

## Respuestas evocadas visuales mediante estimulación con diodos emisores de luz montados en gafas

Visual evoked responses to light-emitting diodes in goggles

José Antonio Gaya Vázquez<sup>1,3\*</sup> <https://orcid.org/0000-0002-7292-3707>

Leidy Mabel Alvero González<sup>2</sup> <https://orcid.org/0000-0002-4736-9492>

Licer Cabrera Rodríguez<sup>3</sup> <https://orcid.org/0000-0002-4463-5046>

Laidy Maidel Alvero González<sup>4</sup> <https://orcid.org/0000-0002-5889-3425>

Odalys Puentes Corrales<sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0001-9410-4596>

<sup>1</sup>Centro de Neurociencias de Cuba, Dirección de Neurociencias Aplicadas, Departamento de Neurofisiología, La Habana, Cuba.

<sup>2</sup>Centro de Neurociencias de Cuba., Dirección de Desarrollo, Departamento de Electrónica. La Habana, Cuba.

<sup>3</sup>Hospital Pediátrico Universitario “William Soler”, Departamento de Audiología/Neurofisiología Clínica. La Habana, Cuba.

<sup>4</sup>Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría”. Departamento de Física. La Habana, Cuba.

\*Autor para la correspondencia. [gaya@cneuro.edu.cu](mailto:gaya@cneuro.edu.cu); [jgayav@gmail.com](mailto:jgayav@gmail.com)

### RESUMEN

**Introducción:** El potencial evocado visual es una técnica que permite la evaluación de la integridad funcional de la vía visual; su aplicación en niños pequeños resulta de gran dificultad.

**Objetivo:** Caracterizar desde el punto de vista fisiológico el potencial evocado visual en niños menores de 5 años.

**Métodos:** Estudio descriptivo transversal, donde se registran respuestas visuales obtenidas con diodos (montados en gafas) en 112 niños sanos (65 varones, 47 hembras) con rango de edad entre 3 meses y 5 años. Se calcularon los valores medios y desviación estándar de latencias y amplitudes de cada componente de la respuesta y se estimaron sus dinámicas

madurativas en función de la edad. Se utilizó un análisis de componentes principales para explicar la variabilidad morfológica (complejo N1-P1-N2) y, se calculó una ecuación discriminante (con indicadores de replicación y relación señal/ruido), para evaluar la contribución en su mejor detección.

**Resultados:** La morfología típica encontrada resultó consistente, replicable y mostró un nivel de detección visual > 90 % (para cada componente), con 85 % de acierto global (clasificaciones correctas) mediante la ecuación discriminante. El complejo N1-P1-N2, consigue explicar > 70 % de la varianza de esta respuesta. Se demostró un acortamiento significativo de latencia con la edad (regresión,  $p \leq 0,05$ ) para los componentes N1, P1 (marginal, N2). Los valores de amplitud resultaron de mayor dispersión y su tendencia al incremento no alcanzó significación.

**Conclusiones:** El registro del potencial evocado visual mediante diodos/gafas demuestra la obtención de respuestas fisiológicas consistentes y replicables (alta detectabilidad) con una variabilidad morfológica controlable.

**Palabras clave:** respuestas evocadas visuales, diodos emisores de luz, niños, preescolar, maduración.

## ABSTRACT

**Introduction:** The Visual Evoked Potentials is a neurophysiological technique to provide an objective assessment of the functional integrity of the visual pathway. However, the young children population is a particularly difficult (uncooperative) group to obtain visual responses.

**Objective:** The purpose of this study was to describe electrophysiological characteristics of the visual response in children.

**Methods:** Descriptive, cross-sectional study. Transient visual evoked potentials with goggles were recorded from 112 healthy children (65 males, 47 females) aged between 3 months to 5 years old. The mean (and standard deviations) for latencies and amplitudes of each component was calculated and both statistical significance in function of age was analyzed (linear regression model). Principal component analysis is use to explain the visual waveform variability. A discriminant equation (with indicators of reliability and noise/signal ratio) is calculate to evaluate contribution in detectability.

**Results:** The typical waveform of (N1, P1, N2, components) is consistent and reliable and showed a visual detection level >90% (for each component) and 85% of global success (good classifications) with the discriminant equation. N1-P1-N2 complex is able to explain >70% of the visual response variance. A significant reduction of N1, P1 (N2, marginal) latencies with increasing age is demonstrated (linear regression,  $p \leq 0.05$ ). There was no significant difference for age-dependent increased pattern of amplitude data (high variability).

**Conclusions:** The visual evoked potentials/goggles obtained in infants and young children are consistent and reliable physiological responses (high detectability) with recognizable morphological variability.

**Keywords:** Visual evoked responses, light-emitting diodes, goggles, children, preschool, maturation.

Recibido: 05/11/2018

Aceptado: 27/08/2019

## INTRODUCCIÓN

El potencial evocado visual (PEV) es una técnica neurofisiológica efectiva utilizada en el estudio funcional del sistema visual humano. El PEV constituye el registro de los cambios bioeléctricos generados en la corteza occipital como resultado de la aplicación de un estímulo luminoso (sus propiedades electrofisiológicas dependen del tipo de estímulo que se utiliza para generarlo).<sup>(1)</sup>

Los primeros registros de PEV se realizaron (mediados del siglo pasado) mediante el uso de luz blanca difusa (flash), generada desde una lámpara estroboscópica (PEV-F).<sup>(2)</sup> A partir de los hallazgos de *Hubel y Wiesel*, sobre la estructura y organización funcional de la corteza visual (sus neuronas responden mejor a estímulos luminosos que proyectan contraste),<sup>(3)</sup> comienzan a utilizarse formas estructuradas de fotoestimulación (PEV-P) como una manera más adecuada de explorar la vía visual. Aunque su aplicación requiere colaboración del sujeto para realizarse, la respuesta obtenida resulta muy estable y replicable, con mínima variabilidad intra/interindividual y significativa sensibilidad diagnóstica.<sup>(4)</sup> De esta manera, las aplicaciones del PEV-F han quedado restringidas a

pacientes que no cooperan con PEV-P o, cuando solo se desea conocer si la conducción neural en la vía visual está intacta.<sup>(4,5)</sup>

Durante los años 70, se describe una nueva estrategia de estimulación (simplificada) con diodos emisores de luz (*LEDs*, siglas en inglés, PEV-D), para asistir la monitorización del estado funcional de la vía visual en intervenciones neuroquirúrgicas y pacientes críticos, donde existen limitaciones para usar determinados instrumentos electrónicos (estimulación/registro) o no resulta posible conseguir condiciones adecuadas de atención o fijación visual.<sup>(6)</sup> El más popular de estos dispositivos (disponibles por varios fabricantes), por su sencillez y fácil manipulación, consiste en un estimulador visual (como matriz o pantalla de diodos, preferible de color rojo) montado sobre gafas (*goggles*, en inglés).<sup>(7)</sup> Su uso, puede ofrecer facilidades tecnológicas en la exploración visual:

- a) produce un área de estimulación visual, directa y uniforme, con mínima dispersión de la energía luminosa,
- b) la respuesta no se afecta por cambios de dirección en la mirada,
- c) la intensidad del estímulo visual no provoca efecto fotoquímico sobre electrodos de registro,
- d) no necesita corrección (ajuste) visual por refracción,
- e) excluye estimulación auditiva (artefacto) concomitante,
- f) resulta una prueba sencilla, de fácil manipulación y, como promedio, requiere menor tiempo de duración.

Aprovechando estas ventajas y, teniendo en cuenta la mayor dificultad que ofrece la evaluación en niños pequeños (incapacidad de demostrar signos/síntomas de daño visual, limitada cooperación con atención/fijación visual para mejor exploración), el PEV-D/*goggles* se reconoce como una forma sencilla, poco costosa, no invasiva y particularmente apropiada.<sup>(8)</sup>

En Cuba, tenemos antecedentes del uso de PEV-D/*goggles* en recién nacidos<sup>(9)</sup> y niños pequeños.<sup>(10,11)</sup> En general, estos autores reconocen la obtención de respuestas evocadas estables y replicables con este tipo de estimulación. Sin embargo, su uso se mantiene limitado y poco extendido; se argumenta que los resultados sobre datos normativos son inconsistentes<sup>(12)</sup>. Es importante que cada unidad/laboratorio debe obtener sus propios datos normativos para este tipo de respuesta evocada visual y ajustarla a cada condición particular (protocolos de estimulación y registro, equipamiento, entre otros).

Este trabajo se propone realizar una caracterización fisiológica del PEV-D/*goggles* en una muestra de niños pequeños (edad preescolar) mediante la evaluación de un grupo de marcadores electrofisiológicos (morfología, latencia, amplitud, simetría, replicación, detección) en los principales componentes descritos para este tipo de respuesta evocada visual.

## MÉTODOS

Se realizó una investigación de tipo descriptivo transversal, sobre un universo de niños remitidos (previa coordinación) desde dos círculos infantiles ("Osvaldo Sánchez", "Pequeños Cosmonautas"). Se incluyeron en el estudio aquellos que cumplieron los siguientes criterios de selección: a) ausencia de antecedentes familiares de daño ocular, b) ausencia de antecedentes patológicos (pre/peri/posnatales), c) examen físico neuropediátrico negativo, d) evaluación oftalmológica normal (incluye examen físico especializado, agudeza visual y fondo de ojo). La muestra quedó conformada por 112 niños sanos (65 varones y 47 hembras), con un rango de edad comprendido entre 3 meses y 5 años. Todos los niños se evaluaron en el Departamento de Neurofisiología Clínica del Hospital Pediátrico Universitario "William Soler".

La investigación se realizó según los preceptos establecidos para investigaciones biomédicas en humanos contenidos en la Declaración de Helsinki, y su protocolo fue revisado y aprobado por el Consejo Científico del Centro de Neurociencias de Cuba y, admitido por los Comités Éticos del resto de las instituciones participantes. Los padres de todos los niños participantes dieron su consentimiento informado.

En dependencia de su edad, los niños se subdividieron en 5 grupos: grupo I (entre 3 meses y 1 año), grupo II (entre 1 y 2 años), grupo III (entre 2 y 3 años), grupo IV (entre 4 y 5 años). Todos los niños se examinaron durante el estado de sueño inducido mediante sedación con hidrato de cloral (jarabe/vía oral) según dosificación recomendada (20-100mg/kg),<sup>(13)</sup> con medios y asistencia especializada (médico y técnico en anestesiología).

Los registros se realizaron mediante un dispositivo periférico para estimulación visual (Nihon Kohden, Japón) adaptado al equipo Neuronica 02 (Neuronic SA, Cuba), conformado por un sistema (matriz) de diodos montados sobre gafas (*goggles*). Estas se

colocaron gentilmente, sobre los globos oculares y se ajustaron a través de una cinta de goma, elástica y adaptable.

En cada examen individual, se obtuvieron registros con estimulación monocular derecha, izquierda y binocular (bilateral). En los casos en que fue posible se registró, también, una secuencia sin estimulación, como control. Se utilizaron electrodos de superficie (Ag/AgCl) colocados sobre línea media (sistema 10/20), en las derivaciones Cz/Fz (+) y Oz (-), con una mastoide conectada a tierra. La impedancia de la interfase electrodo-piel se mantuvo por debajo de 5 k $\Omega$ . El electrodo situado en Oz se colocó a la entrada inversora del amplificador, de manera que, la positividad con respecto al sitio activo, queda graficada hacia abajo.

Los parámetros de registro (respuestas transientes) se fijaron según recomendaciones internacionales:<sup>(5)</sup> a) ganancia: 100 000, b) filtros/ancho de banda: 5-100 Hz, c) duración del estímulo: 3 ms, d) ritmo de estimulación: 2 Hz, e) tiempo de análisis: 400 ms, f) número de promediaciones: 200.

Los valores de latencia absoluta y amplitud (pico-a-pico) de los componentes encontrados se midieron fuera de línea mediante un sistema de cursores digitales. Las respuestas se identificaron y evaluaron mediante inspección visual por un médico experto (especialista de II Grado en neurofisiología clínica).

Todo el análisis estadístico se realizó mediante el paquete *Statistics*, versión 8.1. Para evaluar los valores normales (por grupos de edades) de latencia, amplitud y simetría de los diferentes componentes de la respuesta evocada visual, se utilizó estadística descriptiva. Adicionalmente, se consideraron varios procedimientos para evaluar: componentes y características morfológicas, (análisis de componentes principales); replicación, detectabilidad (ecuación discriminante), maduración (ecuaciones de regresión), que se describen brevemente, a continuación:

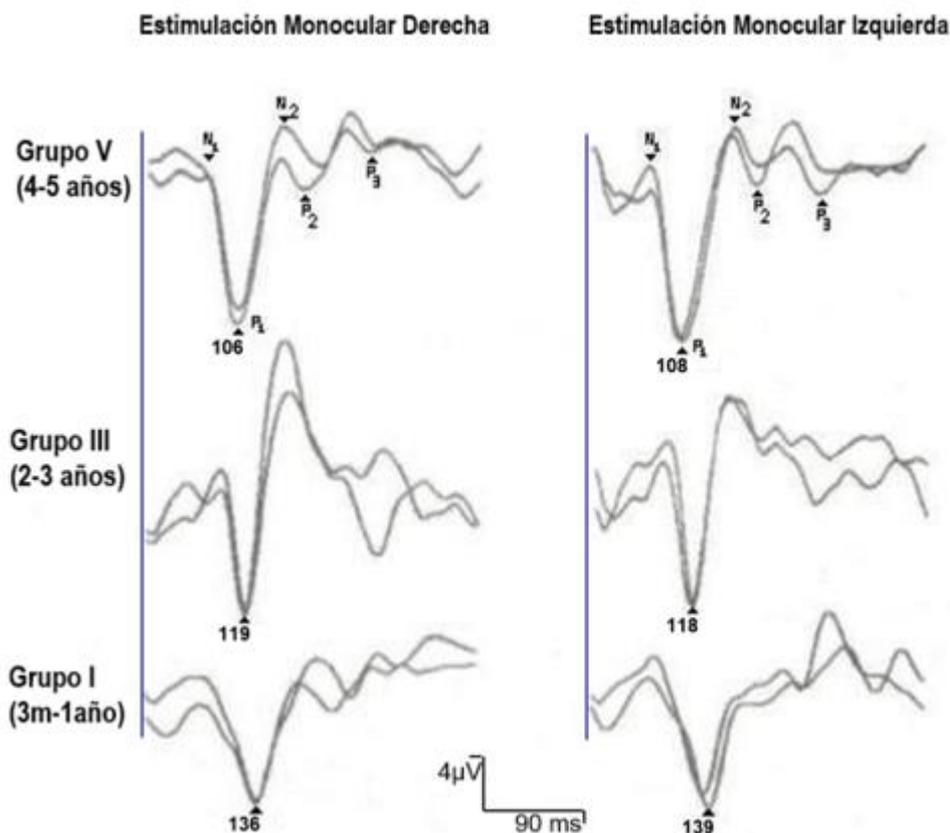
- Se calcularon los valores de los indicadores cuantitativos de la relación señal/ruido y replicación de la respuesta, correspondientes a cada registro: cociente de desviación estándar (SDR), nivel de ruido residual (NRR) y coeficiente de correlación entre 2 repeticiones (CCR), mediante un programa de análisis específico (que incluye el equipo de registro). Para evaluar su posible contribución en la detección de la respuesta evocada, se calculó una ecuación discriminante tomando como variables sus valores en los registros con respuesta identificada y, registros sin estimulación (control). Esta ecuación se validó en una muestra

independiente (15 registros con respuesta normal, 30 registros sin respuesta) determinando el índice global de acierto (bien clasificados), así como los errores de ambos tipos (falsos positivos: casos con respuesta visual normal que la ecuación clasifica sin respuesta y, falsos negativos: casos sin respuesta visual clasificados como normales).

- La caracterización morfológica del PEV-D/*goggles*, se determinó mediante análisis de componentes principales utilizando como variables los vectores correspondientes a 224 registros de la muestra (seleccionando respuestas monoculares independientes, derecha e izquierda /n= 112 x 2).
- Finalmente, se calcularon ecuaciones de regresión de lineal (en función de la edad) con los valores de latencias y amplitudes (para cada componente). A estos últimos, por necesidades operativas, se les aplicó una transformación logarítmica para normalizar su distribución.

## RESULTADOS

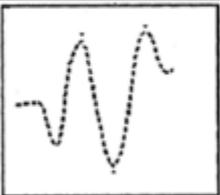
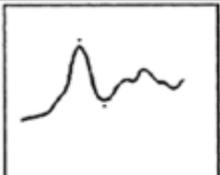
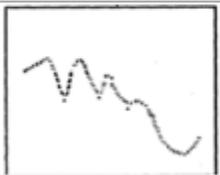
La morfología de respuestas evocadas visuales obtenidas mediante estimulación con diodos emisores de luz (montados en gafas), se distingue por la presencia de una serie secuencial de componentes negativos y positivos que fueron designados como N1, P1, N2, P2 y P3 (Fig. 1). El complejo N1-P1-N2, resultó el más estable y dominante en esta respuesta, con un porcentaje de identificación (inspección visual, criterios de evaluador experto), en la muestra total de niños evaluados, de: N1= 92 %, P1= 98 % y N2= 90 %. Los componentes P2 y P3 son menos estables y aparecieron en 76 y 62 % de los casos, respectivamente. Mediante la aplicación de una ecuación discriminante basada en indicadores cuantitativos de replicación (CCR) y relación señal/ruido (SDR, NRR), se demostró un alto nivel de acierto (clasificaciones correctas) en la detección de las respuestas evocadas (global: 85 %, falsos positivos: 12,5 %, falsos negativos: 2.5 %).



**Fig. 1** - Las respuestas evocadas visuales grupales (obtenidas mediante promediación de los registros individuales, monoculares, para cada grupo representado) ilustran los cambios madurativos encontrados en una representación de los niños estudiados, grupo 1 (n= 16), grupo III (n= 18), grupo V (n= 28). Notar como la latencia absoluta de P1 decrece en relación inversa con la edad.

El análisis de CP nos permitió reconocer cuantitativamente los elementos de la respuesta evocada que pueden describir mejor su estructura morfológica (tabla 1). Los tres primeros CP, explicaron hasta el 73 % de la varianza (proporciones sucesivas) de la respuesta evocada visual (PEV-D/goggles). El primer CP (mayor significación), representó el 36 %, con un peso relativamente, equivalente para los dos siguientes (21 y 16 %, respectivamente). La adición de un cuarto CP (no se muestra en la tabla 1), permite explicar hasta 81 % de la respuesta, pero aporta, solo, 8 % de la variabilidad total. En la representación gráfica, derivada de este análisis (primera columna), se puede notar la similitud con los registros reales (Fig 1). El primer CP describe el complejo N1-P1-N2, el segundo CP, básicamente, el complejo N1-P1 y, en el tercer CP, se expresan también, las otras 2 positividades (P2, P3) que caracterizan morfológicamente este tipo de respuesta evocada visual.

**Tabla 1** - Análisis de componentes principales sobre la morfología del PEV-D/goggles

Representación gráfica	Componentes	Porcentaje de variabilidad	Porcentaje de detectabilidad
	Primer CP Complejo N1-P1-N2	36	N1- 92 P1- 98 N2-90 P2- 76 P3- 62
	Segundo CP Complejo N1-P1	21	
	Tercer CP Complejo P1-N2 - P2 - P3	16	

En las tablas 2 y 3, se muestran los valores medios ( $\bar{X}$ ) y desviación estándar (DE) de las latencias absolutas (Lat) y amplitudes (Amp) calculados para cada uno de los componentes registrados (respuestas monoculares promediadas). Con el incremento de la edad, se puede apreciar un acortamiento de las latencias, especialmente, hasta los 3 años (para los componentes P2 y P3, los valores de dispersión son mayores). A partir de esta edad, los valores tienden a estabilizarse. Los cambios más notables se reflejaron entre los grupos I y II. Por el contrario, las amplitudes (medidas para los componentes P1, P2, P3), se comportaron con una mayor variabilidad. Puede reconocerse una discreta tendencia al crecimiento de amplitud con la edad, no concluyente, pues la dispersión de este parámetro resulta elevada y su crecimiento no es monotónico.

**Tabla 2** - Valores de latencias absolutas (ms) de los principales componentes del PEVD/goggles

Grupos	Lat. N1		Lat. P1		Lat. N2		Lat. P2		Lat. P3	
	$\bar{X}$	DE								
I (n= 16)	106,4	±12	142,5	±12	196,1	±22	240,2	±18	336,5	±34
II (n= 24)	89,2	±6	118,8	±6	169,4	±11	214,9	±17	308,6	±24
III (n= 18)	81,7	±12	116,3	±6	162,8	±14	208,1	±23	307,4	±25
IV (n= 26)	74,0	±7	113,7	±6	172,7	±30	229,2	±26	310,0	±36
V (n= 28)	72,1	±8	112,3	±7	148,3	±14	209,7	±24	308,9	±34

**Tabla 3** - Valores de amplitudes (microV) de los principales componentes del PEV-D/goggles

Grupos	Edad (años)	Amp. P1 (medido N1-P1)		Amp. P2 (medido N2-P2)		Amp. P3 (medido N2-P3)	
		$\bar{X}$	DE	$\bar{X}$	DE	$\bar{X}$	DE
I (n= 16)	3 meses --1	10,22	±7	5,91	±4	4,18	±4
II (n= 24)	1 -2 años	12,86	±6	6,12	±4	6,77	±4
III (n= 18)	2 -3 años	14,51	±7	6,34	±3	7,74	±3
IV (n= 26)	3 -4 años	13,66	±5	9,32	±5	8,69	±4
V (n= 28)	4 -5 años	14,02	±4	8,86	±4	8,08	±5

Para la evaluación estadística de las variaciones encontradas en función de la edad, de estos marcadores (latencia, amplitud), se ajustaron ecuaciones de regresión lineal (tabla 4). Se demostró que las latencias absolutas de los componentes N1 y P1 (marginal, N2) varían significativamente con la edad ( $p \leq 0,05$ ). Para los restantes componentes, se comprobó una tendencia al decrecimiento de sus latencias con la edad (pendientes negativas) pero estas variaciones no resultaron significativas. En el caso de los valores de amplitud, la regresión en función de la edad no fue significativa para ninguno de los 3 componentes (P1, P2 y P3).

**Tabla 4** - Modelo de Regresión lineal. Variabilidad de la latencia absoluta de los componentes del PEV-D/goggles en función de la edad

Componentes	Parámetros	F	Probabilidad	Error
N1	m: -0,58, b: 89,10, r: 0,34	63,7	$p= 0,000^*$	8,20
P1	m: -0,57, b:128,70, r: 0,32	62,3	$p=-0,000^*$	9,17
N2	m: -0,38, b: 69,50, r: 0,21	41,2	$p= 0,06^*$	14,50
P2	m: -0,02, b:213,17, r: 0,09	0,10	$p= 0,74$	28,80
P3	m: -0,16, b:317,00, r: 0,01	0,96	$p= 0,33$	31,60

Latencia (componente)= m (edad) + b + error, donde m: pendiente; b: intercepto; r: coeficiente de regresión.

## DISCUSIÓN

En este trabajo se registran PEV-D/*goggles* (transientes) en una muestra de 112 niños sanos (sin antecedentes patológicos y examen neurooftalmológico normal), entre 3 meses y 5 años de edad, en condiciones de sueño inducido (sedación con hidrato de cloral).

Los estudios electrofisiológicos en estado de sueño inducido mediante sedación (segura), son aceptados y regulados por organismos internacionales.<sup>(13)</sup> Existen varios trabajos con PEV-D/*goggles* (niños y adultos), que plantean no encontrar diferencias significativas en los parámetros de la respuesta evocada cuando se comparan registros realizados bajo sedación y vigilia<sup>(11,14)</sup> y, registros realizados con ojos abiertos y cerrados (sedación profunda).<sup>(14)</sup>

La morfología típica de la respuesta visual se caracteriza por la presencia de 3 componentes (más evidente después de los 2 años), designados como N1, P1, N2. Esta estructura, resulta consistente y replicable y muestra el mayor nivel de detección, mediante inspección visual (superior a 90 % para cada componente) y, 85 % de índice de acierto global/clasificaciones correctas (tasa de falsos negativos < 3 %) como resultado de aplicar una ecuación discriminante (basada en indicador CCR: coeficiente de correlación entre 2 repeticiones). La presencia del complejo N1-P1-N2 permite explicar >70 % de la varianza de esta respuesta (análisis de componentes principales). Se demuestra un acortamiento significativo de latencia con la edad (ecuaciones de regresión,  $p \leq 0,05$ ) para los componentes N1 y P1 (marginal, N2). Los valores de amplitud resultan de mayor dispersión y su tendencia al incremento, con la edad, no alcanza significación.

En este trabajo, la estructura morfológica (y simetría) del PEV-D/*goggles*, así como valores de latencia prolongados para todos los componentes (cuando se compara con el PEV-P), resultan hallazgos similares a lo publicado en la literatura. Existen pocos trabajos (mayoría en adolescentes y adultos) que realizan comparaciones entre PEV-D/*goggles* y otras formas de estimulación visual (flash o patrón/damero). En general, estos autores registran estabilidad (número de componentes) y similitud morfológica entre ambos tipos de respuestas, con valores de simetría interocular equivalentes ( $P1 < 10\text{ms}$ ), valores de latencia prolongados de cada componente (con homogeneidad de sus varianzas) y relaciones de amplitud mayores, para el PEV-D, tanto en sujetos normales como en pacientes con diferentes tipos de daño ocular (mayor frecuencia de respuestas anormales).

Argumentan sus resultados con datos que sugieren que 65 % del PEV-P depende de la contribución del 5 % de la retina central y concluyen que la estimulación con diodos es preferible a la estimulación estroboscópica.<sup>(10,12)</sup> Sin embargo, los datos sobre replicación y variabilidad (intra e interindividual) del PEV-D/*goggles* resultan controversiales (mayoría, provenientes de trabajos en adultos, determinado por la facilidad para realizar manipulaciones experimentales en condiciones de vigilia). Los estudios más recientes, consideran la variabilidad de la respuesta razonablemente controlable (y valorada incorrectamente al comparar estudios con múltiple diversidad metodológica).<sup>(12,15)</sup> Un análisis adecuado de este tema requiere, sin dudas, establecer un patrón diferenciado entre los marcadores fisiológicos tradicionales de la respuesta evocada visual (morfología/latencia vs. amplitud). De igual manera, debe tenerse en cuenta el fenómeno madurativo típico de todas las respuestas sensoriales (y su modulación con la edad, consecuencia del incremento en la eficiencia de diversos procesos neurobiológicos: sinaptogénesis, mielogénesis, conectividad y otros). En tabla 5, se presentan los resultados de estudios con protocolos muy similares al nuestro (idéntico estimulador visual, población infantil del mismo rango de edad, registro bajo sedación), realizados en localidades y épocas diferentes, donde se puede comprobar tal correspondencia.

**Tabla 5 - Comparación de estudios recientes con protocolos similares**

PEV-D/ <i>goggles</i>	Recasén et al (2001) <sup>(11)</sup>	Yadav et al (2016) <sup>(12)</sup>	Gaya et al (este artículo)	Edad (años)
Sedación	Secobarbital	Prometazina	Hidrato cloral	
Muestra	n= 60	n= 36	n = 112	
Latencia N1 (ms)	-	98 (19)*	106 (12)	0,3 meses-1
	87 (9)	-	89 (6)	1-2
	84 (7)	94 (15)	82 (12)	2-3
	-	82 (15)	74 (7)	3-4
	80 (8)	-	72 (8)	4-5
Latencia P1 (ms)	-	148 (15)*	143 (12)	0,3 meses -1
	122 (10)	-	119 (6)	1-2
	118 (9)	124 (11)	116 (6)	2-3
	-	117 (12)	114 (6)	3-4
	108 (9)	-	112 (7)	4-5

0,6 meses - 1.

\*

Los resultados de este trabajo, parecen confirmar el criterio de que tanto la morfología como los valores de latencia de los componentes del PEV-D/*goggles* presentan una variabilidad (intersujetos) que puede ser caracterizada adecuadamente y, no resulta muy diferente a lo que se describe para el PEV-P (presencia de un complejo N/P/N, del cual se acostumbra a utilizar el componente P100 como principal marcador electrofisiológico). La evaluación cuantitativa de la estructura morfológica del PEV-D/*goggles* (mediante análisis de CP) demuestra que el complejo N1/P1 puede considerarse similar al componente P100 del PEV-P, pues presenta la menor dispersión, los mejores índices de detección y constituye el primer CP.

Resulta de gran interés los índices de clasificaciones correctas tan altos alcanzados con la ecuación discriminante. Enfoques similares han sido descritos para la detección de respuestas auditivas,<sup>(16)</sup> pero no conocemos de ningún estudio que lo extienda para otras modalidades de potenciales evocados. En este sentido, los resultados que se registran en este trabajo son alentadores y apoyan la utilización de este tipo de descriptores cuantitativos para ayudar en la detección de respuestas evocadas normales, lo que contribuye a mejorar la eficiencia del evaluador.

Finalmente, para el análisis adecuado del PEV, en el niño pequeño, hay que tener en cuenta los cambios madurativos que se producen en la vía visual (desde retina hasta lóbulos occipitales). Su curso temporal (velocidad) depende del tipo de estimulación utilizado y, parece estar favorecido en el medio extrauterino.<sup>(17)</sup> El decrecimiento en los valores de latencia con el incremento de la edad ha sido descrito para todos los tipos de PEV.<sup>(4,7)</sup> Se plantea que el PEV-F madura más rápidamente y los cambios fundamentales se observan en los primeros 6 meses de edad (crítico, primeros 3 meses),<sup>(18)</sup> mientras que para los componentes del PEV-P estas variaciones (en función de la edad) dependen, adicionalmente, del tipo de cuadrícula utilizada en su obtención. La maduración para las cuadrículas mayores ocurre en los primeros 2 años de edad y, para cuadrículas pequeñas (ausente, al nacimiento), puede alcanzar etapas más tardías, hasta 6-8 años de edad.<sup>(19)</sup>

En nuestro estudio se comprueba un efecto significativo de la edad sobre las latencias de N1 y P1 (marginal, N2). En estos componentes, el decrecimiento de latencia en función de la edad es menor (N1/P1, N2: entre -0,4 y -0,6 ms/mes) al descrito para el PEV-P, tanto para cuadrículas pequeñas (-2 ms/mes) como para cuadrículas grandes (-5 ms/mes).

De acuerdo con nuestros resultados, los valores de latencias varían significativamente en un rango de edad comprendido entre los primeros 12-18 meses, lo cual los diferencia del PEV-F. Los restantes componentes de la respuesta, aunque no varían significativamente con la edad (mayor variabilidad), se comprueba una tendencia a la disminución de sus latencias (valores negativos de las pendientes de regresión). Teniendo en cuenta la velocidad de maduración encontrada para la latencia del complejo N1/P1, el PEV-D/goggles parece ubicarse en una posición intermedia entre lo descrito para el flash y patrón.

En cuanto a las magnitudes de las amplitudes, resulta llamativo que en ninguno de los 3 componentes analizados se comprobó un efecto significativo de la edad. En la literatura relativa a los PEV (incluye PEV-D), la mayoría de los autores describen un aumento de la amplitud a medida que se incrementa la edad, lo cual es mayor en los primeros 12 meses.<sup>(8,10,12,19)</sup> Solo, a edades más tardías, después de los 4-5 años, no se encuentran cambios significativos con la edad.<sup>(12,18,19)</sup> El rango de variabilidad (y dispersión) de este parámetro en nuestra muestra es grande y pudiera explicar porque la regresión no fue significativa. La variabilidad de los valores de amplitud es incluso superior a la encontrada para las latencias absolutas de los componentes P2 y P3 y pueden estar potenciada por la presencia de un factor de escala, entre los diferentes PEV individuales (similar a lo que ha sido descrito para el electroencefalograma (EEG) y otras respuestas evocadas sensoriales).<sup>(20)</sup>

En general, podemos sintetizar que la morfología del PEV-D/goggles puede ser se caracteriza por un complejo trifásico N/P/N (N1/P1/N2) que constituye el primer CP (mayor fracción de varianza de la respuesta) y presenta los mejores índices de detección. La variabilidad de los valores de latencia de estos componentes debe tener en cuenta su modulación (disminución significativa) en función de la edad. Se demuestra poca consistencia de la relación de amplitud con la maduración. Los indicadores cuantitativos de replicación y relación señal/ruido (CCR, SDR, NRR) pueden contribuir a mejorar la eficiencia en la detección de respuestas evocadas visuales.

Debe considerarse como una limitación de este trabajo, la necesidad de realizar una cuantificación más exhaustiva de la muestra, en el grupo de niños menores de 1 año.

Finalmente concluimos que el registro del potencial evocado visual mediante diodos/gafas demuestra la obtención de respuestas fisiológicas consistentes y replicables (alta detectabilidad) con una variabilidad morfológica controlable.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Green AJ. Visual Evoked Potentials, Electroretinography, and other diagnostic approaches to the visual system. En: Aminoff MJ, editor. *Electrodiagnosis in Clinical Neurology*. 6th ed. Philadelphia: Elsevier Saunders (Health Science Division); 2012. p. 477-503.
2. Walter WG, Dovey VJ, Shipton H. Analysis of the electrical response of the human cortex to photic stimulation. *Nature*. 1946;158(4016):540-1.
3. Hubel DH, Wiesel TN. Receptive fields, binocular interaction and functional architecture in the cat's visual cortex. *J Physiol*. 1962;160(1):106-54.
4. Creel DJ. Visually evoked potentials. *Handb Clin Neurol*. 2019;160(4):501-22.
5. Odom JV, Bach M, Brigell M, Holder GE, McCulloch DL, Mizota A, et al. International Society for Clinical Electrophysiology of Vision (ISCEV Committee) standard for clinical visual evoked potentials: (2016 update). *Doc Ophthalmol*. 2016;133(1):1-9.
6. Hayashi H, Kawaguchi M. Intraoperative monitoring of flash visual evoked potential under general anesthesia. *Korean J Anesthesiol*. 2017;70(2):127-35.
7. Khotari R, Bokariya P, Singh S, Singh R. A comprehensive review on methodologies employed for visual evoked potentials. London: Hindawi Publishing Corporation; 2016. Acceso: 22/03/2018. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1155/2016/9852194/html/>.
8. Birch EE, Subramanian V. Visual evoked potentials in infants and children. En: Aminoff MJ, editor. *Electrodiagnosis in Clinical Neurology*. 6th ed. Philadelphia: Elsevier Saunders (Health Science Division); 2012. p. 505-18.
9. Montes J. Potenciales evocados visuales en recién nacidos a término. *Rev Cubana Pediatr*. 1999;71(1):5-12.
10. Gaya JA, González JL, Charroó L, Castro M. Caracterización electrofisiológica de los potenciales evocados visuales a diodos en el paciente pediátrico. *Rev CENIC (Ciencias Biológicas)*. 1997;28(3):106-8.
11. Recasén-Linares A, Pérez-Abalo MC, Guilarte-Téllez J. Normativa para la realización e interpretación de potenciales evocados visuales en edades pediátricas. *Rev Neurol*. 2001;33(12):1112-6.
12. Yadav R, Poudel BH, Limbu N, Thakur D, Yadav S. Normative data of visual evoked potential in children and correlation with age. *Asian J Med Sci*. 2016;7(2):39-43.

13. Coté CJ, Wilson S; Work Group on Sedation, American Academy of Pediatrics, American Academy of Pediatric Dentistry, Guidelines for monitoring and management of pediatric patients before, during and after sedation for diagnostic and therapeutic procedures: update 2016. *Pediatrics*. 2016;138(1):e20161212.
14. Rodríguez JH, Gómez A, Corredor R, López de Meza C. Potenciales evocados visuales de pacientes en la unidad de cuidados intensivos. *Acta Neurol Colomb*. 2002;18(1):26-31.
15. Sato A. Interpretation of the causes of instability of flash visual evoked potentials in intraoperative monitoring and proposal of a recording method for reliable functional monitoring of visual evoked potentials using a light-emitting device. *J Neurosurg*. 2016;125(4):888-97.
16. Picton TW, Bentin S, Berg P, Donchin E, Hillyard SA, Johnson R, et al. Guidelines for using human event-related potentials to study cognition: Recording standards and publication criteria (Committee Report). *Psychophysiology*. 2000;37(2):127-52.
17. Eswaran H, Lowery CL, Wilson JD, Murphy P, Preissl H. Functional development of visual system in human fetus using magnetoencephalography. *Exp Neurol*. 2004;190(suppl.1):S52-8.
18. Nicot F, Flores R, Bron A, Creuzet-Garcher C, Renault F. Flash visual evoked potentials: maturation from birth to 15 years of age. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2014;52(1):e399-410.
19. Sharma R, Joshi S, Singh KD, Kumar A. Visual Evoked Potentials: normative data and gender differences. *J Clin Diagn Res*. 2015;9(7):CC12-15.
20. Edwards JC, Kutluay E. Patterns of unclear significance. In: Shomer DL, Lopes da Silva FH, editors. *Electroencephalography: Basic Principles, Clinical Applications, and Related Fields*. 6th ed. Philadelphia: Lippincott William & Wilkins; 2011. p. 268-80.

### **Conflictos de intereses**

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses de ningún tipo.

### **Declaración de contribución autoral**

*José Antonio Gaya Vázquez*: diseño de la investigación, revisión bibliográfica, análisis/interpretación de resultados, redacción, revisión y aprobación final del manuscrito.

*Leidy Mabel Alvero González:* diseño de la investigación, análisis/interpretación de los datos, contribución en la redacción (Resultados, Discusión), revisión y aprobación final del manuscrito.

*Licer Cabrera Rodríguez:* adquisición de datos, contribución en redacción (Métodos y Resultados), revisión del manuscrito.

*Laidy Maidel Alvero González:* procesamiento estadístico, análisis/interpretación de resultados, contribución en redacción (Métodos, Resultados, Discusión), revisión final del manuscrito.

*Odalys Puentes Corrales:* adquisición de datos, elaboración de tablas/figuras, contribución en la redacción (Métodos, Resultados), revisión del manuscrito.