural) i llenguatge de signes (Kutas *et al.*, 1987b) quan es fan servir dibuixos o figures semànticament incongruents en lloc de paraules (Ganis *et al.*, 1996; Nigam *et al.*, 1992), amb cares (Barrett & Rugg, 1989; Bobes *et al.*, 1994; Debrulle *et al.*, 1996) i també davant de sorolls significatius (Chao *et al.*, 1995; Van Petten & Riefelder, 1995) (vegeu les revisions de Kutas & Van Petten, 1994; Kutas & Federmeier, 2000). Recentment, West & Holcomb (2002) han obtingut també l'efecte d'incongruència semàntica en l'N400 utilitzant historietes visuals (a la manera d'un còmic) on l'últim dibuix de la sèrie és congruent o no amb la història presentada. A nivell de registre intracranial en pacients que havien de ser operats per crisis epilèptiques, s'ha evidenciat un component similar a l'N400 (invertint la polaritat segons el tipus de registre) a prop del gir fusiforme anterior (McCarthy *et al.*, 1995; Nobre & McCarthy, 1995) i sensible al processament del significat de les paraules. Les paraules anòmales generaven un potencial negatiu en el lòbul medial anterior. Aquest component s'invertia de polaritat a prop del solc col·laterar. Posteriorment es va demostrar que l'N400 es desenvolupa en cadascuna de les paraules de l'oració (vegeu la figura 4), i que la seva amplitud està determinada per l'ordre de presentació i la freqüència relativa de les paraules al llarg de l'oració. En definitiva, l'N400 de cada paraula estarà determinada per les expectatives de trobar aquella paraula en aquell punt de l'oració i la possibilitat que sigui integrada coherentment en el discurs. És a dir, a mesura que el context va constrenyent

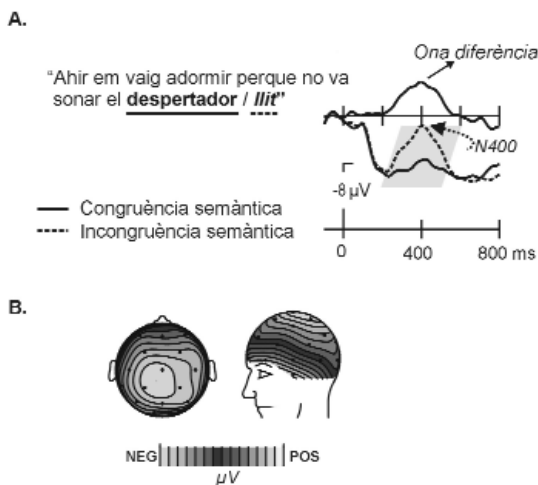


Figura 3. A. S'illustra el component N400, obtingut quan al final d'una frase es presenta una paraula semànticament incongruent (elèctrode parietal). A la part superior, es representa l'ona diferència, negativa, que es genera restant el senyal incongruent menys el congruent. En aquesta es pot veure clarament com l'inici del component es produeix sobre els 230-250 ms, després de l'aparició de l'estímul, mentre que el pic d'aquest és sobre els 400 ms (dades internes del nostre laboratori). B. Mapa de línies d'isovoltatge (interpolació esfèrica), que permet identificar possibles fonts o generadors neuronals. En aquest cas, el mapa mostra la distribució centroparietal dreta típica d'aquest component.

la possibilitat que aparegui una paraula determinada, l'amplitud de l'N400 es va fent més petita. Curiosament, però, això no passa en el cas que es creï una frase en la qual existeixi constreyniment sintàctic però no semàntic, és a dir, quan la frase no té sentit (per exemple, "El núvol es casà amb la bústia dintre d'una porta"). En aquest cas no s'observa una reducció progressiva de l'N400 al llarg de la frase (Van Petten & Kutas, 1991). De la mateixa manera, Osterhout *et al.* (1997) van demostrar que les paraules de classe oberta (o de contingut) mostren una N400 de més amplitud en oracions com l'anterior (mantenint el marc sintàctic però no el semàntic), quan es compara amb oracions congruents semànticament. Aquestes diferències resulten molt interessants per a estudis futurs sobre la comprensió i la integració del significat i el discurs.

Per tots aquests aspectes esmentats anteriorment, l'N400 s'ha utilitzat molt en els estudis sobre llenguatge com un índex de processament semàntic. Tot i això, aquest component també és sensible a variables de tipus purament lèxic, com ho detallarem a continuació, i per tant també s'ha utilitzat amb molta freqüència com un índex d'accés al lèxic. Així doncs, les paraules de baixa i alta freqüència normalment difereixen en l'N400, que és de més amplitud en les paraules de baixa freqüència. Però aquesta diferència no es manté al llarg de tota la frase, ja que aquest efecte es modula a mesura que anem avançant en l'anàlisi estructural d'una

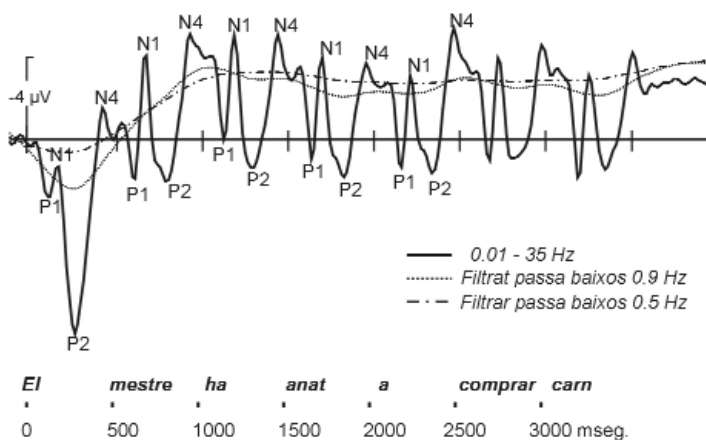


Figura 4. Aquesta figura representa el típic ERP obtingut en aquest cas per frases senceres. Com es pot veure, la presentació de cada paraula (una cada 500 ms, lectura visual) origina sempre una sèrie de components (P1, N1, P2, N4) que es poden veure clarament. Superposada, també podem observar una ona lenta que marca el que són els components ultralents (per sota de 0,9 Hz) i que apareixen en el processament d'oracions (vegeu Kutas & King, 1996). La superposició de l'ona lenta amb els components associats a cada paraula fa que aquests apareguin en diferents rangs d'amplitud. Aquests components s'han associat en alguns casos a la càrrega en memòria operativa, però la seva funció exacta encara s'ha de descobrir (dades internes del nostre laboratori).

oració i els candidats lèxics es van limitant cada cop més pel context i el discurs (Van Petten & Kutas, 1990, 1991). De fet, l'efecte N400 pot arribar a ser eliminat i a no mantenir-se sempre amb la mateixa intensitat. Besson *et al.* (1992) van demostrar que, la tercera vegada que es presenta dins d'una oració la mateixa incongruència semàntica, l'efecte de l'N400 s'elimina. És a dir, si presentem una paraula semànticament anòmala en una oració obtindrem l'efecte N400; tanmateix, això no succeeix quan repetim la mateixa incongruència, ja que simplement estem augmentant les expectatives associades a la possibilitat que aquella paraula aparegui en aquell context. Una de les conclusions que es poden extreure d'aquests estudis és que no és simplement la violació o la incongruència semàntica la que origina el component N400, sinó la manipulació de les expectatives d'aparició d'aquella paraula dins d'aquella oració.

És important tenir en compte que, si les paraules es presenten de forma aïllada, sense context, la seva N400 està determinada, entre altres factors, per la seva freqüència, la seva concreció (més amplitud en paraules concretes) i pel nombre de vegades que la paraula s'ha repetit al llarg de l'experiment. Aquests efectes i la seva representació en els ERP s'han resumit breument en la figura 5. Tots aquests efectes purament lèxics existeixen independentment del context en què es presenten i interactuen amb els de constrenyiment contextual i expectatives durant l'anàlisi estructural d'oracions. A la figura 5a i b es representen els efectes de repetició

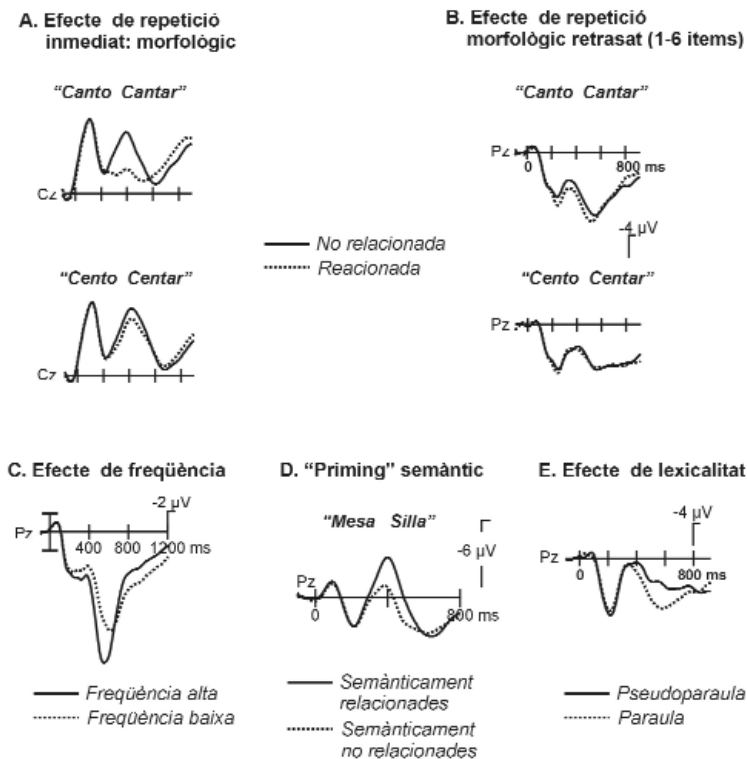


Figura 5. Resum dels principals efectes lèxics descrits en el component N400. A. Efecte morfològic de repetició immediata en parells de paraules i de no-paraules (dades internes del laboratori). Quan el parell està relacionat morfològicament, s'obté una disminució molt notable de l'N400. En no-paraules, aquest efecte es veu molt reduït, tot i que hi és present. B. Efecte de repetició morfològica retardada. En aquest cas, els parells de paraules estan separats per diferents ítems no relacionats. Mentre que en paraules s'observa un efecte clar i molt reduït respecte al *priming* immediat, en no-paraules l'efecte ha desaparegut (Rodríguez-Fornells *et al.*, 2002b). C. Efecte de freqüència en l'N400, on es veu l'increment de l'N400 en el cas de paraules poc freqüents (Rodríguez-Fornells *et al.*, 2002c). D. Efecte típic de *priming* semàntic. Dues paraules semànticament relacionades o no es presenten una darrere de l'altra. Quan ambdues estan relacionades es produeix una reducció de l'N400 (dades internes del laboratori). E. Efecte de lexicalitat en l'N400. Quan pseudoparaules es comparen amb paraules en tasques de decisió lèxica s'observa un increment de l'N400 (Rodríguez-Fornells *et al.*, 2002b). Cz = elèctrode central; Pz = elèctrode parietal.

immediat de dues paraules morfològicament relacionades i s'observa una disminució molt evident en l'amplitud de l'N400 (figura 5a). Aquest efecte de repetició s'ha aplicat a l'estudi de verbs regulars i irregulars (Münte *et al.*, 2000b; Rodríguez-Fornells *et al.*, 2002b), amb la idea d'avaluar fins a quin punt el processament de formes regulars (p. e., *cant-o – cant-ar*) difereix de les formes irre-

gulars (p. e., *vin-c – ven-ir*). Si realment el processament de paraules regulars suposa l'activació de l'arrel comuna (*cant-*) utilitzant un procés de descomposició, llavors l'efecte sobre l'N400 hauria de ser molt més evident en aquestes paraules que en el cas de paraules irregulars. El problema amb els estudis de repetició immediata en morfologia és que les paraules morfològicament relacionades ho estan també semànticament i formalment. Quan dues paraules estan semànticament relacionades i es presenten conjuntament una després de l'altra, apareix una reducció de l'N400 en la segona paraula (*priming* semàntic de l'N400, Bentin *et al.*, 1985; Holcomb, 1988; Holcomb & Neville, 1990). El temps de durada d'aquest efecte és més petit que el de repetició idèntica i depèn molt del temps de separació entre les dues paraules semànticament relacionades. Si les separa més d'un ítem, l'efecte pràcticament desapareix (*delayed repetition priming*). El fet d'utilitzar una sèrie d'ítems entre les paraules clau permet disminuir l'efecte de *priming* semàntic i l'aspecte de *priming* formal o reducció de l'N400 a causa de la semblança ortogràfica. Com es veu en la figura 5a i 5b, les no-paraules similars no generen una reducció de l'N400 en el cas de *priming* retardat, però sí que és evident quan la repetició de les no-paraules és immediata (De Diego *et al.*, 2005). És a dir, que l'N400 és sensible a les relacions ortogràfiques, fonològiques, morfològiques i semàntiques que existeixen entre les paraules presentades (Barrett & Rugg, 1990; Praamstra *et al.*, 1994; Rugg, 1984; Rugg & Barrett, 1987).

Alguns aspectes del discurs també influeixen en la modulació de l'N400. Si, per exemple, diem les frases següents de forma aïllada:

“La rata es va amagar ràpidament al seu forat”

“La rata es va amagar lentament al seu forat”,

segurament no diferiran en absolut l'una de l'altra. En canvi, quan prèviament ha aparegut un frase com la següent: “El gat es dirigí primer a la cuina. Immediatament saltà a la taula i veié que a sota hi havia una rata”, llavors davant del l'adverbi “lentament” i comparat amb “ràpidament” sí que observariem un increment de l'N400. Així doncs, donat el context o discurs previ, aquesta paraula resulta incongruent (Van Berkum *et al.*, 1999).

Finalment, volem comentar breument un altre efecte lèxic en l'N400 (figura 5e). Com es pot veure en aquesta figura, quan es presenten no-paraules possibles (ortogràficament) dins de la llengua i es comparen amb paraules reals, s'obté un increment de l'N400, tant amb paraules presentades visualment com amb estímuls auditius. Aquest efecte no s'observa quan les no-paraules són il·legals (per exemple, una cadena de consonants) i en aquest cas l'N400 té una amplitud menor que en les paraules (Holcomb & Neville, 1990; Rugg & Nagy, 1987). Aquest efecte lèxic sobre l'N400 s'interpreta considerant que s'inicia un procés de cerca de possibles candidats lèxics en la memòria semàntica que encaixin completament o parcialment en l'estructura de la no-paraula. Al final, el procés no es resol perquè no existeix cap candidat que hi encaixi, i per això el component N400 mostra més amplitud. De fet, en alguns casos, aquest increment de l'N400 no s'ha replicat i s'ha trobat el resultat invers (Hahne & Jescheniak, 2001; Sanders & Neville, 2003),

sobretot quan les paraules noves estan envoltades per altres no-paraules en les oracions. En aquests casos, on les no-paraules van precedides d'altres no-paraules, es considera que no es comença el procés de cerca lèxica, ja que els participants suposen que no existeix cap entrada en el lèxic accessible. De fet, podríem interpretar-ho com un efecte atencional en la modulació de l'N400, tal com s'ha demostrat en altres casos (Bentin *et al.*, 1995; Okita & Jibu, 1998).

En definitiva, el component N400 és sensible a molts factors lèxics, semàntics i discursius que operen en la comprensió del llenguatge, i és un indicador de la velocitat d'accés a la informació semàntica continguda en la memòria a llarg termini o de la integració d'aquesta informació dintre del context o del discurs (Kutas & Federmeier, 2000). Un dels camps més importants d'aplicació de l'N400 és el coneixement de com s'estructura la informació semàntica en la memòria a llarg termini i com la informació lèxica i conceptual estructura aquest coneixement.

Processament sintàctic

Tenint en compte la tendència a considerar que diferents processos cognitius probablement estan reflectint la participació de diferents estructures neuronals, caldria esperar que els aspectes semàntics i sintàctics generessin patrons d'activitat elèctrica cerebral clarament diferenciats. De fet, aquesta separació entre semàntica i sintaxi ha generat molta recerca en ERP i ambdues línies fins i tot són clarament diferenciables. Mentre que, com hem vist, l'N400 permet estudiar els fenòmens associats al lèxic i l'organització de la memòria semàntica, un component clarament associat a les manipulacions sintàctiques, anomenat P600 (vegeu la figura 6a; component positiu observat al voltant dels 500-700 ms, o també anomenat SPS: *syntactic positive shift*), ha permès estudiar tot un seguit de fenòmens associats a l'anàlisi estructural d'oracions (vegeu Osterhout *et al.*, 1995; Münte *et al.*, 2001a). S'ha trobat tot un conjunt d'efectes en els ERP molt diferents de l'N400 quan es presenten violacions sintàctiques o continuacions d'oracions possibles però molt poc probables. Aquests efectes es caracteritzen per un increment important de l'amplitud en la positivitats que es genera al voltant dels 600 ms (P600) després de l'inici de la presentació de la paraula, especialment en àrees parietals centrals (Coulson *et al.*, 1998; Hagoort *et al.*, 1993; Neville *et al.*, 1991; Osterhout & Holcomb, 1992). L'amplitud del P600, en principi, és directament proporcional a la incongruència sintàctica entre la paraula presentada i la resta de la frase (presentada anteriorment), és a dir, és sensible a la violació de l'estructura d'una frase i no a la violació semàntica (Osterhout *et al.*, 1994). Curiosament, les paraules que són alhora incongruents semànticament i sintàcticament originen el doble patró de N400 i P600, i aporten evidències sobre la independència del generadors neuronals d'ambdós components ERP (Osterhout & Nicol, 1999).

S'han trobat efectes de P600 davant de violacions o anomalies en 1) l'estructura de la frase ("La casa que va comprar el pare *molt bonica era"); 2) subcategorització verbal o violació de l'estructura argumental ("En Pere va convèncer *per vendre les cases"); 3) anomalies de moviment en els constituents de l'oració (vegeu més endavant); 4) petites violacions morfosintàctiques, com de temps verbal o d'a-

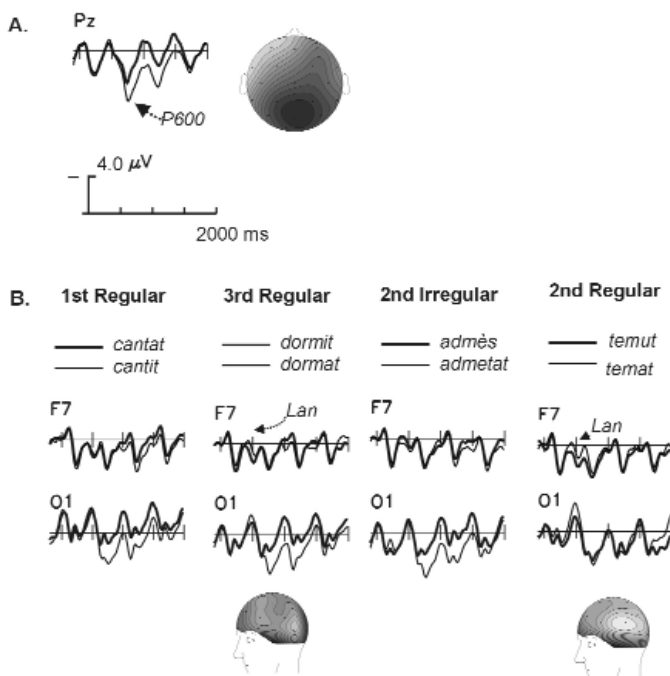


Figura 6. Efectes sintàctics i morfosintàctics en els ERP. A. Efecte P600 (elèctrode parietal) típic observat en les violacions sintàctiques, on s’observa una topografia parietooccipital del component (dades internes del laboratori). B. Resultat de la presentació d’algunes violacions morfosintàctiques, en aquest cas, dels participis en català. S’observa el component LAN en algunes condicions (negativitats anteriors, observades a F7) però, en aquest cas, la topografia difereix de l’observada tradicionalment. També s’observa la P600 en almenys tres de les quatre violacions, a causa que els participants estaven llegint històries escrites en què s’introduïen els participis correctes i incorrectes (dades adaptades de Rodríguez-Fornells *et al.*, 2001). 1st = 1a conjugació; 2nd = 2a conjugació; 3rd = 3a conjugació.

cord entre subjecte i verb (“El noi *menjaven una pizza”); 4) acord de nombre i gènere entre el pronom reflexiu i l’antecedent a l’oració (“Els nois van parlar de si *mateix*(-a) a la reunió”). Osterhout *et al.* (1994) van descobrir també, en un experiment en què s’utilitzaven frases temporalment ambigües però correctes estructuralment (frases de via morta, per exemple, “Mentre l’Adrià cuinava *el pollastre* s’escapà del jardí”), que en la paraula que es produïa l’anàlisi sintàctica preferent s’observava un increment notable del P600 (vegeu també Friederici *et al.*, 1996 a, b). En aquest cas, a la paraula “pollastre” se li adjudica primer el paper d’objecte directe del verb “cuinar” en comptes de subjecte de la segona oració (“el pollastre s’escapà del jardí”). Aquestes diferències en el P600 es van atribuir a la necessitat

d'iniciar un procés de revisió sintàctica. És important assenyalar que el component P600 també apareix al llarg de la frase en aquells punts on resulta difícil el processament gramatical o estructural d'una oració (Kaan *et al.*, 2000; Osterhout & Holcomb, 1992). Atesa tota aquesta varietat de situacions en què es genera un P600, un es pregunta, què és exactament el que mesurem amb el component P600?

Una estratègia que s'ha utilitzat freqüentment per intentar esbrinar la naturalesa del P600 és intentar reduir el processament semàntic en les oracions presentades utilitzant frases Jabberwocky (nom derivat del poema de Lewis Carroll), que són frases gramaticalment correctes on les paraules amb contingut són substituïdes per pseudoparaules, mentre que totes les paraules funcionals es mantenen. Per exemple: "El pace ha atat a patenar el tagre". Utilitzant ERP i violacions d'acord entre subjecte i verb ("El pace *han atat a patenar el tagre"), Münte *et al.* (1997) van trobar un patró molt interessant. Quan s'utilitzaven frases normals (sense no-paraules) les violacions gramaticals produïen dos components ERP: el LAN (vegeu més endavant) i el P600. En canvi, en les frases tipus Jabberwocky, la violació gramatical només generava un component LAN. Els autors van considerar, per tant, que el component P600 havia d'estar bàsicament relacionat amb la revisió i reinterpretació de la frase, fet que no es podia produir en el cas en què no hi hagués processament semàntic (com en les frases Jabberwocky). En aquest cas, per tant, no podia aparèixer el P600. En un estudi d'fMRI recent, les àrees del cervell més activades quan es van comparar les frases Jabberwocky amb les frases normals van ser el gir posterior temporal superior (BA 22 i 41/42), part mitjana bilateral de l'àrea de Broca i part del gir anterior superior temporal (BA 38, 22) (Friederici *et al.*, 2000); aquesta darrera àrea també estava molt activada en un estudi similar en què es van estudiar aquests tipus de frases (Mazoyer *et al.*, 1993).

Mentre que s'accepta que el component N400 està específicament relacionat amb el valor semàntic de la relació presentada, l'especificitat lingüística del P600 ha estat un tema molt debatut al llarg dels darrers anys. De fet, aquesta pregunta en part podria ser obviada si pensem que l'important és tenir un indicador sensible a les manipulacions sintàctiques indiferentment de la seva especificitat lingüística o no i que permeti avaluar els models que proposa. El fet que un component ERP no sigui específicament lingüístic no invalida que es pugui fer servir per a la recerca en psicolingüística (com veurem més endavant en producció per a l'N2 noGo o l'LRP). Però no és el cas quan un s'interessa per saber exactament quin procés cognitiu és responsable d'aquest component. En el cas del P600, s'ha postulat que és un component de la família del P300, un component ERP no específic de cap domini i que apareix davant d'estímul inesperats i rellevants per a la tasca que s'està realitzant (Donchin, 1981; Johnson, 1993). De fet, l'amplitud del P300 s'incrementa a mesura que disminueix la probabilitat d'aparició d'un tipus d'estímul en un context determinat. En resposta a la crítica que assimila el component P600 a la família del P300, Osterhout *et al.* (1996) van aportar evidències que la topografia del component P600 era diferent de la del P300 (fet que evidència diferents generadors neuronals), i tots dos responen de manera diferencial davant de certes manipulacions experimentals i mostren additivitat davant de paraules que haurien de mostrar un P300 i alhora un P600. Aquest estudi és contradictori amb les dades

aportades per Coulson *et al.* (1998), qui va examinar la resposta davant de violacions d'acord subjecte i verb i marcadors de cas, quan aquestes violacions eren més o menys freqüents al llarg d'un bloc experimental. En el cas de violacions gramaticals molt menys freqüents, el component P600 mostrava més amplitud que en el cas de les violacions sintàctiques freqüents (vegeu Coulson *et al.*, 1998 a, b; Gunter *et al.*, 1997; Münte *et al.*, 1998; Osterhout & Hagoort, 1999; Osterhout *et al.*, 1996). Si aquesta interpretació és correcta, davant de violacions sintàctiques o d'estructures oracionals no preferides, el mateix mecanisme neuronal que intervé en la detecció d'estímuls rellevants de baixa probabilitat subjectiva seria el responsable de la detecció de la violació. En resum, a més d'aquest mecanisme sensible a les regularitats estructurals del llenguatge, podem dir que el P600 està associat als processos següents: 1) detecció d'una violació sintàctica, que en alguns casos es manifesta temporalment després d'un procés més automàtic de detecció (anàlisi estructural inicial i que correspondria al component LAN que veurem a continuació); 2) reanàlisi (Gunter *et al.*, 1997; Münte *et al.*, 1998) i reparació sintàctica, quan esdevé plausible a nivell semàntic reinterpretar l'oració i, 3) cost o esforç de reprocessament de l'oració (Osterhout *et al.*, 1994; Friederici *et al.*, 1996a, b).

També s'ha trobat un altre conjunt de components ERP associats a anomalies sintàctiques, que apareixen entre els 200 i 400 ms i que s'anomenen "negativitats anteriors esquerres" (LAN: *left anterior negativities*, vegeu la figura 6b) (Kluender & Kutas, 1993; Münte *et al.*, 1993; Rösler *et al.*, 1993), però que actualment seria millor que ens hi referíssim com a "negativitats anteriors", ja que s'han descrit diferents topografies associades a aquest component i també amb funcions cognitives diferenciades. En el primer estudi en què es va observar aquest component (Kutas & Hillyard, 1983), es van comparar frases correctes amb frases amb petites violacions morfosintàctiques i es va observar una negativitat frontal de poca amplitud amb una distribució topogràfica molt diferent de la típica N400. Aquest efecte va ser replicat en diversos estudis (Friederici *et al.*, 1993; 1996a,b; Münte *et al.*, 1993; Neville *et al.*, 1991; Osterhout & Holcomb, 1993; Penke *et al.*, 1997; Weyerts *et al.*, 1997; Rodríguez-Fornells *et al.*, 2001).

Penke *et al.* (1997) van comparar participis en alemany de verbs regulars (que acaben amb el sufix *-t*, per exemple, *getanz-t*) i irregulars (acabats en *-n*, per exemple, *gelade-n*; en alguns casos van incorporar canvis a l'arrel), utilitzant el paradigma de violació morfològica (vegeu Clahsen, 1999). Els participants veien els participis regulars i irregulars amb sufixos correctes i incorrectes. En els tres experiments realitzats, els verbs irregulars amb la inflexió incorrecta regular (*gelade-t*) van generar una LAN. En canvi, les violacions dels participis regulars (*getanz-en*) no van mostrar aquest component. Un patró molt similar es va trobar per al sistema de formació de plurals en alemany. Aquestes dades assenyalen de forma clara l'existència de mecanismes de processament neuronals diferents entre les formes morfològiques regulars i irregulars de l'alemany i estan a favor dels models de processament duals, que proposen, a diferència dels models connexionistes, que una sèrie de regles (implementades en alguna part del cervell) s'apliquen per a la formació de formes regulars o noves paraules, i que existeix un magatzem o memòria de formes atípiques o irregulars. En el cas de l'alemany, el LAN obtingut per a

les formes irregulars incorrectes (*gelad-et*) es podria explicar suposant que existeix una anàlisi estructural errònia o violació de la regla per a la formació dels regulars (sufix *-t*), es detecta una violació morfosintàctica i apareix el LAN. En el cas de la violació aplicada als participis incorrectes regulars, no apareix aquest component, ja que les formes irregulars estan representades en memòria i no existiria aquest procés de descomposició del sufix com en el cas dels regulars. Aquest tòpic d'estudi ha estat molt controvertit (Pinker & Ullman, 2002) per les conseqüències que té quant a representació i algorismes o “maquinari neuronal” del processament de formes regulars i irregulars. En català també vam obtenir evidències que diferenciaven notablement les diferents formes regulars i irregulars, i per això vam obtenir un patró molt més complex (Rodríguez-Fornells *et al.*, 2001; figura 6b). També, recentment, en un estudi que hem realitzat amb fMRI hem evidenciat àrees del cervell comunes i particulars per a la producció encoberta de formes verbals regulars i irregulars (formes regulars, *tem-er - tem-o*; irregulars, *ped-ir - pid-o*), que permeten evidenciar que la flexió d'aquest tipus de verbs comporta almenys algun procés i alguna àrea del cervell diferent (De Diego Balaguer *et al.*, 2006).

Existeixen dos tipus d'interpretació per a la família de LAN observats. La primera considera que el LAN seria un indicador del procés automàtic o inicial de detecció i assignació d'una categoria sintàctica (Friederici *et al.*, 1996a,b) o d'una violació morfosintàctica (Münte *et al.*, 1993; Neville *et al.*, 1991; Osterhout & Holcomb, 1992). Aquesta hipòtesi està reforçada pels treballs amb frases Jabberwocky (que contenen pseudoparaulas) i on les violacions morfosintàctiques generen un LAN però no un P600 (Münte *et al.*, 1997; Hahne & Jescheniak, 2001). Segons la segona hipòtesi, el LAN seria un indicador de la memòria operativa o de treball requerida en el processament d'oracions (Coulson *et al.*, 1998b; King & Kutas, 1995; Kluender & Kutas, 1993). Aquesta interpretació es basa en dades recents sobre les diferències observades degudes a memòria operativa (Münte *et al.*, 1998; Fiebach *et al.*, 2002; Vos *et al.*, 2001).

Un dels problemes és que en ambdues interpretacions és necessària la participació de la memòria de treball per entendre el processament de les violacions morfosintàctiques i, alhora, el processament d'oracions de certa complexitat. Per comprendre una oració es requereix la reconstrucció de les relacions gramaticals existents entre els arguments i el predicat i assignar una estructura jeràrquica a les paraules entrants (Frazier & Fodor, 1978). Tot i que es considera que l'anàlisi estructural d'oracions que segueixen l'estructura “per defecte” o preferida d'un llenguatge (per exemple, en anglès SVO: el subjecte abans del verb i aquest abans de l'objecte) no requereix pràcticament esforç, tots els llenguatges permeten ordres menys canònics que possiblement fan més difícil de processar aquestes oracions. En oracions complexes s'incrementa la dificultat de computar l'estructura sintàctica d'aquestes i d'assignar els rols temàtics (“*who did what to whom*”) i, per tant, s'incrementa la càrrega en la memòria operativa. Un exemple molt senzill en són les clàusules de relatiu d'objecte respecte a les de subjecte:

“El metge que va atacar el president fou detingut”

“El metge que va disparar al president fou detingut”

o bé el moviment d'un argument del verb a la posició inicial, com a les preguntes,

Qui va atacar el president? (moviment-WH, Chomsky, 1981).

En el cas del moviment d'un element a la posició o clàusula inicial, es deixa enrere una categoria fonològica buida on l'element mogut és coindexat amb el que s'anomena *gap* o petjada (*trace*). En l'àmbit lingüístic, aquesta petjada ajuda el lector a identificar l'element mogut, que s'haurà d'omplir en el moment en què l'anàlisi estructural s'acosta o es troba en la posició original de l'element desplaçat (Nicol & Swinney, 1989). En el cas de les característiques lingüístiques necessàries de l'element desplaçat, es considera que són identificades i es mantenen en la memòria operativa fins que es troba la petjada (Clifton & Frazier, 1989). De fet, hi ha evidències empíriques bastant clares que la memòria operativa participa en el processament d'oracions complexes (Just & Carpenter, 1992; Caplan & Waters, 1999a). Segurament, ambdues interpretacions del LAN, com a reflex de violació sintàctica i memòria operativa, són parcialment correctes i alhora difícils de separar (Vos *et al.*, 2001). En el cas dels estudis que han contrastat clàusules de relatiu en comptes d'objecte (exemples anteriors), s'ha evidenciat sempre un increment de la negativitat anterior frontal esquerra (sostinguda al llarg de la frase) per a les frases amb clàusules d'objecte (Kutas & King, 1996; Müller *et al.*, 1997). Aquest LAN s'associa al fet d'haver de mantenir en memòria operativa en la clàusula d'objecte ambdós elements (en l'exemple anterior, "el metge" i "el president"). En estudis actuals utilitzant tècniques de neuroimatge metabòliques, també s'ha evidenciat un increment de l'activitat en el gir inferior frontal (àrea de Broca), especialment la part opercular (part posterior i ventral del gir) en el cas del processament d'oracions de relatiu d'objecte de diversos tipus (Caplan *et al.*, 1998, 1999b, 2000; Just *et al.*, 1996; Stromsvold *et al.*, 1996).

En un estudi recent s'han estudiat, utilitzant ERP, WH-frases en alemany en què o bé el subjecte o l'objecte s'havia mogut a la clàusula inicial (Fiebach *et al.*, 2002):

Karl li va preguntar, qui_(nominatiu) ____ va trucar al doctor_(objecte directe) el dimarts?
(*Karl fragt sich, wer ____ am Dienstag den Doctor verständigt hat?*)

Karl li va preguntar, a qui_(objecte directe) va trucar el doctor_(nominatiu) ____ el dimarts?
(*Karl fragt sich, wen am Dienstag der Doctor ____ verständigt hat?*)

A més, per poder manipular directament la càrrega en memòria operativa, es va variar la longitud entre el farciment i la petjada inserint una o dues frases preposicionals (per exemple, *Karl fragt sich, wer am Dienstag nachmittag nach dem Unfall_{pp} den Doctor verständigt hat?*). En el cas d'oracions d'objecte i llargues distàncies entre el farciment i la petjada es va observar un LAN sostingut (igual que en l'estudi inicial de Kluender & Kutas, 1993), de llarga durada, que no estava present en el cas de distàncies farciment-petjada curtes. Aquest resultat afavoreix clarament la idea que el processament de les dependències internes entre les

estructures d'una oració, com en aquest cas el manteniment del farciment, depèn almenys en part de la memòria operativa (Frazier & Flores d'Arcais, 1989). És important que en el futur nous estudis intentin esbrinar les relacions existents entre aquests components ERP, especialment entre el P600 i la família LAN.

Finalment, també constatem evidències quant a les diferències entre processos semàntics i sintàctics en el treball de Neville *et al.* (1992), on es van trobar patrons d'ERP diferents davant de paraules funcionals i de contingut quan es presentaven dins de contextos i oracions gramaticals. Les paraules funcionals van originar un component negatiu anterior esquerre (N280), mentre que en les paraules amb contingut es va observar un N400 en el còrtex parietal. De tota manera, aquest treball ha estat posat en dubte per diversos autors a causa que es confonen unes quantes variables, especialment la freqüència diferencial molt superior en les paraules funcionals comparades amb les de contingut (vegeu King & Kutas, 1998), la longitud d'ambdós tipus de paraules, ja que és molt més curta en el cas de les funcionals i això genera un patró d'ERP diferent (vegeu Münte *et al.*, 2001b; Osterhout *et al.*, 1997;), i la relació entre ambdues, ja que la freqüència d'una paraula i la seva llargària estan molt correlacionades.

Producció de la parla

D'acord amb el model de Levelt *et al.* (1999), en la producció de la parla natural la conceptualització precedeix el processament gramatical i fonològic de les paraules que es volen produir. Després d'escollir el tipus de missatge que es vol produir, durant el processament gramatical se selecciona del lèxic mental el lemma corresponent. Aquest concepte de lemma fa referència al significat de la paraula que s'ha de produir més els seus atributs sintàctics, com per exemple el tipus de categoria gramatical o el gènere gramatical. Un cop seleccionat el lemma, es produeix la codificació fonològica mitjançant la qual s'activa el patró de so de la paraula, de manera que existiria un possible pla d'articulació (fonètic) per poder produir la paraula escollida. En aquest estadi de processament fonològic, les paraules es transformen en una seqüència ordenada de moviments articularis (un per a cada síl·laba) necessaris per a la seva producció (vegeu l'esquema del model a la figura 7, esquerra).

Per avaluar els diferents tipus de models de producció de la parla, s'han estudiat sobretot els errors produïts en aquesta, com el fenomen punta de la llengua i altres variables conductuals tant en persones normals com en pacients neuropsicològics. Un dels problemes d'estudiar la parla amb ERP són els artefactes sobre el senyal registrat originats per la vocalització, que distorsionen molt les mitjanes obtingudes. Recentment, s'ha desenvolupat tot un conjunt de tècniques d'estudi electrofisiològiques que han permès avaluar el processament temporal dels diferents estadis de producció de la parla encoberta (és a dir, anomenar dibuixos però sense arribar a produir la resposta verbal), en concret, utilitzant el potencial de resposta lateralitzat (LRP; Coles, 1989) i el component N2 noGo (Schmitt *et al.*, 2000, 2001a,b; Rodríguez-Fornells *et al.*, 2002a; Jansma *et al.*, 2004). Aquest tipus de metodologia ens pot permetre estudiar quina informació lingüística és accessible

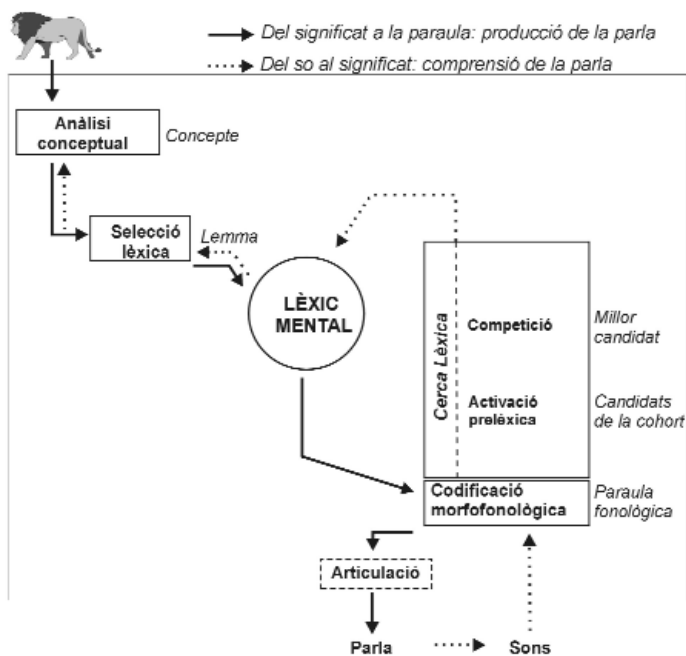


Figura 7. Model esquematitzat de producció (part esquerra) i comprensió del llenguatge (dreta) (adaptat de Levelt *et al.*, 1999; Cutler i Clifton, 1999).

abans que una altra en el nostre sistema de processament o si es pot accedir en paral·lel a dues informacions. El tipus de disseny sempre és bastant semblant: els participants han de respondre en uns assaigs mitjançant un botó de resposta (assaigs Go) i deixar de respondre en uns altres (noGo). Per exemple, en l'estudi que vam fer (Rodríguez-Fornells *et al.*, 2002a), en cada assaig el participant havia de prendre dues decisions: 1) respondre només si el dibuix presentat era un animal (Go) però no respondre si era un objecte (noGo), i 2) en el cas que fos un animal, respondre amb la mà dreta si començava per consonant i amb l'esquerra si començava per vocal. Aquestes instruccions es van variar sistemàticament al llarg de tot l'experiment. La idea de fons és que, en el cas de la informació semàntica, la decisió Go/noGo es pot prendre abans, ja que, dintre del model de processament de la parla, aquesta informació esdevé disponible abans que no pas, per exemple, la fonològica. En el cas de la informació fonològica (saber si la paraula que representa un dibuix comença per consonant) requereix arribar almenys a l'estadi de processament fonològic.

Per poder avaluar el temps de processament, el que es fa és la resta entre els estímuls noGo i els Go, de manera que s'obté el potencial diferència (noGo – Go).

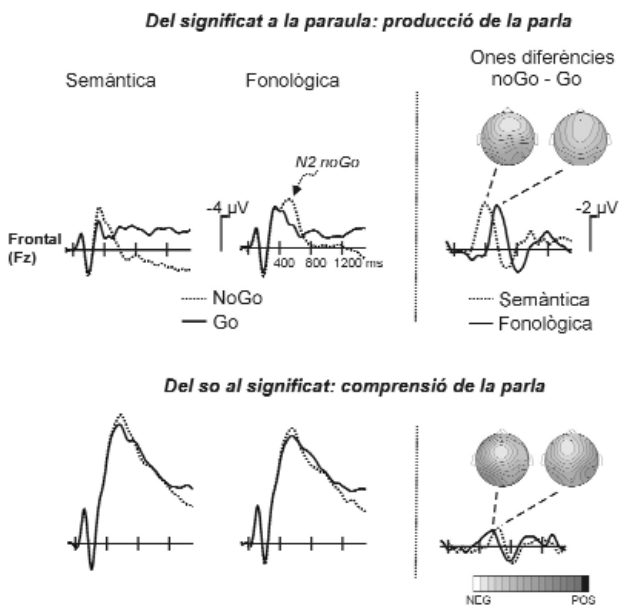


Figura 8. A la part superior del gràfic es mostren els resultats obtinguts en una tasca de producció encoberta. En cada dibuix presentat, els participants havien de decidir segons un criteri semàntic (és un animal o un objecte) i fonològic (el nom que designa el dibuix comença per vocal o consonant). Com es pot veure, en la decisió semàntica el potencial noGo i l'ona diferència noGo – Go (part dreta) es produeixen abans que en el cas del criteri fonològic. En canvi, quan el que presentàvem era la paraula auditivament i els participants havien de prendre la mateixa decisió, el patró s'invertia (vegeu la part inferior). La topografia del component N2noGo mostra clarament el seu origen frontal central lleugerament dret (gràfics de la dreta; adaptat de Rodríguez-Fornells *et al.*, 2002a).

Quan una persona ha d'inhibir una resposta (noGo) es produeix un component N2 noGo que es caracteritza per un increment de negativitat en parts frontals del cervell (Thorpe *et al.*, 1996; Pfefferbaum *et al.*, 1985; Gemba & Sasaki, 1989; Jodo & Kayama, 1992). Aquest component es pot veure il·lustrat en la figura 8. Com que la decisió semàntica és més ràpida que la fonològica, el que tenim és que, si restem noGo-Go a la condició fonològica i a la semàntica, podem avaluar el temps que es tarda a produir aquesta resposta. Si ens fixem en les ones diferència de la figura 8, podem veure clarament que l'inici de l'ona és molt més anterior en la condició semàntica o conceptual que en la condició fonològica (aproximadament entre 100 i 170 ms, depenent de l'estudi, Schmitt *et al.*, 2000; Rodríguez-Fornells *et al.*, 2002). La distribució topogràfica assenyalava un generador neuronal frontal. De fet, estudis recents d'fMRI han evidenciat que existeix activació del còrtex prefrontal dorsolateral dret (àrees BA 9 i 10) quan les persones intentem inhibir una acció.

Un aspecte important que s'ha de tenir en compte és que, en aquests experiments, ens valem d'un indicador ERP no relacionat amb el llenguatge pròpiament (l'N2 noGo) per poder avaluar hipòtesis sobre el curs temporal dels estadis de processament de la parla. Aquest component només indica quan s'està intentant inhibir una acció. El mateix tipus d'estratègia s'ha fet servir amb el component LRP, que s'ha utilitzat per estudiar la producció del llenguatge. L'LRP és un indicador que avalua fins a quin punt s'està preparant una resposta motora. En el cas que, per exemple, un estadi com el semàntic es resolgui abans, això permet que la resposta de la mà (dreta o esquerra) es prepari si és possible, i això es pot veure reflectit en el component LRP. Aquesta va ser l'estratègia inicial emprada per Van Turennout *et al.* (1997, 1998), que van posar de manifest l'existència d'una noGo LRP quan la decisió permetia preparar la informació de la mà de resposta. De nou, en aquests estudis, un indicador ERP bàsicament motor ha permès estudiar el curs temporal del processament de la parla.

En la figura 8 (part inferior) es demostra que l'ordre de l'N2 fonològica i semàntica s'inverteix quan, en comptes de producció de la parla o denominació de dibuixos, el que es fa és presentar la paraula auditivament (comprensió de la parla, vegeu la part dreta del model de la figura 7). Com que en aquest cas primer es té informació dels aspectes fonològics, el component és anterior a les decisions de caràcter semàntic. De tota manera, la diferència en termes de latència entre ambdues ones és molt menys notable, a causa que, en el processament auditiu i basant-nos en el model de cohort (Marslen-Wilson, 1987), es produeix una selecció molt ràpida dels possibles candidats lèxics que permeten un encavalcament temporal més gran en els diferents processos que intervenen en la comprensió de la parla. En altres estudis s'ha comparat el curs temporal entre el processament conceptual i el sintàctic en producció de la parla i comprensió (Schmitt *et al.*, 2001a,b). Utilitzant aquesta metodologia, recentment hem estudiat la producció de la parla en bilingües alemanys-espanyols en una situació de canvi de llengües (utilitzant també el paradigma de Go/noGo) (Rodríguez-Fornells *et al.*, 2005). En aquest estudi, hem pogut evidenciar que els bilingües, en aquesta situació concreta, mostren interferències de l'altra llengua a l'hora de parlar i que, per tant, requereixen mecanismes de control que permetin seleccionar de forma precisa i ràpida la paraula adequada en cada cas.

Una crítica important a aquests estudis és que, de fet, estudiem parla encoberta i els participants realitzen tasques metalingüístiques, com decidir si un dibuix és un animal o no. S'ha de tenir en compte que aquestes tasques no són processos normals quan parlem i per això no són les més adequades. Malgrat tot, la informació que es requereix per poder fer la tasca sí que és producte del curs temporal de la producció de la parla i, per tant, podem considerar que depèn del moment temporal en què es processen les informacions semàntiques i fonològiques de les paraules que corresponen al dibuix presentat. De fet, les dades produïdes en ERP utilitzant aquest tipus de dissenys no gaire naturals són bastant fiables i coherents si les comparem amb els models existents i les dades conductuals. En un futur no gaire llunyà, segurament podrem fer servir dissenys on es produeixi parla real i per mitjà de formes més complexes d'anàlisi, com ara l'anàlisi de components

independents (ICA, Bell & Sejnowski, 1995), on es poden netejar els registres electroencefalogràfics dels artefactes produïts per la vocalització, obtenir mesures “netes” de l'activitat neural relacionada amb fenòmens de producció de parla. Es coneixen pocs estudis amb ERP en què la resposta del subjecte sigui parla real, però ens els últims anys s'han publicat estudis on es duen a terme tasques d'aquest tipus (Liotti *et al.*, 2000; Jescheniak *et al.*, 2002, 2003), la qual cosa demostra la possibilitat d'utilitzar, amb certes restriccions, dissenys amb parla real.

Adquisició i aprenentatge de segones llengües

Diferents grups de recerca han intentat esbrinar si aquests components ERP ens podrien informar sobre com s'adquireixen noves paraules, com se n'aprèn la pronunciació, el significat i les característiques sintàctiques. Dividirem l'exposició següent en efectes sobre l'aprenentatge lèxic i gramatical.

Aprenentatge del lèxic

Osterhout i col·laboradors (Osterhout *et al.*, 2004; McLaughlin *et al.* 2004) han realitzat recentment diversos treballs on avaluen el canvi i la morfologia dels ERP en adults a mesura que s'aprèn una L2. Amb aquest objectiu, van escollir una mostra de voluntaris (nord-americans) que començaven a aprendre una nova llengua (L2, en aquest cas concret, el francès). De fet, utilitzar aquests grups d'aprenentatge permet controlar millor el nivell d'adquisició assolit d'L2 i eliminar variabilitat a la mostra, com quan es treballa amb poblacions bilingües adultes, on les històries d'adquisició de l'L2 poden variar molt entre els participants de l'estudi (per exemple, edat d'adquisició, nivell de l'L2, quantitat d'exposició a l'L2, etc.). En el primer estudi longitudinal (McLaughlin *et al.*, 2004) es va avaluar l'efecte de l'exposició i el temps d'aprenentatge a l'L2 i el seu impacte en el reconeixement de paraules i no-paraules en l'L2. El grup avaluat assistia per primera vegada a un curs d'un any de francès i l'avaluació es va fer al cap de dues setmanes (una mitjana d'unes catorze hores de classe), a la meitat del curs i al final. Com s'ha esmentat abans, en tasques de decisió lèxica (és a dir, el voluntari assenyala si una paraula és possible o no en el seu idioma), l'N400 té més amplitud en les no-paraules (ortogràficament i fonològicament possibles) que no pas en les paraules reals. Quan l'exposició al francès va ser d'una mitjana de catorze hores (classes regulars), McLaughlin *et al.* van trobar, en el nivell de decisió conductual, que els participants no eren capaços de dir si els ítems presentats eren o no paraules en francès. El més interessant, però, va ser que, tot i que no sabien si eren paraules de l'L2, la resposta cerebral (N400) sí que mostrava l'efecte de lèxic i permetia diferenciar clarament si era una paraula o no; a més, apareixia més amplitud en les no-paraules. I no solament això; es va trobar una correlació molt alta entre el nombre d'hores d'exposició a l'L2 i l'efecte lèxic en l'N400, que apunta una relació lineal entre ambdues mesures. Es va utilitzar com a control un grup de voluntaris que no estudiaven francès, i això no va tenir efectes en cap cas. En aquest estudi també es presentaven parelles de paraules en francès semànticament relacionades. L'efecte de

priming semàntic (reducció de l'N400 després de presentar un ítem semànticament relacionat) apareixia a partir de la segona sessió (meitat del curs de francès, aproximadament 62 hores d'instrucció). Al final del curs (~138 hores), aquests efectes es van mostrar molt més intensos tot i el baix rendiment en la tasca explícita de diferenciar paraules i no-paraules.

Aquest primer resultat és força sorprenent, sobretot perquè suggereix que les mesures explícites (conductuals) i les *on-line* cerebrals a vegades mostren patrons oposats, com comentàvem a la introducció. En aquest cas particular, els autors consideren que l'exposició a una segona llengua afecta l'aprenentatge de l'L2 i la seva representació en el cervell més ràpidament que el que tradicionalment s'ha considerat. Tot i que nosaltres també creiem que aquests canvis o aprenentatges implícits segurament es produeixen, i que la simple exposició, fins i tot passiva, a una segona llengua pot engegar canvis observables en el cervell, es requereixen molts més estudis per poder avaluar l'impacte inicial de l'aprenentatge de segones llengües.

A la inversa, sobre la facilitat per desaprendre una llengua, també s'han trobat resultats sorprenents utilitzant mesures de neuroimatge. Per exemple, Pallier *et al.* (2002) van estudiar una mostra de nens coreans que van ser adoptats per famílies franceses (edats d'adopció: entre 3 i 8 anys) i que, un cop a França, no van tenir cap més contacte amb coreans. En el moment de l'avaluació (26 anys de mitjana), tots ells van coincidir a assenyalar que no eren capaços de parlar, d'entendre o de reconèixer signes de la seva parla originària. La representació o les petjades cerebrals del coreà es van estudiar mitjançant fMRI i el resultat obtingut apuntava clarament al fet que no existia cap tipus de reconeixement de la parla originària (percepció i comprensió), i que les activacions cerebrals obtingudes eren exactament iguals que les que es van obtenir per a altres llenguatges que desconeixien del tot (japonès o polonès). Aquest contrast –llengua coneguda / llengua no coneguda– activa bàsicament tota una xarxa neuronal que inclou, a més del gir temporal superior bilateral (activat també en la llengua desconeguda), altres regions de l'hemisferi esquerre, com el lòbul temporal mitjà i anterior, el gir inferior temporal i el gir inferior frontal (vegeu Mazoyer *et al.*, 1993; Dehaene *et al.*, 1997; Schlosser *et al.*, 1998). Curiosament, les àrees del cervell activades pel francès, l'idioma que parlaven, no diferien de les que es van trobar en un grup de control nadiu francès. Aquestes dades apunten a la reversibilitat de l'aprenentatge d'una llengua i a la plasticitat que pot arribar a tenir el cervell durant els primers anys de vida. En aquest cas, els circuits neuronals implicats en l'aprenentatge del coreà segurament van ser els que es van encarregar de l'adquisició de la segona llengua i, per tant, no existia una cristallització forta d'aquests durant aquells anys. La falta d'observacions positives en aquest estudi tampoc no és definitiva perquè la tècnica d'observació (fMRI) no permet detectar canvis microscòpics (a nivell de sinapsi) que puguin ser observats i que indueixin a pensar en antigues "traces" neuronals del coreà après a la infància. Per això aquestes dades s'han de considerar amb cautela. Una prova potser més determinant per intentar esbrinar si existeixen o no restes del llenguatge nadiu seria sotmetre el grup de coreans a un reaprenentatge del coreà i comprovar la seva adquisició diferencial respecte d'un

grup adult amb les mateixes característiques i motivació (per exemple, parelles mixtes francocoreanes). És possible que tests de fonologia o d'adquisició de contrastos fonològics difícils permetin posar de manifest l'existència de microcircuitos neurals creats durant l'adquisició del coreà. No obstant això, s'ha de tenir en compte que, tot i que inicialment es van demostrar els límits en l'adquisició i producció de contrastos fonològics en noves llengües en adults, s'ha demostrat que en adults es pot arribar a discriminar aquests contrastos si es proporciona un entrenament adequat (vegeu Werker & Tees, 1999).

En el nostre grup hem desenvolupat diferents investigacions centrades a esbrinar quins són els canvis que s'observen, a nivell electrofisiològic i cerebral, quan s'aprenen paraules noves, és a dir quan s'aprèn vocabulari. Utilitzem com a marc teòric de referència el proposat per Gillette *et al.* (1999) sobre l'adquisició i aprenentatge de vocabulari. En els dos primers estudis realitzats (Mestres-Missé *et al.*, 2007) hem pogut evidenciar electrofisiològicament com es genera una nova representació lèxica, que es fa patent per l'increment en l'N400. Posteriorment, també hem evidenciat que aquestes paraules noves apreses generen un efecte de *priming* semàntic, tot i que apareix més retardat en el temps. Tres regions del cervell s'han mostrat molt sensibles a l'aprenentatge de paraules noves: el còrtex temporal mitjà (BA 21), el còrtex prefrontal (especialment l'àrea 45) i, a nivell subcortical, els ganglis basals, especialment el nucli caudat i el tàlem. S'han obtingut resultats molt semblants sobre l'aprenentatge de vocabulari en alguns estudis recents utilitzant mesures magnetoencefalogràfiques (MEG), tant en adults normals com en pacients anòmics (Cornelissen *et al.*, 2003, 2004). També hem estudiat quins són els indicadors cerebrals que intervenen en el procés de segmentació de la parla i que permeten ser capaç d'aïllar, en els estadis inicials del processament lingüístic, les possibles paraules que formen un llenguatge (Cunillera *et al.*, 2006).

Aprenentatge morfosintàctic i gramatical

Un dels aspectes més interessants en l'aprenentatge de les regles gramaticals d'una segona llengua és l'efecte de transferència d'L1 a L2, és a dir, fins a quin punt la transparència o l'opacitat de les regles gramaticals entre l'L1 i l'L2 determina l'adquisició de l'estructura gramatical de l'L2 (Odlin, 1989; Ringbom, 1987; Gass & Selinker, 1992). Un dels estudis clàssics en ERP i sintaxi de l'L2 és el de Weber-Fox i Neville (1996), on es va estudiar la resposta d'ERP en bilingües anglesos-xinesos que havien estat exposats a l'anglès a diferents edats (tots els participants havien viscut als Estats Units almenys cinc anys). Se'ls van presentar oracions amb diferents tipus d'anomalies, pragmàtiques i sintàctiques, incloent-hi violacions en l'estructura de la frase. Mentre que tots els grups van mostrar efectes clars en les anomalies pragmàtiques (efecte N400), no va succeir el mateix amb les violacions sintàctiques. De fet, les violacions de l'estructura de la frase només van mostrar el component clàssic de la P600 en els bilingües que havien estat exposats a l'anglès abans dels setze anys. L'altre subgrup (els que hi havien estat exposats després dels setze anys) va mostrar, en canvi, una N400 i no pas una P600.

Osterhout *et al.* (2004) han reportat recentment resultats molt similars utilitzant un disseny longitudinal igual que l'exposat en l'apartat anterior. En aquest cas, es van mirar tres tipus d'anomalies al llarg del temps (un mes, quatre mesos i vuit mesos al llarg del curs de francès):

- 1) semàntica: *Sept plus cinq***livre font douze*
- 2) d'acord entre verb i subjecte: *Tu adores***adorez le français*
- 3) d'acord entre article i nom: *Tu manges des hamburgers***hamburger pour dinner*.

En el grup de control francès, respectivament, la primera anomalia origina clarament una N400, mentre que les dues anomalies sintàctiques generen una P600. En els estudiants de francès, els que van mostrar un aprenentatge ràpid, el component N400 de l'anomalia semàntica apareixia ja en el primer punt temporal (primer mes). Respecte a les altres dues condicions, ambdues difereixen en la freqüència de la regla sintàctica entre L1 i L2. Mentre que l'acord entre subjecte i verb existeix també en anglès, no succeeix el mateix per a l'acord entre l'article i el nom, que és d'ús molt més infreqüent. El resultat més interessant és que, mentre que els estudiants de francès van desenvolupar amb el pas del temps una P600 per a la violació d'acord entre subjecte i verb, no ho van fer per al segon tipus de violació sintàctica d'acord entre article i nom. També és interessant que en el segon tipus de violació, la P600 només va aparèixer al segon i tercer període d'avaluació, mentre que en el primer test només va aparèixer una N400 davant l'anomalia. Aquestes dades són semblants al primer experiment de Weber-Fox i Neville (1996), ja que assenyalen que en alguns casos existeixen límits en l'adquisició de la regla gramatical i que el procés d'adquisició i internalització d'una regla gramatical requereix un cert temps. En tot cas, sí que és cert que, amb poca exposició a l'L2, s'observen canvis molt notables en el cervell davant les violacions sintàctiques que demostren la plasticitat d'aquest òrgan davant dels nous aprenentatges. L'altre aspecte important és el paper de la transferència de les regles gramaticals entre L1 i L2 i la seva influència. En aquest cas, tot i la simplicitat de la regla de concordança entre l'article i el nom, els anglesos no han pogut assolir-la amb un any d'aprenentatge. En aquest sentit, això apunta al fet que les regles existents o les més semblants entre L1 i L2 s'adquiririen molt més ràpidament i millor que les que no existeixen o les que són molt diferents, les quals serien més resistents a un aprenentatge ràpid i podrien arribar a no adquirir-se completament.

Un tipus d'enfocament diferent, i molt interessant, és l'emprat per Friederici *et al.* (2002), on els participants en l'estudi van ser entrenats en un minilenguatge artificial (brocanto) que consistia en catorze paraules noves i un conjunt de regles gramaticals. Utilitzant un programa d'aprenentatge, s'assegurava un bon nivell d'eficàcia i fluïdesa al final de l'entrenament. L'objectiu de l'estudi era veure si el processament sintàctic d'L1 seria igual al que assolirien en una L2 (brocanto) tot i que aquesta s'havia adquirit molt més tard. En l'experiment realitzat amb ERP, es presentaven frases curtes que violaven o no les regles gramaticals apreses en el brocanto. Una manipulació interessant en l'estudi és que es van introduir dos tipus de regles gramaticals: unes que eren noves per a l'L1 (alemany), és a dir, on la

transferència entre L1 i L2 no era possible, i unes altres on la transferència era possible. En tots dos casos, amb regles gramaticals iguals a l'L1 i diferents, es va obtenir un patró ERP similar (LAN frontal i P600), que va evidenciar que els subjectes realment estaven processant sintàcticament el nou llenguatge miniatura. El primer component LAN es va interpretar com el reflex d'un mecanisme d'anàlisi estructural inicial o detecció de la violació, i la P600 com a reinterpretació i reanàlisi dels constituents de l'oració. La conclusió de l'article va en contra d'algunes dades anteriors (per exemple, Weber-Fox *et al.*, 1996; Hahne, 2001), on no s'havia evidenciat una LAN per a les violacions sintàctiques de les regles no existents a l'L2. Els autors conclouen que segurament això és degut al nivell d'eficàcia o fluïdesa de l'L2, que, pel que fa al brocanto, era molt elevat. En l'estudi de Hahne (2001), es van estudiar les violacions sintàctiques en alemany en un grup de participants russos que van aprendre l'alemany aproximadament al cap de deu anys. En aquest grup (L2), les violacions sintàctiques en alemany no van produir una LAN, però sí una P600, tot i que la latència estava un pèl retardada. En canvi, les violacions semàntiques sí que van produir clarament una modulació de l'N400. En un estudi semblant a l'esmentat, Hahne i Friederici (2001) van avaluar un grup de japonesos que havien après l'alemany a partir dels divuit anys. En aquest estudi, les diferències més notables es van evidenciar per a les violacions d'estructura sintàctica, on el grup d'L2 no va mostrar signes electrofisiològics de LAN o P600. En canvi, aquest grup va mostrar una modulació de l'N400 en les violacions sintàctiques. Possiblement, les diferències entre ambdós estudis són el nivell d'eficàcia i el de fluïdesa de l'L2, que és pitjor en la mostra de japonesos i indica que els processos reflectits en la P600 es manifesten en estadis d'aprenentatge de l'L2 bastant avançats.

En un treball més recent (Hahne, Müller & Clahsen, 2004) s'ha estudiat, utilitzant el mateix grup d'L2 russos, la resposta electrofisiològica a diferents tipus de violacions morfosintàctiques, com ara la formació del participi i del plural en alemany. Curiosament, aquestes dades demostren que existeixen diferències entre L1 i L2 en la detecció d'aquestes violacions. Per exemple, davant d'irregulars incorrectament regularitzats, apareix una negativitat anterior seguida d'una P600, com a L1, però en aquest cas la topografia és més bilateral que esquerra. En canvi, per a les violacions en la formació de plurals, no apareix la negativitat anterior i només s'observa la P600. Els autors consideren que és possible que existeixi un efecte de transferència, en la mesura que l'alemany i el rus comparteixen en la formació del participi sufixos *-n* i *-t*. En canvi, la formació del plural en rus és molt més variada i diferent que la utilitzada en alemany. Això faria que fos més fàcil l'adquisició de les regles per a la formació del participi verbal per a russos que no pas el sistema de formació de plural. En tot cas, aquestes dades també es veuen influïdes per l'eficàcia i la fluïdesa de l'L2. Sabourin (2003) va trobar efectes de P600 per a violacions d'acord de gènere en un grup de bilingües alemanys que aprenien holandès (L2), els quals havien assolit un bon nivell d'L2, però no succeïa el mateix amb els que tenien poc desenvolupat l'aprenentatge en L2.

Una possible conclusió és que només en els casos en què l'L2 té nivells d'eficàcia i fluïdesa molt elevats sembla que s'utilitzen els mateixos processos mentals

que en l'L1. Segons el model proposat per Ullman (2001), es considera que l'L2 seria més dependent del processament de les representacions en memòria, és a dir, de l'accés a les formes emmagatzemades en memòria (estructures del lòbul temporal), més que als processos de computació gramatical o aplicació de regles combinatòries (àrees frontals), ambdós clarament utilitzats en l'L1. Tot i que aquest model encaixaria per als estats inicials de l'aprenentatge de l'L2, no sembla que s'adeqüi a nivells de processament d'L1 i L2 molt equilibrats (De Diego *et al.*, 2005). De tota manera, quasi no existeixen dades encara per poder concloure si el model és o no apropiat per al processament morfosintàctic de l'L2.

En resum, investigar els mecanismes neuronals implicats en l'aprenentatge de noves paraules i en l'adquisició de vocabulari i de regles gramaticals pot ser molt important per, entre d'altres: 1) desenvolupar noves formes d'estudiar el procés d'adquisició de vocabulari; 2) estudiar l'especificitat dels mecanismes i processos cognitius implicats en aquest procés (de domini lingüístic o bé sustentats per altres capacitats cognitives); 3) ampliar el conjunt de coneixements actualment existents que relacionen el cervell i el llenguatge; 4) finalment, construir un marc teòric que permeti l'estudi d'alguns trastorns del llenguatge. El coneixement de l'aprenentatge del vocabulari i de les regles sintàctiques, tant a nivell neurofisiològic com dels processos cognitius que hi estan implicats, permetrà també millorar el diagnòstic i el tractament d'algunes poblacions clíniques, com, per exemple, nens amb lesions cerebrals perinatals, nens amb trastorn específic del llenguatge (SLI) i pacients amb afàsia (especialment anòmia).

Conclusions

La idea d'aquest article és resumir breument i exposar quins són els principals resultats obtinguts en l'estudi del llenguatge utilitzant les tècniques de neuroimatge no invasives. En concret, en aquesta revisió ens hem centrat en els ERP (*event-related brain potentials*: potencials evocats cognitius), tècnica electroencefalogràfica que permet una anàlisi temporal del funcionament del cervell mentre la persona processa informació. Els avantatges més obvis d'aquesta tècnica respecte d'altres aplicades en l'estudi del llenguatge (FMRI, PET) són que permet obtenir indicadors que no necessàriament han d'estar associats a una resposta verbal o manifesta de la persona i, per tant, permet l'observació *en temps real* dels processos cognitius que operen en l'anàlisi estructural lingüística. La segona idea que s'apunta és que els indicadors actuals d'ERP associats al llenguatge (N400, P600, LAN, ELAN, etc.) i d'altres associats a altres processos cognitius (N1, P2, N2, N2 noGo, P3, P3a, CNV i LRP, etc.) es poden utilitzar en dissenys experimentals originals que permetin contrastar diferents hipòtesis plantejades per diferents models lingüístics i psicolingüístics. L'originalitat dels investigadors i la utilització creativa d'aquestes tècniques és el que permetrà avançar en el coneixement del funcionament del llenguatge i de les seves bases neurals en els pròxims anys.

Bibliografia

- Ashburner, J. & Friston, K. J. (2000). Voxel-based morphometry—the methods. *Neuroimage*, *11*, 805-821.
- Aslin R., Fiser J. (2005). Methodological challenges for understanding cognitive development in infants. *Trends in Cognitive Sciences* (in press).
- Barrett, S. E. & Rugg, M. D. (1989). Event-related potentials and the semantic matching of faces. *Neuropsychologia*, *27*, 913-922.
- Barrett, S. E. & Rugg, M. D. (1990). Event-Related Potentials and the Phonological Matching of Picture Names. *Brain and Language*, *38*, 424-437.
- Bell, A. J. & Sejnowski, T. J. (1995). An information-maximization approach to blind separation and blind deconvolution. *Neural Comput.*, *7*, 1129-1159.
- Bentin, S., McCarthy, G., & Wood, C. C. (1985). Event-related potentials, lexical decision and semantic priming. *Electroencephalogr.Clin.Neurophysiol.*, *60*, 343-355.
- Bentin, S., Kutas, M., & Hillyard, S. A. (1995). Semantic processing and memory for attended and unattended words in dichotic listening: behavioral and electrophysiological evidence. *J.Exp.Psychol.Hum.Percept.Perform.*, *21*, 54-67.
- Besson, M., Kutas, M., & Vanpetten, C. (1992). An Event-Related Potential (Erp) Analysis of Semantic Congruity and Repetition Effects in Sentences. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *4*, 132-149.
- Bobes, M. A., Valdes-Sosa, M., & Olivares, E. (1994). An ERP study of expectancy violation in face perception. *Brain Cogn*, *26*, 1-22.
- Brown, C. & Hagoort, P. (1993). The Processing Nature of the N400 - Evidence from Masked Priming. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *5*, 34-44.
- Buchel, C. & Friston, K. J. (1997). Modulation of connectivity in visual pathways by attention: cortical interactions evaluated with structural equation modelling and fMRI. *Cereb.Cortex*, *7*, 768-778.
- Cabeza R, Dolcos F, Graham R, Nyberg L. (2002). Similarities and differences in the neural correlates of episodic memory retrieval and working memory. *Neuroimage* *16*, 317-30.
- Caplan, D., Alpert, N., & Waters, G. (1998). Effects of syntactic structure and propositional number on patterns of regional cerebral blood flow. *J Cogn Neurosci*, *10*, 541-552.
- Caplan, D. & Waters, G. S. (1999a). Verbal working memory and sentence comprehension. *Behav.Brain Sci.*, *22*, 77-94.
- Caplan, D., Alpert, N., & Waters, G. (1999b). PET studies of syntactic processing with auditory sentence presentation. *Neuroimage*, *9*, 343-351.
- Caplan, D., Alpert, N., Waters, G., & Olivieri, A. (2000). Activation of Broca's area by syntactic processing under conditions of concurrent articulation. *Hum.Brain Mapp.*, *9*, 65-71.
- Caplan, D., Vijayan, S., Kuperberg, G., West, C., Waters, G., Greve, D., & Dale, A. M. (2002). Vascular responses to syntactic processing: event-related fMRI study of relative clauses. *Hum.Brain Mapp.*, *15*, 26-38.
- Chao, L. L., Nielsenbohlman, L., & Knight, R. T. (1995). Auditory Event-Related Potentials Dissociate Early and Late Memory Processes. *Evoked Potentials-Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, *96*, 157-168.
- Cheour, M., Ceponiene, R., Lehtokoski, A., Luuk, A., Allik, J., Alho, K., & Naatanen,

- R. (1998). Development of language-specific phoneme representations in the infant brain. *Nature Neuroscience*, *1*, 351-353.
- Cheour, M., Leppanen, P. H. T., & Kraus, N. (2000). Mismatch negativity (MMN) as a tool for investigating auditory discrimination and sensory memory in infants and children. *Clinical Neurophysiology*, *111*, 4-16.
- Chomsky, N. (1981). *Lectures on government and binding*. Dordrecht: Foris.
- Chwilla, D. J. (1996). *Electrophysiology of word processing: The lexical processing nature of the N400 priming effect*. Nijmegen University..
- Clahsen, H. (1999). Lexical entries and rules of language: a multidisciplinary study of German inflection. *Behav.Brain Sci.*, *22*, 991-1013.
- Clifton, C. & Frazier, L. (1989). Comprehending sentences with long-distance dependencies. In G.N.Carlson & M. K. Tanenhaus (Eds.), *Linguistic structure in language processing* (pp. 273-317). Dordrecht: Kluwer Academic.
- Coles, M. G. (1989). Modern mind-brain reading: psychophysiology, physiology, and cognition. *Psychophysiology*, *26*, 251-269.
- Cornelissen, K., Laine, M., Tarkiainen, A., Jarvensivu, T., Martin, N., & Salmelin, R. (2003). Adult brain plasticity elicited by anomia treatment. *J Cogn Neurosci*, *15*, 444-461.
- Cornelissen, K., Laine, M., Renvall, K., Saarinen, T., Martin, N., & Salmelin, R. (2004). Learning new names for new objects: cortical effects as measured by magnetoencephalography. *Brain Lang*, *89*, 617-622.
- Coulson, S., King, J. W., & Kutas, M. (1998). Expect the unexpected: Event-related brain response to morphosyntactic violations. *Language and Cognitive Processes*, *13*, 21-58.
- Cunillera, T., Toro, J. M., Sebastián-Gallés, N., & Rodríguez-Fornells, A. The effect of stress and statistical cues on continuous speech segmentation: an event-related brain potential study. *Brain Research*, *1123*, 168-178.
- Cutler, A. & Clifton, C. (1999). Comprehending spoken language: a blueprint of the listener. In C.Brown & P. Hagoort (Eds.), *The Neurocognition of Language* (pp. 123-166). Oxford: Oxford University Press.
- De Diego, B., Sebastián-Galles, N., Diaz, B., & Rodriguez-Fornells, A. (2005). Morphological processing in early bilinguals: an ERP study on regular and irregular verb processing. *Cognitive Brain Research*, *25*, 312-327.
- De Diego, B., Rodríguez-Fornells, A., Rotte, M., Bahlmann, J., Heinze, H. J., & Munte, T. F. (2006). Neural circuits subserving the retrieval of stems and grammatical features in regular and irregular verbs. *Human Brain Mapping*, *27*, 874-888.
- Debrulle, J. B., Pineda, J., & Renault, B. (1996). N400-like potentials elicited by faces and knowledge inhibition. *Cognitive Brain Research*, *4*, 133-144.
- Dehaene, S., Dupoux, E., Mehler, J., Cohen, L., Paulesu, E., Perani, D., van de Moortele, P. F., Lehericy, S., & Le Bihan, D. (1997). Anatomical variability in the cortical representation of first and second language. *Neuroreport*, *8*, 3809-3815.
- Donchin, E. (1981). Society for Psychophysiological Research - Presidential-Address, 1980 - Surprise ... Surprise. *Psychophysiology*, *18*, 493-513.
- Duvernoy, H. M. (1991). *The Human Brain*. Berlin: Springer-Verlag.
- Eimas, P. D., Siqueland, E. R., Jusczyk, P., & Vigorito, J. (1971). Speech Perception in Infants. *Science*, *171*, 303-306.
- Fiebach, C. J., Schlesewsky, M., & Friederici, A. (2002). Separating syntactic memo-

- ry costs and syntactic integration costs during parsing: the processing of German WH-questions. *Journal of Memory and Language*, 47, 250-272.
- Fodor, J. (1983). *The modularity of mind*. (52 ed.) (Vols. 3).
- Frazier, L. & Fodor, J. D. (1978). The sausage machine: a new two-stage parsing model. *Cognition*, 6, 291-325.
- Frazier, L. & Flores D'Arcais, G. B. (1989). Filler driven parsing: a study of gap filling in Dutch. *Journal of Memory and Language*, 28, 331-344.
- Friederici, A. D., Pfeifer, E., & Hahne, A. (1993). Event-related brain potentials during natural speech processing: effects of semantic, morphological and syntactic violations. *Brain Res.Cogn Brain Res.*, 1, 183-192.
- Friederici, A. D. & Mecklinger, A. (1996a). Syntactic parsing as revealed by brain responses: First-pass and second-pass parsing processes. *Journal of Psycholinguistic Research*, 25, 157-176.
- Friederici, A. D., Hahne, A., & Mecklinger, A. (1996b). Temporal structure of syntactic parsing: Early and late event-related brain potential effects. *Journal of Experimental Psychology-Learning Memory and Cognition*, 22, 1219-1248.
- Friederici, A. D., Meyer, M., & von Cramon, D. Y. (2000). Auditory language comprehension: An event-related fMRI study on the processing of syntactic and lexical information. *Brain and Language*, 74, 289-300.
- Friederici, A. D., Steinhauer, K., & Pfeifer, E. (2002). Brain signatures of artificial language processing: Evidence challenging the critical period hypothesis. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 99, 529-534.
- Ganis, G., Kutas, M., & Sereno, M. I. (1996). The search for "common sense": An electrophysiological study of the comprehension of words and pictures in reading. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 8, 89-106.
- Gass, S. & Selinker, L. (1992). *Language Transfer in Language Learning*. Amsterdam: John Benjamins.
- Gemba, H. & Sasaki, K. (1989). Potential related to no-go reaction of go/no-go hand movement task with color discrimination in human. *Neurosci Lett.*, 101, 263-268.
- Gillette, J., Gleitman, H., Gleitman, L., & Lederer, A. (1999). Human simulations of vocabulary learning. *Cognition*, 73, 135-176.
- Gunter, T. C., Stowe, L. A., & Mulder, G. (1997). When syntax meets semantics. *Psychophysiology*, 34, 660-676.
- Hagoort, P., Brown, C., & Groothusen, J. (1993). The Syntactic Positive Shift (Sps) As An Erp Measure of Syntactic Processing. *Language and Cognitive Processes*, 8, 439-483.
- Hahne, A. & Jescheniak, J. D. (2001). What's left if the Jabberwock gets the semantics? An ERP investigation into semantic and syntactic processes during auditory sentence comprehension. *Brain Res.Cogn Brain Res.*, 11, 199-212.
- Hahne, A. (2001). What's different in second-language processing? Evidence from event-related brain potentials. *Journal of Psycholinguistic Research*, 30, 251-266.
- Hahne, A. & Friederici, A. (2001). Processing a second language: late learners' comprehension mechanisms as revealed by event-related brain potentials. *Bilingualism: Language and Cognition*, 4, 123-141.
- Hahne, A., Mueller, J., & Clahsen, H. (2002). The processing of morphologically complex words in second language learners: ERP evidence for storage and decomposition. *Journal of Cognitive Neuroscience* 53.

- Hahne, A., Müller, J., & Clahsen, H. (2004). *Second language learners' processing of inflected words: Behavioral and ERP evidence for storage and decomposition*. Essex research reports in linguistics: University of Essex.
- Holcomb, P. J. (1988). Automatic and attentional processing: an event-related brain potential analysis of semantic priming. *Brain Lang*, 35, 66-85.
- Holcomb, P. J. & Neville, H. J. (1990). Auditory and Visual Semantic Priming in Lexical Decision - A Comparison Using Event-Related Brain Potentials. *Language and Cognitive Processes*, 5, 281-312.
- Holcomb, P. J. (1993). Semantic priming and stimulus degradation: implications for the role of the N400 in language processing. *Psychophysiology*, 30, 47-61.
- Jansma, B. M., Rodríguez-Fornells, A., Moeller, J., & Munte, T. F. (2004). Electrophysiological studies of speech production. In T.Pechmann & C. Habel (Eds.), *Multidisciplinary approaches to language production (Trends in Linguistics)* (pp. 361-396). Berlin: Mouton de Gruyter.
- Jescheniak, J. D., Schriefers, H., Garrett, M. F., & Friederici, A. D. (2002). Exploring the activation of semantic and phonological codes during speech planning with event-related brain potentials. *J.Cogn Neurosci.*, 14, 951-964.
- Jescheniak, J. D., Hahne, A., & Schriefers, H. (2003). Information flow in the mental lexicon during speech planning: evidence from event-related brain potentials. *Cognitive Brain Research*, 15, 261-276.
- Jodo, E. & Kayama, Y. (1992). Relation of a negative ERP component to response inhibition in a Go/No-go task. *Electroencephalogr.Clin.Neurophysiol.*, 82, 477-482.
- Johnson, R. (1993). On the Neural Generators of the P300 Component of the Event-Related Potential. *Psychophysiology*, 30, 90-97.
- Just, M. A. & Carpenter, P. A. (1992). A capacity theory of comprehension: individual differences in working memory. *Psychol.Rev.*, 99, 122-149.
- Just, M. A., Carpenter, P. A., Keller, T. A., Eddy, W. F., & Thulborn, K. R. (1996). Brain activation modulated by sentence comprehension. *Science*, 274, 114-116.
- Kaan, E., Harris, A., Gibson, E., & Holcomb, P. (2000). The P600 as an index of syntactic integration difficulty. *Language and Cognitive Processes*, 15, 159-201.
- King, J. W. & Kutas, M. (1995). Who Did What and When - Using Word-Level and Clause-Level Erps to Monitor Working-Memory Usage in Reading. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 7, 376-395.
- King, J. W. & Kutas, M. (1998). Neural plasticity in the dynamics of human visual word recognition. *Neuroscience Letters*, 244, 61-64.
- Kluender, R. & Kutas, M. (1993). Bridging the Gap - Evidence from Erps on the Processing of Unbounded Dependencies. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 5, 196-214.
- Koechlin, E., Ody, C., & Kouneiher, F. (2003). The architecture of cognitive control in the human prefrontal cortex. *Science*, 302, 1181-1185.
- Kounios, J. & Holcomb, P. J. (1992). Structure and Process in Semantic Memory - Evidence from Event-Related Brain Potentials and Reaction-Times. *Journal of Experimental Psychology-General*, 121, 459-479.
- Kuhl, P. K., Williams, K. A., Lacerda, F., Stevens, K. N., & Lindblom, B. (1992). Linguistic Experience Alters Phonetic Perception in Infants by 6 Months of Age. *Science*, 255, 606-608.
- Kutas, M. & Hillyard, S. A. (1980). Reading senseless sentences: brain potentials reflect

- semantic incongruity. *Science*, 207, 203-205.
- Kutas, M. & Hillyard, S. A. (1983). Event-related brain potentials to grammatical errors and semantic anomalies. *Mem.Cognit.*, 11, 539-550.
- Kutas, M. (1987a). Event-related brain potentials (ERPs) elicited during rapid serial visual presentation of congruous and incongruous sentences. *Electroencephalogr.Clin.Neurophysiol.Suppl*, 40, 406-411.
- Kutas, M., Neville, H. J., & Holcomb, P. J. (1987b). A preliminary comparison of the N400 response to semantic anomalies during reading, listening and signing. *lectroencephalogr.Clin.Neurophysiol.Suppl*, 39, 325-330.
- Kutas, M. & Van Petten, C. (1994). Psycholinguistics electrified. In M.A.Gernsbacher (Ed.), *Handbook of psycholinguistics* (pp. 83-143). San Diego: Academic Press.
- Kutas, M. & King, J. W. (1996). The potentials for basic sentence processing: differentiating integrative processes. In K.Ikeda & D. C. McClelland (Eds.), *Attention and Performance, Vol. XVI* (pp. 501-546). Cambridge, MA: MIT Press.
- Kutas, M. & Federmeier, K. D. (2000). Electrophysiology reveals semantic memory use in language comprehension. *Trends Cogn Sci.*, 4, 463-470.
- Le Bihan, D. (2003). Looking into the functional architecture of the brain with diffusion MRI. *Nature Reviews Neuroscience*, 4, 469-480.
- Levelt, W. J., Roelofs, A., & Meyer, A. S. (1999). A theory of lexical access in speech production. *Behav.Brain Sci.*, 22, 1-38.
- Liotti, M., Woldorff, M. G., Perez, R., & Mayberg, H. S. (2000). An ERP study of the temporal course of the Stroop color-word interference effect. *Neuropsychologia*, 38, 701-711.
- Marslen-Wilson, W. (1987). Functional parallelism in spoken word-recognition. *Cognition*, 25, 71-102.
- Mazour, B. M., Tzourio, N., Frak, V., Syrota, A., Murayama, N., Levrier, O., Salamon, G., Dehaene, S., Cohen, L., & Mehler, J. (1993). The Cortical Representation of Speech. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 5, 467-479.
- McCarthy, G., Nobre, A. C., Bentin, S., & Spencer, D. D. (1995). Language-Related Field Potentials in the Anterior-Medial Temporal-Lobe .1. Intracranial Distribution and Neural Generators. *Journal of Neuroscience*, 15, 1080-1089.
- McLaughlin, J., Osterhout, L., & Kim, A. (2004). Neural correlates of second-language word learning: minimal instruction produces rapid change. *Nature Neuroscience*, 7, 703-704.
- Mestres-Missé, A., Rodriguez-Fornells, A., Münte, T. F. (2007). Watching the brain during meaning acquisition. *Cerebral Cortex*, 17, 1858-1866.
- Mitchell, D. C. (1984). An evaluation of subject-paced reading tasks and other methods for investigating immediate processes in reading. In D.Kieras & M. A. Just (Eds.), *New methods in reading comprehensionresearch* (pp. 69-89). Hillsdale NJ: Erlbaum.
- Mitchell, D. C. (2004). On-line methods in language processing: Introduction and historical review. In M.Carreiras & C. Clifton (Eds.), *The On-line Study of Sentence Comprehension Eyetracking, ERPs and Beyond* (pp. 15-32). New York: Psychology Press.
- Muller, H. M., King, J. W., & Kutas, M. (1997). Event-related potentials elicited by spoken relative clauses. *Cognitive Brain Research*, 5, 193-203.
- Munte, T. F., Heinze, H. J., & Mangun, G. R. (1993). Dissociation of Brain Activity

- Related to Syntactic and Semantic Aspects of Language. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 5, 335-344.
- Munte, T. F., Matzke, M., & Johannes, S. (1997). Brain activity associated with syntactic incongruencies in words and pseudo-words. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 9, 318-329.
- Munte, T. F., Heinze, H. J., Matzke, M., Wieringa, B. M., & Johannes, S. (1998). Brain potentials and syntactic violations revisited: no evidence for specificity of the syntactic positive shift. *Neuropsychologia*, 36, 217-226.
- Munte, T. F., Rodríguez-Fornells, A., & Kutas, M. (1999a). One, two, or many mechanisms? The brain's processing of complex words. *Behavioral and Brain Sciences*, 22, 1031-1032.
- Munte, T. F., Say, T., Clahsen, H., Schiltz, K., & Kutas, M. (1999b). Decomposition of morphologically complex words in English: evidence from event-related brain potentials. *Brain Res. Cogn Brain Res.*, 7, 241-253.
- Munte, T. F., Urbach, T. P., Düzel, E., & Kutas, M. (2001a). Event-related brain potentials in the study of human cognition and neuropsychology. In F. Boller, J. Grafmann, & G. Rizzolatti (Eds.), *Handbook of Neuropsychology* (pp. 139-235). Amsterdam: Elsevier Science.
- Munte, T. F., Wieringa, B. M., Weyerts, H., Szentkuti, A., Matzke, M., & Johannes, S. (2001b). Differences in brain potentials to open and closed class words: class and frequency effects. *Neuropsychologia*, 39, 91-102.
- Naatänen, R. & Picton, T. (1987). The N1 Wave of the Human Electric and Magnetic Response to Sound - A Review and an Analysis of the Component Structure. *Psychophysiology*, 24, 375-425.
- Naatänen, R., Lehtokoski, A., Lennes, M., Cheour, M., Huotilainen, M., Iivonen, A., Vainio, M., Alku, P., Ilmoniemi, R. J., Luuk, A., Allik, J., Sinkkonen, J., & Alho, K. (1997). Language-specific phoneme representations revealed by electric and magnetic brain responses. *Nature*, 385, 432-434.
- Naatänen, R. (2001). The perception of speech sounds by the human brain as reflected by the mismatch negativity (MMN) and its magnetic equivalent (MMNm). *Psychophysiology*, 38, 1-21.
- Neville, H. J., Nicol, J., Barss, A., Foster, K. I., & Garrett, M. F. (1991). Syntactically based sentence processing classes: evidence from event-related brain potentials. *J Cogn Neurosci* 151-165.
- Neville, H. J., Mills, D. L., & Lawson, D. S. (1992). Fractionating language: different neural subsystems with different sensitive periods. *Cereb. Cortex*, 2, 244-258.
- Nicol, J. & Swinney, D. (1989). The role of structure in coreference assignment during sentence comprehension. *Journal of Psycholinguistic Research*, 18, 5-19.
- Nigam, A., Hoffman, J. E., & Simons, R. F. (1992). N400 to Semantically Anomalous Pictures and Words. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 4, 15-22.
- Nobre, A. C. & McCarthy, G. (1995). Language-Related Field Potentials in the Anterior-Medial Temporal-Lobe .2. Effects of Word Type and Semantic Priming. *Journal of Neuroscience*, 15, 1090-1098.
- Nunez, P. L. (1981). *Electric Fields of the Brain. The Neurophysics of EEG*. Oxford: Oxford University Press.
- Odlin, T. (1989). *Language Transfer*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Okita, T. & Jibu, T. (1998). Selective attention and N400 attenuation with spoken word

- repetition. *Psychophysiology*, 35, 260-271.
- Osterhout, L. & Holcomb, P. J. (1992). Event-Related Brain Potentials Elicited by Syntactic Anomaly. *Journal of Memory and Language*, 31, 785-806.
- Osterhout, L. & Holcomb, P. J. (1993). Event-Related Potentials and Syntactic Anomaly - Evidence of Anomaly Detection During the Perception of Continuous Speech. *Language and Cognitive Processes*, 8, 413-437.
- Osterhout, L., Holcomb, P. J., & Swinney, D. A. (1994). Brain Potentials Elicited by Garden-Path Sentences - Evidence of the Application of Verb Information During Parsing. *Journal of Experimental Psychology-Learning Memory and Cognition*, 20, 786-803.
- Osterhout, L. & Holcomb, P. (1995). Event-Related Potentials and Language Comprehension. In M.D.Rugg & Coles M.G.H. (Eds.), *Electrophysiology of Mind. Event-Related Brain Potentials and Cognition* (pp. 171-216). Oxford: Oxford University Press.
- Osterhout, L., McKinnon, R., Bersick, M., & Corey, V. (1996). On the language specificity of the brain response to syntactic anomalies: Is the syntactic positive shift a member of the P300 family? *Journal of Cognitive Neuroscience*, 8, 507-526.
- Osterhout, L., Bersick, M., & McKinnon, R. (1997). Brain potentials elicited by words: word length and frequency predict the latency of an early negativity. *Biol.Psychol.*, 46, 143-168.
- Osterhout, L. & Nicol, J. (1999). On the distinctiveness, independence, and time course of the brain responses to syntactic and semantic anomalies. *Language and Cognitive Processes*, 14, 283-317.
- Osterhout, L. & Hagoort, P. (1999). A superficial resemblance does not necessarily mean you are part of the family: Counterarguments to Coulson, King and Kutas (1998) in the P600/SPS-P300 debate. *Language and Cognitive Processes*, 14, 1-14.
- Osterhout, L., McLaughlin, J., Kim, A., Greenwald, R., & Inoue, K. (2004). Sentences in the brain: Event-related potentials as real-time reflections of sentence comprehension and language learning. In M.Carreiras & C. Clifton (Eds.), *The On-line Study of Sentence Comprehension Eyetracking, ERPs and Beyond* (pp. 271-308). New York: Psychology Press.
- Pallier, C., Dehaene, S., Poline, J. B., LeBihan, D., Argenti, A. M., Dupoux, E., & Mehler, J. (2003). Brain imaging of language plasticity in adopted adults: can a second language replace the first? *Cereb.Cortex*, 13, 155-161.
- Pascual-Marqui, R. D., Michel, C. M., & Lehmann, D. (1994). Low resolution electromagnetic tomography: a new method for localizing electrical activity in the brain. *Int.J.Psychophysiol.*, 18, 49-65.
- Penfield, W. & Roberts, L. (1959). *Speech and Brain-Mechanisms*. Princeton: Princeton University Press.
- Pfefferbaum, A., Ford, J. M., Weller, B. J., & Kopell, B. S. (1985). ERPs to response production and inhibition. *Electroencephalogr.Clin.Neurophysiol.*, 60, 423-434.
- Pinker, S. & Ullman, M. T. (2002). The past and future of the past tense. *Trends Cogn Sci.*, 6, 456-463.
- Praamstra, P., Meyer, A. S., & Levelt, W. J. M. (1994). Neurophysiological Manifestations of Phonological Processing - Latency Variation of A Negative Erp Component Timelocked to Phonological Mismatch. *Journal of Cognitive*

- Neuroscience*, 6, 204-219.
- Pulvermuller, F., Shtyrov, Y., Kujala, T., & Naatanen, R. (2004). Word-specific cortical activity as revealed by the mismatch negativity. *Psychophysiology*, 41, 106-112.
- Ringbom, H. (1987). *The role of the first language in foreign language learning*. Clevedon: Multilingual Matters.
- Rodríguez-Fornells, A., Clahsen, H., Lleo, C., Zaake, W., & Munte, T. F. (2001). Event-related brain responses to morphological violations in Catalan. *Cognitive Brain Research*, 11, 47-58.
- Rodríguez-Fornells, A., Schmitt, B. M., Kutas, M., & Munte, T. F. (2002a). Electrophysiological estimates of the time course of semantic and phonological encoding during listening and naming. *Neuropsychologia*, 40, 778-787.
- Rodríguez-Fornells, A., Munte, T. F., & Clahsen, H. (2002b). Morphological priming in Spanish verb forms: An ERP repetition priming study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14, 443-454.
- Rodríguez-Fornells, A., Rotte, M., Heinze, H. J., Nosselt, T., & Munte, T. F. (2002c). Brain potential and functional MRI evidence for how to handle two languages with one brain. *Nature*, 415, 1026-1029.
- Rodríguez-Fornells, A., van der Lugt, Rotte, M., Britti, B., Heinze, HJ, Münte, T.F. (2005). Second language interferes with word production in fluent bilinguals: brain potential and functional imaging evidence. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17, 422-433.
- Rosler, F., Putz, P., Friederici, A., & Hahne, A. (1993). Event-Related Brain Potentials While Encountering Semantic and Syntactic Constraint Violations. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 5, 345-362.
- Rugg, M. D. (1984). Event-related potentials in phonological matching tasks. *Brain Lang*, 23, 225-240.
- Rugg, M. D. & Barrett, S. E. (1987). Event-related potentials and the interaction between orthographic and phonological information in a rhyme-judgment task. *Brain Lang*, 32, 336-361.
- Rugg, M. D. & Nagy, M. E. (1987). Lexical Contribution to Nonword-Repetition Effects - Evidence from Event-Related Potentials. *Memory & Cognition*, 15, 473-481.
- Rugg, M. D. & Coles M.G.H. (1995). The ERP and Cognitive Psychology: conceptual issues. In M.D.Rugg & Coles M.G.H. (Eds.), *Electrophysiology of Mind. Event-Related Brain Potentials and Cognition* (pp. 27-39). Oxford: Oxford University Press.
- Sabourin, L. (2004). *Grammatical gender and second language processing: an ERP study*. University of Groningen..
- Sanders, L. D. & Neville, H. J. (2003). An ERP study of continuous speech processing I. Segmentation, semantics, and syntax in native speakers. *Cognitive Brain Research*, 15, 228-240.
- Schlosser, M. J., Aoyagi, N., Fulbright, R. K., Gore, J. C., & McCarthy, G. (1998). Functional MRI studies of auditory comprehension. *Hum.Brain Mapp.*, 6, 1-13.
- Schmitt, B. M., Munte, T. F., & Kutas, M. (2000). Electrophysiological estimates of the time course of semantic and phonological encoding during implicit picture naming. *Psychophysiology*, 37, 473-484.
- Schmitt, B. M., Rodríguez-Fornells, A., Kutas, M., & Munte, T. F. (2001a).

- Electrophysiological estimates of semantic and syntactic information access during tacit picture naming and listening to words. *Neuroscience Research*, 41, 293-298.
- Schmitt, B. M., Schiltz, K., Zaake, W., Kutas, M., & Munte, T. F. (2001b). An electrophysiological analysis of the time course of conceptual and syntactic encoding during tacit picture naming. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 13, 510-522.
- Steels, L. (2003). Evolving grounded communication for robots. *Trends in Cognitive Sciences*, 7, 308-312.
- Stromswold, K., Caplan, D., Alpert, N., & Rauch, S. (1996). Localization of syntactic comprehension by positron emission tomography. *Brain Lang*, 52, 452-473.
- Thorpe, S., Fize, D., & Marlot, C. (1996). Speed of processing in the human visual system. *Nature*, 381, 520-522.
- Ullman, M. T. (2001). A neurocognitive perspective on language: The declarative/procedural model. *Nature Reviews Neuroscience*, 2, 717-726.
- van Berkum, J. J., Hagoort, P., & Brown, C. M. (1999). Semantic integration in sentences and discourse: evidence from the N400. *J.Cogn Neurosci.*, 11, 657-671.
- Van Petten, C. & Kutas, M. (1990). Interactions between sentence context and word frequency in event-related brain potentials. *Mem.Cognit.*, 18, 380-393.
- Van Petten, C. & Kutas, M. (1991). Influences of semantic and syntactic context on open- and closed-class words. *Mem.Cognit.*, 19, 95-112.
- Van Petten, C. & Rheinfelder, H. (1995). Conceptual Relationships Between Spoken Words and Environmental Sounds - Event-Related Brain Potential Measures. *Neuropsychologia*, 33, 485-508.
- van Turennout, M., Hagoort, P., & Brown, C. M. (1997). Electrophysiological evidence on the time course of semantic and phonological processes in speech production. *J Exp.Psychol.Learn.Mem.Cogn*, 23, 787-806.
- van Turennout, M., Hagoort, P., & Brown, C. M. (1998). Brain activity during speaking: from syntax to phonology in 40 milliseconds. *Science*, 280, 572-574.
- Vos, S. H., Gunter, T. C., Kolk, H. H., & Mulder, G. (2001). Working memory constraints on syntactic processing: an electrophysiological investigation. *Psychophysiology*, 38, 41-63.
- Weber, C., Hahne, A., Friedrich, M., Friederici, AD. (2004). Discrimination of word stress in early infant perception: electrophysiological evidence. *Cognitive Brain Research* 18 (2004) 149-161
- Weber-Fox, C. & Neville, H. J. (1996). Maturation constraints of functional specializations for language processing: ERP and behavioral evidence in bilingual speakers. *J Cogn Neurosci*, 8, 231-256.
- Werker, J. F. & Tees, R. C. (1999). Influences on infant speech processing: Toward a new synthesis. *Annual Review of Psychology*, 50, 509-535.
- West, W. C. & Holcomb, P. J. (2002). Event-related potentials during discourse-level semantic integration of complex pictures. *Brain Res.Cogn Brain Res.*, 13, 363-375.
- Weyerts, H., Penke, M., Dohrn, U., Clahsen, H., & Munte, T. F. (1997). Brain potentials indicate differences between regular and irregular German plurals. *Neuroreport*, 8, 957-962.