

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON**  
**FACULTAD DE MEDICINA**



**SINCRONIZACION DEL ELECTROENCEFALOGRAMA  
EN RESPUESTA A ESTIMULOS VISUALES  
COLOREADOS**

**POR**

**FRANCISCO JAVIER GUZMAN DE LA GARZA**

Como requisito parcial para obtener el Grado de  
**MAESTRÍA EN CIENCIAS** con Especialidad en  
**Fisiología Médica**

**1999**

FRANCISCO JAVIER GARZA  
LA CARZA



1080087765



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**

**FACULTAD DE MEDICINA**



**SINCRONIZACIÓN DEL ELECTROENCEFALOGRAMA**

**EN RESPUESTA A ESTÍMULOS VISUALES**

**COLOREADOS**

**Por**

**FRANCISCO JAVIER GUZMÁN DE LA GARZA**

**Como requisito parcial para obtener el Grado de  
MAESTRÍA EN CIENCIAS con Especialidad en  
Fisiología Médica**

**1999**



**SINCRONIZACION DEL ELECTROENCEFALOGRAMA EN RESPUESTA A  
ESTIMULOS VISUALES COLOREADOS**

**Aprobación de la Tesis:**



---

**Dr. Med. EZEQUIEL TREVIÑO CAVAZOS**  
Presidente

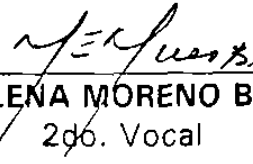


---

**Dr. Med. HUMBERTO CAVAZOS ADAME**  
Secretario


---

**Dr. Med. NANCY E. FERNANDEZ GARZA**  
1er. Vocal



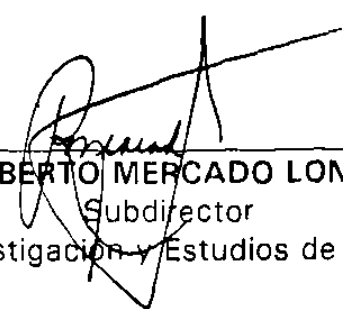
---

**M.C. MA. ELENA MORENO BALANDRAN**  
2do. Vocal



---

**DR. JOSE HUMBERTO TREVIÑO ORTIZ**  
3er. Vocal



---

**DR. ROBERTO MERCADO LONGORIA**  
Subdirector  
de Investigación y Estudios de Posgrado

## AGRADECIMIENTOS

Expreso mi más sincero agradecimiento a la Dr. med. Nancy E. Fernández Garza Aseror de mi tesis, así como al Comité de Tesis formado por el Dr. med. Humberto Cavazos Adame, el Dr. Med. Ezequiel Treviño Cavazos, del Departamento de Oftalmología del Hospital Universitario “Dr. Jose E. González” sin cuyo apoyo y orientación no hubiera sido posible la realización de la presente, y a la M.C. Dra. María Elena Moreno Balandrán y al Dr. José Humberto Treviño Ortiz, por sus valiosas sugerencias e interés en la revisión del trabajo.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo económico para la realización de mis estudios, al proporcionarme la beca # 93352.

Al personal del Departamento de Fisiología de la Facultad de Medicina de la U.A.N.L. por el trato gentil que me brindaron, haciéndome sentir parte del equipo.

Al Departamento de Fisiología de la Facultad de Medicina de la U.A.N.L. por permitirme utilizar su equipo.

A los alumnos de la cátedra de Fisiología, quienes con sus cuestionamientos y su cooperación como voluntarios me animaron a superarme e investigar.

A mi familia...sin ellos no estaría donde estoy.

A todas las personas que de una forma u otra han contribuido a la realización de este trabajo.



## **DEDICADO A:**

**Mis padres:**

**Lic. Francisco Javier Guzmán Sáenz y  
Sra. Laura Estela de la Garza Morales;  
porque me dieron el SER.**

**A mi esposa:**

**Martha Alejandra de la Cerda Salazar,  
y mis hijos:  
Francisco Javier Guzmán de la Cerda,  
Jesús Alejandro Guzmán de la Cerda, y  
Martha Alejandra Guzmán de la Cerda;  
porque me dieron el motivo para SER.**

**A mis suegros:**

**Lic. Jesús E. de la Cerda Garza y  
Sra. María Josefina Salazar Pérez;  
por que me dieron el medio para SER.**

## TABLA DE CONTENIDO

Capítulo	página
1.- INTRODUCCIÓN. . . . .	01
1.1 Retina y fotoquímica de la visión . . . . .	02
1.2 Teoría de la visión en color (Boynton) . . . . .	04
1.3 Las conexiones retinianas . . . . .	06
1.4 El electroencefalograma , los estímulos visuales y la adquisición de información . . . . .	08
1.5 La plasticidad y sinápsis en el Sistema Nervioso Central . . . . .	10
1.6 Los procesos de memoria . . . . .	12
1.7 En resumen . . . . .	13
1.8 Hipótesis . . . . .	14
1.9 Objetivo general. . . . .	14
1.10 Objetivos particulares . . . . .	14
2.- MATERIAL Y METODOS . . . . .	15
2.1 Diseño . . . . .	16
2.2 Estimulación. . . . .	17
2.3 Electroencefalograma.. . . . .	18
2.4 Electrooculograma y electromiografía. . . . .	19
2.5 Frecuencia Cardíaca, Frecuencia Respiratoria y Presión Arterial . . . . .	19
2.6 Potenciales Visuales Evocados. . . . .	20

<b>Capítulo</b>	<b>página</b>
2.7 Determinación de la frecuencia y color ideal . . . . .	21
2.8 Determinación de la respuesta electroencefalográfica a la estimulación con una frecuencia y color ideales . . . . .	.21
3.- RESULTADOS . . . . .	23
4.- DISCUSIÓN . . . . .	35
5.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES . . . . .	40
REFERENCIAS. . . . .	42
APÉNDICES . . . . .	47
APENDICE A.- CARTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO . . . . .	49
APENDICE B.- HISTORIA CLÍNICA Y EXPLORACIÓN FÍSICA . . . . .	48
APENDICE C.- EVALUACIÓN OFTALMOLÓGICA. . . . .	52
APENDICE D.- PRUEBA DE DOMINANCIA HEMISFÉRICA (BATERÍA HALSTEAD-REITAN) . . . . .	53
RESUMEN. . . . .	54

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla</b>	<b>página</b>
I . Valor de probabilidad $p$ para una prueba de varianza aplicada a los valores de T/A sistólica, frecuencia respiratoria y frecuencia cardíaca entre los grupos basal, rojo, verde, azul y blanco . . . . .	31
II . Valores significativos para la prueba $t$ de Student ( $p < 0.05$ ) aplicada a los datos de frecuencia cardiaca en los grupos basal, rojo, verde, azul, rojo . . . . .	31

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>página</b>
1.- Representación esquemática del modelo de Boynton para la visión en color . . . . .	06
2.- Espectro de luz emitido por la lámpara del fotoestimulador GRASS PS2, y transmitancia de los filtros azul, verde y rojo . . . . .	18
3.- Patrón lateral y patrón central. Valor de la integral de ocho registros de PVE tomados con blanco rojo, verde y azul en ambos ojos, cada uno por separado; Se registraron en tres sitios . . . . .	25
4.- Proporción de presentación de los diferentes patrones de actividad cortical en 26 sujetos estudiados con potenciales visuales evocados coloreados . . . . .	26
5.- Respuesta predominante en el electroencefalograma en la región frontal con estimulación blanca, azul, verde y rojo . . . . .	27
6.- Respuesta predominante en el electroencefalograma en la región temporal con estimulación blanca, azul, verde y roja . . . . .	27

7.- Respuesta predominante en el electroencefalograma en la región occipital con estimulación blanca, azul, verde y roja . . . . . 28

8.- Acumulación de las respuestas predominantes en el electroencefalograma (frontal, temporal y occipital) durante la estimulación con blanco, azul, verde y rojo . . . . . 29

9.- Relación de la frecuencia de estimulación con la respuesta en el electroencefalograma EEG. . . . . 30

10.- Potenciales visuales evocados antes y después de estimulación con blanco a 20 Hz . . . . . 32

11.- Evolución de la gráfica del potencial visual evocado en un sujeto sometido a estimulación y registrado con la misma frecuencia de estimulación. . . . . 33

12. - Evolución de la latencia de P100, para el ojo derecho (A) e izquierdo (B), una y dos semanas después de la estimulación con la misma frecuencia de registro, en tres sitios en el sujeto de la figura 11 . . . . . 34

## **NOMENCLATURA**

<b>ECG</b>	<b>Electrocardiografía</b>
<b>EEG</b>	<b>Electroencefalograma</b>
<b>EMG</b>	<b>Electromiografía</b>
<b>EOG</b>	<b>Electrooculografía</b>
<b>Hz</b>	<b>Hertz</b>
<b>iPVE</b>	<b>Integral del Potencial Visual Evocado</b>
<b>ms</b>	<b>Milisegundos</b>
<b>nm</b>	<b>Nanómetros</b>
<b>PVE</b>	<b>Potencial Visual Evocado</b>
<b>SNC</b>	<b>Sistema Nervioso Central</b>

## **INTRODUCCIÓN**



## **CAPÍTULO 1**

### **INTRODUCCIÓN**

El ser humano es un ente eminentemente visual. El ojo es la vía por la cual ingresa al organismo la mayor cantidad de información sobre su entorno: la textura, el color, la forma, la localización, el tamaño, etc. son cualidades definidas gracias a la vista.

#### **1.1 Retina y Fotoquímica de la Visión.**

El ojo actúa como una avanzada del cerebro de tipo autónomo. Recibe información, la analiza y la transmite al cerebro para su posterior procesamiento a través de una vía muy concreta, el nervio óptico. La disposición ordenada, por capas, de las neuronas de la retina y del mismo sistema nervioso central, sugiere por sí misma que el procesamiento de información se realiza a niveles organizados jerárquicamente, al pasar de un grupo de células relacionadas funcionalmente al siguiente.

La retina está organizada en capas y posee al menos cinco tipos celulares, en la capa más profunda se encuentran los fotorreceptores: los conos y los bastones que se relacionan respectivamente con la visión diurna y nocturna. Los fotorreceptores representan el transductor del sistema, que reaccionan a la luz gracias a la presencia del pigmento visual en sus membranas. Los cuatro tipos de pigmentos visuales humanos constan de una porción proteica u opsina, que difiere en todos ellos en el tipo de

aminoácidos que la forman, y de un cromóforo o captador de luz (retinal), igual para todos ellos.

La luz es una forma de energía propagada por ondas electromagnéticas, que viaja a gran velocidad (alrededor de 300 m por microsegundo) y es transportada en paquetes discretos denominados cuantos o fotones.

El pigmento de los bastones se llama rodopsina. Cuando un fotón es absorbido por la rodopsina, ésta comienza a descomponerse en cuestión de picosegundos, su conformación tridimensional cambia y esto condiciona modificaciones en los canales de sodio de la membrana, provocando la generación del potencial receptor. Para los pigmentos rojo, azul y verde de los conos, se aplica el mismo principio, la diferencia estriba en la longitud de onda incidente a la que es sensible el cromóforo. Para la rodopsina de los bastones la absorción presenta un máximo a 498 nm, para el pigmento sensible al rojo a 564 nm, para el sensible al verde a 534 nm, y para el sensible al azul a 420 nm.

Las respuesta de los bastones son proporcionales a la intensidad del estímulo a niveles de iluminación por debajo del umbral de excitación de los conos, mientras que las respuestas de los conos son proporcionales a la intensidad del estímulo a niveles elevados de iluminación, cuando las respuestas de los bastones son ya máximas y no pueden variar. Se le denomina visión escotópica a aquella en la que intervienen solo los bastones, es decir en bajos niveles de iluminación (visión nocturna), mientras que la visión fotópica es dominada por los conos y durante la visión mesópica, en la penumbra, ambos sistemas participan <sup>1</sup>.

## 1.2 Teoría de la Visión en Color (Boynton)

De todas las longitudes de onda de la radiación electromagnética, solo un espectro muy pequeño es visible (de los 380 a 720 nm). El color es una función de la energía relativa en diferentes partes del espectro, el ojo humano tiene la capacidad de visión a color gracias a la presencia de los fotopigmentos sensibles al rojo, azul, y verde; que están presentes en los conos de la retina y capturan estos fotones con relativa eficiencia.

Alrededor de 1666, Newton identificó que la luz blanca no era una radiación única y que podía ser dispersada con un prisma, se pensó entonces que el tricromatismo visual era una propiedad de la luz. A principios del siglo XIX Young intuyó la naturaleza retiniana de la trivarianza visual, suponiendo la presencia en la retina de tres tipos de receptores. Más adelante, surgieron modelos basados en la suposición de vías individuales para cada color primario (rojo, azul y verde), tratando de explicar la percepción subjetiva de los colores, y las sensaciones provocada por las mezclas de los mismos.

En 1972 Rushton describe el principio de univarianza: “la información contenida en la longitud de onda se pierde totalmente” La longitud de onda de los fotones incidentes capturados por el receptor, determina únicamente la cantidad de fotopigmento que inicia el proceso bioquímico, y por lo tanto la intensidad de la respuesta bioquímica iniciada por la luz. Lo único que resulta determinado por la longitud de onda de esos fotones, es la probabilidad de que éstos interactúen más o menos intensamente, dependiendo de las propiedades del fotopigmento activo dentro del receptor correspondiente.

La codificación de los estímulos coloreados tiene por lo tanto, incluidas las respuestas de todos los tipos de fotorreceptores, pareciese ser sin embargo, que existen canales que mantienen su individualidad hasta la corteza cerebral, habiendo sido descritas por Regan distintas respuestas electrofisiológicas durante la estimulación con destellos coloreados <sup>2, 23</sup>.

En 1986 Boynton propuso un modelo de la visión a color. Las señales procedentes de los tres tipos de conos son transformadas en seguida en dos canales de color oponente y un canal de luminancia. El canal de luminancia es alimentado con la suma de las señales procedentes de los conos sensibles a longitud de onda larga y media (L-rojo-, M-verde), así la luminancia es  $L + M$ . La diferencia entre las señales procedentes de los conos L y M da lugar al primer canal oponente de cromaticidad. La contribución de los conos L a la cromaticidad es la mitad de su contribución a la luminancia, de ahí que el canal oponente de cromaticidad quede especificado como  $L - 2M$ . Las contribuciones de L y M están equilibradas, si el efecto del cono L supera al del cono M, el resultado es sensación de rojo y al contrario como verde. En este modelo los conos sensibles a longitud de onda corta (C-azul) influyen en el balance del canal rojo verde. El canal oponente amarillo-azul recibe una señal amplificadora desde los conos C y una señal de la suma de la excitación de los conos L y M (figura 1).

El tono que se percibe depende de una comparación de la información suministrada por las dos clases de canales oponentes.

El color es de alguna manera una medición de la calidad de la luz. La iluminación se define como la cantidad de luz que recibe un objeto y la luminancia es la cantidad de luz reflejada por una superficie por unidad de área. Según Boynton, el canal de luminancia recibe una suma de las señales generadas en los conos L y M <sup>3</sup>.

La sensación de cromaticidad es por lo tanto el producto de la estimulación preferencial de un canal. Durante la visión mesópica, es decir en la penumbra, las

poseen color, y como no se ha alcanzado el umbral para los bastones, se pueden estimular todos los receptores con un destello, la respuesta depende de la sensibilidad particular de los fotorreceptores.

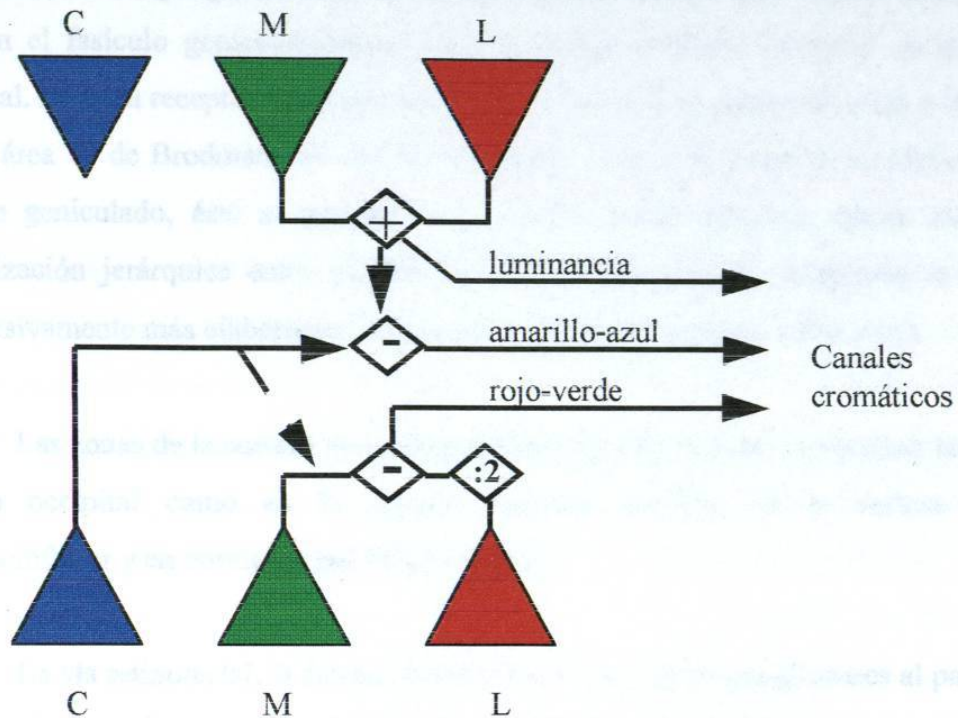


FIGURA 1.- Representación esquemática del modelo de Boynton, R.M. para la visión a color (1986)

### 1.3 Las Conexiones retinianas.

Las dos mayores vías del ojo al cerebro en mamíferos, son la vía retinotectal y la retinogeniculada. A pesar de la prominencia de estas dos vías, es importante recordar que hay otras proyecciones retinianas que no han sido tan bien estudiadas.

La vía retinogeniculada inicia en la retina, sale por el nervio óptico, las fibras provenientes de la mitad nasal de la retina se cruzan en el quiasma óptico, y hacen

sinápsis junto con las fibras temporales homolaterales en el cuerpo geniculado lateral que forma parte del tálamo óptico.

En el cuerpo geniculado, los axones de las células que reciben información, forman el fasículo geniculocalcarino, que se dirige al lóbulo occipital de la corteza cerebral. La zona receptora primaria se sitúa a los lados de la cisura calcarina y se conoce como área 17 de Brodman. De manera semejante a como se proyecta la retina sobre el cuerpo geniculado, éste se proyecta a la corteza visual primaria, donde existe una organización jerárquica entre niveles celulares, cuyos campos receptivos se vuelven progresivamente más elaborados (movimiento, contorno, ángulos, color, etc.).

Las zonas de la corteza que responden a estímulos visuales se detectan tanto en el lóbulo occipital como en la corteza temporal inferior, en la corteza parietal posteroinferior y en porciones del lóbulo frontal.

La vía retinotectal, la forman los axones de las células ganglionares al pasar de la cintilla óptica a la región pretectal del mesencéfalo y a los tubérculos cuadrigéminos superiores, donde forman sinápsis con los núcleos oculomotores. Otros axones pasan directamente del quiasma óptico a los núcleos supraquiasmáticos en el hipotálamo, donde establecen conexiones que relacionan los efectos de la luz con una amplia gama de ritmos endócrinos y circadianos.

Las estructuras subcorticales activadas desde la retina, comprenden además del cuerpo geniculado lateral y el colículo superior; el núcleo pulvinar, el núcleo caudado, el putamen, el claustrum, la amígdala y un grupo de tres núcleos en el tallo cerebral denominados colectivamente accesorios del tracto óptico, las funciones de estas proyecciones no son bien conocidas <sup>4,5</sup>.

#### **1.4 El Electroencefalograma, los Estímulos Visuales y la Adquisición de Información.**

El registro gráfico de las diferencias de voltaje entre dos sitios cerebrales es el electroencefalograma (EEG). El característico trazo ondulatorio, está provocado por las oscilaciones eléctricas debidas a la actividad ordenada de núcleos neuronales, Por lo que representa un reflejo de la actividad neuronal bajo el electrodo activo.

Una característica primordial de las células nerviosas es su continua actividad, poseen un ritmo basal, y las modificaciones de éste proporcionan la información codificada en el lenguaje del sistema nervioso central (SNC), los ritmos en el EEG son un reflejo de esta actividad ordenada. La modificación del ritmo de base neuronal se observa en el EEG durante los procesos mentales.

El marcapaso generador del ritmo alfa (8-10 ciclos por segundo) se encuentra a nivel cortical y a nivel talámico. Éste es un ritmo regular con mayor amplitud en regiones posteriores, más evidente durante la relajación y junto con frecuencias en el rango beta (>13 ciclos por segundo) durante los estados de adquisición y procesamiento de información <sup>6</sup>.

La alteración de la sincronización del EEG entre las regiones cerebrales, se ha identificado en estados morbosos como esquizofrenia, depresión y trastornos del aprendizaje. El 63 % de los niños con trastornos del aprendizaje presentan anomalías en sus EEG contra 20 % en controles, estas anomalías incluyen paroxismos de punta onda, espigas repetitivas, lentificación del EEG, asimetría en

amplitud del EEG interhemisférica y disrritmias difusas en varios sitios <sup>7</sup>. El patrón EEG del niño con trastornos del aprendizaje, se caracteriza principalmente por aumento de la actividad theta y pérdida de actividad beta o una combinación de éstas <sup>8</sup>. Es importante subrayar la necesidad de sincronía y de un ritmo basal que permita la adquisición de información, su procesamiento y su almacenamiento. Así, durante estadios caracterizados electroencefalográficamente por actividad lenta como el coma o el sueño, no es posible adquirir información, mientras que durante la vigilia, con actividades más rápidas la captación de información es óptima <sup>9</sup>.

Es posible observar durante el EEG, manifestaciones eléctricas de respuestas neuronales con la aplicación de estímulos sensoriales, algunos ejemplos son los complejos “K” y el seguimiento fótico, en respuesta a estímulos auditivos y visuales respectivamente. Se les denominan respuestas provocadas porque se presentan como réplica a un estímulo sensorial con la aparición de manifestaciones eléctricas <sup>10</sup>.

Las respuestas de conducción fótica, se han relacionado con lo que Vogel <sup>11, 12</sup> refiere como estilo cognitivo, quien basándose en diversas tareas define dos grupos, los automatizadores rápidos y los lentos, los primeros con mayor cantidad de años escolares, acostumbrados a utilizar su cerebro, presentaban períodos mayores de fotoconducción. La Dra Brown <sup>13</sup>, identificó éstos dos tipos de respuestas y correlacionó a los que tenían mayor fotoconducción con la capacidad de realizar tareas que involucraban el imaginar escenas visuales, así los dividió en visualizadores y no visualizadores.

La distinción de dos grupos de personas con diferentes grados de conducción fótica, nos obliga a preguntarnos la causa de esta diferencia.

Un sujeto sometido a entrenamiento con retroalimentación, es capaz de aprender a controlar su frecuencia cardíaca, su actividad muscular e incluso sus ritmos cerebrales.



Ésta capacidad adquirida a través del entrenamiento, ha sido útil en el control de crisis epilépticas y ha demostrado ser útil en los trastornos del aprendizaje <sup>14, 15</sup>.

Como una alternativa a los métodos de retroalimentación, que requieren equipo costoso y participación activa del sujeto, se ha utilizado la estimulación sensorial, básicamente auditiva, visual o audiovisual. El efecto electroencefalográfico de una estimulación repetitiva, provoca una respuesta provocada que se puede manifestar como modificación del ritmo basal, esta respuesta se propaga y en teoría puede proporcionar al cerebro desincronizado, la armonía necesaria para la adquisición y procesamiento de información.

Si fuese posible proporcionar un ritmo de fondo que permita codificar la información, éste ritmo artificial incrementaría la eficiencia de los procesos mentales. Russel y Carter identificaron mejoría en niños con trastornos del aprendizaje, al aplicar estimulación audiovisual semejante a la reportada por Lubar con la utilización del método de retroalimentación. Posiblemente a sujetos automatizadores lentos o no visualizadores se les convirtió en automatizadores o visualizadores <sup>16, 17</sup>.

### **1.5 La Plasticidad y Sinápsis en el Sistema Nervioso Central.**

El término plasticidad, se refiere a la capacidad del SNC de modificar su estructura funcional en respuesta a sus necesidades. El reordenamiento funcional del sistema nervioso está claramente representado en sujetos con ambliopía, en quienes durante un período crucial del desarrollo del sistema visual, al cerebro se le impidió realizar las conexiones neuronales necesarias para la captación de información visual. En pacientes portadores de tumores cerebrales de lento crecimiento, el SNC se reorganiza para suplir la zona que va perdiendo por el avance del tumor <sup>18</sup>. Los déficits debidos a

pérdidas corticales durante la infancia, son menos graves que en la edad madura, ésto es debido a la capacidad de reestructuración del cerebro infantil.

Piaget describe el aprendizaje, como una modificación progresiva del esquema original proporcionado por la herencia genética, estas modificaciones son continuas, al adquirir nueva información ésta transforma a los datos contenidos en el “esquema” actual y así sucesivamente <sup>19</sup>.

A. R. Luria, piensa que el funcionamiento cerebral está fundado en unidades funcionales, como ejemplo: las tareas cuando se llevan a cabo por primera vez requieren la participación de diversos locus cerebrales para su realización, pues es necesaria la planeación, ejecución y corrección de cada paso de la tarea en cuestión, después de un número de repeticiones, la tarea no requiere planeación, pasa de un nivel consciente a uno más automatizado...la tarea se aprendió y ya no es necesario planearla o revisarla para llevarla a término. Un ejemplo de aprendizaje de este tipo es la mecanografía, al inicio es necesario planear y corroborar cada tecleo, con práctica, la velocidad y el grado de precisión se optimizan <sup>20</sup>.

Tanto Piaget como Luria, involucran en sus conceptos del aprendizaje una modificación de un patrón funcional fundamental.

Nuestra población neuronal no se incrementa, sin embargo cada neurona tiene la capacidad de conectarse y recibir información de otras neuronas. Las neuronas están polarizadas, reciben información a través de sus dendritas y la emiten por medio de su axón. La unión funcional entre dos neuronas se denomina sinápsis, y son de dos tipos: la electroquímica, que depende de un transmisor y la mediada por uniones estrechas de baja resistencia (eléctrica). La acción combinada de las energías química, eléctrica y otras todavía desconocidas, es la que al incidir sobre la neurona controla la excitabilidad eléctrica y determina cuando debe transmitirse un potencial de acción portador de información.

Las actividades neuronales de larga duración se asocian a cambios morfológicos permanentes, así, la atrofia por desuso y la hipertrofia por el uso tienen repercusión a todos los niveles en la neurona. Cada neurona cortical tiene gran número de conexiones con muchas otras neuronas y, esta gran red de conexiones interneuronales bien puede ser el fundamento de la plasticidad cerebral <sup>21</sup>.

### 1.6 Los Procesos de Memoria.

Desde el punto de vista fisiológico, los recuerdos están producidos por cambios en la capacidad de transmisión sináptica de una neurona a la siguiente, como resultado de una actividad neuronal anterior. Estos cambios, a su vez, hacen que se desarrollen nuevas vías para la transmisión de señales a través de los circuitos neuronales del cerebro. Las nuevas vías se llaman rastros de memoria. Son importantes, porque una vez establecidas, se pueden activar por la mente pensante para reproducir recuerdos. Cabe recalcar que los recuerdos no tienen que ser conscientes todo el tiempo.

El cerebro tiene la peculiar capacidad de aprender a ignorar información intrascendente. Esto es el resultado de la inhibición de las vías sinápticas para este tipo de información, a este proceso se le denomina **habitación**. Por otro lado, para la información importante el cerebro tiene la capacidad de potenciar y almacenar los rastros de memoria, esto da por resultado la **facilitación** de las vías sinápticas, y el proceso se denomina sensibilización de memoria.

Es probable que la denominada memoria inmediata sea producida por una actividad neuronal continua, resultado de señales nerviosas que dan vueltas y más vueltas en un rastro de memoria temporal por un circuito de neuronas reverberantes.

Existen otras hipótesis como la potenciación sináptica y la inhibición o facilitación presináptica. La memoria a corto plazo (minutos a semanas), puede ser el resultado de cambios temporales físicos, químicos o de ambas clases, ya sea en las terminales presinápticas o en la membrana postsináptica, cambios que pueden persistir hasta varias semanas. La memoria a largo plazo es el resultado de cambios estructurales reales en la sinápsis que aumentan o suprimen la conducción de señales <sup>22</sup>.

### **1.7 En Resumen.**

Haciendo uso de estímulos visuales buscaremos fomentar la formación de un rastro de memoria, el que deberá permitir la conducción del ritmo electroencefalográfico. Si podemos identificar las características del estímulo que aumente el período de conducción sin alterar la homeostasia, podremos utilizarlo en pacientes con estados morbosos caracterizados por alteración de la sincronización del EEG, proporcionando de esta manera un ritmo de fondo artificial que optimice el procesamiento de información por el SNC.

## **1.8 Hipótesis.**

La sincronización de la frecuencia del electroencefalograma con la frecuencia de estimulación visual, difiere con la longitud de onda del estímulo visual utilizado.

## **1.9 Objetivo General.**

Identificar las características del estímulo visual que provoque mayor sincronía con la frecuencia del electroencefalograma.

## **1.10 Objetivos Particulares.**

1. Identificar el patrón de actividad para cada región (frontal, temporal, occipital).
2. Describir el comportamiento de la frecuencia cardíaca, la frecuencia respiratoria y la presión arterial durante la estimulación.
3. Fomentar el desarrollo de un engrama (rastros de memoria) de sincronización en voluntarios sanos.

## **MATERIAL Y MÉTODOS**

## **CAPÍTULO 2**

### **MATERIAL Y MÉTODOS**

#### **2.1 Diseño**

El presente es un estudio longitudinal, aleatorio, experimental, el cual se llevó a cabo en estudiantes de la cátedra de fisiología. A todos se les realizó una valoración inicial consistente en: historia clínica y exploración física completas, valoración oftalmológica, que comprendió agudeza visual, fundoscopia, evaluación de la visión binocular y a color; potenciales visuales evocados y electroencefalografía. Estudiamos 26 sujetos sanos, 14 varones y 12 mujeres, con edades de 18-33 años con media de 20.7 +/- DE 3.11, sin antecedentes de crisis convulsivas, cromatopatías, ametropías no corregidas, enfermedades neurooftalmológicas o que estuviesen bajo tratamiento médico o psiquiátrico. Analizamos los Potenciales Visuales Evocados (PVE) con estimulación azul, verde, blanco y roja en todos los sujetos, y en 20 se analizó también la respuesta electroencefalográfica, la frecuencia cardíaca, la presión arterial sistólica y la frecuencia respiratoria, durante la estimulación con destellos coloreados, en un ambiente tranquilo y de penumbra.

Los resultados nos permitieron escoger un color y una frecuencia a la cual el EEG presentara un ritmo alfa predominante. Cuatro sujetos del grupo inicial (dos varones y dos mujeres), participaron en la siguiente etapa, consistente en la aplicación del estímulo

luminoso durante 20 sesiones en un período de dos semanas. Nuevamente se analizó la respuesta del EEG y los PVE, pre y post estimulación con la finalidad de identificar un aumento en la actividad provocada con la estimulación. Otros cuatro sujetos fueron estudiados pre y post estimulación con una frecuencia de estimulación delta (2 Hz) con los mismos parámetros.

Durante el estudio monitorizamos los movimientos oculares mediante electrooculografía (EOG) y la actividad muscular de los músculos milohioideos para evitar artefactos en el EEG.

## 2.2 Estimulación

Con un fotoestimulador GRASS modelo PS2 se aplicaron los estímulos, consistentes en destellos de 10 ms de duración; la longitud de onda se definió sin filtro y con filtros GRASS, azul, rojo, verde, con picos en los 475, 525 y 675 nm respectivamente (figura 2). La intensidad se igualó en el fotoestimulador utilizando el nivel 1 para el azul, verde y sin filtro, y el 2 para el rojo. Las intensidades fueron evaluadas con un fotómetro Light Meter de Extech y se incrementan con la frecuencia. El disparo de la lámpara se monitorizó en un canal de registro en el polígrafo.

Aleatoriamente se asignó el orden de color y las frecuencias de estimulación a aplicar en días diferentes. Los colores con los que se estimuló fueron blanco, azul, verde y rojo a frecuencias de 2, 4, 6, 8, 10, 12, 16 y 20 Hz, realizándose también el registro en situación basal sin estímulo. Previa habituación de 30 s se realizó un registro de 32 segundos, con un descanso de 1 minuto entre cada frecuencia.

La lámpara se colocó a 50 cm de la cara del sujeto y tenía un patrón en tablero de ajedrez sobrepuesto con cuadros de 1 cm de lado. La persona permaneció sentada en un



sillón reclinable con los ojos abiertos durante el estudio, en penumbra. Se colocaron electrodos para el registro del EEG en Fp1, Fp2, T3, T4, O1 y O2, en Cz y en lóbulo de la oreja derecha; para el EOG y electromiograma (EMG), los electrodos se colocaron en los ángulos externos de los ojos y sobre los músculos milohioideos respectivamente. La frecuencia cardíaca se monitorizo a través del electrocardiograma (ECG) en D1, la frecuencia respiratoria se registró con un transductor de esfuerzo respiratorio en una banda colocada alrededor del tórax, y para la presión arterial se colocaron en el brazo derecho un manguito inflable y un transductor de pulso.

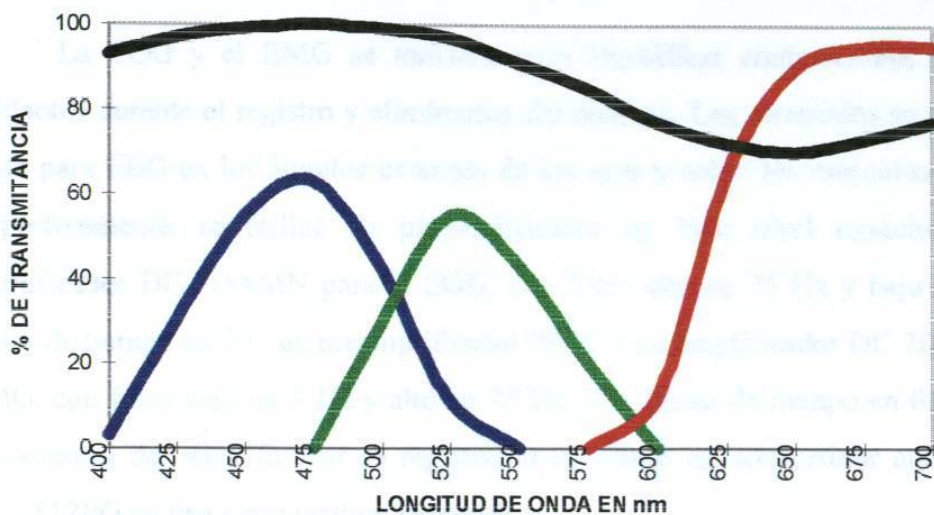


FIGURA 2.- Espectro de luz emitido por la lámpara del fotoestimulador GRASS (negro) y transmitancia de los filtros azul, verde y rojo (fuente: Manual de operación del fotoesttimulador PS2 de GRASS)

### 2.3 Electroencefalograma.

El registro del EEG se realizó con electrodos de disco de plata clorurada de 10 mm de diámetro, colocados mediante pasta para EEG Ten 20 en Fp1, Fp2, T3, T4, O1 y O2, el montaje fue bipolar, con referencia a Cz y tierra en lóbulo de la oreja derecha,

siguiendo el sistema 10-20. La señal se procesó con seis amplificadores para EEG modelo 7P511L, todos nuestros amplificadores forman parte de un polígrafo. Los datos procedentes del amplificador se registraron mediante un convertidor analógico-digital PCL-812PG en una computadora personal. Se utilizó un filtro alto en 100 Hz y filtro bajo en 1 Hz.

#### **2.4 Electrooculografía y Electromiografía.**

La EOG y el EMG se tomaron para identificar contracciones musculares y artefactos durante el registro y eliminarlos del análisis. Los electrodos se colocaron con pasta para EEG en los ángulos externos de los ojos y sobre los músculos milohioideos respectivamente, se utilizó un preamplificador de bajo nivel modelo 7P5B y un amplificador DC 7DAMN para el EOG, con filtro alto en 75 Hz y bajo en 1 Hz, con factor de tiempo en 0.1; un preamplificador 7P3C y un amplificador DC 7DAMN para la EMG, con filtro bajo en 3 Hz y alto en 75 Hz, con factor de tiempo en 0.04. Los datos procedentes del amplificador se registraron mediante un convertidor analógico-digital PCL-812PG en una computadora personal.

#### **2.5 Frecuencia Cardíaca, Frecuencia Respiratoria y Presión Arterial.**

La frecuencia cardíaca se estudió utilizando el ECG en derivación DI, un preamplificador EKG-pulso 7PGE y un amplificador DC7DAMN, con filtro alto en 75 y bajo en 1 Hz con factor de tiempo en 0.1, definió la señal que fue registrada en el polígrafo. Para el análisis de la frecuencia respiratoria y la presión arterial sistólica se usó en la primera, un transductor de esfuerzo respiratorio que proporcionó la señal que se registró mediante un preamplificador de bajo nivel 7P1 y un amplificador DC

7DAMN, para la segunda se usaron un transductor de pulso y un manguito inflable conectados a un preamplificador 7P8K y un amplificador DC 7DAMN. Los datos procedentes del amplificador se registraron en el registro del polígrafo.

## **2.6 Potenciales Visuales Evocados.**

Para obtener los potenciales visuales evocados (PVE), se realizaron 128 barridos de 200 milisegundos, el inicio del barrido se sincronizó con el estímulo, el que consistió en destellos generados a través de una lámpara Grass modelo PS2 sobre la cual se colocó un patrón en tablero de ajedrez con cuadros de un cm de lado, ésta se ubicó a 50 cm de la cara del sujeto y se utilizaron los filtros azul, verde o rojo según fuese el caso. La intensidad con los diferentes colores fue equivalente y se colocó una pantalla negra como fondo.

Los electrodos de registro se colocaron en Oz, OD5 (cinco cm a la derecha de Oz) y OI5 (cinco cm a la izquierda de Oz), aceptando una impedancia menor de 5000 ohms para iniciar el registro. El montaje fue OD5-Cz, Oz-Cz, OI5-Cz, con tierra en Fz. El registro se hizo con tres amplificadores 7P511L con filtro bajo en 1 Hz y alto en 100 Hz, la respuesta analógica del amplificador se tradujo a digital y se promedió y analizó mediante el programa GRETA. Para la función de integración el programa utiliza el método denominado sumas de Reinman, los potenciales se graficaron con polaridad invertida. Para cada sujeto se obtuvieron ocho gráficas pues se registró cada ojo por separado para cada color. También se calculó la integración de los primeros 200 ms, estos valores numéricos se graficaron contra el sitio en que se colocó el electrodo, obteniendo gráficas sinusoidales con tres puntos, representando la actividad evocada en la región de cobertura del electrodo.

## **2.7 Determinación de la frecuencia y color ideal.**

Los registros del EEG se analizaron con el programa GRETA, sometiéndolos a la transformación de Fourier para obtener el espectro de frecuencias, se eliminaron los registros contaminados con actividad muscular o movimientos oculares. Los 32 segundos de registro se obtuvieron en ocho barridos, de cuatro segundos cada uno. Se tomaron las cuatro frecuencias que predominaran al menos en 50 % sobre las otras durante cada frecuencia de estimulación. Los datos proporcionados por este análisis preliminar se agruparon en cuatro rangos según la frecuencia de estimulación: alfa 8,10,12; delta 2; theta 4, 6 y beta 16, 20. En cada uno de estos grupos se identificó la respuesta provocada que predominara en al menos 50 % sobre las restantes, definiendo así el tipo de actividad predominante.

Para cada color se determinó la frecuencia cardíaca y respiratoria una vez por frecuencia de estimulación, y la presión arterial sistólica dos veces por frecuencia de estimulación. Estos datos se evaluaron a través de un análisis de varianza para un factor y si la probabilidad era  $p < 0.05$  se sometieron a pruebas de t de Student entre los grupos de colores para identificar las diferencias.

## **2.8 Determinación de la respuesta electroencefalográfica a la estimulación con una frecuencia y color ideales**

A cuatro sujetos sanos, dos varones y dos mujeres, se les aplicó estimulación visual mediante la lámpara de destellos con un patrón en tablero de ajedrez a una frecuencia de 10 hz durante 15 minutos, dos sesiones diarias por 10 días (20 sesiones).

Se registraron PVE y EEG durante 96 segundos, durante las sesiones primera y vigésima. El EEG y PVE se analizaron igual que durante la determinación de la frecuencia ideal. Los resultados fueron comparados gráficamente.

También se estudiaron cuatro sujetos con PVE basal y posterior a una estimulación con una frecuencia igual a la utilizada para el registro de PVE, es decir a 2 Hz, la estimulación fue durante 10 sesiones de 15 minutos dos diarias por cinco días.

## **RESULTADOS**

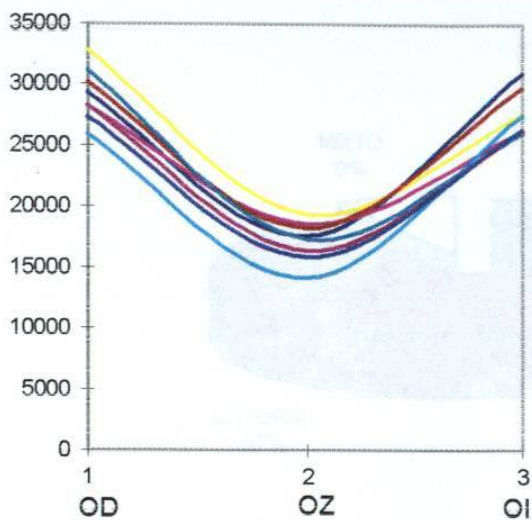
## **CAPÍTULO 3**

### **RESULTADOS**

De la valoración inicial de los participantes, la evaluación oftalmológica (apéndice C), el EEG y los PVE se reportaron como normales; la historia clínica, sin relevancia (apéndice A). El 83% de los sujetos son derechos y el 17% zurdos, la dominancia se determinó mediante la prueba de dominancia hemisférica de la batería Halstead-Reitan (apéndice D), 70.7% de los derechos y 0% de los zurdos utilizaron su ojo derecho para apuntar y para ver a través de un tubo.

Con la gráfica de los PVE tomados para la evaluación previa, se calculó la integral de la curva, con base en este dato numérico, que representa el área bajo la línea, se definieron tres tipos de actividad predominante en la región occipital provocada por un estímulo visual. Como patrón de actividad con predominio lateral se catalogaron a aquellos sujetos cuyo valor de la integral de los PVE (iPVE), resultase mayor en regiones laterales, es decir sobre los electrodos situados a 5 cm de Oz; como patrón central a los que el dato de iPVE fuese mayor sobre Oz, un tercer grupo (mixto) se definió con los sujetos en los cuales de los ocho PVE tres o cuatro presentaban predominio lateral y el resto central. En la figura 3 se muestra la gráfica representativa de estos patrones.

A



B

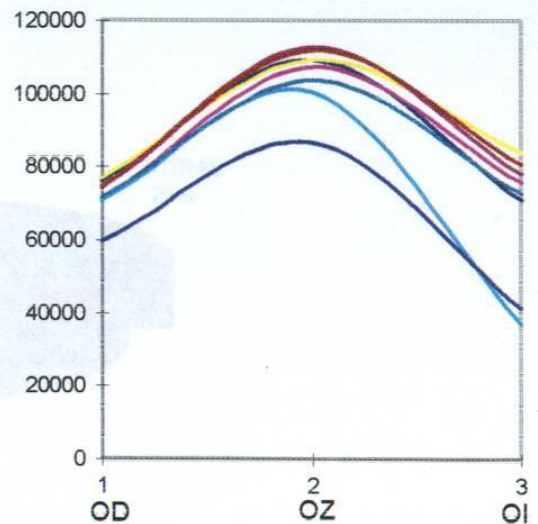


FIGURA 3.- Patrón Lateral (A) y patrón central (B). Valor de la integral de ocho registros de PVE tomados con blanco, rojo, verde y azul, en ambos ojos, cada uno por separado. Se registraron en tres sitios. OD = 5 cm a la derecha de Oz, OI = 5 cm a la izquierda de Oz.

En la figura 4, se muestra la distribución relativa de los tipos de actividad correspondiendo el 67% a predominio lateral, 25% predominio central y ocho por ciento mixto. Se usó una razón de momios para definir la probabilidad de obtención de un patrón dado, obteniendo un momio a favor de 1.99 para el patrón lateral, 0.33 para el central y 0.09 para el mixto.



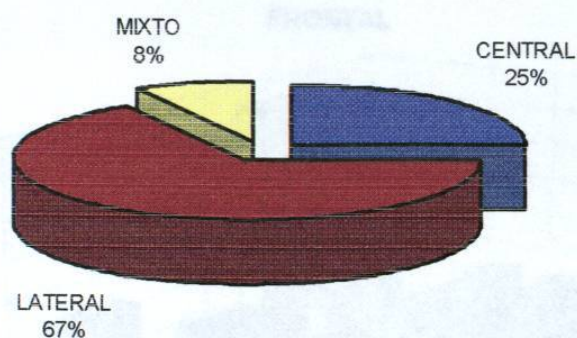


FIGURA 4.- Proporción de presentación de los diferentes patrones de actividad cortical en 26 sujetos estudiados con potenciales visuales evocados.

Mediante el análisis espectral del EEG, utilizando la transformación de Fourier, se obtuvieron las frecuencias predominantes durante la estimulación y en el período basal, en las gráficas de las figuras 5, 6, 7 y 8 se muestran las frecuencias acumuladas (cuando predominaron en más del 50% durante la estimulación); según la región (frontal, temporal y occipital) contra el color (blanco, azul, verde, rojo), definiéndose la respuesta alfa predominante en región temporal al estimular con blanco, azul y verde; en la región occipital con blanco, azul y verde, y en la región frontal con blanco y verde, aún cuando en regiones frontales predominaron frecuencias del rango delta.

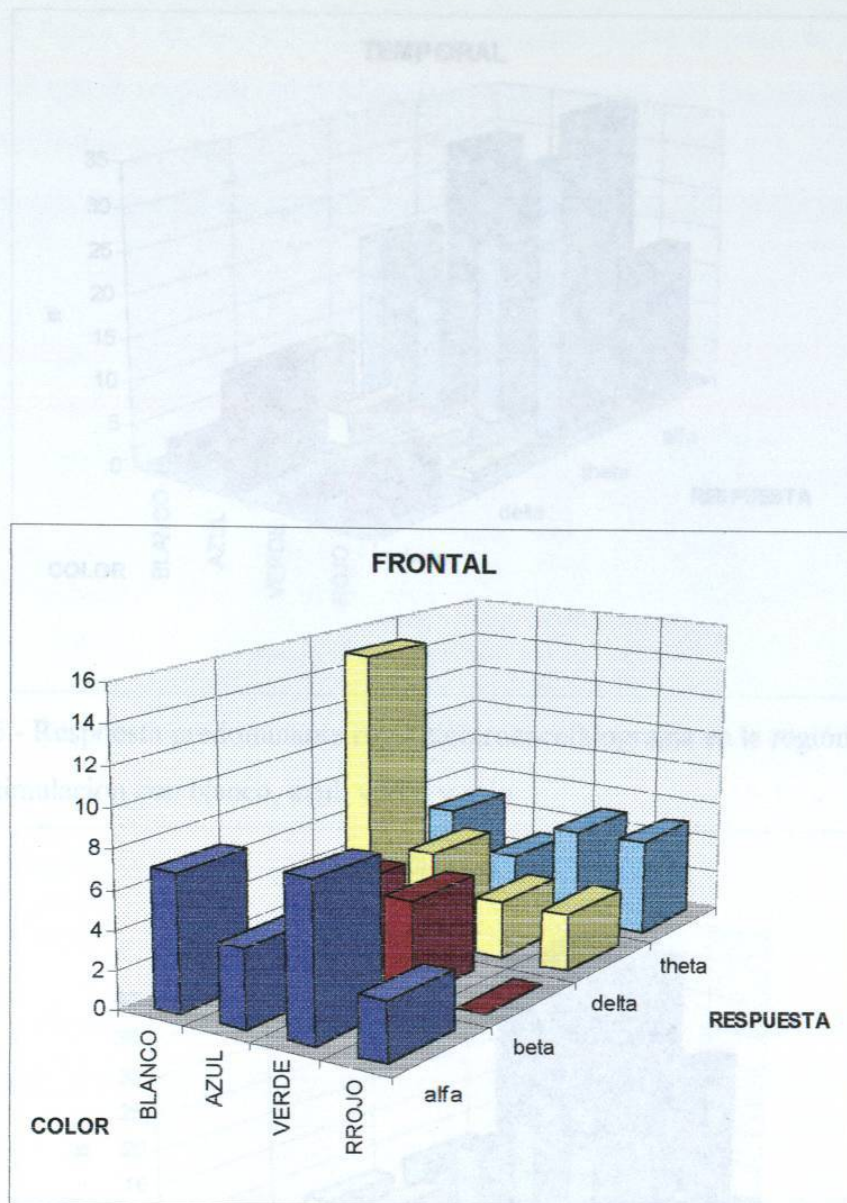


FIGURA 5.- Respuesta predominante en el electroencefalograma en la región frontal durante estimulación con blanco, azul, verde y rojo.

FIGURA 7.- Respuesta predominante en el electroencefalograma en la región occipital durante estimulación con blanco, azul, verde y rojo.

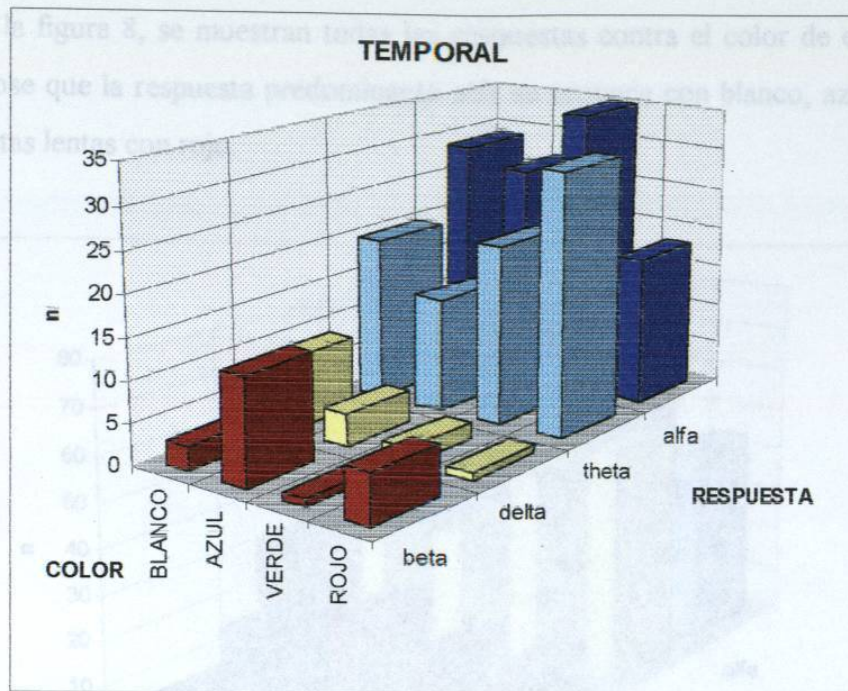


FIGURA 6.- Respuesta predominante en el electroencefalograma en la región temporal durante estimulación con blanco, azul, verde y rojo.

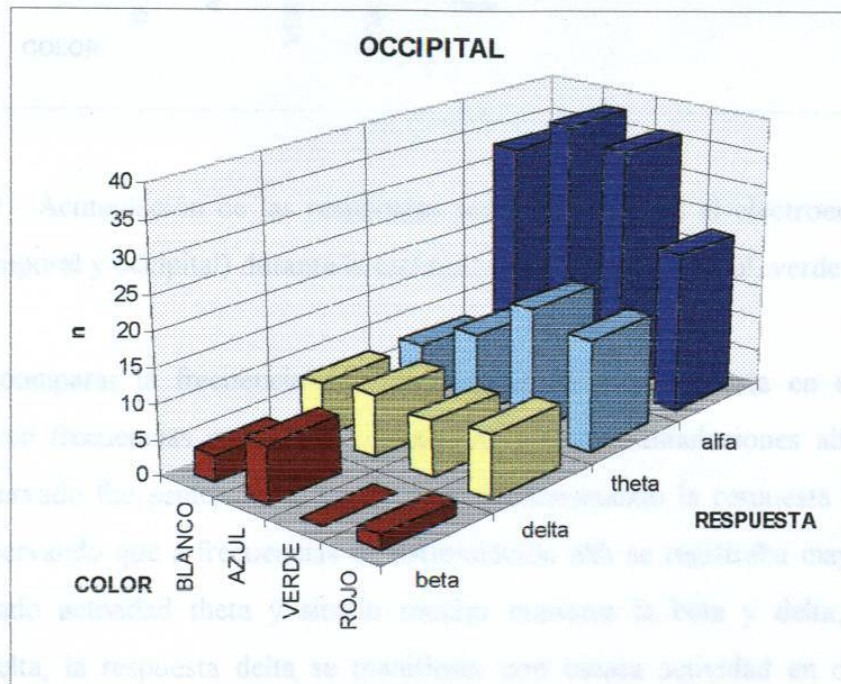


FIGURA 7.- Respuesta predominante en el electroencefalograma en la región occipital durante estimulación con blanco, azul, verde y rojo.

En la figura 8, se muestran todas las respuestas contra el color de estimulación, observándose que la respuesta predominante alfa se provoca con blanco, azul y verde y las respuestas lentas con rojo.

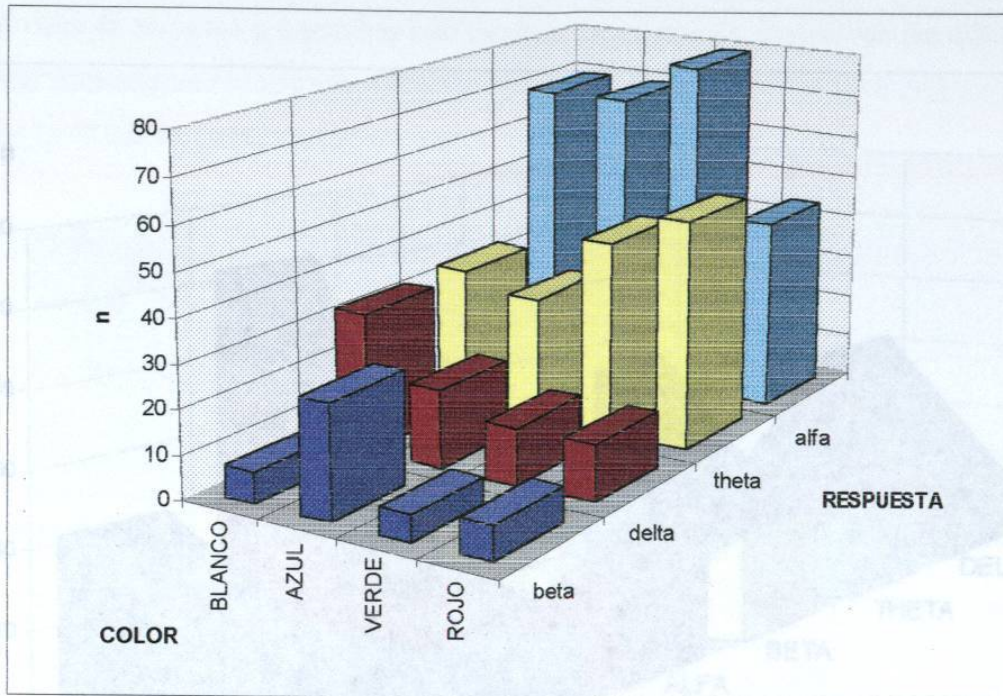


FIGURA 8.- Acumulación de las respuestas predominantes en el electroencefalograma (frontal, temporal y occipital) durante la estimulación con blanco, azul, verde y rojo.

Al comparar la frecuencia de estimulación con la respuesta en estado basal, predominaron frecuencias entre alfa y theta. Al aplicar estimulaciones alfa y theta el patrón observado fue semejante al basal, pero predominando la respuesta alfa sobre la theta y observando que a frecuencias de estimulación alfa se registraba mayor actividad alfa siguiendo actividad theta y siendo mucho menores la beta y delta; durante un estímulo delta, la respuesta delta se manifiesta con escasa actividad en otros rangos. (figura 9).

El comportamiento de la frecuencia cardiaca, la frecuencia respiratoria y la presión arterial, como índices de excitabilidad se analizaron en 20 sujetos mediante un análisis de varianza para un factor, se encontraron diferencias significativas durante la estimulación con los cuatro colores en la frecuencia cardiaca, este grupo fue sometido a una prueba de varianza y a pruebas t de Student intragrupal, definiendo las diferencias con significancia entre los grupos blanco (p=0.0132), azul-rojo (p=0.0436) y blanco-blanco (p=0.0364). (tablas I, II)

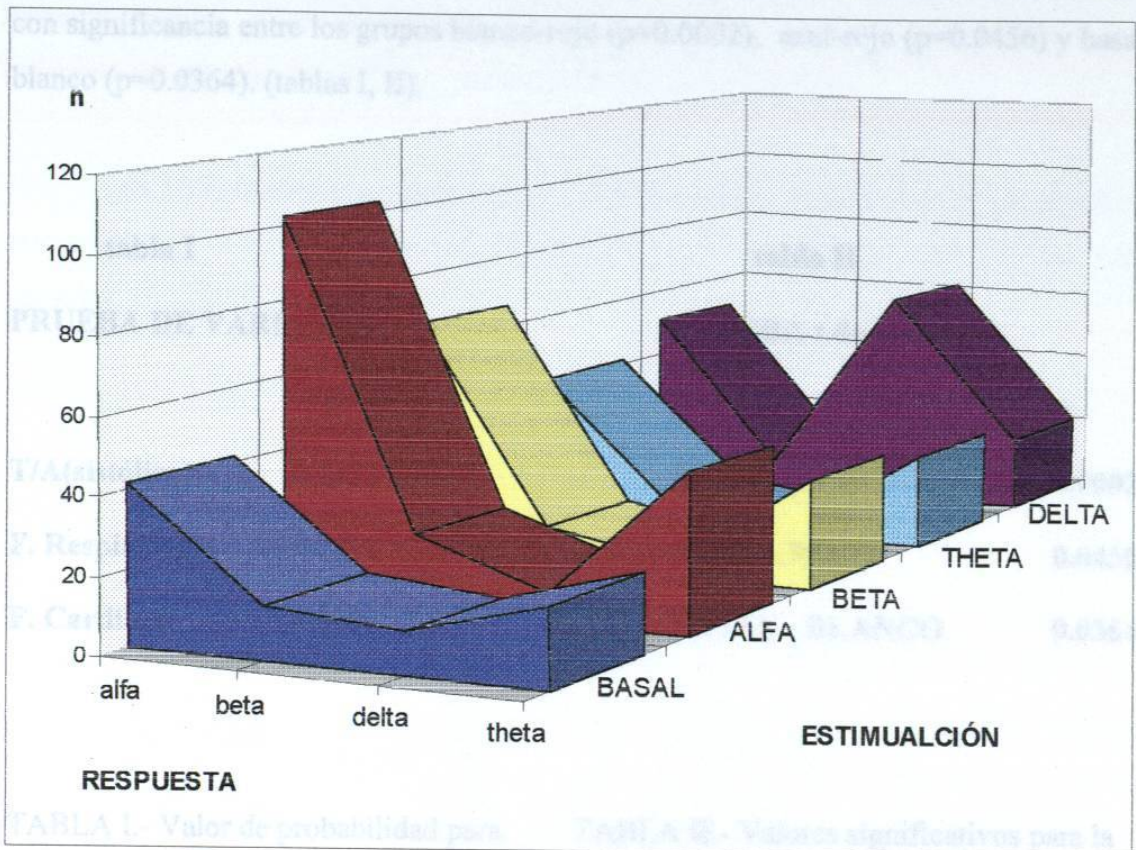


FIGURA 9.- Relación de la frecuencia de estimulación con la respuesta en el electroencefalograma, alfa = 8 -12 Hz, beta = >13 Hz, delta = 1 - 3 Hz, theta = 4 - 7 Hz. y blanco (sig = 0.05)

De este modo, buscando un incremento de actividad alfa se utilizó para la siguiente etapa un estímulo dentro del rango alfa con el color blanco por sus características de excitable (frec. cardiaca), y la evidencia de influencia sobre el aumento de actividad alfa a una frecuencia de estimulación semejante. El estímulo fue de 10Hz

El comportamiento de la frecuencia cardíaca, la frecuencia respiratoria y la presión arterial, como índices de excitabilidad se analizaron en 20 sujetos mediante un análisis de varianza para un factor, se encontraron diferencias significativas durante la estimulación con los cuatro colores en la frecuencia cardíaca, este grupo fue sometido a una prueba de varianza y a pruebas t de Student intragrupal, definiendo las diferencias con significancia entre los grupos blanco-rojo ( $p=0.0002$ ), azul-rojo ( $p=0.0456$ ) y basal-blanco ( $p=0.0364$ ). (tablas I, II).

<b>tabla I</b>		<b>tabla II</b>	
<b>PRUEBA DE VARIANZA</b>		<b>PRUEBA t de Student</b>	
	<b>P</b>		<b>P</b>
<b>T/A(sistólica)</b>	<b>0.2453</b>	<b>BLANCO - ROJO</b>	<b>0.0002</b>
<b>F. Respiratoria</b>	<b>0.7812</b>	<b>AZUL - ROJO</b>	<b>0.0456</b>
<b>F. Cardíaca</b>	<b>0.0077</b>	<b>BASAL - BLANCO</b>	<b>0.0364</b>

TABLA I.- Valor de probabilidad para una prueba de varianza aplicada a los valores de T/A sistólica, frecuencia respiratoria y frecuencia cardíaca entre los grupos basal, rojo, verde, azul y blanco ( $\text{sig} = 0.05$ ).

TABLA II.- Valores significativos para la prueba de t ( $p < 0.05$ ) aplicada a los datos de frecuencia cardíaca en los grupos basal, rojo, verde, azul y rojo.

De este modo, buscando un incremento de actividad alfa se utilizó para la siguiente etapa un estímulo dentro del rango alfa con el color blanco por sus características de excitable (frec. cardíaca), y la evidencia de influencia sobre el aumento de actividad alfa a una frecuencia de estimulación semejante. El estímulo fue de 10Hz

con una intensidad de dos (en el selector del fotoestimulador) durante 15 minutos en dos sesiones diarias en 10 días dando un total de 20 sesiones.

La actividad electroencefalográfica del registro final no difirió del basal en 3 de los cuatro sujetos, en uno de ellos aumentó ligeramente la actividad alfa, en otro se presentó cefalea y se identificaron espigas occipitales aisladas sin cambios con referencia al espectro basal, los otros dos no presentaron cambios.

Los PVE finales con respecto a los basales fueron semejantes, en un sujeto se documento un aumento de latencia del P 100 de 26 ms, en los otros tres no hubo cambios, (figura 10).

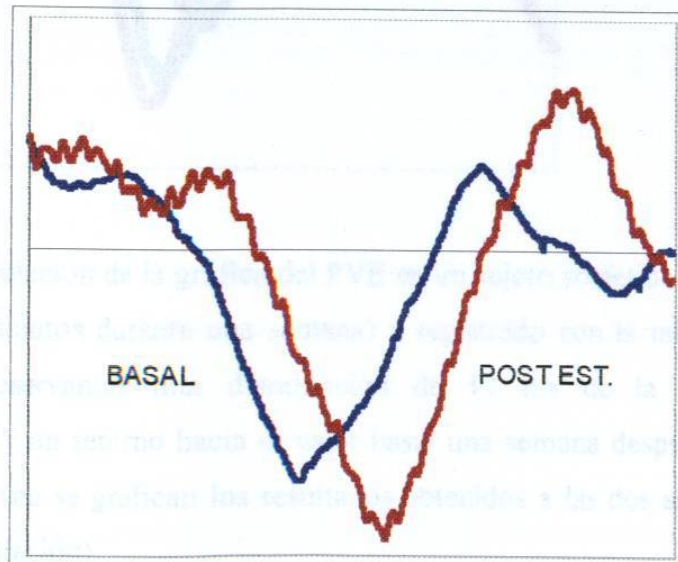


FIGURA 10.- PVE basal y posterior a estimulación con blanco a 20 Hz durante 20 sesiones de 15 minutos en un período de 10 días. Los PVE se registraron utilizando una frecuencia de estimulación de 2 Hz. Observamos la prolongación de la latencia en 26 ms.

Se examinaron otros cuatro sujetos con PVE. El registro basal se comparó con otro tomado después de 10 sesiones de estimulación con la frecuencia utilizada para realizar los PVE (2 Hz). En tres de estos sujetos no se evidenciaron cambios, pero en

uno la latencia de P100 disminuyó en el registro postestimulación en 17 ms, al examinarlo una semana después la latencia del pico aumentó dirigiéndose a la latencia basal, en la siguiente semana después del descanso fue identificada una progresión hacia el valor basal, (fig 11,12).

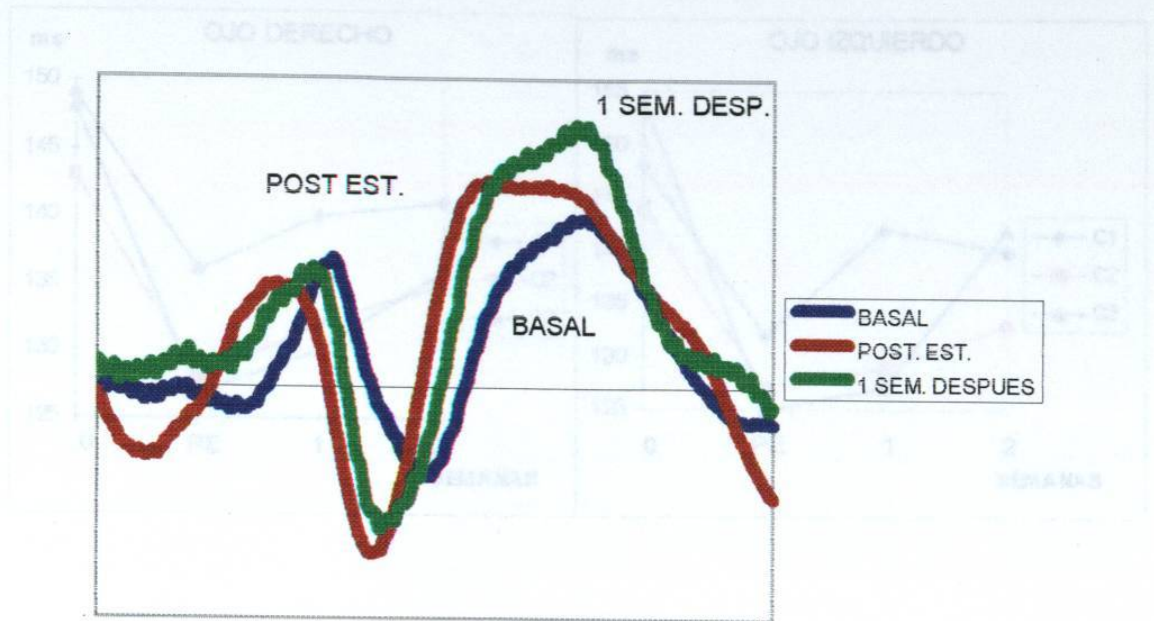


FIGURA 12. Evolución de la latencia de P100 en el ojo derecho (A) e izquierdo (B)

FIGURA 11.- Evolución de la gráfica del PVE en un sujeto sometido a estimulación (10 sesiones de 15 minutos durante una semana) y registrado con la misma frecuencia de estimulación. Observamos una disminución de 17 ms de la latencia de P100 postestimulación y un retorno hacia el valor basal una semana después de concluida la fotoestimulación (no se grafican los resultados obtenidos a las dos semanas después de concluir la estimulación).



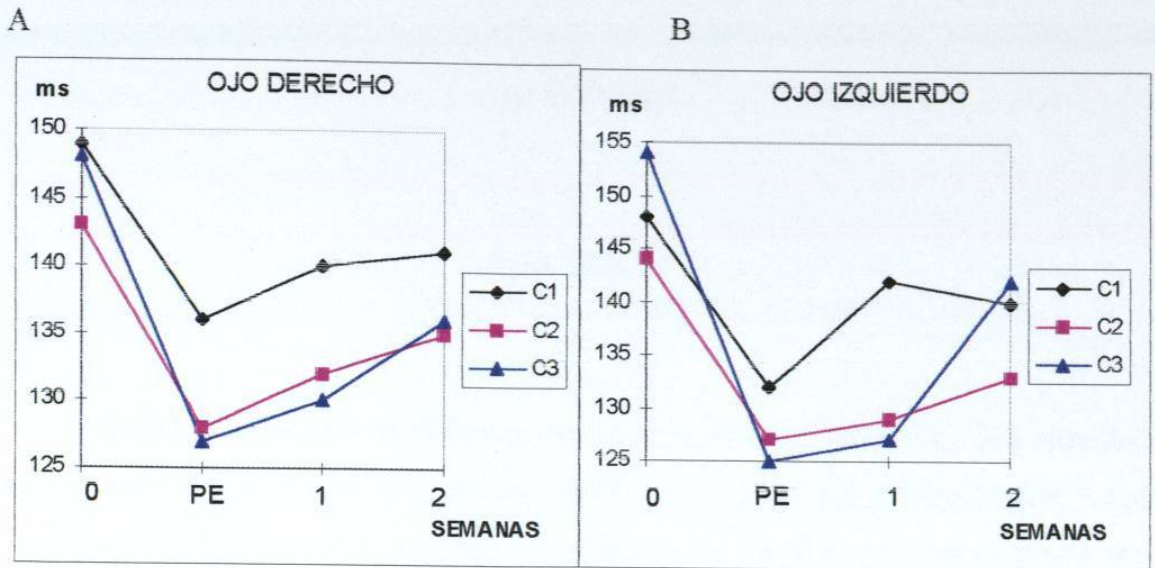


FIGURA 12.- Evolución de la latencia de P100, en el ojo derecho (A) e izquierdo (B) una y dos semanas postestimulación en el mismo sujeto de la figura 11, comparación de tres sitios C1=OD, C2=Oz, C3=OI. 0= registro basal, PE= registro post-estimulación, 1, 2 = registro una y dos semanas después de la estimulación.

## **DISCUSIÓN**

## **CAPÍTULO 4**

### **DISCUSIÓN**

En la búsqueda de la modificación de las capacidades intelectuales, la humanidad ha recurrido a procedimientos variados, desde la hipnosis, los electrochoques y los “lavados de cerebro”. Hacia mediados de la década de los 60’s, aumentó el interés por investigar métodos de retroalimentación con la finalidad de optimizar el aprendizaje, modificar el estado de ánimo o compensar alguna alteración funcional, incluso deprimir la actividad epileptiforme. Algunos investigadores consideran que la utilización de la retroalimentación por medio del EEG, puede llevar al control consciente de procesos que no son percibidos conscientemente<sup>24</sup>.

Los autores señalan que en el 60% de los sujetos sometidos a retroalimentación se observan resultados positivos<sup>24</sup>, sin embargo, la utilización de métodos de retroalimentación requiere equipo caro y personal capacitado, por si fuera poco, el sujeto tiene que participar en el proceso para llegar, al cabo del tiempo, a controlar la variable con la que trabaja. En el caso de la retroalimentación electroencefalográfica, un aparato típico consta de amplificadores, conectados con un procesador que filtre la señal con la que se desea trabajar y proporcione una representación visual de esta actividad. El aparato de retroalimentación funge como sensor de algún proceso, para el cual no contamos con sensores conscientes. Así, el sujeto puede darse cuenta de la actividad que presenta y modificarla a través de tareas cognitivas basado en el ensayo-error, el sujeto aprende a controlar la actividad dominante en su SNC.

Como alternativa a los procesos de retroalimentación, surgió la estimulación controlada, con la finalidad de modificar los ritmos EEG, sin la necesidad de participación del sujeto, de manera económica y potencialmente más rápida que el trabajo con un retroalimentador. En esta modalidad, las posibilidades de estimulación son limitadas, el gusto, el olfato, y la piel no son sensores óptimos para la estimulación repetitiva, la opción de la estimulación auditiva y/o visual es la elección. Los estímulos visuales tienen la particularidad de ser sencillos en su producción. modulación y aplicación.

Cuando se aplica a un sujeto un estímulo visual intermitente, éste provoca una respuesta detectable eléctricamente en el cerebro, recordemos que la información al ingresar al sistema nervioso se procesa y distribuye, de esta manera es posible observar la conducción del EEG, pues la acción de arrastre de la estimulación provoca una actividad rítmica, obviamente la actividad observada es “artificial” y cede al suprimir la aplicación del estímulo.

Los estímulos visuales repetitivos no son inocuos, junto con la hiperventilación, constituyen los denominados métodos de activación, tienen por objeto aumentar la excitabilidad del SNC, y eventualmente facilitar la manifestación de un foco neuronal con propiedades epileptógenas<sup>25</sup>. Dejando aparte la producción de actividad convulsiva, la luz por sí misma tiene efectos en el cerebro, aún cuando la vía retino-geniculada procese gran parte de la información visual, las conexiones centrales de la retina influyen sobre los ritmos circadianos, en temporada invernal, en los países nórdicos la exposición a la luz disminuye, esto se ha relacionado con la denominada depresión invernal, para cuyo tratamiento, aparte de la terapia farmacológica, se aplica la fototerapia. Dilsaver, hace hincapié en las modificaciones de los niveles de neurotransmisores y de la sensibilidad a la acetilcolina durante la depresión invernal, y su modificación con la aplicación de luz <sup>26</sup>.

Gracias a los conos, podemos percibir diferentes longitudes de onda como colores, tradicionalmente se acepta que los colores calientes, como el rojo, son más estimulantes que los colores fríos, como el azul <sup>27, 28</sup>. Cadwell y Jones publican en 1985 un estudio, en el cual concluyen que la estimulación coloreada no influye en variables como el parpadeo, el volumen del pulso, la frecuencia cardiaca, el electroencefalograma y la conductancia cutánea <sup>29</sup>. En nuestro estudio, el comportamiento de la frecuencia cardiaca demostró cambios significativos tanto durante la estimulación con colores calientes como el rojo, como con fríos como azul y blanco; Cadwell utilizó estimulación durante 30 segundos en series de pares de colores azul-blanco y rojo-blanco. La única explicación no conflictiva entre nuestros resultados y los reportados por Cadwell es la cualidad del estímulo, pues nosotros utilizamos estimulación con destellos de 10 ms de duración.

En nuestro grupo, la actividad del EEG inducida por la estimulación con rojo fue dominada por frecuencias lentas. Es improbable que estas dos manifestaciones (color rojo y frecuencia lenta) sean independientes, durante la estimulación con una frecuencia delta y con color rojo la respuesta observada nos permite sugerir que el rojo, resultó menos estimulante y lentifico el EEG. Observando desde el extremo opuesto, podríamos argumentar que la iluminación roja resultó más estimulante, pues a diferencia del blanco, azul y verde evocó más respuestas lentas durante la conducción con frecuencias delta y theta. Trubachev indica que la respuesta muestra una mayor relación con la frecuencia que el color; Brown encuentra que los sujetos visualizadores no siguen destellos rojos, a la inversa de los no visualizadores. Estos datos aparentemente contradictorios podrían representar sujetos diferentes, si bien es cierto todos son sanos, el procesamiento neuronal al que cada individuo somete la información es diferente y se llegó a él a través del desarrollo.

Utilizando la integración de la línea de los PVE identificamos dos tipos de patrones de actividad, esta aseveración es fácilmente refutable argumentando diferencias anatómicas, sin embargo esta “refutación” apoya nuestra sugerencia, de la misma forma a como las estructuras corporales crecen durante el desarrollo, el procesamiento de información se vuelve más complejo y estos “patrones de actividad” son una evidencia de estos cambios. De igual manera a como se adjudica al hemisferio cerebral izquierdo funciones específicas como el habla y la destreza motora, y al derecho la capacidad de análisis de modalidades diferentes como la apreciación de la pintura y la música, el hecho de que existan personas con dominancia derecha e izquierda, quizás permita, con base a los “patrones de actividad”, definir una dominancia central o lateral en la corteza occipital durante el procesamiento de información visual, basados en estos dos tipos de actividad cortical.

El fracaso, en nuestro estudio, para fomentar un engrama (rastros de memoria) de sincronización, nos obliga a continuar estudiando las respuestas a la estimulación visual, la evidencia de moldeamiento de la vía visual durante el estudio, nos indica que la vía visual es el camino. Es muy interesante el hecho de que los PVE de uno de los sujetos, sometidos a estimulación con una frecuencia de 10 Hz, registrados antes y después del período de prueba, sugieran un proceso de habituación, prolongándose la latencia del P100. Debemos comentar que nuestro equipo utiliza una estimulación de 2 Hz durante el registro de los PVE y durante el experimento utilizamos 10 Hz. Sugerimos pues, que la optimización de una vía visual puede obstaculizar otra paralela, esto lo apoya el experimento, en el cual identificamos un fenómeno de sensibilización funcional en uno de los sujetos sometidos a estimulación visual con la misma frecuencia con la que hacemos el registro.

La vía retino-geniculada forma parte de un sistema de relación con el medio exterior que permite la localización e identificación de las escenas visuales<sup>30, 31, 32</sup>, sus proyecciones principales hacia la corteza occipital y temporal contribuyen a que estas regiones fueran las que más se vieron influenciadas por la estimulación visual.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## **CAPÍTULO 5**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

- Dos semanas no es tiempo suficiente para inducir un engrama de sincronización.
- La inducción de un engrama de sincronización entre frecuencia de estimulación y ritmo en el EEG, requiere monitorización para detectar actividad indeseable.
- La optimización de un engrama puede obstaculizar otro semejante.
- La estimulación con rojo disminuye la frecuencia cardíaca y con azul la aumenta.
- Es factible inducir modificaciones funcionales en la vía visual.



## **REFERENCIAS**

## REFERENCIAS

- 1.- Artigas JM, Capilla P, Felipe A, Pujol J. *Optica fisiológica*. McGraw-Hill-Interamericana, 1-41, 1995
- 2.- Regan D. Electrophysiological evidence for colour channels in human pattern vision. *Nature* 250: 437-439, 1976.
- 3.- Boynton R.M. A system of photometry and colorimetry based on cone excitations. *Color Res. & Appl.*; 11:244-256, 1986
- 4.- Gulyas B, Roland PE. Processing and analysis of form, colour, and binocular disparity in the human brain: Functional anatomy by positron emission tomography. *Europ. J. Neuroscience*; 6: 1811-1828, 1994.
- 5.- Milner AD, Goodale MA. *The visual brain in action*. Oxford University Press; 25-65, 1995.
- 6.- Niedermeyer MD, Lopes da Silva F. *Electroencephalography*. 3 edición, Williams & Wilkins. p 27-63, 1993
- 7.- Muehl S, Knott JR, Benton AL. EEG abnormality and psychological test performance in reading disability *Cortex*; 1: 434-439, 1965.

- 8.- Lubar JF. EEG Biofeedback and learning disabilities. *Theory into practice* 24: 106-111, 1985.
- 9.- Singer W. Synchronization of cortical activity and its putative role in information processing and learning. *Annu. Rev. Physiol*; 55: 349-376, 1993.
- 10.- Lopez Gonzalez M. Bases en electroencefalografía clínica y potenciales evocados. *IMSS*; 119-137, 1991.
- 11.- Vogel W, Donald M, Klaiber B. EEG and mental abilities. *Electoenceph. clin. Neurophysiol*; 24: 166-175, 1968.
- 12.- Vogel W, Donald M, Klaiber B. EEG to photic stimulation as a function of cognitive style. *Electoenceph. clin. Neurophysiol*; 27: 186-190, 1969.
- 13.- Brown B. Specificity of EEG photic flicker responses to color as related to visual imagery ability. *Psychophysiology*; 2 (3): 1997-207, 1966.
- 14.- Sterman MB, Friar L. Suppression of seizures in an epileptic following sensorimotor EEG feedback training. *Electoenceph. clin. Neurophysiol*; 33: 89-95, 1972.
- 15.- Tansey M. EEG sensorimotor rhythm biofeedback training: some effects on the neurologic precursors of learning disabilities. *International J. of Psychophysiology*; 1: 163-177, 1984.
- 16.- Carter JL, Russell HL. Changes in verbal-performance IQ discrepancy scores after left hemisphere EEG frequency control training - A pilot report. *Am. J. Clinical Biofeedback*; 4 (1): 66-67, 1981.

- 17.- Russell HL, Carter JL. Change and stimulation of the brain related to quantitative changes in functioning. *Clinical Biofeedback*; 5: 101-116,1982
- 18.- Brailowsky S, Stein DG, Will B. El cerebro averiado. Fondo de cultura económica; 83-140, 1992.
- 19.- Piaget J. El nacimiento de la inteligencia en el niño. Grijalvo; 12-53, 1990.
- 20.- Luria AR. El cerebro en acción. Roca; 43-97, 1984.
- 21.- Bach-y-Rita P. Mecanismos cerebrales de la sustitución sensorial. Trillas; 133-155, 1979.
- 22.- Guyton AC. Tratado de fisiología médica. 8ª edición, Interamericana-McGraw-Hill; 672-677, 1992.
- 23.- Regan D. Colour coding of patterns reponses in man investigated by evoked potential feedback and direct plot techniques. *Vision Res*; 15: 175-183, 1975.
- 24.- Trubachev VV, Markman VG. Operant conditioning of spontaneous and evoked brain electrical activity. *Hum Physiol*; 4 (1): 94 - 105, 1978.
- 25.- Feria A, Martinez D, Rubio F. Epilepsia. Un enfoque multidisciplinario. 2ª edición, Trillas; 74-97, 1989
- 26.- Dilsaver SC. Neurobiologic effects of bright artificial lighth. *Brain Research Reviews*, 14: 311.333, 1989.
- 27.- Birren F. Ligth , color and enviroment. New York: Van Nostrand-Reinhold; 19-20, 1969.

- 28.- Goldstein K. Some experimental observations concerning the influence of color on the function of the organism. *Occupational Therapy* 21:147-151, 1942.
- 29.- Cadwell JA, Gary EJ. The effects of exposure to red and blue light on physiological indices and time estimation. *Perception*, 14: 19-29, 1985.
- 30.- Courtney SM, Ungerleider LG, Keil K, Haxby JV. Object and spatial visual working memory activate separate neural systems in human cortex. *Cerebral Cortex* 22:50-3,1997.
- 31.- Desimone R, Ungerleider LG. Neural mechanisms of visual processing in monkeys. *Handbook of Neuropsychology*, vol 2 267-299. Elsevier 1989.
- 32.- Ungerleider LG. Functional brain imaging studies of cortical mechanisms for memory. *Science*, 270:769-775, 1995.

## APÉNDICE A

### CARTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

Departamento de Fisiología,  
Facultad de Medicina, Universidad Autónoma de Nuevo León.

Por este medio le pedimos participar en un estudio sobre el efecto de la estimulación con luz sobre algunas de las funciones del cuerpo humano. La finalidad es determinar la característica del tipo de luz ideal para influir en la actividad del cerebro sin intervenir con las funciones corporales. La potencial utilidad de los resultados del estudio estriba en aportar un parámetro para aplicar la estimulación con luz como coadyuvante de tratamientos psiquiátricos y psicológicos.

Para poder participar es necesario carecer de antecedentes de enfermedades cronicodegenerativas, agudas, defectos en la visión de los colores o crisis convulsivas. Antes de someterlo a la estimulación con luz, llevaremos a cabo una historia clínica y una exploración neurológica, será evaluado por un oftalmólogo, y tomaremos un electroencefalograma. Esta valoración será gratuita.

Se mantendrá la confidencialidad, si publicamos los resultados del estudio en una revista científica Usted no será identificado de manera alguna.

El estudio se apega a las consideraciones del Comité de Ética para la investigación en seres humanos del Hospital Universitario Dr. José E. González y la Facultad de Medicina de la U.A.N.L.

Si Usted tiene alguna pregunta ahora, por favor hágala, o comuníquese con la Dr. med. Nancy E. Fernández o con el Dr. Francisco J. Guzmán al departamento de Fisiología de la Facultad de Medicina de la U.A.N.L. a los teléfonos 329-42-03 (directo) o al 329-40-50 ext 2756.

Yo \_\_\_\_\_, contando con \_\_\_\_\_ años de edad cumplidos a la fecha, de nacionalidad \_\_\_\_\_, residente de \_\_\_\_\_, por medio de la presente hago constar que consiente en participar en el protocolo de investigación cuyo título es "Sincronización del electroencefalograma en respuesta a estímulo visuales coloreados". Como sujeto de experimentación. Conozco y se me ha explicado que el estudio comprende la estimulación visual en sesiones periódicas con diferentes colores y a diferentes frecuencias, acepto la toma de registros fisiológicos no invasivos. Declaro conocer enteramente los riesgos potenciales a los que me someto y exonero a los investigadores de toda responsabilidad. Queda establecido que con plena libertad puedo tomar la decisión de abandonar el estudio, en cualquiera de sus etapas, según mi entera voluntad lo dicte y sin necesidad de justificación alguna, sin riesgo de ver afectada mi relación con la institución, mi desempeño dentro de la misma o mi futura atención.

Firmo, y doy fé, en Monterrey, Nuevo León, a \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 199\_\_

PACIENTE

INVESTIGADOR

TESTIGO 1

TESTIGO 2

## APÉNDICE B

### HISTORIA CLÍNICA Y EXPLORACIÓN FÍSICA

#### HISTORIA CLÍNICA

- Nombre.
- Número de registro.
- Edad.
- Sexo.
- Estado civil.
- Ocupación,
- Lugar de nacimiento.
- Lugar de residencia.
- Domicilio.
- Teléfono.

#### ANTECEDENTES PERSONALES

- Cromatopatías.
- Traumatismo ocular.
- Epilepsia.
- Meningitis.
- Traumatismo craneoencefálico.
- Enfermedades neurológicas.
- Enfermedades psiquiátricas.
- Hipertensión arterial.
- Diabetes mellitus.
- Fecha de nacimiento                                      parto eutósico    distósico    cesárea
- Ictericia perinatal    asfixia perinatal    peso al nacer
- Máximo grado de estudios / años de educación
- Mano dominante

#### ESTADO MENTAL

- Afectividad
- Preparación (alucinaciones o ilusiones)
- Conducta
- Orientación (tiempo, lugar, persona)
- Memoria reciente

- Memoria remota
- Proverbios (indicar respuestas)
- Cálculos:  $8 + 5 + 6 =$
- Definir mentira y error
- Pruebas de afasia
  - Nombrar objetos
  - Seguir órdenes habladas (ponga el pulgar izquierdo sobre la ceja derecha, etc)
  - Lectura
  - Lenguaje casual
  - Escritura manual
- Reconocimiento de derecha e izquierda
- Dibujo

## NERVIOS CRANEALES

### I.- Percibir olores

Identificar olores

### II.- Agudeza visual

Fondo de ojo

Disco

Mácula

Retina y vasos

Campos visuales a la confrontación

Identificación de colores (c. Ishihara)

### III, IV.- Pupilas

& VI

Forma

Tamaño

Reacción a la luz

Reacción consensual

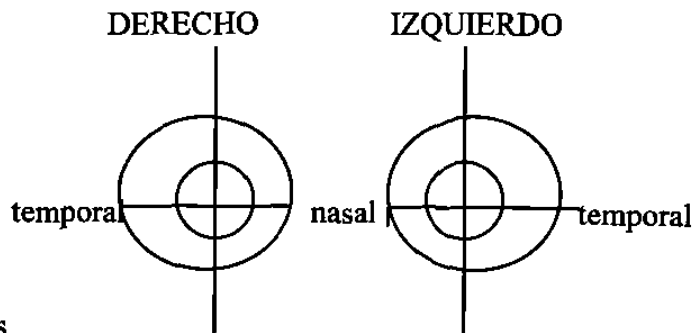
Reacción de acomodación

Ptosis palpebral

Movimientos extraoculares

Nistagmus (describa características)

Diplopia (en que campos visuales y desplazamiento)



### V.- Reflejo corneal.



**COMENTARIOS:**

**EXAMINADOR**

**MARCAS QUE PUEDEN UTILIZARSE**

**0 = Se examinó y se encontro ausente.**

**Normal = Nse encontró normal**

**X = Si no se examinó.**

**Describe los hallazgos positivos**

## **APÉNDICE C**

### **EVALUACIÓN OFTALMOLÓGICA**



**HISTORIA CLINICA**

Referido por:

Motivo de Consulta.



Antecedentes Personales

Antecedentes Familiares

Principio, Evolucion y Estado Actual

**EXPLORACION**

DVsc  $\frac{\diagup}{\diagdown}$  AE  $\rightarrow$   $\frac{\diagup}{\diagdown}$  CVsc  $\frac{\diagup}{\diagdown}$

aph | cyl | =  $\frac{\diagup}{\diagdown}$  | add =  $\frac{\diagup}{\diagdown}$

AUT   
MAN  aph | cyl

E P aph | cyl | =  $\frac{\diagup}{\diagdown}$  | add =  $\frac{\diagup}{\diagdown}$



PIO



**CONCLUSIONES**

**Dx**

**Rx**

Rx aph | cyl | =  $\frac{\diagup}{\diagdown}$  | add =  $\frac{\diagup}{\diagdown}$



## APÉNDICE D

### PRUEBA DE DOMINANCIA HEMISFÉRICA

#### (BATERÍA DE HALSTEAD-REITAN)

NOMBRE \_\_\_\_\_ FECHA \_\_\_\_\_ EXAMINÓ \_\_\_\_\_

1.- ¡Muéstrame tu mano derecha! \_\_\_\_\_; ¡Tu oreja izquierda! \_\_\_\_\_; ¡Tu ojo derecho! \_\_\_\_\_

2.- ¡Haz como que

tiras una piedra	_____
clavas un clavo	_____
usas unas tijeras	_____
abres una puerta	_____
cortas con un cuchillo	_____
usas un borrador	_____
escribes tu nombre	_____

3.- ¡Escribe tu nombre!

mano preferida \_\_\_\_\_ segundos  
mano no preferida \_\_\_\_\_ segundos

4.- ¡Muéstrame como utilizas un telescopio! \_\_\_\_\_ ojo  
¡Apunta una pistola a mi nariz \_\_\_\_\_ ojo,  
¡A mi hombro! \_\_\_\_\_ ojo

5.- ¡Muéstrame como pateas un balón de futbol! \_\_\_\_\_ pie.  
¡Como matas una cucaracha! \_\_\_\_\_ pie.

6.- Fuerza de apretón. (toma el dinamómetro con el brazo extendido apuntando hacia el suelo y apriétalo lo mas fuerte que puedas)

1.- preferida _____ mm Hg	2.- no preferida _____ mm Hg
3.- preferida _____ mm Hg	4.- no preferida _____ mm Hg
total _____ mm Hg	total _____ mm Hg
_____ mano promedio _____ mm Hg	_____ mano promedio _____ mm Hg

7.- Tecleo: ¡Teclee 50 veces en 10 segundos!

número de tecleos \_\_\_\_\_ con la mano derecha  
número de tecleos \_\_\_\_\_ con la mano izquierda

MANO DOMINANTE

Tecleo: 10 % más rápida.

Dinamómetro: 10 % más fuerte.

Escritura del nombre: tiempo de la dominante x 2.5 tiene que ser igual o mayor que el tiempo de la mano no dominante.

## **RESUMEN**

**Francisco Javier Guzmán de la Garza**

**Universidad Autónoma de Nuevo León**

**Facultad de Medicina**

**Título del Estudio: SINCRONIZACIÓN DEL ELECTROENCEFALOGRAMA  
EN RESPUESTA A ESTÍMULOS VISUALES  
COLOREADOS.**

**Número de páginas: 56**

**Candidato para el grado de Maestría  
en Ciencias con especialidad en  
Fisiología Médica.**

**Área de Estudio: Fisiología Médica.**

**Propósito y Método del Estudio:**

La actividad cerebral ordenada, reflejada en la organización de los ritmos electroencefalográficos, es indispensable para la correcta adquisición, procesamiento y almacenamiento de información por el Sistema Nervioso Central. La estimulación controlada ha sido utilizada como una alternativa a las técnicas de retroalimentación con electroencefalografía la cual busca incrementar a través del aprendizaje ensayo-error, la cantidad de un ritmo determinado en un momento dado, las ventajas de la estimulación controlada es que no requiere la participación del sujeto. En el presente trabajo se buscó identificar las características ideales de un estímulo visual para incrementar las proporciones de los diversos ritmos. Así analizamos los ritmos electroencefalográficos de voluntarios y buscamos evidencias de aprendizaje a través de los potenciales visuales evocados, como parte del estudio vigilamos el comportamiento de algunas variables fisiológicas como la frecuencia respiratoria, la frecuencia cardíaca y la presión arterial como reflejo de la actividad no electroencefalográfica influenciada por la estimulación visual.

**Contribuciones y Conclusiones:**

Obtuvimos resultados que sugieren la existencia de plasticidad de la vía visual, identificamos cambios funcionales sugestivos de procesos de habituación y sensibilización después de estimulación periódica. No fue posible consolidar un engrama que relacionase la modalidad de estimulación y la actividad electroencefalográfica, sin embargo describimos la relación de la frecuencia del estímulo con la respuesta así como el incremento de actividad lenta tras la estimulación a frecuencias dentro del rango theta con color rojo y el aumento de actividad alfa con la estimulación con blanco y azul, así como modificaciones en la frecuencia cardíaca tras la estimulación con rojo y azul.

## **RESUMEN AUTOBIOGRÁFICO**

**Francisco Javier Guzmán de la Garza**

**Candidato para el Grado de**

**Maestro en Ciencias con Especialidad en Fisiología Médica**

**Tesis: SINCRONIZACIÓN DEL ELECTROENCEFALOGRAMA EN RESPUESTA A ESTÍMULOS VISUALES COLOREADOS.**

**Campo de Estudio: Ciencias de la Salud**

### **Biografía:**

**Originario y residente de Monterrey, Nuevo León, nacido el 22 de Noviembre de 1970**

**hijo de Francisco Javier Guzmán Sáenz y Laura Estela de la Garza Morales**

### **Educación:**

**Egresado de la Universidad Autónoma de Nuevo León, con grado de Médico Cirujano y Partero en 1988. Becario de Investigación. Depto. de Medicina Interna. Hospital Universitario Dr. José E. González Sep/1990 - Sep/1993.**

