

## **Electrofisiología del lenguaje: Bases de la neurolingüística funcional**

**Pedro E. Coutin Churchman**

*Centro de Investigación y Atención Lingüística. ULA.*

### **Resumen.**

La participación relativa de ambos hemisferios cerebrales durante el procesamiento de un material verbal en lengua española y durante la escucha de un distractor irrelevante (música instrumental), presentados acústicamente a través del mismo canal, fue evaluada a través de la metodología del potencial evocado (PE) sonda (Probe evoked potential) en 10 voluntarios hispanohablantes y 12 para los que el español fue su segunda lengua. La escucha del distractor produjo atenuación del potencial evocado sonda de forma simétrica en ambos hemisferios en ambos grupos, pero durante la presentación del material verbal, el PE demostró activación específica del hemisferio izquierdo en el grupo de hispanohablantes, para los cuales el material estaba en su lengua materna. Sin embargo, el efecto opuesto (mayor activación del hemisferio derecho) fue observado en el grupo de español como segunda lengua, sugiriendo la existencia de un incremento en la participación del hemisferio cerebral derecho en el procesamiento de información presentada en una lengua extranjera.

### **Abstract.**

The probe evoked potential paradigm was used to assess the relative engagement of both brain hemispheres in 10 Spanish-speaking subjects and 12 subjects to which Spanish was a second language, during the processing of a verbal material and during the listening of a irrelevant distractor (music), both presented acoustically through the same channel. Although the distractor condition produced attenuation of the probe EP, it was symmetrical in both groups. In agreement with previous findings, the probe EP showed task-specific activation in

the left hemisphere during listening of the verbal material in the Spanish-speaking subjects, to which the material was in their mother language. However, the opposite effect (right hemisphere activation) was observed in the second language group, suggesting an increased participation of the right hemisphere in the processing of foreign language information.

## 1. Introducción.

Desde mediados del siglo pasado, la gran mayoría de los datos acerca de los mecanismos cerebrales asociados al lenguaje han provenido de la asociación entre afectaciones específicas del mismo y la localización de las alteraciones en el cerebro lesionado de pacientes neurológicos, así como de la estimulación directa de las áreas cerebrales hipotéticamente vinculadas al lenguaje en el cerebro expuesto durante intervenciones quirúrgicas (Wernicke, 1874; Luria, 1973; Penfield y Roberts, 1959; Geschwind, 1965; Ojemann, 1983). Estos datos constituyeron las piedras fundamentales de las ciencias de la neurolingüística y la neuropsicología, aunque en esencia se trata de inferir lo que ocurre en el cerebro sano a partir de *lo que no ocurre* cuando el cerebro está lesionado, o sea, inferir los mecanismos funcionales normales a partir de sus alteraciones.

Más recientemente, el advenimiento de técnicas de obtención de imágenes cerebrales como la medición del flujo sanguíneo cerebral local mediante isótopos radiactivos, y la tomografía por emisión de positrones (PET), que permite evaluar el nivel del metabolismo cerebral local, han permitido confirmar los hallazgos previos en cerebros lesionados, y sobre todo, expandir notablemente el mosaico de las áreas cerebrales que se activan en la generación de distintos aspectos del lenguaje *en el ser humano intacto*, en condiciones casi naturales, más allá de lo que habían permitido inferir los estudios de lesiones (Shallice et al., 1994; Bottini et al., 1994). Sin embargo, estas técnicas, que llamaremos anatómicas, tienen la limitación de ofrecer una pobre resolución temporal, que, en el mejor de los casos, llega apenas a un minuto (Petersen et al., 1988), mientras el procesamiento de la información asociada al lenguaje tiene lugar a lo sumo en algunas decenas a cientos de milisegundos (Garman, 1990). Por tal razón, escapa al alcance de estas técnicas el estudio de la dinámica de las relaciones entre las áreas cerebrales cuya activación efectivamente detectan, y la secuencia temporal de tales patrones de activación, tanto a nivel local como en la transferencia de información entre las áreas implicadas. A ello hay necesariamente que sumar el enorme costo de la tecnología necesaria para la PET, que de hecho restringe su uso a grandes centros de países desarrollados.

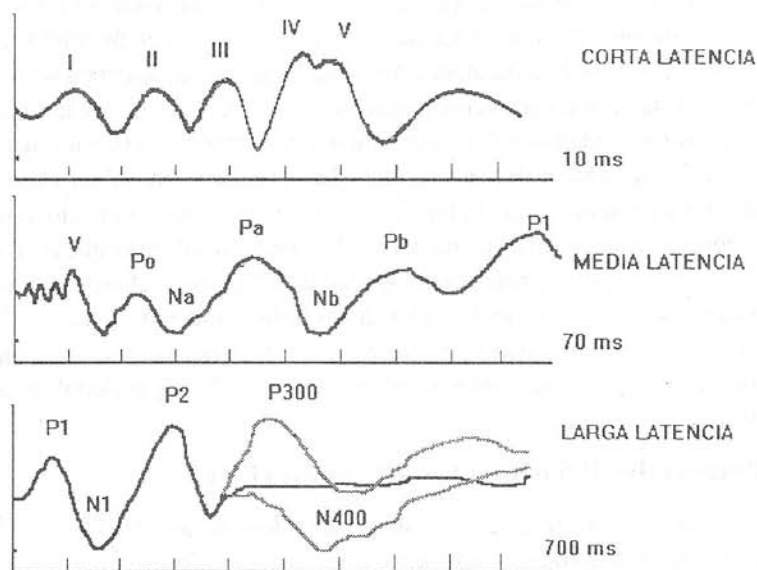
Un abordaje alternativo para el estudio de los procesos fisiológicos en el cerebro humano sano o lesionado es la medición, mediante electrodos conectados al cuero cabelludo, de la actividad eléctrica cerebral, tanto espontánea (elec-

troencefalograma, EEG) como producida por estímulos sensoriales (potenciales evocados, PE), o especialmente por la realización de determinadas tareas de procesamiento de información (Potenciales relacionados a eventos, PRE), en los cuales focalizaremos nuestra atención más adelante. Estos fenómenos eléctricos derivan de la activación sincronizada de millones de neuronas en la corteza cerebral, cuya actividad unitaria en el humano no es posible explorar por razones obvias. La aplicación de estas técnicas ha permitido obtener un valioso caudal de información acerca de la fisiología del cerebro humano intacto, a un costo inferior en varios órdenes de magnitud al de las técnicas anatómicas. Y si bien no se alcanza la estricta resolución espacial de las mismas, el aspecto temporal es llevado a una resolución del orden de los milisegundos (Caplan, 1987). Sin embargo, como veremos más adelante, en el campo específico del lenguaje, los estudios electrofisiológicos presentan algunas dificultades metodológicas importantes.

## 2. Potenciales Relacionados a Eventos (PRE).

Como se dijo anteriormente, es posible medir fenómenos eléctricos cerebrales producidos por estímulos sensoriales, los cuales reflejan las etapas de recepción y procesamiento de la información sensorial. La aplicación del estímulo sirve como marcador para que una computadora muestree la actividad proveniente de los electrodos de registro durante un período prefijado, y la grabe o almacene en la memoria. Como la actividad producida por, o asociada con el estímulo viene mezclada con la actividad eléctrica de cualquier otro origen, tanto del cerebro como de otras estructuras, es prácticamente imposible evaluar aisladamente la actividad eléctrica producida por, o vinculada con un estímulo único. El expediente más simple empleado para resolver este problema es la promediación de la señal electrofisiológica que sucede al estímulo, durante una serie de estímulos similares consecutivos. Ello permite *cancelar* la actividad de otros orígenes, teóricamente aleatoria, y reforzar la asociada al estímulo, que supuestamente se repite tras cada uno de ellos de forma cuasiestable, constituyendo lo que conocemos como PE.

El método de la promediación ha permitido obtener un perfil bastante aproximado de la actividad eléctrica producida por estímulos en las tres modalidades sensoriales fundamentales: visual, auditiva y somatoestésica. Desde el punto de vista temporal, es posible distinguir en la forma o tren de ondas del PE tres partes fundamentales: corta, media y larga latencia (Fig. 1).



**Fig. 1:** Rangos de latencia de los componentes del potencial evocado auditivo. Los componentes endógenos P300 y N400 aparecen en el rango de larga latencia solamente ante tareas específicas de procesamiento de información.

El concepto de latencia define el período de tiempo transcurrido entre la aplicación del estímulo y el pico o máximo de la onda que se mide.

El período de corta latencia cubre típicamente las ondas que aparecen de 0 a 10 milisegundos para la modalidad auditiva, y de 0 a 20 para la somestésica, no siendo aplicable a la visual por causas técnicas. Dicho período abarca una serie de picos u ondas positivas y negativas que reflejan el traspaso de la información desde los receptores periféricos, a través de los núcleos y tractos subcorticales, hasta las áreas sensoriales primarias de la corteza cerebral, centros de recepción y procesamiento primario de la información a dicho nivel.

El período de media latencia, de 10 a 50 milisegundos para la modalidad auditiva, y de 20 a 50 para la somestésica, refleja fundamentalmente el procesamiento de la información en el tálamo y la corteza primaria de la modalidad correspondiente.

El período de larga latencia, más allá de los 50 milisegundos, está vinculado a la activación de áreas jerárquicamente superiores dedicadas al procesa-

miento más detallado de los estímulos, la cual se traduce en la aparición de ondas de gran voltaje, típicas para cada modalidad sensorial, pero cuya amplitud y forma son a su vez muy afectadas por otras variables como la atención, el nivel de vigilia y las estrategias de procesamiento de la información.

Además de estas ondas de aparición *obligatoria* tras la aplicación del estímulo, que constituyen el típico potencial evocado primario cortical, en este rango es posible producir experimentalmente la aparición de ondas o *componentes* que surgen específicamente a consecuencia de determinadas tareas, como por ejemplo, la detección de la ausencia de un estímulo en una secuencia. Aquí precisamente se exceden los límites del concepto de PE, pues lo que produce la onda no es la presentación, sino la *no presentación* del estímulo. Por ello, en los años 70 se acuñó el término de Potenciales Relacionados a Eventos (PRE), para incluir fenómenos como el anteriormente descrito, designado como potencial o componente *endógeno*, junto al resto de los potenciales evocados anteriormente descritos, conocidos como *exógenos*.

El más popular de los potenciales *endógenos* es el llamado P300 (Sutton et al., 1965), el cual aparece cuando en una secuencia de estímulos idénticos se intercala aleatoriamente otro estímulo similar, pero donde varía alguna de sus características físicas (*oddball*). Ante los estímulos idénticos aparece tan sólo el PE auditivo cortical exógeno, mientras que ante el estímulo variante u *oddball* aparece adicionalmente una gran onda positiva alrededor de 300 ms. después del estímulo, lo que explica el nombre de P300.

Los PE de corta y media latencia, específicamente en la modalidad auditiva, han sido aplicados desde hace bastante tiempo en la detección precoz de déficits sensoriales que pueden tener incidencia sobre el desarrollo del lenguaje (Coutin y Rojas, 1984; Kurtzberg et al., 1988). Sin embargo, es en el rango de los potenciales de larga latencia, o tardíos, donde debemos buscar aquellos fenómenos eléctricos vinculados de una u otra forma al procesamiento del lenguaje.

Por otra parte, en adición a la medición de la actividad eléctrica que *sucede* a un estímulo, o a la ejecución de una tarea, o sea, obtener el efecto electrofisiológico a partir de la causa externa, es posible detectar, a partir del efecto externo, en este caso el movimiento, la causa electrofisiológica que *precede* al mismo. Tal es la esencia del método de obtención de los potenciales

premotores, mediante la técnica de promediación retrógrada. Por este medio, en lugar de la presentación de un estímulo, la computadora identifica la ejecución del movimiento como señal para el muestreo de la actividad eléctrica cerebral. El momento de la ejecución (o de su inicio) es medido a través de la presión de un botón, o de la detección del electromiograma de los músculos que actúan. Usando esta referencia, la computadora almacena y promedia un periodo dado de la actividad que *precedió* a cada movimiento en una serie predeterminada de actos iguales, con lo cual es posible detectar en principio actividad generada a nivel de áreas motoras o premotoras de la corteza cerebral vinculadas a la realización del movimiento especificado.

Es posible, además, evaluar la interacción entre las esferas sensorial y motora a través de la medición de la llamada *onda de expectancia*, o variación contingente negativa (CNV), que aparece cuando al sujeto se le da un estímulo de advertencia (S1), que le avisa que un momento después aparecerá un segundo estímulo (S2), ante el cual deberá inmediatamente ejecutar una tarea motora, como puede ser apretar un botón o *pronunciar una palabra* (Fig 2). En el período entre S1 y S2, el potencial eléctrico cerebral, específicamente en regiones frontales, muestra un desplazamiento negativo, que es lo que conocemos como CNV.

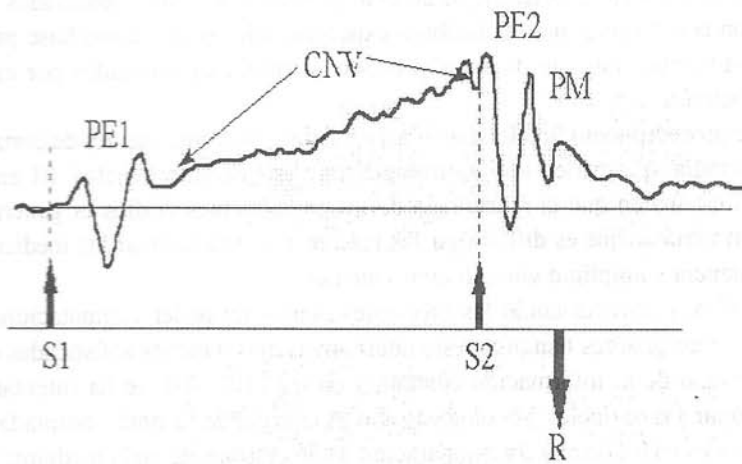


Fig 2: Variación Contingente Negativa (en inglés *Contingent Negative Variation, CNV*): Ante la presentación de un estímulo de aviso (S1) comienza a producirse después del PE consecutivo al mismo, una negatividad lenta en regiones frontales, que crece progresivamente hasta que se produce la presentación del estímulo imperativo (S2) para desencadenar la respuesta motora (R), terminando la CNV con la aparición del PE por S2 y del potencial premotor previo a la ejecución de R.

### 3. Problemas del análisis de los PRE.

La forma más sencilla y convencional de analizar los PE y PRE consiste en la identificación de sus ondas positivas o negativas, llamadas también *componentes*, pues se asume que cada una de ellas corresponde a la activación de determinada(s) estructura(s), o a la realización de determinado proceso unitario, aunque esto generalmente dista de estar claro.

A los picos o máximos de dichos componentes se les mide su *latencia*, que como ya se dijo, es el tiempo transcurrido entre la aplicación del estímulo y el pico de la onda dada. De hecho, la nomenclatura más aceptada para designar los componentes se basa en su polaridad (positiva o negativa, P, N) y su latencia. De ahí que se hable de N100, P300 etc.

El otro parámetro a evaluar en esta forma convencional es la *amplitud*, ya sea medida desde una línea de base estimada hasta el pico de la onda, o entre dos picos sucesivos positivo y negativo, o entre los máximos positivo y negativo de

toda la forma de onda.

Los cambios en la latencia y/o en la amplitud de los PRE observados en asociación con diversas manipulaciones experimentales sirven como base para asumir su vinculación con distintos procesos psicológicos invocados por esas manipulaciones.

Este procedimiento funciona bien para analizar los componentes de corta y media latencia, que tienen una morfología muy estable entre sujetos. El gran problema estriba en que la morfología de los componentes tardíos es generalmente tan variable que es difícil fijar las referencias para realizar las mediciones de latencia y amplitud entre distintos sujetos.

Por ello, y aprovechando las crecientes ofertas de poder computacional, distintos investigadores han propuesto alternativas más o menos sofisticadas de procesamiento de la información contenida en los PRE. Así, se ha intentado correlacionar las variables psicológicas con la energía de la onda, estimada a partir del área bajo la curva: la comparación de dos formas de onda mediante el cálculo del coeficiente de correlación lineal como expresión de simetría de forma y fase; o la descomposición matemática de la forma de onda mediante el llamado análisis de componentes principales (ACP; Glaser y Ruchkin, 1976), para identificar estadísticamente los factores unitarios que constituyen la forma de onda general, y poder evaluar así su relación con las distintas variables psicológicas involucradas en la tarea. Sin embargo, no ha sido posible establecer si hay una real correspondencia entre tales factores constituyentes y los procesos fisiológicos reales.

Una metodología de análisis mejor sustentada en principios anatomofisiológicos es la de los modelos de dipolos espaciotemporales (Scherg y Von Cramon, 1985), que definen a un componente del PRE como *la parte de una forma de onda en la superficie de la cabeza que deriva de la actividad local compuesta de una región circunscrita del cerebro*. Mediante la aplicación de modelos matemáticos con supuestos anatómicos y funcionales específicos, se plantea que se puede no sólo extraer dichos componentes a partir del registro multicanal de superficie, sino *localizar* su posición y orientación en el espacio intracraneal (Scherg y Picton, 1991), con lo cual se compensaría una de las desventajas más importantes de los métodos electrofisiológicos en comparación con los anatómicos.

Las técnicas electrofisiológicas, especialmente los PRE, han sido aplicadas intensivamente al estudio de los procesos cerebrales del lenguaje durante las últimas décadas, en dos vertientes fundamentales: el estudio de los procesos de *producción* del lenguaje, y el de los mecanismos de su *comprensión*.



#### 4. Potenciales cerebrales y la producción del lenguaje.

En este campo se ha buscado principalmente actividad *premotora*, proveniente de los centros motores del habla, como el área de Broca, en busca de correlatos bioeléctricos de la programación y ejecución de las secuencias motoras implicadas en la emisión vocal, a través de la medición de los eventos eléctricos que preceden inmediatamente a la pronunciación de palabras, sílabas o fonemas.

Ertl y Schafer (1969) y McAdam y Whitaker (1971) describieron potenciales premotores que precedían a la emisión de palabras. Dichos potenciales tenían su amplitud máxima sobre regiones frontales izquierdas, y precedían en aproximadamente 150 milisegundos a la emisión de la palabra. Como control, estos autores describieron que la emisión de sonidos no verbales produjo potenciales premotores similares, pero de distribución simétrica. Sin embargo, tales hallazgos fueron ampliamente refutados (Grozinger et al., 1977) a partir del hecho de que la emisión de la palabra conlleva la excitación de numerosas estructuras musculares relacionadas con la articulación, la respiración y la fonación, las cuales generan grandes potenciales vinculados en el tiempo a la emisión de palabras, que de hecho contaminan y enmascaran a las señales cerebrales de menor amplitud, superponiéndose a las mismas (Szirtes y Vaughan, 1977). En opinión de estos investigadores, este hecho anula la posibilidad de estudiar la actividad cerebral premotora, como no sea haciendo registros sobre la superficie cerebral expuesta, en un paradójico y poco práctico retorno a los orígenes.

Otro abordaje ha sido el estudio de la CNV, usando una respuesta verbal, y compararla con la obtenida usando como respuesta un movimiento simple (Low y Fox, 1977). Estos autores describen que la amplitud de la CNV fue mucho mayor del lado izquierdo en sujetos diestros en la tarea verbal y viceversa en los zurdos. Para Low y Fox, esto era la *CNV lingüística*, con una asimetría relacionada con la dominancia hemisférica en una población particular durante la preparación de la respuesta verbal. Sin embargo, otros autores (Curry et al., 1978) encontraron CNV asimétricas en tareas que empleaban un estímulo de aviso verbal, pero no una respuesta verbal, de donde deducen que la CNV no está asociada a la preparación de la emisión de lenguaje, sino a la naturaleza verbal del estímulo.

#### 5. Potenciales cerebrales y la percepción del lenguaje.

En este campo, se ha trabajado en dos aspectos básicos: la identificación de rasgos específicos de la actividad evocada correspondientes a etapas tempranas de procesamiento de información lingüística, como el reconocimiento de

sonidos y la identificación de fonemas o palabras; y la búsqueda de PRE específicos vinculados al procesamiento sintáctico y semántico.

En un principio (Wood et al., 1971; Molfese, 1977), la búsqueda estuvo encaminada a identificar los rasgos distintivos de los PE auditivos obtenidos mediante la aplicación de estímulos fonémicos (/ba/, /da/), notas musicales, tonos y palabras cortas (*boy*, *dog*). Si bien la forma de los potenciales fue la misma, se describe que tanto los fonemas como las palabras producen PE de mayor amplitud pico a pico sobre el hemisferio izquierdo, a diferencia de los sonidos musicales, que se comportan a la inversa. Sin embargo, en estudios ulteriores, aplicando la técnica de análisis de componentes principales (ACP) para estudiar la morfología de los PE, Molfese (1980) encuentra rasgos específicos de diferencias en el procesamiento de las consonantes /b/ y /p/ sobre el hemisferio derecho, asociadas según este autor a un mecanismo no lingüístico de procesamiento del tiempo de inicio del sonido, relevante tanto para el análisis del tiempo de inicio de las consonantes como para el de otros aspectos temporales no lingüísticos del procesamiento de estímulos auditivos. Llama la atención no obstante que el empleo de dos técnicas de análisis (amplitud pico a pico vs ACP) den resultados completamente opuestos para una tarea esencialmente similar. Según Wood (1971), la tarea de discriminar entre fonemas, por ejemplo los segmentos oclusivos de las sílabas /ba/ y /da/, produjo un efecto específico sobre el hemisferio izquierdo, en contraste con la de diferenciar /ba/ emitido con dos diferentes frecuencias fundamentales. En el primer caso apareció una onda negativa. Sin embargo, Grabow et al. (1980) no pudieron replicar este resultado, sino más bien obtuvieron lo opuesto. Por otra parte, Kurtzberg et al. (1988) describen notables diferencias en las latencias y amplitudes de los PE auditivos obtenidos sobre regiones temporales en respuesta a los fonemas oclusivos en /ba/, /da/ y /ta/, incluso en recién nacidos, las cuales son explicadas por las diferencias entre las características físicas de los diferentes sonidos. Dichas diferencias presentan además sensibles variaciones con la edad, o sea, con el proceso de maduración cerebral. Estos autores no reportan la existencia de asimetrías interhemisféricas en las respuestas que encontraron, pero si la aparición de componentes endógenos cuando uno de los fonemas se empleaba como estímulo infrecuente en el paradigma *oddball*, a lo cual llamaron respuesta discriminativa. Más importante, Kurtzberg et al. encontraron que los bebés en los que no se identificó respuesta discriminativa, o en los que los PE por fonemas mostraron desviaciones de lo normal, mostraron al año alteraciones del desarrollo del lenguaje según el Inventario Secuenciado de Desarrollo de la Comunicación (Sequenced Inventory of Communication Development, SICD), ya fuera en sus escalas Receptiva o Expresiva, con pocos falsos negativos, aunque el pronóstico a largo plazo es desconocido hasta la fecha.

Desde el punto de vista del análisis semántico, se han reportado diferencias entre los PRE evocados por la misma palabra presentada en diferentes contextos, encontrando las máximas diferencias en regiones anteriores izquierdas cuando se calculaba la simetría de las ondas mediante el coeficiente de correlación. Usando ACP para evaluar la morfología de los PRE evocados por una palabra homófona en posición de nombre o de verbo, Brown et al. (1980) encontraron que los máximos positivos se ubican en regiones más posteriores para el significado verbal que para el nominal, mientras los mínimos negativos más tardíos lo hicieron a la inversa. Según Picton y Stuss (1984), tales diferencias, donde se trata la localización del PRE independientemente de su forma de onda en el tiempo, son de muy difícil interpretación. Esta es una de las limitaciones del método de ACP que pudiera resolverse mediante la aplicación del modelo de dipolos espaciotemporales.

Friedman et al. (1975) buscaron el grado de información suministrado por cada palabra de una oración presentada una a una, midiendo la P300 producida por palabras redundantes o no redundantes. Ambas presentaron P300 similares, pero siempre la última palabra de la oración evocó la mayor P300, por lo cual estos autores sugirieron que la P300 pudiera reflejar el cierre sintáctico, o sea, el punto de corte en el que se considera adquirida cierta unidad de información sintáctica. No se encontraron asimetrías interhemisféricas en este estudio.

Kutas y Hillyard (1980) introdujeron un importante avance en el análisis de los mecanismos semánticos mediante su paradigma para evocar la llamada negatividad de incongruencia, o N400. En el mismo, se mide el PRE evocado por la última palabra de una oración, que puede ser o no congruente con el contexto previo. Así, cuando se presenta la oración *Yo tomo café con...*, y se le sigue con la palabra *PERRO*, ésta evoca una gran onda negativa alrededor de los 400 milisegundos después del estímulo, mientras la palabra *LECHE* produce más bien una pequeña positividad en ese rango. Así, la N400 reflejaría un proceso cerebral de detección de una incongruencia semántica. Sin embargo, existen algunas evidencias de que este tipo de negatividades reflejaría un mecanismo general de detección de incongruencias que funcionaría de forma similar ante la presentación de rasgos incongruentes en un rostro conocido (Gutiérrez y Bobes, 1993). Lo mismo ocurriría con la P300, de la cual es ampliamente conocido que aparece en cualquier situación que implique el completamiento de una tarea perceptual, de la cual el ejemplo sintáctico de Friedman et al. sería un caso particular. En resumen, tales fenómenos eléctricos reflejarían la acción de mecanismos de procesamiento de la información comunes a muchos procesos cognoscitivos, de los cuales el lenguaje (o los módulos funcionales que lo integran) sería un caso particular.

Un interesante grupo de experimentos trató de demostrar si realmente la

presentación de una palabra léxicamente ambigua evoca todos sus posibles significados, descartándose a posteriori los inadecuados, o si por el contrario, sólo se activa aquel significado relacionado con el contexto en que se presenta. La primera posibilidad había sido planteada a partir de resultados de estudios conductuales (Small et al., 1988). Sin embargo, esto fue refutado por Van Petten y Kutas (1987), empleando PRE en una técnica que llamaron prueba de ambigüedad léxica. Presentando palabras clave que sugieren un contexto ya fuera igual o diferente al planteado dentro de la oración en la que aparecía la palabra léxicamente ambigua, encontraron que la respuesta cerebral N400 variaba en dependencia del tiempo que se demoraba en presentar la palabra clave. Sus resultados sugieren que el significado de una palabra ambigua se selecciona en dependencia del contexto en el que aparece, descartándose los no relacionados. La presentación de una palabra clave asociada al significado alternativo de la palabra ambigua evocaría el mismo de forma retrógrada, afectando la evaluación del contexto previo al presentarse en un lapso de tiempo muy breve después de la oración (Kutas, 1991).

El estudio de los PRE ha permitido obtener evidencias muy interesantes sobre otro aspecto totalmente distinto del lenguaje: la reorganización neural compensatoria que ocurre en respuesta a la privación sensorial, como es el caso de los sordos. Típicamente, no es posible registrar potenciales evocados visuales en las áreas auditivas, conforme a la llamada ley de las energías específicas. Sin embargo, experimentos en animales han mostrado que tal cosa ocurre en la corteza auditiva del gato blanco congénitamente sordo (Rebillard et al., 1980). En humanos, Neville et al. (1983) obtuvieron una interesante serie de hallazgos estudiando un grupo de sordos, hijos de sordos cuyo primer lenguaje fue la ASL (*American Sign Language*), y un grupo de oyentes. En primer lugar, se encontró que los sordos tienen PE visuales de mucha mayor amplitud (ondas N150 y P230) que los oyentes sobre áreas occipitales, y, lo que es especialmente sugestivo, presentan un robusto componente N150 sobre regiones temporales y frontales, el cual está ausente en los oyentes.

Este último hallazgo sugiere que las áreas auditivas privadas de su entrada normal han sido reasignadas para el procesamiento de información visual, y especialmente, el hecho de que sea predominantemente ante estímulos presentados en la periferia del campo visual indica una compensación especial para el procesamiento de la información visual periférica en el sordo, que depende de la visión para la localización de eventos en la periferia en muchísimo mayor grado que el oyente. El incremento del P230 en región occipital sugiere que se han producido cambios estructurales compensatorios asociados a un incremento de la sensibilidad visual. Neville y Lawson (1987) expandieron estos hallazgos aplicando a un grupo similarmente compuesto una tarea de detección de

movimiento en la periferia del campo visual y obteniendo los PRE asociados. Sumariamente, los resultados observados fueron los siguientes: (1) Los sordos generan mayores efectos de atención en el PRE; (2) Tal efecto fue mayor sobre regiones occipitales, donde los oyentes no muestran ninguno; (3) los sordos tienen mayores efectos atencionales sobre el hemisferio izquierdo que los oyentes, independientemente del lado estimulado del campo visual. Todo ello sugiere que existe una gran diferencia entre los oyentes y los sordos en los sistemas neurales que median la atención visuoespacial y la percepción del movimiento. Los resultados obtenidos en oyentes hijos de sordos cuya lengua materna es la American Sign Language (ASL) son aún más espectaculares. En regiones occipitales, los PRE se manifiestan semejante a los oyentes, pues estos sujetos no están privados auditivamente, y por tanto, no desarrollaron cambios compensatorios en la corteza visual. Pero en la distribución lateral del efecto de la atención, la semejanza es mayor con los sordos. Esto último probablemente sea consecuencia de la adquisición temprana de la lengua de señas. Tanto los sordos como los hijos de sordos muestran preferencia del hemisferio izquierdo en las tareas de detección visuoespacial, al contrario de los oyentes. Todo ello es consistente con la hipótesis de que el hemisferio dominante para el lenguaje realiza la mayoría (si no todas) las funciones esenciales para el procesamiento eficiente del primer lenguaje. Tal es el caso de la detección de movimiento en la periferia del campo visual en la ASL, mas no en la lengua hablada.

## **6. El Modelo de Recursos y el Potencial Evocado Sonda: Un abordaje alternativo a los PRE para el estudio de la neurofisiología del lenguaje.**

Aunque la CNV y la N400 han recibido mucha atención desde el punto de vista neurolingüístico, la primera como método para evaluar las fases preparatorias para la articulación de palabras a nivel de regiones motoras, y la segunda como reflejo del proceso de percepción de incongruencias semánticas, el costo y la complejidad de la tecnología requerida para la presentación de las tareas asociadas con dichos potenciales, los requerimientos de dichas tareas, así como la incertidumbre de los mecanismos y significación funcional de tales PRE, hacen que estas técnicas sean poco asequibles para su instrumentación en un servicio clínico, a lo que tampoco contribuye la gran variabilidad interindividual de los parámetros usualmente evaluados en la interpretación de dichos fenómenos eléctricos, especialmente la N400, que habitualmente se estima a partir de *grandes promedios* calculados sumando y promediando las formas de onda de todo el grupo de sujetos, a pesar de que sus propios autores admiten que *no hay tal cerebro promedio*. Además, el diseño de las tareas psicológicas que evocan a los PRE está limitado por la tecnología necesaria para implementar en el para-

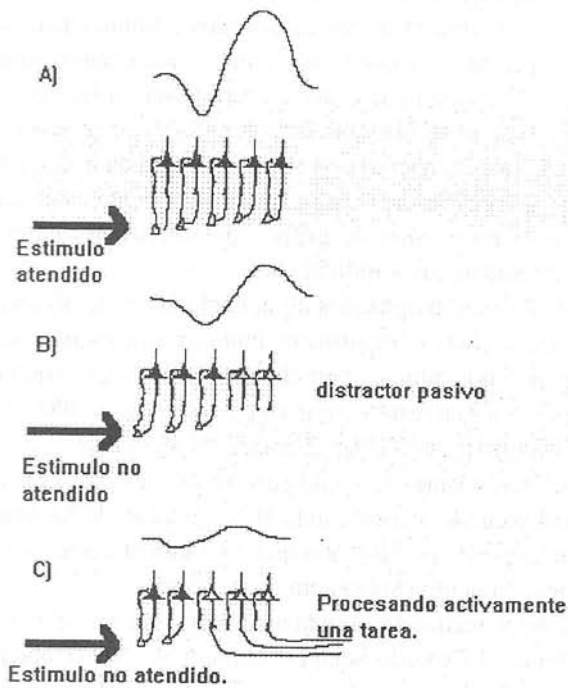
digma experimental el estímulo adecuado para la evocación del fenómeno que se desea estudiar, cuya complejidad naturalmente debe ser limitada, y que debe repetirse infinidad de veces para obtener la señal de interés, lo que en general conlleva que en esos procedimientos se evalúe la función del cerebro en situaciones poco realistas (John y Schwartz, 1978).

Sin embargo, desde mucho tiempo atrás se han propuesto alternativas en el empleo de métodos electrofisiológicos para la evaluación de funciones cognitivas, que consisten esencialmente en usar el potencial evocado no como respuesta al estímulo a ser procesado, relacionado específicamente con la tarea a realizar, sino más bien como un indicador de la función cerebral para evaluar sus variaciones regionales durante la ejecución de la tarea, que de esta forma puede diseñarse de forma totalmente arbitraria. Esta metodología se denominó por sus autores *Probe Evoked Potential* o *Potencial Evocado Sonda* (Papanicolaou et al., 1983, 1985).

La técnica del Potencial Evocado Sonda consiste básicamente en presentar un estímulo irrelevante, ya sea auditivo (click o tono simple) o visual (flash), y registrar el PE convencional que estos estímulos producen en la corteza cerebral ante dos condiciones: a) atención al estímulo y; b) durante la realización de una tarea psicológica determinada de procesamiento de información presentada concurrentemente en la misma modalidad sensorial.

Según la hipótesis del PE Sonda, el mismo se atenúa durante la realización de la tarea de forma selectiva sobre la región cerebral implicada en la misma (ej. sobre regiones temporales izquierdas en una tarea lingüística o sobre el hemisferio derecho en una tarea visuoespacial) (Papanicolaou et al., 1985).

Esta atenuación selectiva se basaría en la sustracción de recursos de un pool neuronal limitado en la corteza sensorial, implicado en el procesamiento del estímulo sensorial, para realizar la tarea. Por supuesto, dicha atenuación ocurriría especialmente en las áreas específicas vinculadas con la tarea según la dominancia hemisférica de la misma (Fig 3).



**Fig 3:** Modelo de recursos neurales limitados, base de la aplicación del Potencial Evocado Sonda. (A): Cuando se presta toda la atención al estímulo que produce el PE, hay un empleo máximo de los recursos neurales disponibles en el procesamiento del estímulo (neuronas coloreadas en negro).

(B): Cuando se desvía la atención del estímulo, disminuye el número de elementos neurales implicados en el procesamiento del estímulo.

(C): Cuando se realiza una tarea determinada de procesamiento de la información concurrentemente con la presentación del estímulo en el mismo canal sensorial, se produce una sustracción adicional de recursos neurales específicamente en las áreas cerebrales vinculadas con la realización de dicha tarea.

Las ventajas del método del PE sonda consistirían en:

1) No es preciso diseñar una tarea artificial en la que el estímulo a ser procesado produzca el fenómeno eléctrico, sino que la misma puede ocurrir a semejanza de como ocurre en una situación real (lo que Papanicolaou llama



*ecológicamente válido*).

2) Su simplicidad tecnológica, pues no se requeriría del complejo aparataje necesario para la presentación de los sofisticados estímulos para la obtención de los PRE; y el análisis sería mucho más simple, pues sólo requiere medir la amplitud de una respuesta estable y bien caracterizada (el PE cortical primario convencional) a través de las distintas condiciones, en lugar de seguir llenando el interminable catálogo de nuevos *componentes* ante cada nueva tarea específica que se diseñe, cuyas características se basan usualmente en el análisis de los ya citados *grandes promedios* de grupos de sujetos normales, con poca aplicabilidad al estudio de casos individuales.

Estos resultados fueron aplicados an la exploración de diversas funciones preceptuales, cognoscitivas y lingüísticas, tanto en sujetos normales como en pacientes afásicos en rehabilitación en el Servicio de Neurocirugía de la Universidad de Texas en Galveston. (Papanicolaou et al., 1983; 1987, 1988; Papanicolaou y Eisenberg, 1983; Papanicolaou et al., 1990).

Sin embargo, los mismos han sido poco replicados por otros autores y de hecho apenas han recibido atención ante el predominio de los estudios de los diversos componentes de los PRE, aunque en fecha reciente ha resurgido el interés por el procedimiento (Silberstein et al., 1995).

Recientemente se realizó en Mérida un estudio preliminar de validación de la técnica del Potencial Evocado Sonda (Coutin et al., 1996), obteniéndose resultados comparables a los reportados previamente por el grupo de Galveston (Fig 4), demostrando la replicabilidad del efecto sonda en el PE auditivo cortical sobre el hemisferio izquierdo durante la memorización de una lista de nombres, mientras no hubo efecto de lateralización durante la escucha de un distractor acústico irrelevante (música). Algunos resultados preliminares empleando el mismo montaje experimental sugieren que en sujetos en los que el español es su segunda lengua, adquirida después de la adolescencia, el hemisferio derecho jugaría un mayor papel en el procesamiento de dicha lengua.



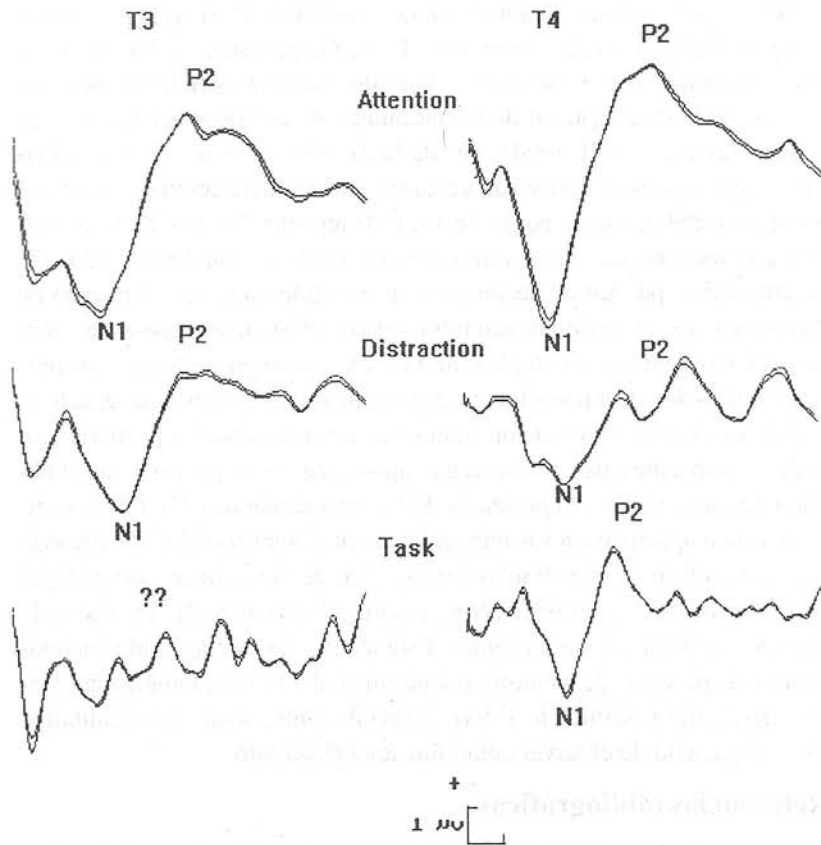


Fig 4: Potenciales evocados auditivos obtenidos en regiones temporales izquierda (T3) y derecha (T4), durante la atención al estímulo (arriba), escuchando un distractor en la misma modalidad sensorial (medio), y durante la memorización de una lista de nombres presentada también en la misma modalidad (abajo). Puede observarse que la distracción produce una atenuación importante del PE en ambos lados, pero la memorización de la lista de nombres prácticamente anula la respuesta sobre la región temporal izquierda, mientras del lado derecho la respuesta es comparable a la obtenida durante la distracción. Tal observación se interpreta como signo de la participación específica del hemisferio izquierdo en la memorización de una lista de nombres.

## 7. Nuevas perspectivas en la neurolingüística funcional.

Marta Kutas, una de las pioneras en este campo que pudiéramos llamar *Neurolingüística Funcional*, apuntaba en su revisión de 1991 que "*Cognition is a complicated and tricky business... A solid experimental design is [ ] important for addressing a question...*" Por ello, vemos especiales perspectivas en el campo de la investigación de los mecanismos cerebrales del lenguaje en un abordaje como el del PE sonda, que de hecho *libera las manos* del experimentador para crear paradigmas tan cercanos a la realidad como se desee, sin estar limitado o condicionado por las técnicas de registro. Tal abordaje, en combinación con métodos de análisis más exactos, como los modelos de dipolos espaciotemporales, pueden de hecho abrir nuevos horizontes en el trazado de las rutas por las que el cerebro humano trasiega la información, como muestran los recientes resultados de Cristoph et al. (1997), que empleando métodos refinados de localización de dipolos fueron capaces de trazar la secuencia de activación y transferencia de información lingüística de áreas visuales primarias, ya fueran derechas o izquierdas, a la región temporal izquierda, así como las modificaciones de esta ruta ante la presencia de lesiones cerebrales. De forma similar, comienzan a aplicarse nuevas metodologías en el análisis del EEG, como la evaluación del efecto regional sobre su espectro de frecuencias causado por diferentes procesos cognoscitivos, según el cálculo de la llamada *desincronización relacionada a eventos*. Esta técnica ha sido aplicada con éxito al estudio de procesos de memoria (Dujardin et al., 1995) y también del lenguaje (Pfurtscheller y Klimesch, 1990). Todo ello anuncia un salto cualitativo en nuestra capacidad de observar cómo funciona el cerebro

### Referencias bibliográficas.

- Botini G et al. 1994. *The role of the right hemisphere in the interpretation of figurative aspects of language. A positron emission tomography activation study.* Brain. 1994. 117. 1241-1253.
- Brown WS, Lehmann D, Marsh JT. 1980. *Linguistic meaning related differences in evoked potentials topography.* Brain and Language 11:340-353.
- Caplan D. 1987. *Neurolinguistics and linguistic aphasiology.* Cambridge University Press.
- Coutin P, Rojas E. 1984. Potenciales evocados auditivos de tallo cerebral (PEATC) en niños con trastornos del lenguaje. *Rev. Cub. Pediat.* 56:43-50.
- Coutin P, Valdés M, Pérez-Abalo M. 1985. Potenciales Evocados en la tarea de Sternberg. *Rev. Hosp. Psiq. Habana.* 26:19-25.
- Coutin P, Pietrosemoli L., Araujo H. 1996. Estudio fisiológico de procesos neurolingüísticos mediante el Potencial Evocado Sonda. Ponencia presentada en el VII Congreso Venezolano de Neurología. La Guaira.
- Christoph M., Michel, A., Khateb, M., Custodi, J., Annoni, Seeck y Landis, T. 1997. Neural Networks of Language Processing: Real-Time Evoked Potential Tomography in Normals and Patients with Left Hemisphere Lesions. Ponencia presentada en la reunión anual de la American Academy of Neurology.

- Curry, S. et al. 1978. Choice of active electrode site and recording montage as variables affecting CNV amplitude preceding speech.
- Dujardin, K., Bourriez, J., y Guieu, J. 1995. Event-related desynchronization (ERD) patterns during memory processes: Effect of aging and task difficulty. *Electroenceph. clin. Neurophysiol* 96:169-182.
- Ertl J., Schafer, E. 1969. Cortical activity preceding speech. *Life Sciences* 8, 559.
- Friedman, D. 1975. The late positive component (P300) and information processing in sentences. *Electroenceph. clin. Neurophysiol* 38: 255-262.
- Garman, M. 1990. *Psycholinguistics*. Cambridge University Press.
- Geschwind, N. 1965. Disconnection syndromes in animals and man. *Brain* 88, 237-294.
- Glaser, E., Ruchkin, D. 1976. *Principles of Neurobiological signals analysis*. Academic Press, N.Y.
- Grabow, J. 1980. Hemispheric potentials evoked by speech sounds during discrimination tasks. *Electroenceph. clin. Neurophysiol* 49:48-58.
- Grozinger, B., Kornhuber, H y Kriebel, J. 1977. Human cerebral potentials preceding speech production, phonation and movements of the mouth and tongue, with reference to respiratory and extracerebral potentials. En J. Desmedt (ed). *Language and Hemispheric Specialization in man: Cerebral Event-Related Potentials*. Karger, Basel.
- Gutiérrez J y Bobes, M. 1993. ERP associated to different pictures incongruencies: Topographic comparisons between N400 and N450. Proc. IV ISBET Symposium, p98.
- John, E., Schwartz, E. 1978. The Neurophysiology of information processing and cognition. *Ann Rev. Psychol* 29:1-29.
- Kurtzberg, D. 1988. Event-related Potential Assessment of Auditory System Integrity: Implications for language development. En: P. Vietze y H. Vaughan (eds). *Early identification of infants with developmental disabilities*. Grune & Stratton, N.Y.
- Kutas, M y Hillyard, S. 1980. Reading senseless sentences brain potentials reflect semantic incongruity. *Science* 107, 203.
- Kutas, M., Van Petten, C y Besson, M. 1988. Event-related potential asymmetries during the reading of sentences. *Electroenceph. clin Neurophysiol* 69: 218-233.
- Kutas, M. 1991. Prophecies come true. Evoked Potentials Review No. 4 IEPS Publications, Nottingham.
- Low, M. y Fox, M. 1977. Scalp-recorded slow potential asymmetries preceding speech in man. En Desmedt, J. (ed). *Language and Hemispheric Specialization in man: Cerebral Event-Related Potentials*. Karger, Basel.
- Luria, A. 1973. *El Cerebro en acción*. Ed. Científico-Técnica, La Habana.
- McAdam, D. y Whitaker, H. 1971. Electro cortical localization of language production: reply to Morrell and Huntington. *Science* 174. 1360-1361.
- Molfese, D. 1977. *The ontogeny of cerebral asymmetry in man: auditory evoked potential to linguistic and non-linguistic stimuli in infants and children*. En Desmedt, J. (ed). *Language and Hemispheric Specialization in man: Cerebral Event-Related Potentials*. Karger, Basel.
- Molfese, D. 1980. The phoneme and the engram: electrophysiological evidence for the acoustic invariant in stop consonants. *Brain and Language* 9:372-76.
- Neville, H., Schmidt, A. y Kutas, M. 1983. Altered visual evoked potentials in congenitally deaf adults. *Brain Res.* 266:127-132.
- Neville, H. y Lawson, D. 1987. Attention to central and peripheral visual space in a movement detection task: An event related potentials and behavioral study. III: Separate effects of auditory deprivation and acquisition of a visual language. *Brain Res.* 405:284-294.

- Ojemann, G. 1983. Brain organization for language from the perspective of electrical stimulation mapping. *Behav. Brain Sci.* 6:189-230.
- Otto, D. (ed). Multidisciplinary perspectives en Event-Related Brain potential research. US EPA. Washington.
- Papanicolaou, A. 1983. Cerebral activation patterns in an arithmetic and a visuospatial processing task. *Intern. J. Neurosci.* 20:283-288.
- Papanicolaou, A. y Eisenberg, H. 1983. Evoked Potential correlates of left hemisphere dominance in covert articulation. *Intern. J. Neurosci.* 20: 289-294.
- Papanicolaou, A., Deutsch, G. 1987. Convergent evoked potential and cerebral blood flow evidence of task-specific hemispheric differences. *Electroenceph. clin. Neurophysiol* 66:515-520.
- Papanicolaou, A., Moore, B. 1988. Evidence for right hemisphere involvement in recovery from aphasia. *Arch. Neurol* 45:1025-1029.
- Papanicolaou, A., DiScenna, 1990. Probe-Evoked potential findings following unilateral left-hemisphere lesions in children. *Arch. Neurol* 47:562-566.
- Penfield, W y Roberts, L. 1959. *Speech and Brain Mechanisms*. Princeton University Press, Princeton.
- Petersen, S. 1988. Positron emission tomographic studies of the cortical anatomy of single-word processing. *Nature* 331:585-589.
- Pfurtscheller, G y Klimesch, W. 1990. Topographic display and interpretation of event-related desynchronization during a visual-verbal task. *Brain Topogr.* 3:85-93.
- Picton, T. y Stuss, D. 1984. Event related potentials in the study of speech and language: A critical review. En Caplan, D., Lecours, A. y Smith, A (eds). *Biological perspectives of language*. MIT press, Cambridge.
- Rebillard, G. 1977. Enhancement of visual responses on the primary auditory cortex of the cat after an early destruction of cochlear receptors. *Brain Res* 129:162-164.
- Scherg M, Von Cramon, D. 1985. Two bilateral sources of the late AEP as identified by a spatio-temporal dipole model. *Electroenceph. clin. Neurophysiol* 62:32-44.
- Scherg, M. y Picton, T. 1991. Separation and identification of event-related potential components by brain electric source analysis. *Event Related Brain Research (EEG Suppl 42)*. Elsevier.
- Silberstein, R. 1995. Steady-state visually evoked potential topography during the Wisconsin card sorting test. *Electroenceph. clin. Neurophysiol* 96:24-35.
- Shallice, T. 1994. Brain regiones associated with acquisition and retrieval of verbal episodic memory. *Nature* 368:633-635.
- Small, S., Cottrel, G. y Tanenhaus, M. 1988. *Lexical ambiguity resolution*. San Mateo, California: Morgan Kaufman.
- Sutton, S. 1965. Evoked potentials correlates of stimulus uncertainty. *Science* 150, 1187-1188.
- Van Petten, C y Kutas, M. 1987. Ambiguous words in context: An event-related potential analysis of the time course of meaning activation. *J. Mem. Lang* 26:188-208.
- Szirtes, J y Vaughan, H. 1977. Characteristics of cranial and facial potentials associated with speech production. En Desmedt, J. (ed). *Language and Hemispheric Specialization in man: Cerebral Event-Related Potentials*. Karger, Basel.
- Wernicke, C. 1874. The aphasic symptom complex (trans.) En Cohen, R. y Warofsky, M. (eds). *Boston Studies in the Philosophy of Science*, vol 4. Reidel, Boston.
- Wood, C., Goff, W. y Day, R. 1971. Auditory evoked potentials during speech perception. *Science* 173, 1248-51.