

## Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica

Volumen  
Volume 23

Número  
Number 1

Marzo  
March 2002

*Artículo:*

### Potenciales evocados II: potenciales exógenos

Derechos reservados, Copyright © 2002:  
Sociedad Mexicana de Ingeniería Biomédica, AC

Otras secciones de  
este sitio:

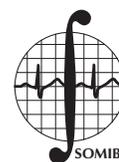
- ☞ Índice de este número
- ☞ Más revistas
- ☞ Búsqueda

*Others sections in  
this web site:*

- ☞ *Contents of this number*
- ☞ *More journals*
- ☞ *Search*



Medigraphic.com



## Potenciales evocados II: potenciales exógenos

Caupolicán Muñoz Gamboa\*  
Joel Jiménez Cruz\*

\* Departamento de Ingeniería Eléctrica  
División de Ciencias Básicas e Ingeniería  
UAM Iztapalapa

Autor responsable:  
Caupolicán Muñoz Gamboa  
E-mail: cmg@xanum.uam.mx  
tel.: 5804 4630 ext. 230, fax: 5804 4631

Artículo recibido: 30/noviembre/2001  
Artículo aceptado: 2/marzo/2002

### RESUMEN

En este artículo se presenta un tipo particular de potenciales evocados, conocidos como exógenos, los que son producto directo de un estímulo sensorial controlado. Asimismo, se analiza su origen fisiológico, se describen diferentes tipos de estimulación para cada uno de ellos, se especifica su morfología, se destacan sus características y propiedades generales más importantes, al mismo tiempo que se detallan algunas de sus aplicaciones clínicas más comunes.

### Palabras clave:

Potenciales evocados, PE exógenos, PE visual, PE auditivo, PE somatosensorial, PE vestibular, PE olfatorio.

### ABSTRACT

We present a particular type of evoked potentials, known as exogen, which are the direct product of a controlled sensorial stimulus. We analyze their physiological origins, we describe different types of stimulations for each of them, we specify their morphology, their main characteristics and properties. At the same time we detail some of their more common clinical applications.

### Key words:

Evoked Potentials, Exogen evoked potentials, Visual EP, Auditive EP, Somatosensorial EP, Vestibular EP, Olfatory EP.

### INTRODUCCIÓN

Los potenciales evocados (PE), son señales eléctricas cerebrales que se producen como respuesta a un estímulo sensorial (Muñoz y Jiménez, 2001). Dependiendo del estímulo aplicado y del procesamiento cerebral, los PE pueden clasificarse en dos grandes clases: los que son debidos simplemente a un estímulo físico externo, llamados PE exógenos, y aquellos que también están asociados a ese estímulo físico, pero que además se relacionan con procesos psicológicos porque pueden derivarse parcialmente de éstos.

Los primeros son los más conocidos y utilizados, entre los que destacan los PE visuales, los PE auditivos y los PE somatosensoriales, aunque también se han estudiado, entre otros, a los PE olfatorios,

los PE gustativos y los PE vestibulares. Los estímulos utilizados para obtener los distintos tipos de PE exógenos se detallan en el Cuadro 1. Los últimos, denominados comúnmente potenciales endógenos, potenciales emitidos o potenciales relacionados a eventos, son materia de investigación y se analizarán en el tercer artículo sobre el tema.

### POTENCIAL EVOCADO VISUAL (PEV)

La actividad eléctrica generada por el PEV se localiza en la corteza occipital (áreas 17, 18 y 19) debido a la estimulación de los receptores de la retina. El potencial evocado refleja la contribución de diferentes subsistemas neuronales que participan en la respuesta. La estimulación puede ser específica de ciertas vías de conducción entre la

**Cuadro 1.** Potenciales exógenos más conocidos.

Estímulo	Tipo de potencial evocado
Flash, tablero, figura, frase escrita	Visual
Tono, click, palabra	Auditivo
Presión, toque mecánico o eléctrico	Somatosensorial
Olor	Olfatorio
Sabor	Gustativo
Giro, aceleración	Vestibular

retina y la corteza y puede originar una actividad en las porciones involucradas.

Este tipo de PE se genera aplicando al sujeto ya sea estímulos visuales que ocupen todo su campo ocular, como el destello de un flash (estimulación on-off), o sólo una parte de él, como la aparición repentina de barras horizontales o verticales de luminosidad diferentes localizadas en diferentes posiciones dentro del campo visual. También se usa la aparición repentina o la inversión de un tablero de ajedrez, el movimiento de un punto o de una figura geométrica. Otra forma es la presentación de información escrita (texto) en una pantalla (Cansco, 1988), entre otros ejemplos.

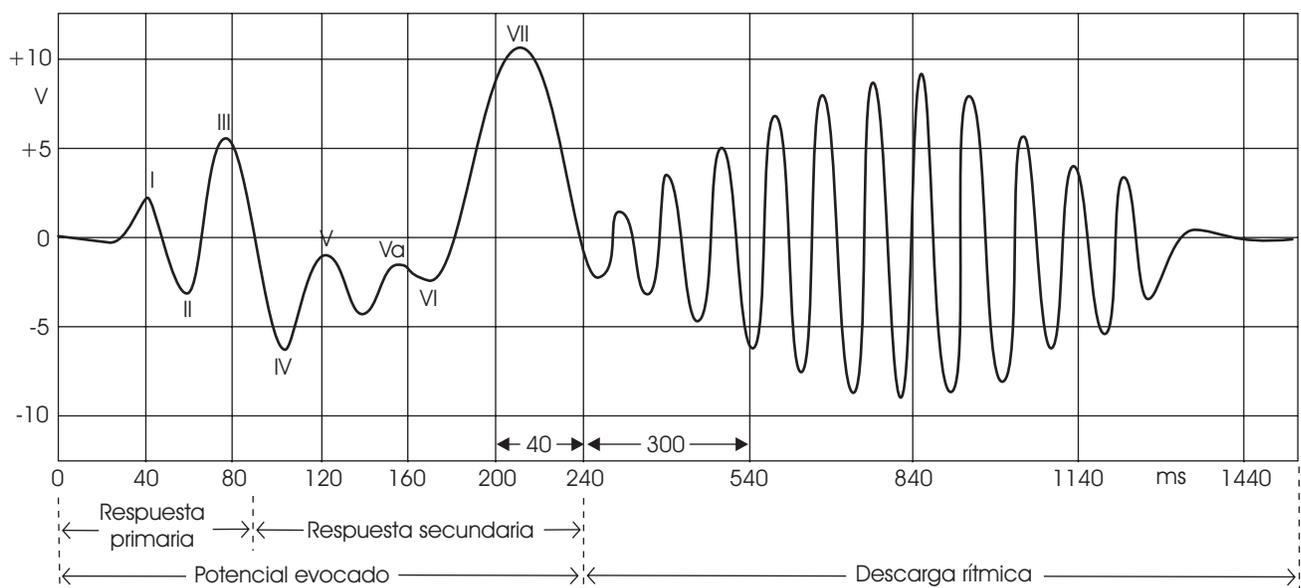
La morfología del PEV varía dependiendo de diversos factores externos e internos. Los factores externos, entre los que se encuentran la intensi-

dad del estímulo, el tamaño del campo visual, la frecuencia de la estimulación, la regularidad y el color del patrón, la luminosidad, etc., producen efectos diferentes sobre las oscilaciones que se observan en el PEV (máximos y latencias). Por otra parte, los factores individuales como las condiciones o el estado psicológico del paciente, la atención que preste al estímulo, su edad, su agudeza visual, etc., contribuyen a la forma final del PEV (Jiménez, 1989).

Entre las aplicaciones de los PEV se encuentran, por ejemplo, el estudio de la neuritis óptica y la esclerosis múltiple debido a los retardos en la velocidad de conducción del nervio óptico, la observación de la efectividad de la anestesia, las evaluaciones o el seguimiento durante un proceso quirúrgico y, por su origen, es muy usado en oftalmología con el fin de localizar anomalías en la trayectoria visual. En la Figura 1 se muestra un PEV típico, donde se puede observar dentro de su morfología, las latencias y los picos más prominentes.

### POTENCIAL EVOCADO AUDITIVO (PEA)

El PEA se provoca con la aplicación de un estímulo sonoro breve, conocido como "click", por medio de la aplicación de frecuencias puras, proceso que es conocido como estimulación tonal, o mediante la estimulación con fonemas. Se originan por la actividad eléctrica que los estímulos



**Figura 1.** PEV típico: morfología con latencias y picos.

provocan a lo largo de toda la trayectoria sensorial que incluye el oído, el nervio auditivo y las regiones de la corteza cerebral relacionadas con la audición.

Las características principales del PEA dependen de múltiples factores asociados al estímulo, a la adquisición misma del PEA y al sujeto. Entre los primeros se cuentan la intensidad, duración y tipo del estímulo aplicado y la frecuencia de la estimulación, aunque también tienen influencia otras circunstancias como el tipo y ubicación del transductor, la polaridad acústica y si el estímulo es estéreo o monofónico. Los factores asociados a la adquisición son principalmente de carácter técnico, como el tipo de electrodos, la ubicación específica de éstos y su proximidad a la fuente generadora, la amplificación de las señales eléctricas y los procesos a los que son sometidas, entre los que se encuentran el filtrado, la promediación y procesamiento digital.

Los factores vinculados al sujeto y que tienen influencia en la forma final del PE son más interesantes clínicamente puesto que los hay de naturaleza patológica y no patológica. Estos últimos son típicamente las características individuales del sujeto como la edad, el género, el estado de alerta, la temperatura del cuerpo, la actividad muscular y la presencia o ausencia de fármacos o drogas en su organismo. En cambio, los factores de origen patológico permiten observar en el sujeto problemas tales como la pérdida de audición en el oído medio o en la cóclea, así como disfunciones del octavo nervio, del tallo cerebral o de la corteza auditiva.

El PEA (Hall, 1992) está constituido por ondas características que están bien definidas en sus diferentes etapas, algunas de las cuales se muestran en la Figura 2. El primer grupo se presenta durante los primeros 10 ms después del estímulo y se conoce como PE de latencia corta o potencial auditivo de tallo cerebral (BAEP – Brainstem Auditory Evoked Potential) en el que se aprecian claramente seis puntos máximos (I, II, III, IV, V y VI). Posteriormente se observa la respuesta auditiva de latencia media (MAEP – Middle Auditory Evoked Potential), donde destacan los máximos No, Na, Nb, Po y Pa. Por último se tiene la respuesta tardía o de latencia larga (LAEP – Late Auditory Evoked Potential), donde aparecen los máximos P1, P2, P3, N1, Nd y N2.

Todas estas ondas están asociadas a diferentes estadios de procesamiento dentro de la trayectoria auditiva y no son las únicas, ya que también es

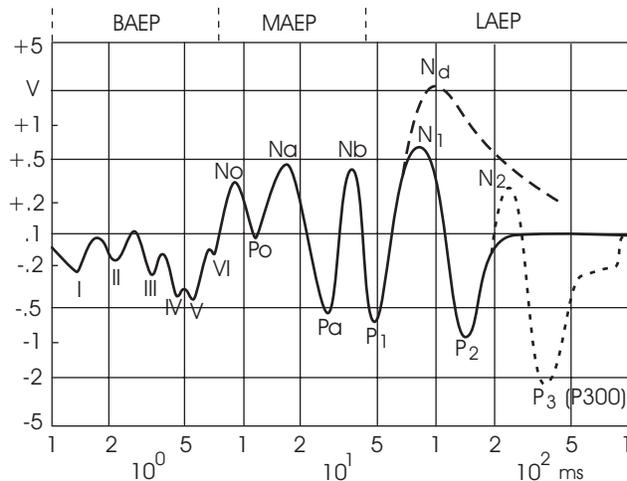
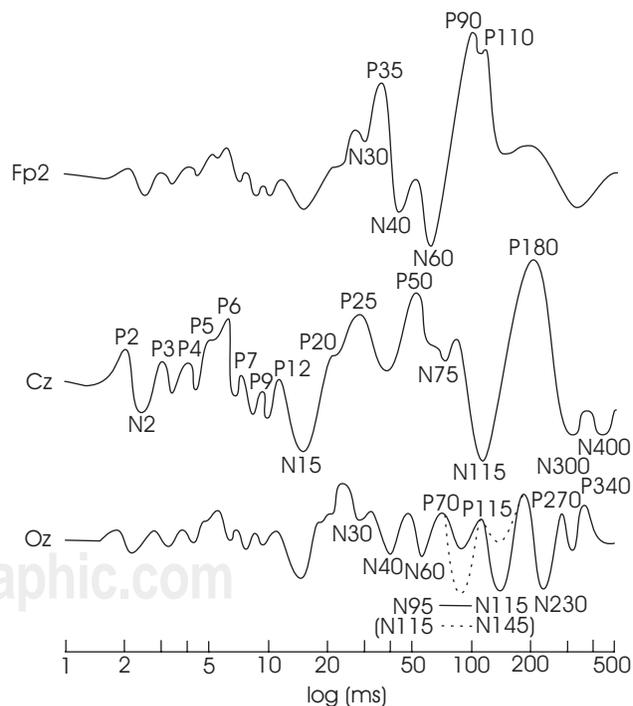


Figura 2. Ondas características del PEA.

posible registrar la electrococleografía (ECoChG) vinculada con la actividad del oído interno y del nervio auditivo (en la Figura 3 se muestra un ejemplo), así como las respuestas auditivas de latencia muy larga asociadas estrechamente con la actividad cognoscitiva (caracterizada por los máximos P100 y siguientes) entre otras, como se aprecia en la Figura 4.

Los PEA tienen una gran aplicación en la clínica para la localización de tumores y de lesiones dier-



Figuras 3 y 4. Registro de electrococleografía.

mielinizantes. También se aplican con éxito de estudios de audiometría, especialmente en infantes o sujetos que no cooperan y para la evaluación y aplicación adecuada de prótesis auditivas. Además son importantes para comprobar los estados de coma o muerte cerebral.

### POTENCIAL EVOCADO SOMATOSENSORIAL (PES)

Los PES aparecen después de una estimulación de los nervios sensoriales periféricos. La conducción del estímulo somatosensorial se realiza por medio de los cuerpos celulares de las fibras largas del sistema sensorial que se localiza en la médula espinal, luego continúan por el tálamo hasta llegar a la corteza frontoparietal sensorimotriz. El registro del PES se obtiene con estimulación mecánica, térmica, táctil y eléctrica, siendo esta última la que más se emplea en la práctica porque se controla más fácilmente. La estimulación eléctrica es de aproximadamente 2 Hz con amplitudes que dependen de la sensibilidad de cada sujeto (Maurer et al., 1989).

La morfología de un PES revela problemas funcionales asociados a los defectos de conducción en la vía de estudio, ya que permiten detectar diversos estados patológicos de los nervios periféricos y anomalías subcorticales en las vías lemniscales. También aportan información complementaria en enfermedades desmielinizantes, como la esclerosis múltiple. Algunos ejemplos de las respuestas sensoriales registradas en varios puntos con referencia frontomediana (Fz), se muestran en la Figura 5.

### POTENCIALES EVOCADOS VESTIBULARES (PEVEST)

Este tipo de PE es motivo de investigación por lo que no están en uso clínico todavía. En todos los casos de los PE ya analizados (PEV, PEA y PES), la técnica ha consistido en estimular la vía sensorial correspondiente desde el órgano receptor (los ojos, los oídos, o la piel) y registrar el EEG hasta la zona receptora en el cerebro. La forma que el estímulo adopta para estos efectos corresponde aproximadamente a un impulso o delta de Dirac, el que se aplica a la vía que se desea estudiar. En el caso especial de los PEvest, para provocar una estimulación del sistema vestibular que dispare el PEvest se requiere aplicar a la cabeza un fuerte estímulo de aceleración, pero de muy corta duración para que pueda considerarse un impulso. Este procedimiento, simple en apariencia, es el punto donde

se inician todas las dificultades para la obtención de los PEvest. Acelerar en forma eficiente una masa de la consistencia, tamaño, vulnerabilidad y peso de la cabeza humana, implica varios problemas prácticos y de seguridad, entre los que se encuentran la generación del estímulo, la sujeción de la cabeza, la transmisión eficiente de la aceleración, la estimulación con un desplazamiento mínimo y la satisfacción de las más estrictas normas de seguridad para el sujeto.

Por otra parte hay que destacar que en este caso, debido a la forma de estimulación, en el total de la señal de EEG capturada también pueden encontrarse otras señales componentes, algunas de las cuales podrían considerarse también como PE producidos por estímulos externos. Algunos de estos otros PE son el sonido de la aceleración, el cambio del campo visual debido al giro, el estímulo sensorial que produce el mecanismo de ace-

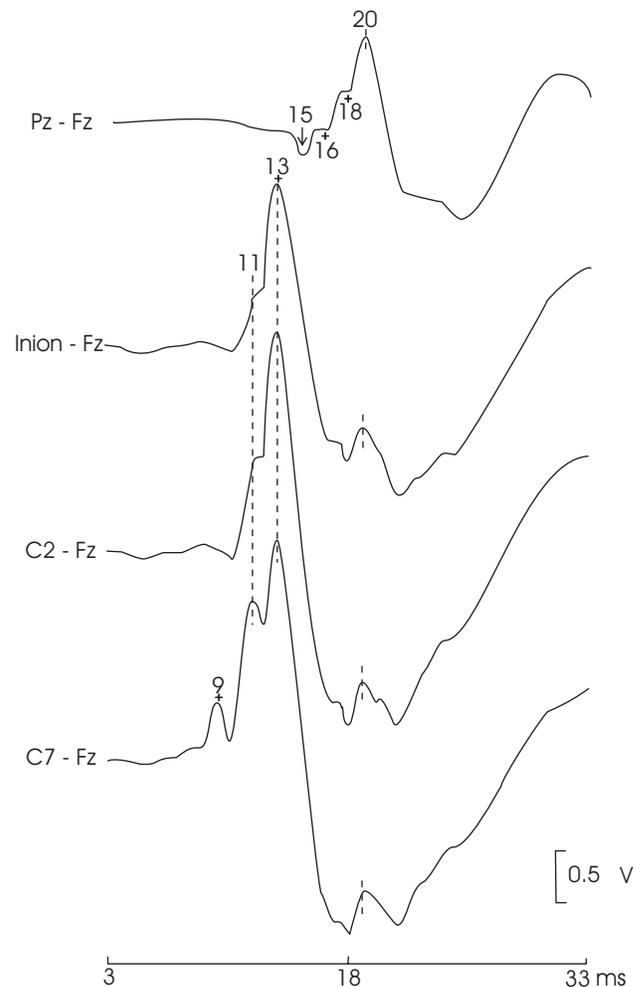


Figura 5. Respuestas sensoriales registradas en varios puntos con referencia frontomediana.

leración, etc. Asimismo, algunos estímulos internos, como los procesos mentales, pueden producir efectos similares, pero estas últimas señales no pueden identificarse o relacionarse claramente con el estímulo que los dispara puesto que no existe una señal de referencia para sincronizarlos, ni hay un impulso reconocible que los genere.

Se han realizado estudios sobre todo con animales con estimulación mecánica directa o estimulación eléctrica, ya que ésta también provoca un estímulo al órgano vestibular. Los especímenes animales que se han utilizado son simios, ratas y gatos para los cuales se han diseñado aparatos especiales de sujeción con el propósito de restringir tanto el movimiento del cuerpo como de la cabeza. Por lo que respecta a la estimulación eléctrica se ha utilizado pulsos de corriente bifásica. En el humano los PEVest se han obtenido utilizando sillas giratorias motorizadas para hacer girar a los sujetos y de esta manera estimular a los órganos vestibulares. También se han usado trineos de propulsión o instrumentos que giran directamente la cabeza. Adicionalmente, el PEVest se ha obtenido con estimulación natural en forma espontánea, en la cual el sujeto mueve o gira la cabeza voluntariamente.

La estimulación adecuada implica el uso de sistemas estimuladores de diseño especial. En estos casos el estímulo de aceleración se aplica directamente sobre la cabeza a través de un sujetador de la mandíbula superior (Muñoz y Jiménez, 1994).

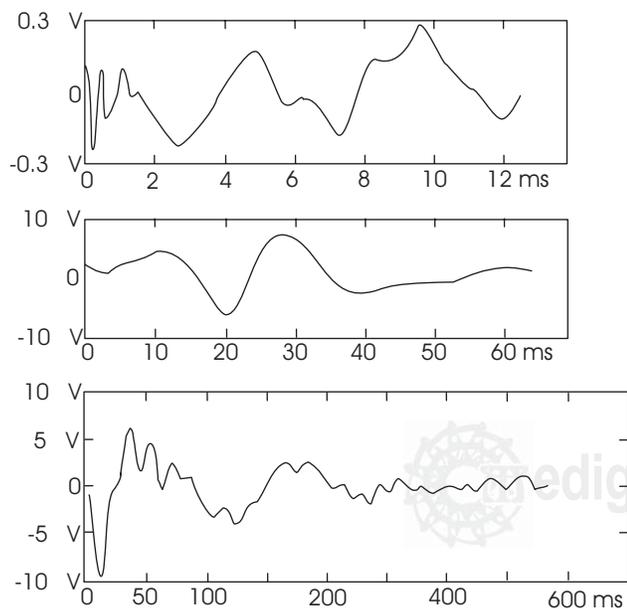


Figura 6. Resultados que aparecen en la literatura.

Con este método de estimulación se obtienen PE-Vest bajo condiciones experimentales, pero no se ha desarrollado una metodología, ni se ha garantizado la obtención en condiciones clínicas. Se ha reportado que la respuesta evocada cambia su morfología y amplitud con la dirección de rotación y con el ángulo de inclinación de la cabeza. Algunos ejemplos de los resultados que aparecen en la literatura se muestran en la Figura 6.

La investigación fisiológica sobre los generadores de los PEVest, así como la correlación fisiológica y clínica de las señales obtenidas, las posibles aplicaciones en la detección y localización de traumas o disfunciones de la trayectoria o la función vestibular, el procesamiento de las señales, etc., es una tarea que apenas comienza. En este sentido, aún quedan muchos problemas por resolver y otros que todavía no se han planteado (Muñoz y Jiménez, 1995).

### POTENCIAL EVOCADO OLFATORIO (PEO)

El registro del PEO provee información de la percepción olfatoria y depende de las características de estimulación física y química que se proporcione. La estimulación entrega olores a los sujetos a través de un flujo de aire constante para estimular los quimiorreceptores olfatorios trigéminos tratando de no estimular al mismo tiempo los sistemas periféricos que pueden ser mecano o termorreceptores. Los PEO están constituidos por una onda N1 y otra P2 que se originan a causa de la concentración del olor (Pause et al, 1996). N1 depende principalmente de la intensidad del estímulo y del estado de alerta del sujeto, mientras que el componente P2 surge por la relevancia psicológica de un evento raro que no depende de la estimulación física o química. Los intervalos interestímulo son del orden de 40 ms o más. Los olores se procesan principalmente en la corteza (sistema límbico) que también es importante para la generación de emociones.

### CONCLUSIÓN

Los PE presentados son una herramienta complementaria muy útil e importante en la investigación y en la clínica como herramienta diagnóstica para estudiar y evaluar más objetivamente el comportamiento de los sistemas sensoriales y del sistema nervioso central. Por ello, sus aplicaciones incluyen tanto la auscultación de una vía sensorial en particular, como el entendimiento de las funcio-

nes cerebrales superiores, porque son señales eléctricas que constituyen una evidencia objetiva, clara y directa de la actividad eléctrica de los procesos fisiológicos.

Actualmente, la investigación se enfoca 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 la correlación entre las variaciones del PE y los procesos fisiológicos de la vía sensorial correspondiente. También se encuentra en investigación el análisis de potenciales evocados multimodales, es decir el estudio de la función cerebral cuando se le presentan al individuo dos o más estímulos de distinto tipo a la vez. Las aplicaciones de estos estudios se centran en el modelado de los potenciales multisensoriales, la descripción de los fenómenos de facilitación y no facilitación en experimentos multitarea y el análisis de las interacciones neuronales cortico-corticales.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Canseco GE. Correlatos electrofisiológicos del procesamiento semántico. Tesis de Maestría en Psicobiología. Facultad de Psicología. UNAM 1988.
2. Hall III JW. Handbook of auditory evoked responses (ed.), Allyn and Bacon. School of Medicine. Vanderbilt University, USA 1992.
3. Jiménez CJ. Sistema para la adquisición automática de potenciales evocados visuales. Tesis de Maestría en Ingeniería Biomédica. UAM-I 1989.
4. Maurer K, Lowitzsch K, Stohr M. Evoked Potentials. B.C. Decker Inc. Publisher 1989.
5. Muñoz C, Jiménez CJ. Human vestibular evoked responses. Medical Progress through Technology, 1994; 20: 31-35.
6. Muñoz C, Jiménez CJ. Respuesta evocada de origen vestibular producida por aceleración en humanos. Ciencia, 1995; 46(3): 431-441.
7. Muñoz C, Jiménez CJ. Potenciales evocados I: Introducción. Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica, (enviado para publicación) 2001.
8. Pause BM, Sojka B, Krauel K, Ferstl R. The nature of the late positive complex within the olfactory event-related potential. Psychophysiology 1996; 33(4): 376-384.