



Potenciales evocados y cognición

Caupolicán
Muñoz Gamboa,* Joel
Jiménez Cruz

* Departamento de Ingeniería
Eléctrica.

Correspondencia:
Caupolicán Muñoz Gamboa
División de Ciencias Básicas e
Ingeniería- UAM Iztapalapa
E-mail: cmg@xanum.uam.mx.
tel.: 5804 4630 ext. 230, fax: 5804 4631

Artículo recibido: 04/abril/2006
Artículo aceptado: 30/octubre/2007

RESUMEN

En este artículo se presenta un tipo especial de potenciales evocados, conocidos como potenciales relacionados a eventos (PRE) o potenciales evocados endógenos, los que son producto de un estímulo sensorial controlado, pero que además se relacionan con procesos psicológicos internos que han sido disparados directamente por un estímulo externo o indirectamente por un estímulo interno y que son producto del procesamiento cerebral debido al estímulo. Como ejemplos de este tipo de potenciales se presentan la onda P300, el potencial de variación negativa contingente, los potenciales motores y los potenciales de la frecuencia cardíaca. Estos potenciales ofrecen la oportunidad de explorar los mecanismos que intervienen en la atención selectiva, en la cognición y en otras funciones corticales complejas, las cuales proporcionan información importante del procesamiento que lleva a cabo el sistema nervioso.

Palabras clave: Potenciales relacionados a eventos, potenciales evocados endógenos, onda P300, variación negativa contingente, potenciales evocados motores, potenciales evocados de la frecuencia cardíaca.

ABSTRACT

In this paper a special kind of evoked potentials, known as endogenous potentials, is presented. They are consequence of a controlled sensorial stimulus and, at the same time, are associated to internal psychological processes that have been triggered by the external stimulus. Therefore, they are products of the brain processing due to the stimulation. For this kind of PE the physiological origin is analyzed, several forms of stimulation are described for every one of them, the morphology of the signals is specified, some of the most important characteristics and properties are remarked as well as some of their most common clinical applications are detailed.

Key words: Event related potentials, evoked potential, exogenous evoked potentials, visual evoked potentials, auditive evoked potentials, somatosensorial evoked potentials, olfactory evoked potentials.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años el conocimiento sobre el cerebro se ha incrementado dramáticamente gracias al desarrollo de la tecnología; en especial debido a los equipos de resonancia magnética, positrónicos y la neurobiología molecular. Sin embargo, la electroencefalografía y los potenciales evocados, aun cuando ha decaído su popularidad, todavía tienen mucho que mostrarnos respecto al procesamiento de información en el sistema nervioso central (Handy T., 2004). Sus principales ventajas pueden ser el bajo costo, la no invasibilidad y la alta resolución temporal que permite el estudio de la dinámica de los procesos cerebrales (Luck S., 2005).

Los procesos mentales pueden manifestarse a través de ciertas medidas psicofisiológicas y de la conducta como tiempos de reacción, potenciales relacionados a eventos y electromiogramas, entre otras. A partir de registros tomados con estas medidas se pueden hacer inferencias acerca del razonamiento, la función ejecutiva, la resolución de problemas, la memoria, el lenguaje o el control mental. En estas tareas se supone la participación de una secuencia de procesos con dimensión temporal en los que se encuentran la codificación del estímulo, la recuperación de la información almacenada en la memoria, la toma de decisiones y la preparación de la respuesta adecuada.

Los potenciales relacionados a eventos se pueden considerar como modificaciones o cambios en la actividad de campo del sistema nervioso central que guarda una relación fija con un evento físico o psicológico o la conjunción de ambos. Estos potenciales son señales eléctricas cerebrales que se producen como respuesta a un estímulo sensorial externo (Muñoz y Jiménez, 2001, Martínez A., 2002). Cuando las señales capturadas se deben exclusivamente al estímulo físico externo, se conocen como PE exógenos (Muñoz y Jiménez, 2002). Por el contrario, en el caso en que la respuesta eléctrica es consecuencia no sólo del estímulo aplicado, sino que también es producida por el procesamiento cerebral que el sujeto lleva a cabo a consecuencia del estímulo o a falta de éste en una secuencia de estímulos, los PE se denominan endógenos, potenciales emitidos o potenciales relacionados a eventos (Quian R., 2006).

Por medio de esta clase de PE se estudian, además de las vías sensoriales, otros procesos que se llevan a cabo en el Sistema Nervioso Central (SNC) (Chapman et al., 1991). Los PRE ofrecen la oportunidad de explorar los mecanismos que intervienen,

como ya se mencionó, en la atención selectiva, en la cognición y en otras funciones corticales complejas ya que la presencia de estos PE proporciona información importante del procesamiento que lleva a cabo el cerebro. Entre estos PRE se encuentran, entre otros, la onda P300, el potencial variación negativa contingente (contingent negative variation - CNV), los PE motores y los PE de la frecuencia cardíaca (Hillary y Picton, 1987).

LA ONDA P300

A este potencial se le ha asociado una gran variedad de procesos cognoscitivos complejos. Johnson (1986) los engloba en 3 dimensiones: 1) probabilidad subjetiva, 2) significado del estímulo y 3) transmisión de la información. El potencial P300 involucra entre otros a procesos de atención, memoria y cognición. El paradigma clásico para la obtención de la onda P300 es el estímulo infrecuente (the oddball paradigm), en el cual se usan dos tonos con diferente probabilidad de ocurrencia. Entre sus aplicaciones se hallan la diferenciación de edad, así como las pruebas de diagnóstico en alcoholismo o en demencia general (Pfefferbaum et al., 1984). Un ejemplo de este tipo de PE se muestra en la Figura 1.

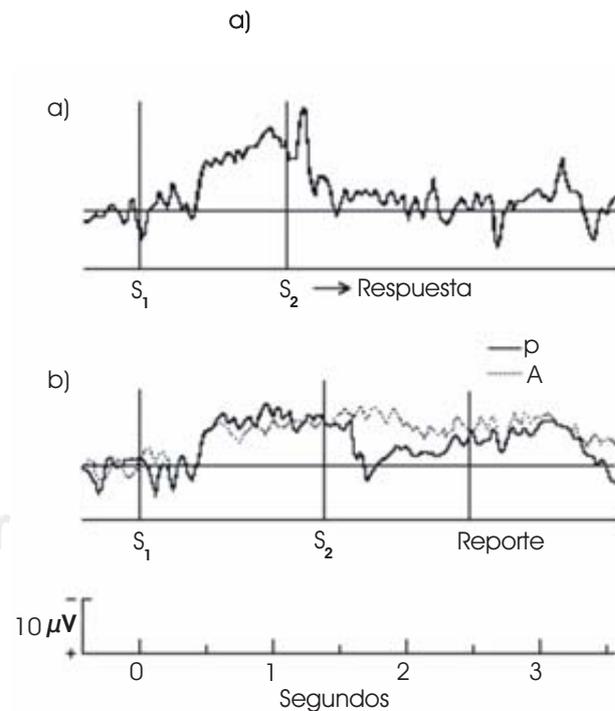


Figura 1. Potenciales P300 cuando se cuentan e ignoran los tonos, de acuerdo a las probabilidades de presentación de los dos estímulos correspondientes entre el 10 y el 90%.

Existen varios componentes tardíos en los PE que están asociados con diferentes etapas del procesamiento de información. La forma de estimulación tiene influencia decisiva en la aparición de estos componentes; por ejemplo, cuando los estímulos son relevantes disparan un complejo de ondas endógenas que incluyen la onda N200 y el P300. Cuando se presenta una secuencia con estímulos relevantes e irrelevantes, sólo los estímulos relevantes provocan una onda positiva tardía. La amplitud de esta onda varía con el significado del estímulo relevante; por ejemplo, si el estímulo es impredecible el P300 es más grande, a diferencia de cuando el estímulo se conoce de antemano. Como resultado, su amplitud aumenta en forma inversa a la probabilidad de presentación del estímulo, mostrando características similares para los estímulos visuales y auditivos. Un cambio impredecible en una secuencia de estímulos similares, típicos o conocidos también provoca una onda P300; por ello, cuando la frecuencia de un estímulo de tonos repetitivos cambia repentinamente, también se dispara una onda. Por estas razones, se ha concluido que este potencial está relacionado con la evaluación cognoscitiva de la significación del estímulo, proceso que puede ser disparado por el evento disímil que captura la atención del sujeto o bien, por la atención que se presta a la información que puede contener el estímulo y que es de interés para el sujeto (Hansenne et al, 2003).

Al P300 se le asocia con actividades cognoscitivas relacionadas con la extracción de información de un estímulo inesperado. Esta relación se ha estudiado extensamente con el paradigma del evento raro, el cual involucra la presentación aleatoria de un estímulo poco probable dentro de una secuencia con mayor número de estímulos estándares. Cuando el sujeto detecta el evento raro, se dispara la onda P300 y sus componentes asociados. La amplitud de esta onda depende de la probabilidad de presentación del estímulo. El P300 tiene una distribución central parietal con estimulación visual o auditiva, aunque con estímulo visual se tiene una latencia mayor.

Como se mencionó, la localización del P300 se conoce que es mayor en la zona central, parietal y posterior; la localización de sus fuentes es aún controversial.

LA VARIACIÓN NEGATIVA CONTINGENTE

Considérese el siguiente paradigma: se presenta al sujeto una señal condicional (S1) como un click au-

ditivo y un segundo después se presenta un segundo estímulo imperativo (S2), que puede consistir de una serie de flashes repetitivos, a los cuales el sujeto tiene que responder presionando un botón. En el intervalo entre los estímulos, el registro capturado presenta un PE negativo que es llamado variación negativa contingente (CNV) cuya amplitud máxima se observa en el vertex. Este PE está relacionado con el estado psicológico de la expectación, por lo que también se le conoce como la onda E. Se ha encontrado que el CNV en el área frontal es de forma diferente y más pequeño que en las regiones parietales y centrales, lo cual refleja que es producto del procesamiento de información diferente en las distintas regiones cerebrales. El CNV está compuesto por dos cambios negativos, los cuales se distinguen claramente cuando el intervalo S1-S2 se prolonga. El componente temprano está asociado a la respuesta de orientación a S1. Con estimulación auditiva el CNV alcanza su máximo entre los 400 y 700 ms después de S1, localizando su amplitud mayor en la región frontal posterior. Cuando se estimula visualmente, se presenta un foco en las regiones central y parieto-occipital, lo que sugiere que su generación está probablemente en las áreas visuales primarias y secundarias. El componente tardío que se ha relacionado también con la expectación debido al estímulo S2 o a la preparación para la respuesta motriz (el PE de intencionalidad), tiene una distribución predominantemente central con generadores probables en la corteza premotriz y motriz (Harmony, 1984).

Existe consenso entre los autores en dos aspectos importantes: 1) El CNV se puede generar independientemente de una acción motriz ya que se ha encontrado en situaciones en las cuales el sujeto espera una palabra o una imagen proyectada en S2 y donde no existe la exigencia de una respuesta motriz por parte del sujeto. 2) El CNV es un PE compuesto que proviene de diferentes fuentes intracraneales, cuya distribución varía en función de las variables constituyentes de la tarea a realizar y de la modalidad de la estimulación. En este sentido, las tareas que permiten el establecimiento de una acción motriz preparatoria están caracterizadas por cambios que se presentan en el PE motor o de intencionalidad que se analizará más adelante. Generalmente, el CNV termina con el segundo estímulo, pero en algunos sujetos puede permanecer un poco después de este estímulo imperativo.

El CNV se ha relacionado con eventos psicológicos como la expectación, la decisión, la mo-

tivación, la voluntad y la excitabilidad. En sujetos normales se mantiene constante, no sólo de experimento en experimento sino que también de un año a otro. Con respecto a la edad de los sujetos, el CNV empieza a aparecer después de los 7 años de edad y se desarrolla completamente hasta los 20. Su amplitud depende de muchos factores, entre los que se encuentran los parámetros de la estimulación, la percepción del estímulo, el intervalo entre los estímulos, la probabilidad de asociación entre los estímulos, los cambios en las respuestas, las diferencias individuales y los cambios en las funciones fisiológicas. Por otra parte, la amplitud del CNV aumenta cuando el sujeto tiene un alto nivel de atención.

Se ha estudiado la relación de la morfología del CNV con enfermedades cerebrales orgánicas y se ha encontrado que tiene una amplitud menor en las áreas corticales donde existe una lesión. Entre más difusa sea la lesión, mayor es la anomalía del CNV. Si la lesión produce una disfunción de la conducta, el CNV desaparece parcialmente. En pacientes seniles se han observado amplitudes menores y cuando existe un déficit mental serio se ha observado una reducción del CNV. También se ha reportado que desaparece en pacientes donde las lesiones han afectado el tálamo, en tanto que en personas tartamudas es diferente en el lado izquierdo del área frontal con respecto a sujetos normales y virtualmente no existe en pacientes antisociales con disturbios psicopáticos. Los pacientes ansiosos y los esquizofrénicos también muestran un CNV con amplitudes menores. Se ha observado además una prolongación en la duración de este PE después del estímulo imperativo en pacientes psiquiátricos y neuróticos y se han descrito amplitudes disminuidas en niños hiperquinéticos o con falta de concentración.

Por otra parte, el CNV se ha usado para probar objetivamente el umbral de percepción a estímulos acústicos sencillos. Para ello, en S1 se aplica un tono con intensidad gradual y en S2 una luz. Si el sujeto percibe el tono se genera el CNV; en caso contrario no aparece. La ventaja en este tipo de evaluación es que es posible determinar el umbral de percepción del sujeto al estímulo acústico. Sin embargo, la audiometría que utilice estos resultados no se aplica a los niños pequeños debido a que a estas edades no se genera un PE confiable. Un ejemplo de un PE del tipo CNV se muestra en la Figura 2.

LOS POTENCIALES EVOCADOS MOTORES

Los PE motores son variaciones similares a las que exhiben los PE ya analizados, las cuales se presentan en los registros antes e inmediatamente después de que se ha realizado una actividad motriz. Esta actividad puede ser un movimiento, una vocalización o un movimiento ocular voluntario. Aunque estos PE varían de persona a persona y aun en un mismo sujeto con movimientos diferentes, pueden distinguirse varios componentes asociados con el movimiento, los que están constituidos por los siguientes elementos:

1. Una onda negativa lenta N1 que comienza cerca de un segundo antes de la contracción muscular. A esta onda se le llama PE de intencionalidad (RP) o de preparación.
2. Una onda positiva P1 previa al movimiento (MPM), que comienza entre 50 y 150 ms antes de éste.
3. Una deflexión negativa abrupta N2 ó PE motor (MP).

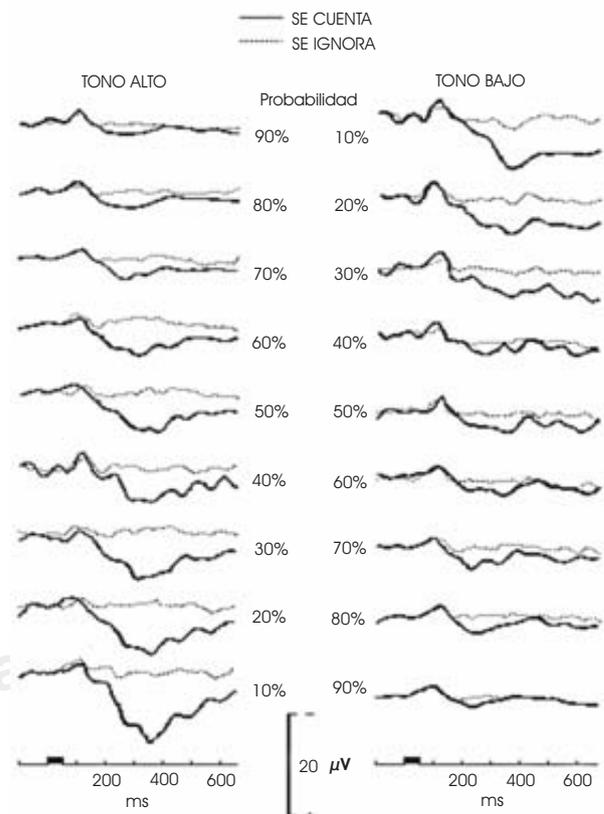


Figura 2. Potenciales CNV presentes en dos circunstancias. Cuando a) se prepara la respuesta y b) se detecta correctamente tanto los tonos (P), como la ausencia de éstos (A).

- Una onda positiva final P2 que generalmente empieza después de la contracción (RAF), pero que en algunas ocasiones la precede y se incluye en el PE motor.

La onda N1(RP) se observa mejor en las áreas centrales y precentrales contralaterales. La onda N2 es contralateral en la corteza precentral y se relaciona con el área específica del músculo que se activó. La onda P2 es también contralateral al movimiento en la zona pre y procentral.

Se ha encontrado que el PE del tipo RP es más prolongado en personas diestras normales. Durante una contracción sostenida, se ha observado una onda positiva en regiones de registro centrales y postcentrales. El componente P1 es discernible en la mayoría de los casos y domina en el hemisferio cerebral ipsilateral al músculo que se contrae. Con movimientos bilaterales simultáneos no se observa P1, lo cual sugiere que P1 está relacionado con la inhibición al movimiento de imitación de la mano opuesta (movimiento espejo). Cuando se presenta un PE fásico que sigue al RP, éste se ha interpretado como una descarga corticoespinal que precede a la contracción, basado en el hecho de que el intervalo entre estos PE y la actividad muscular varía dependiendo de la longitud de las vías neuronales entre el cerebro y el músculo que se contrae (Hillary y Picton, 1987).

Se han encontrado PE motores anormales en sujetos con lesiones cerebrales unilaterales de varias etiologías. La observación más común es una disminución de la amplitud de N1 en el hemisferio al-

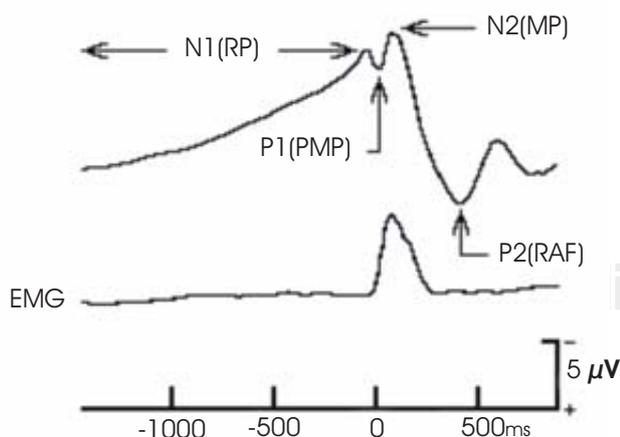


Figura 3. Potenciales relacionados al movimiento y actividad muscular (EMG): N1(RP), de intencionalidad; P1(PMP), positivo previo al movimiento; N2(MP), potencial motor y P2(RAF), de realimentación propioceptiva muscular.

terado. En pacientes con lesiones hemisféricas centrales, en pacientes con enfermedad de Parkinson y en pacientes con ataxia cerebral se ha observado la ausencia o disminución del RP. En lesiones del cerebro medio o del tálamo el componente RP puede estar ausente. También este PE muestra cambios en pacientes psiquiátricos con disfunciones motrices. Un ejemplo de PE motor se muestra en la Figura 3.

EL POTENCIAL EVOCADO DEL LATIDO CARDIACO (PELC)

Entre los individuos existen muchas diferencias respecto al grado en que cada uno de ellos puede percibir las sensaciones que surgen del propio cuerpo. Algunos ejemplos de esta situación se tienen con la sensación del dolor o con la conciencia del latido cardiaco. El estudio del procesamiento cortical de las señales que proceden de los órganos internos se ha investigado relativamente poco, siendo el PELC una forma adecuada para llevar a cabo este tipo de análisis.

El PELC es un PE producido por la atención consciente del latido cardiaco. El estímulo en este caso es el propio latido, el cual sirve para la sincronización a través de la onda R del electrocardiograma y para la obtención del registro del PE. Los sitios de registro donde se han encontrado PELC con mayor amplitud son Cz, C3 y C4 en un intervalo de latencia de 350 a 550 ms posteriores a la onda R (Montoya et al, 1993). La atención que se ponga al evento interno puede modificar la respuesta evocada cortical asociada con ese evento. El registro del PELC es útil para investigar el procesamiento de la información víscero-receptiva. Con este PE pueden clasificarse dos grupos de personas; aquellas muy atentas y otras poco atentas. A su vez este PE puede utilizarse para mejorar la atención de aquellas personas que han mostrado poca concentración o escasa conciencia del latido cardiaco. Una vez que esta atención ha mejorado, el resultado puede verse reflejado en una mayor amplitud del PELC, (Figura 4).

CONCLUSIÓN

En este artículo se han revisado varios ejemplos de PE endógenos. Existen otros potenciales de este tipo como la negatividad dispareja (mismatch negativity), el N400 y la negatividad relacionada al error (Quian R.,2006). Con todos ellos pue-

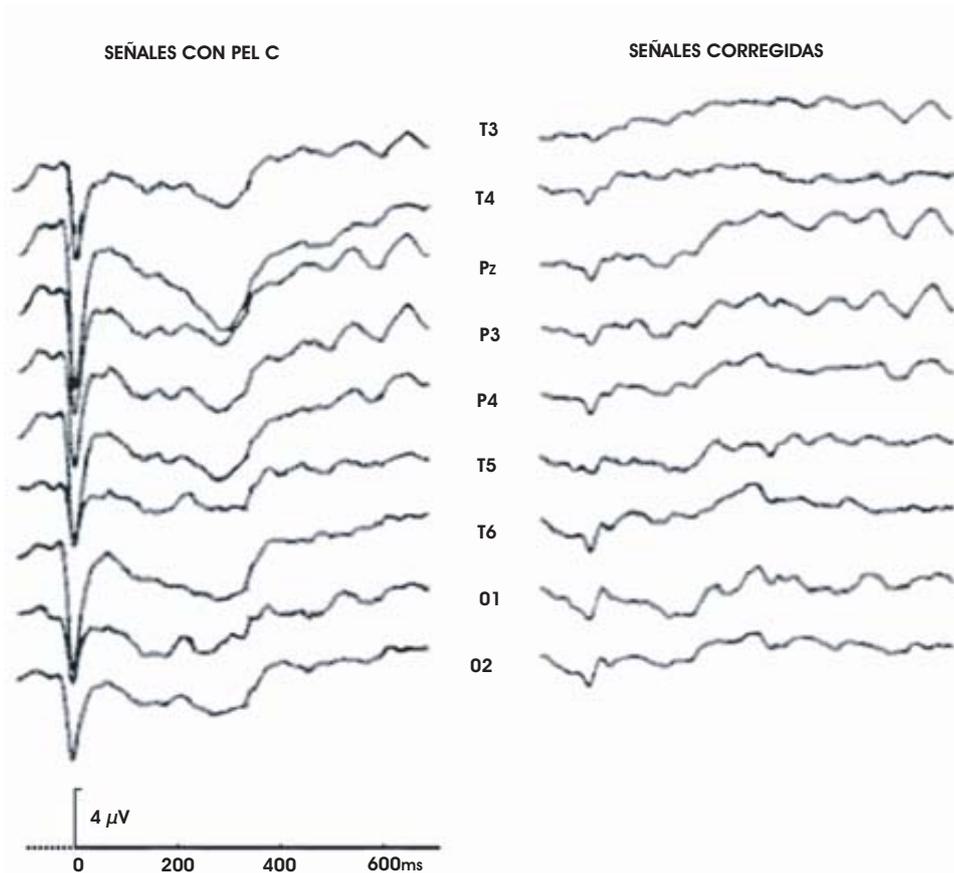


Figura 4. Señal de EEG observada en varias derivaciones conteniendo potenciales evocados del latido cardiaco (PELC) y la misma señal procesada y corregida (sin PELC).

den estudiarse además de las aplicaciones clínicas los procesos principalmente de atención, memoria y cognición, ya que se aplican al estudio y la evaluación de la forma en que estos procesos degeneran en cada individuo, así como en el diagnóstico de diferentes tipos de enfermedades o estados psicológicos (*Mormann F. et al, 2007*).

El avance de la tecnología aunado al desarrollo de nuevas técnicas poderosas de análisis y procesamiento de señales (por ejemplo el estudio del potencial único y la aplicación de la transformada wavelet) han contribuido a un mayor entendimiento de la dinámica cerebral (*Nuper C. Wolfgang K., 2006*).

En forma global los PE analizados en este artículo nos proporcionan una alta precisión anatómica con respecto a las fuentes que los generan, en comparación con los estudios radiológicos o positrónicos, pero se les considera efectivamente como una herramienta complementaria muy útil e importante en la investigación y en la clínica. Sus aplicaciones incluyen tanto la auscultación de una vía sensorial en

particular (PE exógenos), como el entendimiento de las funciones cerebrales superiores (PE endógenos), porque son señales eléctricas que constituyen una evidencia objetiva, clara y directa de la actividad eléctrica de los procesos cerebrales y fisiológicos con los cuales pueden estar relacionados.

Aprovechando que la resolución temporal que los PE proporcionan se encuentra en el orden de los milisegundos, se ha conseguido obtener información de los procesos fisiológicos sensoriales y se ha logrado un conocimiento muy importante sobre los procesos de atención selectiva, cognición y lenguaje en el ser humano. La investigación actualmente se está enfocando hacia el conocimiento más preciso de los componentes de cada PE, de los generadores neuronales que producen los máximos y mínimos en las señales y de los procesos fisiológicos y mentales con los cuales están relacionados. Este tipo de información enriquecerá el entendimiento de las bases neuronales del funcionamiento del Sistema Nervioso Central (*Shah A. et al, 2004*).

BIBLIOGRAFÍA

1. Chapman RM, McCaary W, Bragdon HR, Chapman JA. Latent components of event related potentials functionally related to information processing. *Prog Clin Neurophysiol* 1991; 6: 80-105.
2. Handy T. Event-related potentials. A methods handbook. The MIT Press. 2004.
3. Hansenne M, Olin C, Pinto E, Pitchot W, Ansseau M. Event-related potentials to emotional and neutral stimuli in alcoholism. *Neuropsychobiology* 2003; 48: 77-81.
4. Harmony T. Neurometric assessment of brain dysfunction in neurological patients. Lawrence Erlbaum Associates Publishers. Hillsdale New Jersey. Londres. 1984.
5. Hillary S, Picton T. (1987). Electrophysiology of Cognition, en V. Mountcastle et al. (eds.), *Handbook of Physiology. The Nervous System* 1987; 5(part. 2): 519-584.
6. Johnson R. A Triarchic model of P300 amplitude. *Psychophysiology* 1986; 23: 367-384.
7. Luck S. An Introduction to the event-related potential technique. The MIT Press. 2005.
8. Martínez A. Potenciales evocados auditivos de larga latencia relacionados con el procesamiento de la información. *Univ Psychol Bogotá (Colombia)* 2002; 1(1): 67-80.
9. Montoya P, Schandry R, Muller A. Heartbeat evoked potentials (HEP): Topography and influence of cardiac awareness and focus of attention. *EEG and Clin Neurophysiology* 1993; 88: 163-172.
10. Mormann F, Fernández G, Klaver P, Weber B, Elger C, Fell J. Declarative memory formation in hippocampal sclerosis: an intracranial event-related potentials study. *Neuroreport* 2007; 18(4): 317-321.
11. Muñoz C, Jiménez CJ. (2001). Potenciales evocados I: Introducción. *Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica*, 2001; XXII(2): 101-106.
12. Muñoz C, Jiménez CJ. Potenciales evocados II: Potenciales exógenos. *Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica* 2002; XXIII(1): 33-38.
13. Nuper C, Wolfgang K. Event related dynamics of brain oscillations. *Progress in brain research* 159. Elsevier. 2006.
14. Pfefferbaum A, Ford M, Wenegrat G, Roth T, Koppell S. Clinical Applications of the P3 Component of Event-Related Potentials. *EEG and Clin Neurophysiology* 1984; 59, 85-124.
15. Quian R. Evoked Potentials. *Enciclopedia of medical devices and instrumentation*, second edition, edited by John Webster. 2006: pp. 233-246.
16. Shah A, Bressler S, Knuth K, Ding M, Mehta A, Ulbert I, Schroeder C. Neural Dynamics and the Fundamental Mechanisms of Event-related Brain Potentials. *Cerebral Cortex* 2004; 14: 476-483, Oxford University Press.