

ACTUALIZACION POR TEMAS

Potenciales Relacionados a Eventos durante la lectura ¿procesamiento lingüístico en el hemisferio derecho?

Andrés González Garrido*

Mitchell Valdés Sosa*

María A. Bobes*

Summary

Event related potential (ERP) signs of "bottom-up" and "top-down" processing, would be useful for the study of human cognition. We presented subjects with counterbalanced lists of word pairs, consisting of category-names followed by high dominance exemplar-names (which were the stimuli). Four exemplar presentation conditions were used: 1) complete word; 2) last letter deleted; 3) last syllable deleted; 4) only initial letter presented. In 8 subjects naming time (NT) was measured with a voice-key. As more graphemic information was deleted, NT was monotonically delayed, except for condition 4 where a decrease was observed. This suggests that as less graphemic information is available subjects have more difficulty in applying "bottom-up" processes and that a strategy shift occurs with condition 4. In other 8 subjects ERPs were obtained at Cz, F7 and F8 referred to linked earlobes. A broad negativity with peak near 360 ms was monotonically enhanced with grapheme deletion at Cz and F8 ($p < 0.006$). This negativity could either be a right-sided reflection of a left hemisphere generator, or a right hemisphere generator. The hypothesis that this negativity is associated with "top-down" processing is discussed.

Resumen

Los Potenciales Relacionados a Eventos (PRE) constituyen una útil herramienta en el estudio del procesamiento de la información. En nuestro estudio se presentan a los sujetos experimentales listas contrabalanceadas de pares de palabras (categoría semántica y ejemplar dominante) en cuatro condiciones de presentación del ejemplar (estímulo). 1) Palabra completa; 2) Sin la última letra; 3) Sin la última sílaba; 4) Sólo la primera letra. En 8 sujetos se midió el Tiempo de Pronunciación (TP) con micrófono acoplado. A medida que se suprimían letras, el TP resultó monótonicamente mayor excepto para la condición 4, sugiriendo que a menor información textual, el procesamiento del nivel sensorial al conceptual se hace más ineficiente. En otros 8 sujetos se registraron PRE en Cz, F7 y F8, referidos a orejas cortocircuitadas. Con la supresión de letras se obtuvo una negatividad ancha con pico sobre 360 ms e incremento de amplitud en Cz y F8 ($p < 0.006$). Este componente pudiera originarse en el hemisferio derecho o ser reflejo de un generador contralateral. Se discute la hipótesis de que esta negatividad se asocie al procesamiento desde el nivel conceptual al sensorial.

Introducción

Al leer una palabra, se sigue una secuencia de operaciones o "rutas" hasta activar la representación de su significado en el lexicon semántico. El sistema lexical parece estar compuesto de una extensa red de componentes (Caramazza, 1988) postulándose la existencia de varios "diccionarios" mentales estrechamente vinculados entre sí y con interacción en las distintas etapas de la lectura, procesándose la información no sólo de abajo hacia arriba (del nivel sensorial al conceptual), sino también de arriba hacia abajo.

Los Potenciales Relacionados a Eventos (PRE) de tipo endógeno se han vinculado a los procesos cognoscitivos y lingüísticos (Hillyard, 1973), y actualmente constituyen un método objetivo con vistas a evaluar estos modelos psicológicos del procesamiento de la información y tratar de localizar sus generadores cerebrales.

La lectura se basa en la información textual, por lo que al eliminar progresivamente letras de la palabra escrita, se limita la información desde el nivel sensorial y esto debe repercutir en la estrategia utilizada para alcanzar el significado en la memoria semántica, con su consecuente expresión bioeléctrica en los PRE.

Material y métodos

Sujetos

Se utilizaron 16 sujetos voluntarios (8 por sexo), graduados universitarios, de manualidad derecha y sin experiencia previa en experimentos de Tiempo de Reacción (TR) o PRE, con edades comprendidas entre los 23 y los 35 años (edad promedio de 28.5 años).

Materiales

Se usaron 160 pares de palabras. El primer elemento de cada par era el nombre de una categoría con-

* Dirección de Neurociencias del Centro Nacional de Investigaciones Científicas, Ciudad de la Habana, Cuba.

ceptual y el segundo un ejemplar típico de las categorías utilizadas (40). Se elaboraron 4 listas contrabalanceadas con 4 niveles de eliminación de letras:

- 1) Palabra completa.
- 2) Eliminación de la última letra.
- 3) Eliminación de la última sílaba.
- 4) Todas las letras eliminadas excepto la primera.

Se utilizó cada lista sólo con 2 de los 8 sujetos de cada muestra.

Procedimiento

Los estímulos eran presentados a 35 cm del sujeto rellenando los espacios vacíos con el carácter “#”. En ambos experimentos cada prueba la iniciaba el sujeto apretando una tecla y la tarea consistía en leer el ejemplar, con respuesta diferida en el caso de PRE. Se detectó el tiempo de reacción por un micrófono situado cerca de los labios del sujeto en el primer grupo de 8 individuos.

Registro electrofisiológico

La recopilación de actividad electroencefalográfica (EEG) se realizó con el sistema MEDICID-03M, y electrodos (Ag/AgCl). Se recogió la actividad monopolar en las derivaciones: F7, F8 y Cz del sistema 10/20, usando como referencia los lóbulos de las orejas cortocircuitados. Además se recogió la actividad en el arco superciliar para controlar los movimientos oculares.

Las señales bioeléctricas se amplificaron por un factor de 10000 y se filtraban e/ 0.5 y 30 Hz (puntos de caída de 3 dB). Se utilizó también un filtro supresor de banda (60 Hz) para eliminar la interferencia de la línea. El inicio de la recopilación de la actividad eléctrica (EEG) se sincronizó con el momento de aparición de la palabra ejemplar de cada pareja (figura 1). Se recogie-

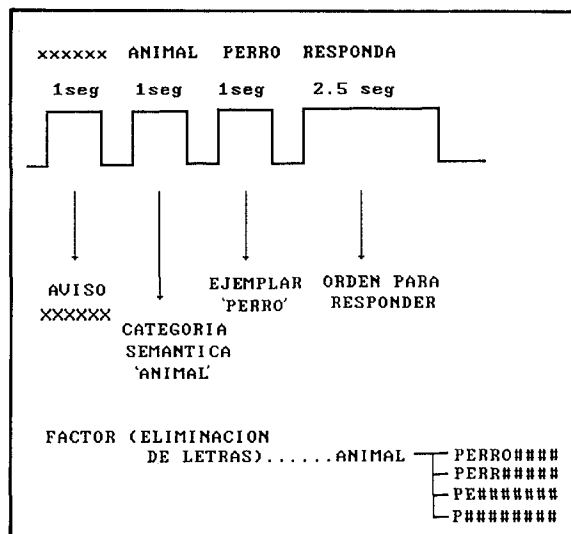


FIGURA 1. Paradigma utilizado para ambas tareas experimentales.

ron 256 puntos con un periodo de muestreo de 4 ms, para un tiempo de análisis total de 1.024 s. La señal bioeléctrica digitalizada se almacenó en disco magnético rígido para su análisis fuera de línea. Para mejorar la relación señal/ruido de los registros individuales, se utilizó un filtraje digital pasa-bajo, con frecuencia de corte en 5.5. Hz (caída de -3 dB).

Resultados

En el experimento de TR se aprecia que el tiempo de pronunciación (al igual que los errores), aumenta del estado 1 hasta el 3, con una caída para el estado 4 (figura 2). Se realizó un análisis de variancia que resultó altamente significativo ($F[3.1126] = 41.492$, $p < 0.0001$), y una regresión polinómica con el siguiente modelo para la ecuación de regresión:

$\text{Log}(\text{T.R.}) = 6.983 - 0.85 \text{ cp} + 0.58 \text{ cp}^2 - 0.094 \text{ cp}^3$ (donde cp es el estado de eliminación de letras).

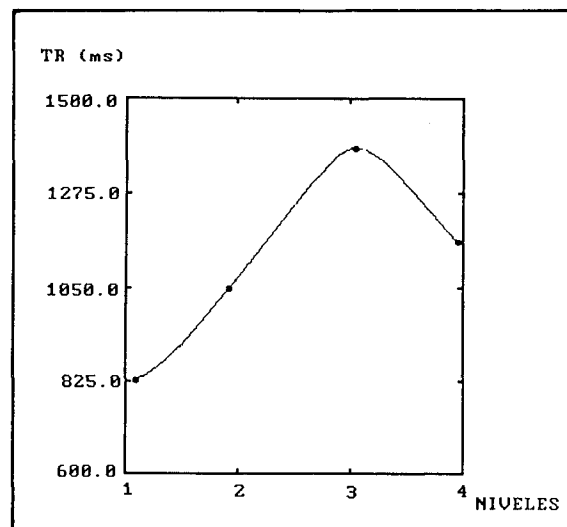


FIGURA 2. Tiempo de Reacción (Pronunciación) promedio de los sujetos del primer grupo en cada uno de los estados experimentales.

En cuanto a los PRE, en Cz el registro que representa la condición de palabras completas, se caracteriza por una secuencia de picos que denominamos N76, P176, N360 y P512 (figura 3). Aproximadamente a partir de los 300 ms, las manipulaciones experimentales inducen cambios en los picos N360 y P512 que son sistemáticos y consisten en el aumento progresivo de una negatividad ancha que crece con una mayor supresión de letras, más notable en la región del pico P512 (figura 4). Su análisis de variancia fue: $N360(F[1.961] = 28.86$, $p < 0.006$) $P512(F[1.961] = 33.308$, $p < 0.0001$).

Los registros de las regiones frontales izquierda (F7) y derecha (F8) (para los cuatro niveles del factor eliminación de letras), muestran similar morfología

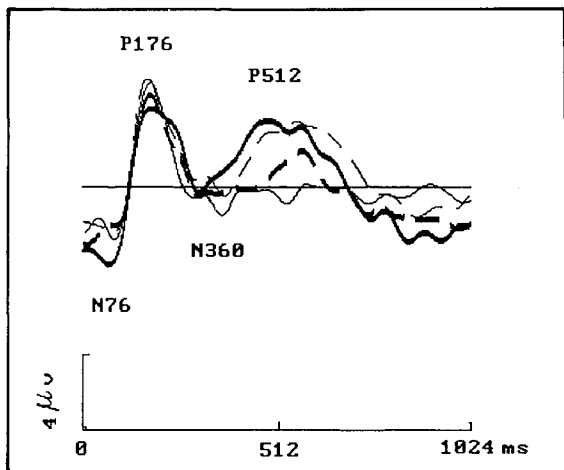


FIGURA 3. PRE promedios obtenidos para la muestra de sujetos en la derivación Cz, para los distintos estados del estímulo presentado. En línea gruesa continua aparece el registro correspondiente a la presentación de palabras completas, en línea fina continua el registro ante palabras sin la última sílaba, y en línea fina discontinua ante sólo la primera letra de la palabra.

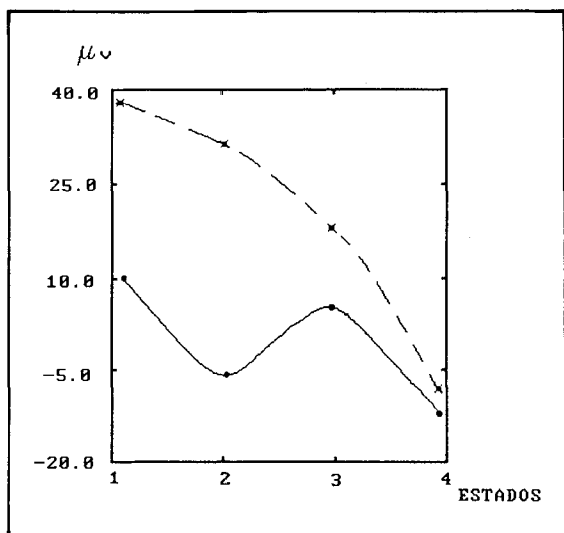


FIGURA 4. Amplitud de los picos N360 (línea continua) y P512 (línea discontinua) en la derivación Cz durante las 4 condiciones experimentales.

que Cz. Para la palabra completa existe una asimetría interhemisférica de las amplitudes para el pico N76 (más negativo en F8), tal vez consecuencia de una onda lenta positiva mayor sobre el hemisferio izquierdo. A partir de los 350 ms hay marcada asimetría de amplitud en sentido contrario (F7 más negativo en N380). Estas diferencias disminuyen al aumentar la falta de letras, y en el estado 4 desaparecen estos efectos (figura 5). Por otra parte los cambios en el PRE debidos a la condición experimental son más marcados para la derivación F8 (figura 6). Para F7 no hay gran variación hasta los 380 ms, y luego aumenta discretamente la negatividad en la rama

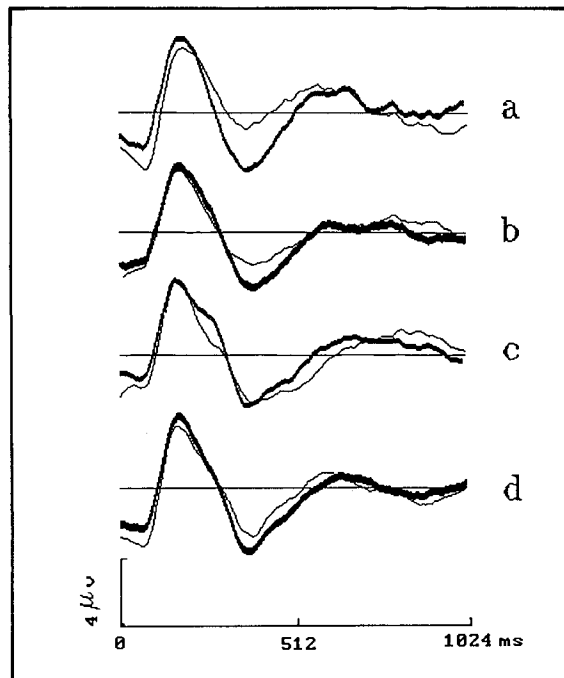


FIGURA 5. PRE promedios obtenidos para la muestra de sujetos en las derivaciones F7 (línea gruesa) y F8 (línea fina) para los distintos estados del estímulo presentado. En a se presenta el registro correspondiente a la presentación de palabras completas, en b frente a palabras sin la última letra, en c el registro ante palabras sin la última sílaba, y en d ante la presentación de sólo la primera letra de la palabra.

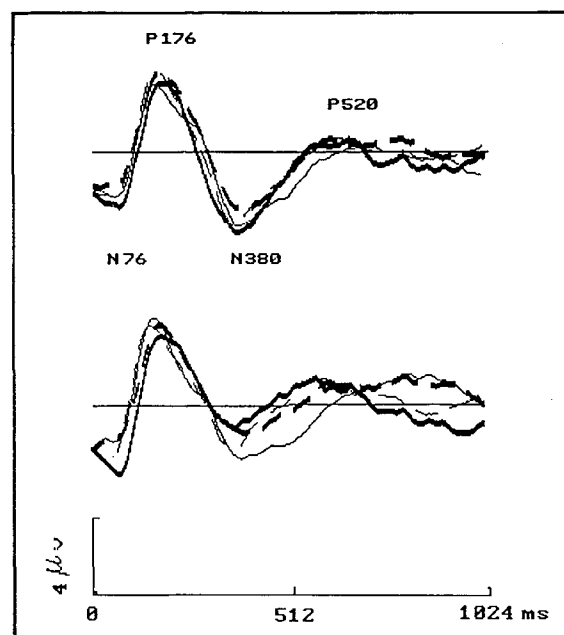


FIGURA 6. PRE promedios obtenidos para la muestra de sujetos en las derivaciones F7 (figura superior) y F8 (inferior) para los distintos estados del estímulo presentado. En línea gruesa continua aparece el registro correspondiente a la presentación de palabras completas, en línea gruesa discontinua a palabras sin la última letra, en línea fina continua el registro ante palabras sin la última sílaba, y en línea fina discontinua ante sólo la primera letra de la palabra.

ascendente de N380 ante una mayor supresión de letras. Sin embargo en F8 existen mayores diferencias de amplitud desde antes de los 380 ms, y la negatividad aumenta a medida que disminuye el número de letras. Este efecto se prolonga hasta casi los 600 ms. La falta de letras es muy significativa para la derivación F8 en los dos instantes analizados, N380 ($F[1.1206] = 24.802$, $p < 0.003$), P520 ($F[1.1206] = 18.43$, $p < 0.0001$), mientras que sólo lo es para F7 en el segundo instante, P520 ($F[1.1206] = 5.025$, $p < 0.028$) lo que concuerda con las observaciones anteriores.

Discusión

Para identificar los efectos de la eliminación de letras sobre los componentes endógenos, se evaluó el efecto de eliminar progresivamente mayor cantidad de letras. Para ello se realizó primero un experimento para medir el tiempo de pronunciación. Es evidente que a medida que se eliminan letras, más difícil resulta identificar la palabra. Esto corresponde con el crecimiento del tiempo de pronunciación y del número de errores del estado 1 hasta el 3 (tabla I). Si la búsqueda de la palabra en el lexicon mental se basó en una comparación de las letras detectadas (sea como representación de grafemas o recodificado como sonidos) con una lista de representaciones en memoria, se debe esperar entonces este efecto. Mientras menos información textual, más alternativas deben ser rechazadas sobre la base de la información contextual, y más debe demorar la respuesta.

TABLA I
Errores cometidos en la tarea de Tiempo de Reacción

Estados	N	Errores	
		# total	%
1	320	7	2.2
2	320	23	7.1
3	320	35	10.9
4	320	14	4.4

La disminución del tiempo de pronunciación y el número de errores para el estado 4 (sólo letra inicial), aparentemente contradice este razonamiento. Quizás se puede explicar este resultado por las exigencias de la tarea donde cualquier alternativa válida (miembro de la categoría presentada) era aceptada como respuesta correcta. En este sentido la condición 4 era la que imponía una búsqueda menos estricta al sujeto. Por otra parte, quizás el individuo al sólo contar con la letra inicial utilice una estrategia distinta, basada más en mecanismos "desde arriba hacia abajo" que "de abajo hacia arriba" (Rumelhart y McClelland, 1982).

Los componentes más tempranos de los PRE, como la onda positiva lenta y el pico P176, parecen reflejar procesos que anteceden el eslabón de procesamiento donde actúa la eliminación de letras. Esto lo sugiere la

falta de cambios significativos de estos componentes cuando se leen palabras cada vez más incompletas. Por una parte esta invariancia constituye un control de que los cambios en otros componentes son específicos, y no debidos a procesos inespecíficos (como cambios en el nivel de vigilia) que deben afectar por igual a todos los componentes. Por otra parte, la invariancia existente hasta cerca de los 200 ms confirma algunos estimados sobre la duración de la etapa de reconocimiento de una palabra, debido a que si el descarte de letras tiene efecto después de la etapa del reconocimiento de letras y de la búsqueda en el lexicon visual de entrada, entonces estos procesos pueden durar como máximo hasta la caída de P176 (cerca de 200 ms).

Desde principios de la década de los 80 se comenzaron a reportar asimetrías marcadas del potencial evocado visual (Hillyard y Picton, 1986), sobre todo cuando el sujeto debía leer una larga lista de palabras distintas. Esto contrasta con los estudios del periodo anterior que utilizaban conjuntos pequeños de palabras, lo cual aparentemente no movilizaba en suficiente grado los mecanismos lingüísticos (Hillyard y Woods, 1979; Galambos y cols., 1975). Así Rugg (1984) describe una onda lenta negativa presente sobre el hemisferio izquierdo, en el intervalo entre dos palabras que debían ser comparadas semánticamente. Por el contrario Kutas y Hillyard (1984) describen una onda lenta positiva mayor sobre el hemisferio izquierdo, cuando se lee una sucesión de palabras que forman una oración. La onda lenta positiva que se encontró parece corresponder con la descrita por Kutas y Hillyard. No se posee explicación para la discrepancia de estos autores y el presente trabajo con Rugg.

Cerca de los 380 ms se observa en las respuestas asociadas a palabras completas, un pico negativo de mayor amplitud en F7 (lado izquierdo) que en F8 (lado derecho). Un componente similar fue descrito por primera vez por Neville y cols. (1984). Estudios ulteriores de nuestro grupo han encontrado este componente asimétrico en virtualmente todos los estados examinados (Valdés y cols., 1990). La asimetría no se afecta por la incongruencia del contexto con el estímulo. Los resultados de Neville y cols. (1984), al hallar asimetrías hemisféricas trabajando con sujetos sordos, sin la presencia de contexto, así lo confirman. Resulta muy llamativa la disminución de la asimetría con la supresión de letras. La falta de efectos significativos en el lado izquierdo, y el fuerte efecto significativo en el lado derecho conduce a una interrogante de gran interés. ¿Por qué los cambios que se producen en el marco de una tarea lingüística se reflejan en el lado derecho de la cabeza? Existen ejemplos de cómo la actividad originada en un sitio se refleja en electrodos colocados a distancia, siendo el más elocuente la localización de la P100 provocada por inversión de patrones visuales en el lado opuesto al hemisferio cerebral que lo origina. Un estímulo en el hemicampo visual izquierdo estimula la corteza estriada (área 17 de Brodmann) del lado derecho, que por su posición en la cara interna del hemisferio origina dipolos que se proyectan sobre el lado izquierdo. Por otra parte, el hemisferio derecho tiene notables habilidades lingüísticas,

aunque de naturaleza distinta al hemisferio izquierdo. Lesiones del hemisferio derecho provocan la incapacidad de comprender la ironía, la metáfora y el sentido figurado de un texto (¿Procesamiento de arriba hacia abajo?), mientras permanece la habilidad de comprender el sentido literal de un texto (¿Procesamiento de abajo hacia arriba?) (Kosslyn, 1988). Por lo tanto se sugieren dos explicaciones a nuestros resultados.

- 1) La supresión de letras provoca una mayor actividad de un generador del hemisferio izquierdo cuya proyección se refleja en el lado derecho. La demostración por Peterssen y cols. (1988) mediante tomografía por emisión positrónica de un sitio activo durante la lectura de palabras, en la corteza cingulada anterior (cara medial del hemisferio), apoya esta alternativa.
- 2) La eliminación progresiva de letras, conduce al sujeto a emplear con mayor fuerza estrategias de procesamiento de la palabra basadas en mecanismos del hemisferio derecho. Estos mecanismos podrían ser de naturaleza dominante de arriba hacia abajo.

Los cambios reflejados básicamente en la región N380 y P512 en Cz parecen corresponder al componente descrito en el experimento anterior de Valdés y cols. (1990) donde se encontró una interacción estadística entre el efecto del contexto y la eliminación de letras sobre el potencial eléctrico. La palabra que sigue a otra semánticamente incongruente presenta una negatividad conocida como N400. En varias situaciones que provocan la N400, se presentaron palabras con letras eliminadas. La negatividad debida a la supresión de letras no es aditiva con la N400. Esto sugiere que se originan mediante un generador común. Sin embargo una crítica posible a este tipo de

estudio, es que la respuesta examinada puede haber alcanzado un "techo" imposible de sobrepasar por efecto de una sola de las manipulaciones experimentales.

Por lo tanto resulta de interés demostrar que la negatividad debida a la supresión de letras es una función monotónica del número de letras eliminadas. La eliminación de letras en el experimento de Valdés y cols. (1990) provocó una negatividad de 2.72 μV , utilizando una variante moderada de eliminación de letras: sólo se quitaron las vocales. La magnitud máxima de negatividad encontrada con la supresión de todas las letras, salvo la primera, fue de 6.95 μV . Por lo tanto resulta poco probable que en el estudio de Valdés y cols. la negatividad debida a la eliminación, haya alcanzado su máximo (techo). Esto apoya la interpretación de que la negatividad ante la supresión de letras y la N400 comparten el mismo generador.

Se requiere confirmar estos resultados realizando un control de la estimulación sobre diferentes hemisferios de la retina, para eliminar la contribución de este factor a la asimetría encontrada. Resulta necesario además, eliminar de la tarea experimental la expectativa en el sujeto para descartar también la contribución de la onda contingente negativa (CNV).

Los resultados mostrados sugieren que las negatividades producidas durante la lectura de palabras, tanto con contextos incongruentes como con palabras incompletas, son al menos producto de mecanismos muy vinculados, sino es que son el mismo componente. Resulta necesario continuar investigando la razón de que estas negatividades tengan mayor amplitud sobre el hemisferio derecho. Es evidente que las limitaciones actuales de los métodos de análisis de potenciales relacionados a eventos deben ser superadas para la solución de estos problemas.

REFERENCIAS

- CARAMAZZA A: Some aspects of language processing revealed through the analysis of acquired aphasia: The Lexical System. *Ann Rev Neurosc*, 11:395-421, 1988.
- ELLIS A, BEATTIE G: *The Psychology of Language & Communication*. Guildford Press. Nueva York, Londres, 1986.
- GALAMBOS R y cols: On hemispheric differences in evoked potentials to speech stimuli. *Electroenceph Clin Neurophys*, 39:279-283, 1975.
- HILLYARD SA: The CNV and human behaviour. Event Related slow potential of the brain: Their relation to behavior. *Neurophysiology*, 33:161-171, 1973.
- HILLYARD SA, PICTON T: Electrophysiology of cognition. En. *Handbook of Neurophysiology*, F. Plum (Ed.), 1987.
- HILLYARD SA, WOODS DL: Electrophysiological analysis of human brain function. *Handbook of Behavioral Neurobiol.*, Vol. II. Plenum Press. Nueva York, págs. 345-378, 1979.
- KOSSLYN SM: Aspects of a cognitive neuroscience of mental imagery. *Science*, 240:1621-1626, 1988.
- KUTAS M, HILLYARD SA: Reading between the lines: event-related brain potentials during the natural sentence processing. *Brain and Language*, 11:354-373, 1980a.
- KUTAS M, HILLYARD SA: Reading senseless sentences: Brain potentials reflect semantic incongruity. *Science*, 207:203-205, 1980b.
- KUTAS M, HILLARD SA: Brain potentials during reading reflect word expectancy and semantic association. *Nature*, 307:161-163, 1984a.
- KUTAS M, HILLYARD SA: Event-related brain potentials (ERPs) elicited by novel stimuli during sentence processing. *Annals of New York Academy of Sciences*, 425:236-241, 1984b.
- NEVILLE HJ, KUTAS M, SCHMIDT A: Event related potential studies of cerebral specialization during reading. Studies of normal adults. *Brain and Language*, 16:300-315, 1982.
- PETERSEN SE y cols: Positron Emission Tomographic Studies of the cortical anatomy of single-word processing. *Nature*, 331:585-589, 1988.
- RUGG MD: Further study of the electrophysiological correlates of lexical decision. *Brain and Language*, 19:142-152, 1983.
- RUMELHART DE, McCLELLAND JL: An interactive activation model of context effects in letter perception: part 2. The contextual enhancement effect and some tests and extensions of the model. *Psychological Review*, 89:60-94, 1982.
- VALDES-SOSA M, SUAREZ MURIAS C, GARCIA M: Influencias textuales y contextuales sobre los potenciales relacionados a eventos, 1990 (en prensa).