



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
PROGRAMA DE MAESTRIA Y DOCTORADO EN PSICOLOGIA  
NEUROCIENCIAS DE LA CONDUCTA

**ANÁLISIS DE LAS OSCILACIONES ELECTROENCEFALOGRÁFICAS DURANTE  
LA PERCEPCIÓN MULTIESTABLE**

TESIS  
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
DOCTORA EN PSICOLOGIA

PRESENTA:

**ELISA ESTER ORTIZ CRUZ**

TUTOR PRINCIPAL:

DR. JORGE BERNAL HERNÁNDEZ. FES IZTACALA, UNAM

MIEMBROS DEL COMITÉ TUTOR:

DR. JUAN FELIPE SILVA PEREYRA. FES IZTACALA, UNAM

DR. FRUCTUOSO AYALA GUERRERO. FACULTAD DE PSICOLOGÍA, UNAM

DR. MARIO ARTURO RODRÍGUEZ CAMACHO. FES IZTACALA, UNAM

DRA. ROSALVA CABRERA CASTAÑÓN. FES IZTACALA, UNAM

LOS REYES IZTACALA, TLALNEPANTLA, ESTADO DE MÉXICO, SEPTIEMBRE 2021



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## AGRADECIMIENTOS

A la **UNAM** por ser promotora del desarrollo de ideas y avances en *pro* de la humanidad.

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología** por la extensión de la beca (480412/335718) para la realización de este trabajo.

Al Dr. **Jorge Bernal** por brindarme desde la llegada al laboratorio la confianza para desarrollar el proyecto bajo su supervisión y asesoría constante.

Al Dr. **Fructuoso Ayala** por su amistad y colaboración continua en proyectos durante más de una década.

Al Dr. **Juan Silva** por su flexibilidad para atender a las dudas que me surgían, ofreciéndome alternativas.

A la Dra. **Rosalva Cabrera** por la revisión de este manuscrito y por sus repetidas invitaciones a eventos que me permitieron ampliar mi experiencia en este campo.

Al Dr. **Mario Rodríguez** por su acompañamiento en el aprendizaje de los métodos electroencefalográficos.

Al Ing. **Héctor Rodríguez** por su colaboración en el desarrollo del programa de estimulación, la preparación del artículo y la conversación en temas diversos.

A las integrantes del **laboratorio de Neurometría, compañeras y compañeros** del doctorado, quienes con sus pláticas y acompañamiento forjamos una amistad.

Al Dr. **Serafín Mercado** por haber alentado mi interés en la percepción visual, atesoro su visión a la que se anticipó en que el reino vegetal adquirirá la completa absorción de luz.

A la Dra. **Erika Proal** y Mtra. **Regina Ojeda** por la confianza brindada todos estos años, permitiéndome desarrollar profesionalmente en el equipo de **Neuroingenia**.

A **Domi**, mi mamá, porque para ella jamás ha existido límite alguno; a mi papá, **Javier**, por su tenacidad para conducirse en la vida.

A mis hermanos **Aurora, Nidia y Roberto** por enseñarme a ver la vida desde diferentes perspectivas, porque a través de ellos puedo extender este agradecimiento a **Alejandro y Maite**.

A mi tía **Maqui**, mi tío **Jaime, Maqui y Arturo** por la alegría de sólo convivir y su apoyo incondicional.

## ÍNDICE

RESUMEN .....	1
CAPÍTULO I: PERCEPCIÓN VISUAL .....	3
BASES ANATOMOFUNCIONALES DEL SISTEMA VISUAL .....	3
PRINCIPIOS DE ORGANIZACIÓN PERCEPTUAL .....	7
CAPÍTULO II: PERCEPCIÓN MULTIESTABLE .....	13
FACTORES INVOLUCRADOS EN LA PERCEPCIÓN MULTIESTABLE .....	16
Influencia de procesos de bajo orden (Bottom-Up) .....	17
<i>El modelo de ruido neuronal.</i> .....	17
Influencia de procesos de alto orden (Top-Down) .....	19
PROTOCOLOS DE ESTIMULACIÓN VISUAL .....	22
Diseño de estimulación discontinua/intermitente. ....	22
Diseño de estimulación continua .....	24
ASPECTOS NEUROFUNCIONALES DE LA PERCEPCIÓN MULTIESTABLE .....	25
Características neuroanatómicas .....	26
Dimensiones electrofisiológicas en el estudio de la percepción multiestable .....	27
<i>Potenciales Relacionados a Eventos.</i> .....	28
<i>Evidencia electrofisiológica PREs en la percepción multiestable.</i> .....	29
<i>Microestados.</i> .....	32
<i>Hallazgos topográficos sobre la percepción multiestable.</i> .....	33
<i>Análisis espectrales de frecuencia y de tiempo.</i> .....	34
<i>Hallazgos de la dimensión de la Frecuencia y el tiempo en la percepción multiestable.</i> .....	36
CAPÍTULO III .....	41
JUSTIFICACIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	41
OBJETIVOS .....	44
OBJETIVO GENERAL .....	44
OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	44
HIPÓTESIS .....	45
RESULTADOS CONDUCTUALES ESPERADOS .....	45
RESULTADOS ELECTROENCEFALOGRÁFICOS ESPERADOS .....	45
CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA .....	46
MUESTRA .....	46

Criterios de inclusión.....	46
Criterios de exclusión para el grupo de estudio.....	46
<b>MATERIALES.....</b>	<b>47</b>
<b>DISEÑO DE LA TAREA.....</b>	<b>47</b>
<b>ADQUISICIÓN DEL EEG.....</b>	<b>49</b>
<b>ANÁLISIS.....</b>	<b>49</b>
Análisis de datos conductuales. ....	49
Pretratamiento de registros electroencefalográficos. ....	50
Estimación de la duración de épocas para el análisis espectral.....	50
Análisis Espectral de la señal.....	51
Análisis tiempo-frecuencia.....	52
<b>CAPÍTULO V.....</b>	<b>54</b>
<b>RESULTADOS.....</b>	<b>54</b>
<b>RESULTADOS CONDUCTUALES.....</b>	<b>54</b>
<b>RESULTADOS ELECTROFISIOLÓGICOS.....</b>	<b>56</b>
Análisis espectral de la señal.....	56
Análisis tiempo-frecuencia.....	63
<b>DISCUSIÓN.....</b>	<b>65</b>
LAS OSCILACIONES LENTAS EN LA PERCEPCIÓN MULTIESTABLE.....	66
LA OSCILACIÓN ALFA COMO ESTABILIZADORA DE LA PERCEPCIÓN.....	69
LAS OSCILACIONES RÁPIDAS PROMOTORAS DEL CAMBIO.....	72
LA PERCEPCIÓN MULTIESTABLE EN CONDICIONES CLÍNICAS.....	74
LIMITACIONES Y RECOMENDACIONES FUTURAS.....	75
<b>CONCLUSIÓN.....</b>	<b>78</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>79</b>
<b>ANEXO 1.....</b>	<b>88</b>

## RESUMEN

Los estados dependientes de la actividad intrínseca cerebral tienen una influencia sobre el procesamiento de la información del ambiente, esto se observa en el fenómeno de la percepción multiestable en donde existe una alternancia espontánea entre dos o más interpretaciones de un mismo estímulo ambiguo. La ocurrencia de multiestabilidad conlleva cambios dinámicos y aleatorios entre las percepciones que son mutuamente excluyentes. Estudiar este fenómeno nos permite describir la dinámica temporal entre diferentes estados del sistema perceptual; por ello, el objetivo del estudio fue evaluar las características de oscilación electroencefalográfica (EEG) que anteceden al cambio perceptual espontáneo durante la observación de una figura ambigua. Se diseñó una tarea de presentación continua de la figura del cubo de Necker (ambigua) que alternaba aleatoriamente con dos figuras similares de menor ambigüedad (inducidas). A lo largo de la presentación el participante indicaba con un botón cada vez que su percepción cambiaba. Para el análisis se consideraron tres condiciones: 1) Cambios perceptuales de la figura ambigua, 2) Cambios perceptuales de la figura inducida y 3) Periodos de No-cambio posteriores a la respuesta. Se realizaron análisis espectrales y de tiempo-frecuencia en 22 registros de participantes sanos con edad promedio de 19 años. Para los análisis estadísticos se realizó un ANOVA de medidas repetidas de 2 factores (condición x línea de electrodos) para cada una de las bandas del EEG (Delta, Theta, Alfa, Beta y Gamma). Los resultados mostraron que, entre los 1400 ms a 400 ms previos al reporte de cambio perceptual, hubo un incremento de oscilaciones Delta (1-3 Hz) y Theta (4-7 Hz) a lo largo de las regiones anteroposteriores con predominio derecho independientemente de la condición. Para la actividad Alfa (8-12 Hz) se identificó una contribución diferenciada de regiones parietales entre condiciones. Los resultados son consistentes con la literatura en donde se sugiere que las oscilaciones lentas están relacionadas con procesamiento de tareas de atención hacia representaciones internas, mientras que la actividad Alfa favorece la estabilidad perceptual.

**Palabras clave:** Percepción Multiestable, Visión, Oscilaciones Cerebrales, Análisis Tiempo-Frecuencia

## INTRODUCCIÓN

Los diferentes tipos de energía que existen en el medio ambiente son captados por los órganos sensoriales del cuerpo, así que una vez que la intensidad de estimulación alcanza los umbrales de excitación del receptor, éste transduce la información a un código único que reconocerá el sistema nervioso. Posteriormente, independientemente de la modalidad sensorial, el proceso perceptual seguirá una serie específica de procesos jerárquicos ascendentes hacia los núcleos talámicos (a excepción del olfato), la corteza sensorial primaria, la corteza sensorial secundaria y a la corteza de asociación. A medida que se avanza por un sistema sensorial se va pasando de niveles iniciales de alta especialización, que analizan de forma independiente componentes del estímulo, hasta llegar a niveles superiores relacionados con la unificación e interpretación de la información, en el que a través del uso de principios de integración se logra conformar la experiencia perceptual.

En la especie *Homo sapiens* la visión es una función biológica importante que nos provee información espacial precisa del ambiente, permitiéndonos conocer a la distancia sus características, la localización y las oportunidades de uso. La percepción visual se trata de un proceso de construcción activa que transforma patrones de dos dimensiones, captados por la retina, a objetos complejos tridimensionales. Desde los primeros estadios de la visión el organismo se enfrenta a cierta ambigüedad ante la interpretación de la información, por lo que cada constructo es una elección a través de un infinito de posibilidades y perfeccionado por el uso de reglas visuales y la práctica.

Bajo condiciones inusuales, cuando la información del medio ambiente es restringida e incompleta, tienden a ocurrir las ilusiones ópticas, en este caso la percepción multiestable es un ejemplo de esta condición y muestra claramente la naturaleza constructiva de la percepción. Este fenómeno se presenta durante la observación de figuras ambiguas donde el estímulo visual es el mismo pero diferentes representaciones internas se alternan en el tiempo. El estudio de la percepción multiestable se ha abordado desde el nivel conductual hasta la descripción de su sustrato neurofisiológico con la finalidad de estudiar las bases neurales de la conciencia visual.

# CAPÍTULO I: PERCEPCIÓN VISUAL

---

## BASES ANATOMOFUNCIONALES DEL SISTEMA VISUAL

El proceso de la visión inicia cuando la luz que reflejan los objetos atraviesa el globo ocular llegando a la parte posterior de éste, estimulando en un patrón espaciotemporal a los fotorreceptores de la retina (los conos y los bastones). Los bastones son más numerosos (alrededor de 120 millones) y extremadamente sensibles a la luz, por lo que son los responsables de la visión en condiciones de poca luminosidad. Por el contrario, los conos son menos abundantes (alrededor de 8 millones) y menos sensibles a la luz, ellos se encuentran altamente concentrados en el centro de la retina y son responsables de la experiencia visual bajo condiciones normales de luminosidad y la visión al color (Palmer, 1999).

Una vez estimulados los fotorreceptores, la producción de potenciales graduados influyen la activación de células bipolares y células amacrinas, las cuales actúan como interneuronas retinianas con las células ganglionares (Nelson, 2007). En los vertebrados, las células ganglionares son el sistema más complejo de procesamiento de información en la retina, puesto que se trata de las primeras células en el sistema visual en producir descargas neuronales hacia el encéfalo (Palmer, 1999).

Existen diferentes tipos de células ganglionares, aquellas que son tipo *ON* responden ante la presencia de estimulación transitoria de luz y descargan de forma sostenida a través de la estimulación fótica. Las de tipo *OFF* se silencian cuando el estímulo de luz está presente, mientras que aquellas de tipo *ON-OFF* disparan al comienzo de la estimulación luminosa, silenciándose de inmediato y volviendo a disparar al cesar la luz (Nelson, 2007).

Además, las células ganglionares de la retina están divididas en dos categorías generales que se distinguen por presentar diferentes propiedades dinámicas. Las células M, llamadas así porque forman la vía Magnocelular, de cuerpos celulares grandes con un mayor campo

receptivo, muestran una respuesta fásica al incremento de luz, con una velocidad de conducción rápida a través del nervio óptico ( $\approx 0.25\text{m/ms}$ ). Las células M muestran una resolución temporal alta y son fuertemente sensibles a los bajos contrastes, disminuyendo su adaptación ante los contrastes altos (Kaplan & Benardete, 2001; Solomon, Peirce, Dhruv & Lennie, 2004).

Por el contrario, las células P, que forman la vía Parvocelular, son células pequeñas con campos receptivos de menor tamaño ( $\approx 15\text{micrometros}$ ) en la superficie de la retina. Responden de forma tónica al estímulo de luz, con una velocidad de conducción lenta. Estas células responden mejor a estímulos con alto contraste (Nelson, 2007) y no muestran procesos de adaptación a éstos (Solomon et al., 2004).

Las terminaciones axónicas de las células ganglionares salen del ojo a través del nervio óptico, y después de decusarse en el quiasma óptico, el 90% de estas fibras llegan a las seis diferentes capas del Núcleo Geniculado Lateral (NGL) del Tálamo (Kaplan & Benardete, 2001); mientras que el resto de este porcentaje se dirige hacia las regiones del colículo superior (Nelson, 2007).

Los axones de las células M se proyectan a las dos capas magnocelulares inferiores del NGL. Al igual que las células ganglionares M, las neuronas talámicas magnocelulares tienen somas grandes, son bastante sensibles a las diferencias de contraste y exhiben respuestas transitorias. Las neuronas magnocelulares procesan información de movimiento y profundidad (Kaplan & Benardete, 2001; Palmer, 1999; Yeshurun & Sabo, 2012).

Por su parte, los axones de las células P proyectan a las cuatro capas superiores del NGL, esta sección contiene neuronas parvocelulares de cuerpos y campos receptivos pequeños, insensibles al contraste, altamente selectivas al color y una resolución espacial alta con una duración de respuesta larga y una lenta caída de activación (Palmer, 1999; Yeshurun & Sabo, 2012); este tipo de células juega un papel primordial en el procesamiento de color y forma (Kaplan & Benardete, 2001).

Posteriormente, estas dos vías se continúan de forma hemilateral a través de la radiación óptica a capas separadas de la corteza visual primaria (corteza estriada o V1), situada en los labios de la cisura calcarina del lóbulo occipital, en donde existe una representación completa de la retina (mapa retinotópico) (Antúnez, 1996).

Desde los estudios electrofisiológicos e histológicos de la corteza visual en monos realizados por Hubel & Wiesel (1968), se sabe que la corteza estriada tiene una representación retinotópica, dentro de un sistema vertical y otro horizontal, organizado en columnas y capas, respectivamente; actualmente las técnicas de neuroimagen estructural han dado soporte a estos hallazgos (Cheng, 2016).

En el sistema vertical, cada columna codifica de forma independiente alguna de las dimensiones de los estímulos, como su posición del campo receptivo en la retina, orientación de la línea, dominancia ocular, dirección del movimiento, codificación del color. Lo anterior quiere decir que una pequeña región de la corteza estriada analiza una reducida parte del campo visual; por ejemplo, en las columnas que codifican la orientación de líneas y contornos, las células superficiales son sensibles a un grado específico de inclinación de la línea (e.g 90°), así que conforme se va descendiendo en la columna, las células subsecuentes muestran pequeñas modificaciones de activación a los cambios regulares de la orientación del estímulo hasta completar el ángulo de 360 ° (Hubel & Wiesel, 1968).

En el sistema horizontal se encuentran diferentes tipos de células corticales, las células simples y las complejas. Las células simples se encuentran en las capas III, IV, de tipo monocular y se definen por tener campos receptivos ON y OFF con áreas bien delimitadas espacialmente; estas células responden a la luminosidad de bordes y orientación de líneas, por lo que conociendo la configuración exacta de un campo dado es posible predecir los parámetros del estímulo: tamaño, forma, orientación y posición en la retina (Hubel & Wiesel, 1968).

Por su parte, las células complejas son el tipo más común, ya que cerca del 75% de las neuronas se encuentran organizadas horizontalmente en las capas superiores (II y III), además de que son más abundantes en las regiones extraestriadas periféricas a V1. En estas

neuronas no existe una clara separación de sus campos receptivos excitatorios e inhibitorios, ellas evocan respuesta ante la orientación de líneas, en particular a líneas en movimiento. Las células hipercomplejas, al igual que en las anteriores, se encuentran en las capas II y III, ellas pueden detectar cualquier cambio de dirección de los contornos, por lo que cuando se extiende la línea más allá de la parte activa de su campo receptivo causa que las células se apaguen y no respondan (Hubel & Wiesel, 1968).

La representación estable del espacio visual no se logra hasta las etapas tardías de la jerarquía cortical, por medio de dos distintas vías anatómicas y funcionales: la vía occipito-temporal ventral y la vía occipito-parietal dorsal. La primera va desde la V1 hasta la parte inferior de la corteza temporal, y está relacionada con el procesamiento de las características de color y la representación de objetos. Se ha propuesto que la región temporal inferior opera a través de módulos de representación de categorías y muestra diferentes niveles de interpretación dependiendo del tipo de estímulo; por ejemplo, las caras son reconocidas a nivel individual, mientras que los objetos típicamente se reconocen a nivel de categoría. Depende también de la resolución deseada, ya que aquellos objetos cuyo reconocimiento depende del análisis de detalles finos se asocia a vías de representación centrales, mientras que los objetos que requieren de la integración a gran escala se asocian a vías de representación periférica (Grill-Spector, 2003).

La vía occipito-parietal dorsal que va desde la región V1 hasta la parte posterior de la corteza parietal, procesa información relacionada con la ubicación y movimiento de los objetos, ésta se activa ante la presentación de objetos o escenas, pero no ante la observación de caras y animales (Grill-Spector, 2003). Dentro de esta vía se hace una subdivisión, la parte parieto-premotor y la parieto-medial; la parte más rostral de la vía dorsal conecta con sistemas sensoriomotores y se encuentra al servicio de conductas visomotoras (Freud, Plaut & Behrmann, 2016).

Actualmente se ha propuesto que regiones caudales-mediales de la vía dorsal también podrían estar asociadas con la representación de las propiedades visuales y la representación de objetos 3D; ya sea porque en las regiones parietales posteriores (V7, los

surcos intraparietales 1 y 2) ocurra una extracción implícita de información *affordance* (conjunto de acciones potencialmente disponibles que ofrece el ambiente/objeto) que se encuentra al servicio de respuestas motoras; o bien su activación sea consecuencia del acoplamiento anatómico del fascículo occipital vertical que conecta con vías posteriores del lóbulo parietal con la formación hipocampal y parahipocampal de la vía ventral (Freud et al., 2016).

## **PRINCIPIOS DE ORGANIZACIÓN PERCEPTUAL**

La percepción visual es un proceso de extracción y selección de la información circundante dentro de unidades simples que permite adquirir noción del objeto; a este respecto, existen diferentes marcos conceptuales que tratan de explicar cómo es que se construye la percepción de los objetos. La teoría de la Gestalt es uno de ellos, en el que se asume un nativismo perceptual cuyo propósito es la organización de la información del ambiente dentro de una representación mental simple.

La teoría de la Gestalt establece una serie de principios que describen la forma en que la actividad perceptual se encarga de construir la noción de los objetos, el primero de ellos y más importante es el concepto de *Forma*, puesto que asume que la representación del objeto se hace a través de la identificación de sus contornos (Wagemans, et al., 2012); en muchos de los casos podemos prescindir del acceso total a la información para la formación de los contornos, gracias al principio de *Cierre* que permite reconstruir la totalidad de la forma a partir del acceso a pequeñas partes del estímulo (Oviedo, 2004).

En cuanto a los principios que hablan sobre cómo se organizan y agrupan los elementos ambientales en una sola representación mental, la *Pregnancia* establece que se hace de manera simple y regular; además que con la ley de la *Proximidad* se explica cómo los elementos más próximos entre sí tienden a ser vistos de manera integrada. El grado de similitud entre la información también es importante, es el principio de *Semejanza* o *Igualdad* el que establece que aquella información homogénea que tiende a repetirse con mayor frecuencia es atendida y captada en una sola unidad (Oviedo, 2004; Wagemans, et

al., 2012). Finalmente, el principio de *Figura-Fondo* se ocupa de la identificación de los altos contrastes para distinguir la figura que sobresale del fondo, este último concepto se trata de un elemento homogéneo que ofrece un grado de información constante e invariable (Oviedo, 2004).

Una de las principales críticas a la teoría de la Gestalt es que los planteamientos de organización perceptual se ubican en un nivel descriptivo, pero no intenta explicar el fenómeno, en ella se asume un carácter pasivo e innato de la representación mental (Wagemans, et al., 2012). Parte de este problema ha sido abordado en experimentos de corte cognoscitivo, donde se sugiere que la percepción visual es un proceso de construcción activa, diferente de procesos puramente ópticos, que permite adquirir conocimiento acerca de los objetos y eventos ambientales a través de la extracción de la información óptica emitida por los objetos tridimensionales y proyectada sobre superficies bidimensionales en la retina; al respecto, este último punto tampoco fue algo que la teoría de la Gestalt lograra explicar, dado que la descripción de los principios se basa en ejemplos de representaciones bidimensionales de estímulos geométricos (Hoffman, 2000; Palmer 1999).

Bajo este concepto, la experiencia visual no se trata de un acceso directo al ambiente, ya que la percepción visual cambia todo el tiempo y se adapta a condiciones particulares; por ejemplo, el incremento en la sensibilidad a la luz se llama adaptación a la oscuridad, por lo que se pueden tener diferentes experiencias visuales de un mismo ambiente físico en diferentes estados de adaptación (Palmer, 1999).

Un componente crítico de la visión es la creación de entidades visuales para la representación de objetos y superficies. La entidad construida es una elección entre incontables interpretaciones posibles, basado en la probabilidad (Cavanagh, 2011) y años de entrenamiento (Hoffman, 2000).

El psicólogo Hoffman (2000) propone que la construcción de la percepción se hace a partir de ciertas reglas visuales, implícitas en la actividad mental, que reducen la gama de posibilidades construidas. Este proceso tiene diversas fases y habitualmente la construcción en uno de los estadios depende de los resultados en niveles anteriores.

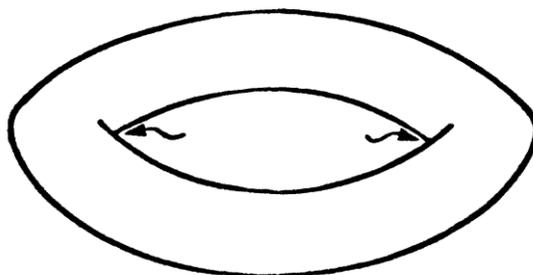
Hoffman (2000) describe 29 reglas agrupadas en tres aspectos importantes a considerar para el reconocimiento de los objetos: 1) representación de objetos en un espacio tridimensional, 2) identificación de objetos y 3) reconocimiento de sus partes esenciales. El primero de ellos trata de las reglas de las *visiones genéricas*, a través de las cuales construimos mundos tridimensionales para los que la imagen sea una visión estable, no una visión accidental o casual. Entenza (2008) resume esta cuestión ejemplificando que cuando vemos una línea recta, la visión más estable será ver una línea recta, no un círculo visto de perfil o cualquier otro objeto que accidentalmente pudiera mostrarnos esa línea.

Generalmente interpretamos líneas, vértices o líneas colineales como líneas tridimensionales en el espacio, lo que nos permite la percepción de profundidad. Los elementos adyacentes a la imagen también heredan estas cualidades (ley de la *proximidad*).

De la misma manera, la regla de las visiones genéricas sirve para la interpretación de curvas como superficies lisas en 3D. Las uniones de dos líneas perpendiculares (unión "T") permiten la construcción de profundidad, ya que a partir de esta unión en T se construyen bordes, cambios de dirección, curvas hacia dentro o hacia afuera (Entenza; 2008) (Figura 1).

### Figura 1

*Representación de las uniones en T*



*Nota.* Se observa un objeto tridimensional que se curva en el espacio. La unión T indicada por flechas en la imagen, se interpreta como el punto en el que el borde completo se oculta a sí mismo (Hoffman, 2000).

El otro grupo de reglas corresponden al principio de las relaciones no accidentales, éstas permiten decidir qué partes de la interpretación deberían agruparse en un mismo objeto. Esta regla establece que si dos estructuras visuales mantienen una relación que no es casual o accidental, se agrupan y se asignan a un origen común; es decir, que si dos bordes son paralelos entre sí se agruparán como bordes de un único objeto (Hoffman, 2000).

El resto de las reglas dictan las leyes para la identificación de las partes de una escena visual. Existen incontables modos de dividir las formas en sus partes constitutivas, esos elementos deben cumplir con algunas condiciones: necesitan ser partes estables que no se modifiquen independientemente del punto de vista del observador, además de que estas partes puedan construirse a partir de una amplia variedad de objetos. No obstante, hasta el momento los estudios cognoscitivos no han encontrado un conjunto de formas básicas.

De acuerdo con Hoffman (2000), la regla de la *intersección transversal* dicta que si dos formas arbitrarias que se atraviesan al azar generan una intersección transversal cóncava en el punto donde se unen, esto nos permitirá localizar los puntos en que los dos objetos se intersecan.

La regla de los *mínimos negativos* permite dividir el objeto en sus partes a partir de aquellos puntos con regiones cóncavas, donde la magnitud de la curvatura está más pronunciada; esto se refiere que para reconocer la figura del fondo elegiremos los puntos de curvatura máxima (ley de la *prominencia de los límites*). Es importante mencionar, que estas partes percibidas corresponden precisamente a las unidades que podemos nombrar con palabras simples (e.g. ante la observación de un rostro de perfil distinguiremos estas unidades como nariz, boca, mentón, etc.). Otros aspectos importantes que facilitan la identificación de figuras es la simetría de patrones visuales independientemente de la repetición de éstos (Singh & Hoffman; 1997).

Como se ha visto hasta ahora, el desarrollo tradicional sobre las ciencias de la visión se ha encaminado en comprender las reglas aprendidas de interpretación de los estímulos visuales, lo que presupone el uso de conocimiento a priori sobre el orden en que se construirá la representación del objeto. Esta interpretación concibe a la visión como un

proceso inferencial basado en reglas estándar, las cuales se aplican a las propiedades del ambiente y que resultará en la construcción de la representación perceptual.

Las ideas anteriores forman parte de un enfoque *internalista* que utiliza el conocimiento almacenado del mundo para reducir las interpretaciones posibles producidas por la estimulación retiniana; aquí se han involucrado los sistemas bayesianos en la generación de hipótesis sobre la causa más probable de la representación del estímulo ambiental. Estas reglas funcionan bien cuando los objetos en el mundo son rígidos, presuponiendo que la estimulación de la retina es típicamente rígida, por lo que terminamos viendo el mundo de esta manera (Orlandi, 2012a). No obstante, en ocasiones la visión puede ser inestable, ejemplo de ello son las ilusiones ópticas y especialmente el fenómeno de la multiestabilidad perceptual, en donde a pesar de la permanencia invariable del estímulo la experiencia perceptual cambia de una representación a otra.

Palmer (1999), promotor de la visión internalista, sugiere que la existencia de ilusiones ópticas, como las figuras ambiguas, son prueba directa de la naturaleza interpretativa, constructiva e inferencial de la percepción, involucrando procesos complejos y creativos en la visión. Sin embargo, a esta idea inferencial se le contrapone la corriente *externalista*, que hace referencia a una explicación más integral y parsimoniosa, en la que el sistema visual depende directamente de las regularidades ambientales, lo que le permite producir representaciones directas, incluso en niveles tempranos de la retina (Orlandi, 2012a). Considerar esta postura excluiría la mediación de otras etapas de representación intermedias y los cambios perceptuales estarían mediados por el rol atencional, de esta manera Orlandi (2012b) afirma que “Nada particularmente creativo está involucrado en mirar el mundo en diferentes formas, los cambios son provocados por la curiosidad, no por la interpretación” (pp. 569).

Como conclusión, en esta sección se revisaron los mecanismos cerebrales implicados en el procesamiento de la información óptica, iniciada en la retina y transmitida por vías de conducción rápidas y lentas a las cortezas cerebrales de análisis primario, secundario y de asociación. En cuanto a las teorías que explican la manera en la que se construye la

representación mental del objeto, la Gestalt establece leyes innatas de integración de la forma; mientras que la noción *internalista* presupone procesos activos de aprendizaje, cuyos principios reducen las múltiples posibilidades de percepción 3D de los objetos. Finalmente, la teoría *externalista* excluye los procesos jerárquicos de construcción y sugiere un proceso directo guiado por procesos de atención hacia las partes del estímulo.

## CAPÍTULO II: PERCEPCIÓN MULTIESTABLE

---

A lo largo de las décadas, el estudio de la percepción visual ha sido elegido con mayor frecuencia para indagar las rutas que sigue el sistema nervioso durante el procesamiento de la información, dada su alta especialización en la especie humana y su amplia cobertura de procesamiento en la corteza cerebral. Metodológicamente también tiene la ventaja de modular dentro de un amplio espectro los diferentes parámetros que definen al estímulo sensorial, lo que ha permitido seguir las vías y áreas cerebrales asociadas a cada estadio del procesamiento de la información visual.

Los sistemas sensoriales responden en gran medida a los cambios exógenos que ocurren en el estímulo, lo que hace posible que los constructos perceptuales representados por el individuo le permitan responder de forma fiable a las demandas ambientales. Los estudios sobre la percepción multiestable han añadido un componente al entendimiento del procesamiento de la información, ya que también se ha demostrado la influencia de procesos endógenos de alto orden. Este sistema se pone en marcha cuando existen factores internos dirigidos a metas o bien cuando en el ambiente la información que se provee es incompleta.

El fenómeno de la multiestabilidad describe aquellos sistemas dinámicos no lineales encontrados en muchas ciencias naturales como la física, química, biología, los ecosistemas y las ciencias computacionales. La característica de estos sistemas es la coexistencia de posibles estados finales estables (*atractores*); en el ámbito del sistema perceptual visual los estados resultantes finales serán las posibles representaciones mentales de un mismo estímulo. El estado final, en el cual el sistema converge, dependerá crucialmente de las condiciones previas del sistema, además de que la estabilidad de estos estados es bastante sensible a los cambios endógenos, al ruido o a otra perturbación externa que hace que el sistema cambie de un *atractor* a otro (Pisarchik & Feudel, 2014).

Dicho lo anterior, se puede definir a la percepción multiestable como la alternancia espontánea entre dos o más estados perceptuales cuando la información que se presenta es ambigua (Schwartz, Grimault, Hupé, Moore & Pressnitzer, 2012). Las evidencias de los estudios sugieren características en común de la percepción multiestable a través de las modalidades visuales, auditivas, olfativas y táctiles (Huguet, Rinzel & Hupé, 2014):

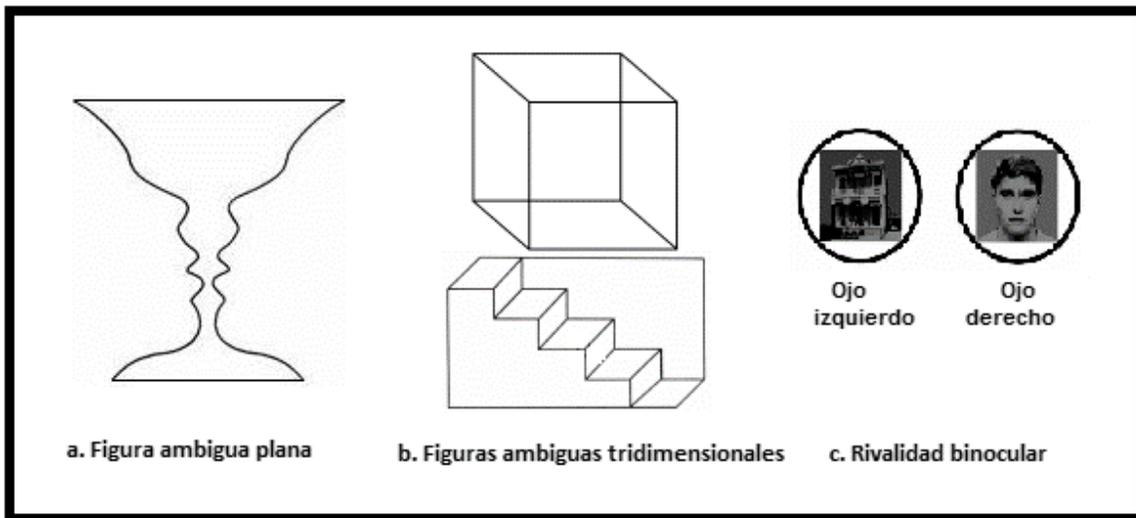
- Las percepciones son mutuamente excluyentes, por lo que es imposible percibir al mismo tiempo todas las representaciones posibles.
- La percepción es dinámica, ya que las diferentes percepciones se alternan en el tiempo; algunos factores como la atención (Intaitė, Noreika, Šoliūnas, & Falter, 2013) o las características de los estímulos pueden cambiar la frecuencia de cambio (Kornmeier, Hein & Bach, 2009).
- La aleatoriedad de la percepción se refiere a que la duración de los cambios perceptuales sigue una distribución normal logarítmica (o distribución *Gamma*); es decir, que no hay correlación entre las duraciones de estabilidad perceptual de los episodios sucesivos (Van Ee, 2009; Huguet et al., 2014).

El estudio de la percepción multiestable se ha centrado principalmente en el sistema visual mediante el uso de figuras biestables (dos interpretaciones), las cuales incluyen a las figuras ambiguas y a la rivalidad binocular (Figura 2). El estudio de este tipo de percepción brinda la oportunidad para investigar los mecanismos biológicos de la incertidumbre perceptual generada por la multiestabilidad de las representaciones.

En lo que respecta a las figuras ambiguas, pueden ser de diferentes tipos, las figuras planas en donde la percepción se alterna entre la figura y el fondo, como la figura de *copa-cara de Rubin* (Figura 2.a). Según los principios internalistas de organización perceptual (Hoffman, 2000), este tipo de representación se rige por la regla de los mínimos, en donde aquellos puntos de curvatura máxima determinan cuáles son los mínimos de las partes percibidas de la figura.

## Figura 2

*Ejemplos de figuras que provocan cambios perceptuales*



Otro tipo de figuras ambiguas son las que se perciben con profundidad, la figura más representativa es el cubo de Necker o las escaleras de Schröder (Figura 2.b), la primera se explica por las reglas de las visiones genéricas, mientras que las escaleras de Schröder tiene que ver con las convexidades prominentes (Hoffman, 2000). También hay estímulos visuales que generan un efecto estroboscópico, produciendo la percepción de alternancia entre la dirección del movimiento (Mathes, Khalaidovski, Schmiedt-Fehr & Basar-Eroglu, 2014). Por su parte, en la rivalidad binocular una de dos figuras diferentes se presenta en cada ojo simultáneamente, por lo que la percepción se alternará entre estas dos imágenes (Figura 2.c).

A pesar de que se ha tratado de explicar las reglas de construcción que rigen a las figuras ambiguas, la aproximación *internalista* es incapaz de definir el cómo es que se produce el cambio de representación. Por su parte, la visión *externalista* supone que el sistema visual que depende directamente de la regularidad del entorno y produce una única representación estable, atribuye una dimensión temporal al papel de la atención como aspecto fundamental al cambio perceptual, ya que al dirigir la atención hacia cierta localización del estímulo se revelan propiedades específicas del ambiente, aquí se le

atribuye una función importante a la ocurrencia esporádica de los movimientos oculares (Orlandi, 2012b).

El uso de las figuras ambiguas y la rivalidad binocular han sido estudiados de forma independiente. Una de las principales diferencias se encuentra en la forma de presentación de los estímulos, ya que la rivalidad binocular involucra la competencia perceptual entre dos imágenes, mientras que la percepción multiestable de las figuras ambiguas involucra la competencia entre dos interpretaciones de una misma imagen.

La literatura indica que, aunque estos dos fenómenos comparten características similares, puede tratarse de mecanismos neurofisiológicos diferentes (Meng & Tong, 2004). La rivalidad binocular parece que ocurre en estados tempranos del procesamiento visual, por lo que puede ser un proceso automático; mientras que la percepción de las figuras ambiguas se encuentra asociada a la activación de áreas extraestriadas ventrales. Por esta razón, la rivalidad binocular, en comparación con las figuras ambiguas, suele ser más susceptible a la influencia de factores físicos como el cambio de contraste o la modificación del punto de fijación de la mirada (Van Dam & van Ee, 2006), además de estar influenciados por la dominancia ocular del observador, así que estas características lo hacen un buen modelo para el uso en investigaciones con animales (Leopold & Logothetis, 1999).

Por otra parte, las figuras ambiguas son más susceptibles al control voluntario de la persona, por lo que la mayoría de las investigaciones lo utiliza como modelo para estudiar procesos de alto orden como la conciencia visual, la toma de decisiones y los procesos de control atencional (Kornmeier et al., 2009).

## **FACTORES INVOLUCRADOS EN LA PERCEPCIÓN MULTIESTABLE**

Los estudios de inestabilidad perceptual han sido estudiados por dos principales aproximaciones que juegan un papel importante en la explicación del fenómeno perceptual: la influencia Bottom-Up (sensorial) y el procesamiento Top-Down (cognoscitivo) (Intaité et al., 2013; Kornmeier et al., 2009).

### **Influencia de procesos de bajo orden (Bottom-Up).**

La aproximación Bottom-Up asume que los cambios perceptuales resultan de la adaptación pasiva de los sistemas visuales y de la mutua inhibición de la competición de las unidades neurales de las áreas visuales. En este aspecto, varios estudios han mostrado efectos de adaptación neuronal (Long & Olzsweski, 1999), efectos de las características de estimulación y el modo de presentación (Kornmeier & Bach, 2012). Kornmeier y cols. (2009) encontraron un menor número de cambios perceptuales cuando el tiempo de presentación de los estímulos era mayor. También observaron que la duración interestímulo influye en los cambios, ya que mientras más corto sea el tiempo entre un estímulo y otro es más probable que se presente un cambio en la percepción.

Los parpadeos y sacadas también juegan un papel activo en el incremento de los cambios perceptuales en diseños de presentación de figuras ambiguas y mayormente para la rivalidad binocular (van Dam & van Ee, 2006). En un estudio con la figura de Necker se encontró que el parpadeo se presenta 250 ms y las sacadas 150 ms antes de que la persona indicara la presencia de un cambio perceptual (Nakatani, Orlandi & van Leeuwen, 2011).

Otro efecto importante es el punto de fijación de la mirada, en el que se ha descrito una correlación positiva con los cambios perceptuales. Los estudios han indicado que en el caso de la figura del cubo de Necker se observan cambios en la posición de los ojos que van en el sentido de la dirección de la orientación percibida; sin embargo, los movimientos de la mirada se registran después de que el voluntario indicó el cambio perceptual (Einhäuser, Martin, Köning, 2004; Van Dam & van Ee, 2006), por lo que los cambios en la posición de la mirada pudieran no ser un efecto causal de los cambios.

### ***El modelo de ruido neuronal.***

Si bien es cierto que el sistema Bottom-Up es guiado por la variación de las características de los estímulos, también se involucra un componente inherente al sistema nervioso. Los modelos clásicos que intentan explicar el fenómeno de la percepción multiestable,

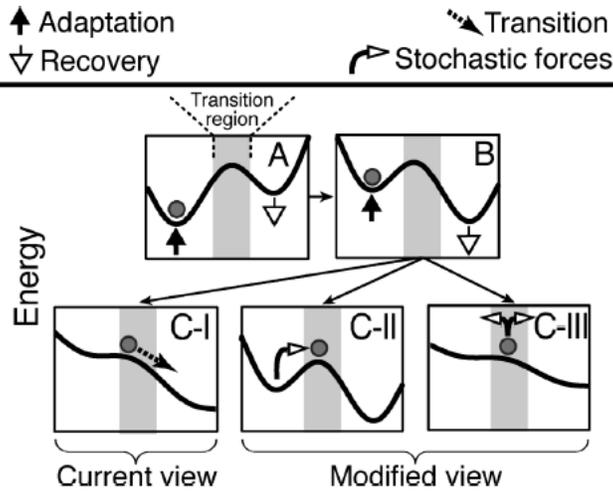
proponen que los cambios perceptuales de figuras ambiguas son producto de la adaptación neuronal y de la inhibición cruzada. Las distintas interpretaciones de un estímulo ambiguo tienen representaciones neurales y éstas inhiben la actividad de cada una (Wilson & Cowan, 1972), así que cuando una representación adquiere más fuerza que la contraparte, entonces la fuerza inhibitoria de esta última también incrementa. Los efectos de la adaptación hacen que gradualmente exista un decremento en la representación actual hasta el punto de dirigirse hacia la dirección opuesta.

Adicionalmente se ha propuesto la inclusión de un tercer componente al modelo, conocido como “ruido neuronal”, que se asocia con la actividad aleatoria cerebral. Este componente ocurre en una escala de tiempo de milisegundos y juega un papel determinante en la rivalidad visual (Brascamp, van Ee, Noest, Jacobs & van den Berg, 2006; Shpiro, Moreno-Bote, Rubin & Rinzel, 2009). De esta manera, el papel del ruido neuronal podría cumplir el rol de control de cambios perceptuales, mientras que la adaptación neuronal modularía este proceso. Esta aproximación del sistema dinámico pudiera explicar la capacidad del cerebro para auto organizarse.

Este modelo que se encuentra representado en la Figura 3 y muestra la dinámica perceptual de la rivalidad binocular, los cuadros de la parte superior ilustran el estado del sistema (representada por la canica) que se encuentra en un determinado escenario de energía (conocido como atractor) que corresponden al ojo derecho y al ojo izquierdo. El cuadro A ilustra que el estado del sistema ocupa el atractor izquierdo que implica la dominancia del ojo izquierdo. El cuadro B representa los estados de transición de los escenarios, así que conforme pasa el tiempo el atractor izquierdo se va adaptando (flecha negra) y el atractor derecho recupera su energía (flecha blanca). El cuadro inferior C-I esquematiza la propuesta de los modelos clásicos de adaptación, una vez que el atractor se adaptó el sistema pasa automáticamente al siguiente estado de percepción. Los cuadros C-II y C-III introducen la nueva variable de ruido neuronal, concebida como una fuerza estocástica que impulsa al sistema a moverse a la zona de transición y posteriormente, dependiendo de la información de ese ruido, determinará si el sistema vuelve al atractor previo o pasa al atractor opuesto.

**Figura 3**

*Representación del modelo ruido y rivalidad perceptual*



*Nota.* Tomado de Brascamp et al. (2006).

Este modelo de ruido neuronal se ha reproducido con modelos computacionales para explicar la adaptación compleja de sistemas. Los pocos estudios empíricos realizados lo han hecho estudiado exclusivamente con un diseño de rivalidad perceptual; Van Ee (2009) investigó el rol del ruido en la adaptación neuronal, presentando figuras de rivalidad binocular con diferentes condiciones de variación del contraste para manipular el efecto de la adaptación neuronal. Observó en todas las condiciones una función de distribución Gamma para la frecuencia perceptual. Además, el análisis de estabilidad de la percepción presentó correlaciones casi nulas entre el tiempo de estabilidad de un cambio con el tiempo de estabilidad de la percepción previa. Este tipo de distribuciones y de correlaciones son característicos de datos que se presentan de manera aleatoria en los sistemas estocásticos.

### **Influencia de procesos de alto orden (Top-Down).**

Para construir objetos debemos construir partes y reunir las según las relaciones espaciales coherentes, así que la atención juega un papel fundamental en la unión de estos elementos para formar la escena visual. La percepción no es un proceso puramente guiado por

estímulos, dependerá de las necesidades, metas, planes y deseos. Nuestra percepción está influenciada por algunas restricciones cognoscitivas de alto nivel (Palmer, 1999) que nos permite cubrir la sobrecarga de nuestro limitado sistema visual para confrontar con selectividad y priorizar la información relevante (Barbot, Kimchi & Carrasco, 2018).

La aproximación Top-Down asume que los cambios perceptuales son resultado de procesos cognoscitivos como la atención, expectativa, toma de decisiones y aprendizaje (Lim & Sinnett, 2014; Mathes, Struber Stadler & Basar-Eroglu, 2006; Van Ee, Van Dam, & Brouwer, 2005). En los estudios con figuras ambiguas generalmente se estudian tres tipos de condiciones, una “neutra” en la que se deja que los cambios perceptuales se den libremente en la persona, otra en la que se le pide mantener una sola percepción, es decir prevenir su reversibilidad de determinada orientación; la tercera condición en la que se pide realizar propositivamente lo más rápido posible los cambios a la orientación contraria cada vez que se presente un cambio perceptual (Kornmeier et al., 2009; Mathes et al., 2006). Los resultados conductuales indican que al mantener una percepción el mayor tiempo posible, disminuyen los cambios perceptuales y la estabilidad de la percepción se incrementa en comparación con el desempeño durante la condición neutra.

Otro aspecto cognoscitivo al que se le ha puesto atención es la memoria de trabajo, dado que la ejecución de tareas que involucran a la percepción multiestable requiere la toma de decisiones, por lo que puede haber un requerimiento de la memoria de trabajo especialmente durante las presentaciones intermitentes del estímulo, ya que la transición entre un estado perceptual al siguiente puede estar modulado de alguna forma por la memoria perceptual. Si los estímulos y los intervalos interestímulo se presentan con mayor duración (en la escala de segundos), los participantes tienden a percibir el estímulo ambiguo en la misma interpretación que el estímulo anterior (Brascamp, Pearson, Blake & van den Berg, 2008). Adicionalmente estudios neurofisiológicos han descrito su correlato neuronal ubicado en zonas frontales que se relaciona con la memoria de trabajo (Kornmeier & Bach, 2012).

Intaité, Koivisto y Castelo-Branco (2014) estudiaron cómo la carga de memoria afecta la frecuencia de los cambios perceptuales y modifica las características electrofisiológicas asociadas a la presencia de estos cambios. Durante la observación de la figura ambigua se les pedía a los participantes recordar determinado material de baja y alta carga en la memoria de trabajo. Cuando el contenido del material a memorizar era bajo, la frecuencia de los cambios perceptuales no se modificó; sin embargo, cuando aumentaba la cantidad de información a recordar, la frecuencia de los cambios perceptuales disminuyó.

La frecuencia de los cambios perceptuales también se ha visto modificada en tareas simultáneas de atención a un estímulo auditivo. A lo largo de la literatura, se ha propuesto la influencia de procesos de control atencional dirigido, por lo que un diseño que involucre tareas simultáneas de atención ocupa los recursos de este sistema modificando la frecuencia de los cambios perceptuales, observándose un conforme aumenta la cantidad de distractores (Alais, Boxtel, Parker & van Ee, 2010).

Hasta este momento se ha descrito a la percepción multiestable como un fenómeno dinámico en el que se alternan múltiples interpretaciones de un mismo estímulo, ya sea a través de tareas de rivalidad binocular o con el uso de figuras ambiguas. Los factores que influyen en la frecuencia de cambios y duración de la estabilidad perceptual se deben a los cambios en los parámetros físicos de los estímulos, tales como el tiempo de presentación, intensidad del contraste o la presencia de un punto de fijación; dentro de estos procesos Bottom-Up también se describe la influencia de las características inherentes al sistema como la adaptación neuronal y la presencia de actividad aleatoria, conocida como ruido neuronal. Asimismo, se encuentran implicados procesos de alto orden dirigidos por metas y que implican el control voluntario sobre la duración de la estabilidad de la representación perceptual.

## **PROTOCOLOS DE ESTIMULACIÓN VISUAL**

Para el estudio de la percepción multiestable se han propuesto dos métodos de estimulación visual, los cuales han permitido el estudio de diferentes características de este fenómeno perceptual, a saber, el método de estimulación discontinua y el método de estimulación continua.

### **Diseño de estimulación discontinua/intermitente.**

Éste es uno de los protocolos de estimulación visual que más se utiliza en las investigaciones, debido a que proporciona mayor control sobre los tiempos de presentación de la figura, permitiendo caracterizar los componentes electrofisiológicos a partir de la aparición programada del estímulo. Se han realizado variantes de este diseño de acuerdo con los objetivos de la investigación y principalmente se dirige a estudiar el componente electrofisiológico que está relacionado con la conciencia perceptual.

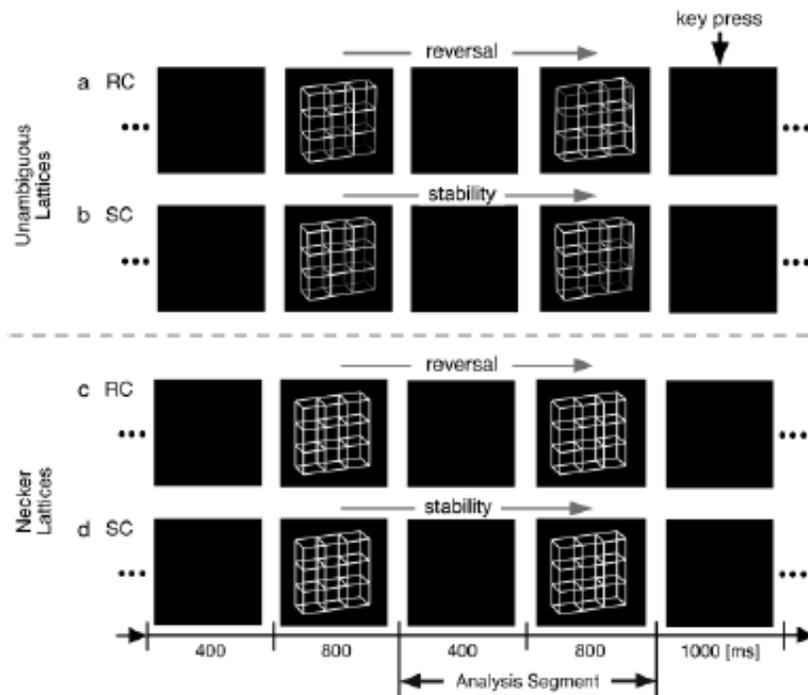
El tipo de presentación discontinua fue introducida por Orbach, Ehrlich & Heath (1963), cuyo diseño original consiste en presentaciones múltiples de dos figuras ambiguas iguales con duración de 800 ms, separadas por un intervalo interestímulo (ISIs) de  $\approx 400$  ms; después de cada presentación del par de figuras el participante debe evaluar si la percepción que tuvo de la última figura es igual o diferente a la primera (Kornmeier & Bach, 2012). A este diseño se le agregan condiciones ambiguas y condiciones control (figuras no ambiguas). Además de que se utilizan diferentes configuraciones del cubo de Necker, por ejemplo, los estímulos de rejilla, como se muestra en la Figura 4 (Kornmeier & Bach, 2005, 2006; Yokota, Minami, Naruse, & Nakauchi, 2014). También se ha estudiado con otros estímulos como la figura copa-cara o fotografías de ciertas escenas ambiguas (Pitts, Nerger & Davis, 2007).

Los cambios reversos que se producen durante la presentación discontinua pueden ser descritos como una función del ISI, con forma de *U* invertida (Kornmeier, Ehm, Bigalke & Bach, 2007). ISIs cortos entre 200 ms y 400 ms tienden a incrementar los cambios

perceptuales, por lo que la duración de la estabilidad perceptual disminuye. Por el contrario, ante ISIs mayores a 600 ms o menores a 200 ms conducen al decremento de los cambios perceptuales, aumentando así la duración de estabilidad perceptual (Kornmeier et al., 2007). Kornmeier & Bach (2012) proponen que el intervalo óptimo para mantener una frecuencia mayor de cambios perceptuales es trabajar con ISIs de 400 ms; por lo que es el tiempo que emplean la mayoría de las investigaciones bajo este diseño de presentación discontinua.

**Figura 4**

*Diseño característico de la presentación discontinua del cubo de Necker*



*Nota.* Tomado de Kornmeier y Bach (2012).

De acuerdo con Orbach (1963) el efecto del ISI se debe al papel de la adaptación Bottom-Up y la recuperación de poblaciones neuronales. Sin embargo, también es posible observar cambios en la duración de la estabilidad perceptual por condiciones de alto orden, como el control voluntario. Cuando a los participantes se les solicita mantener la percepción hacia

una de las configuraciones de la figura, los cambios disminuyen y la estabilidad perceptual incrementa respecto con la observación pasiva, teniendo el efecto contrario cuando la instrucción es revertir lo más pronto posible una percepción (Kornmeier et al., 2009).

Una de las principales ventajas del diseño de presentación discontinua es el control de la aparición de los estímulos, pues permite tener la referencia exacta del tiempo en el que se empezará a analizar la actividad electrofisiológica registrada a partir de la aparición de la ventana interestímulo o desde la aparición del segundo estímulo de la figura ambigua (ver Figura 4). Esta metodología se ha utilizado para describir el orden en el que aparecen los componentes de la actividad eléctrica cerebral durante la percepción visual en los estudios con potenciales relacionados a eventos.

Las desventajas de este diseño es que implica una mayor demanda atencional por parte del participante, esto debido a la presentación y cambio continuo (en milisegundos) de las figuras. Esta característica podría estar involucrando procesos de memoria y entonces mezclarse dentro de los componentes electrofisiológicos.

#### **Diseño de estimulación continua.**

En este diseño se presenta un mismo estímulo de manera continua con una duración que va de 2 a 6 minutos. A lo largo de la presentación el participante indica, con la presión de un botón la figura que percibe, cada vez que su percepción cambia. Para este tipo de diseño, los indicadores conductuales que se utilizan para evaluar la ejecución de la tarea son la frecuencia de cambios perceptuales y el tiempo de estabilidad de la percepción.

Las respuestas conductuales son el primer indicador que se obtiene en la mayoría de los paradigmas en psicología, y representan el resultado de una serie de procesos cerebrales que suelen utilizarse como punto de referencia para el análisis de los datos. Para este tipo de diseño, el tiempo de respuesta motora es la referencia para analizar la información electroencefalográfica ya que, al contrario del diseño discontinuo, éste se analiza de la respuesta motora hacia atrás.

El diseño de presentación continua se ha utilizado poco a lo largo de las investigaciones sobre percepción multiestable, no obstante que este fenómeno se descubrió a partir de la presentación continua y prolongada de figuras ambiguas. Una de las principales ventajas del diseño de presentación continua es que se trata de una situación menos controlada que podría favorecer la validez ecológica de los resultados. Es útil cuando su propósito es explorar el fenómeno de organización intrínseca del sistema durante periodos pasivos. Además, los tiempos de presentación de los estímulos pueden ser aprovechados por varias técnicas aparte de la electroencefalografía como el diseño experimental con técnicas de Imagen por Resonancia Magnética funcional (IRMf).

Entre las desventajas que se reportan está la respuesta motora como indicador para el análisis de la actividad electroencefalográfica que antecede a la respuesta. Este tipo de análisis presenta dificultades para describir los componentes relacionados a eventos como normalmente se hace, lo que vuelve difícil su comparación con los estudios de presentación discontinua.

## **ASPECTOS NEUROFUNCIONALES DE LA PERCEPCIÓN MULTIESTABLE**

Dada la importancia que se le da al cerebro como modulador de los cambios perceptuales, las diferentes investigaciones se han encaminado a estudiar las bases biológicas de la percepción multiestable en sus aspectos anatómicos y electrofisiológicos. Algunas características de este tipo de percepción han permitido su estudio tanto en animales como en humanos, como en el caso de la rivalidad binocular. Además de la importancia por se de conocer los correlatos anatomo-funcionales de la percepción multiestable, su conocimiento también es importante para determinar la influencia de los procesos Bottom-Up y Top-Down.

### **Características neuroanatómicas.**

Los estudios en animales han permitido estudiar neuronas aisladas en diversas regiones de la corteza visual del mono; por ejemplo, los estudios de Leopold & Logothetis (1999) encontraron un conjunto de neuronas de las áreas V1 que respondían en concreto al momento de la alternancia perceptual.

Los estudios en humanos llevados a cabo con la técnica de IRMf también han mostrado un efecto en la corteza V1 con tareas de rivalidad binocular, este mismo efecto se ha observado en estudios realizados con magnetoencefalografía ante tareas de rivalidad binocular y figuras ambiguas. Asimismo, se ha observado que la estimulación magnética transcraneal en estas regiones puede inducir la alternancia perceptual (Sterzer, Kleinschmidt & Rees, 2009).

Adicionalmente, los estudios en humanos y monos han encontrado una fuerte correlación entre la percepción subjetiva y la actividad funcional especializada en la corteza extraestriada visual, como el área V4, V5/MS, el área temporal medial y el surco temporal superior medial. Por lo que sugieren que estas regiones juegan un rol en la conciencia perceptual y en la solución del conflicto entre interpretaciones de la entrada visual (Leopold & Logothetis, 1999; Sterzer et al., 2009).

Estudios con IRMf en humanos han encontrado que ante la ejecución de tareas de biestabilidad existe una activación en regiones del sistema ventral, como el área fusiforme, el área parahipocampal y el complejo occipital lateral; estas áreas se activan independientemente del contenido categórico de las percepciones, aquí puede estar jugando un papel importante la memoria perceptual. Por otra parte, la corteza temporal inferior puede mostrar un aumento o supresión de actividad a través de los periodos de dominancia perceptual (Sterzer et al., 2009).

Adicionalmente, a través de técnicas de IRMf se ha reportado una activación diferenciada de la corteza frontal y parietal ante condiciones del cambio perceptual de estímulos ambiguos respecto a las figuras control; falta por esclarecer aún el rol funcional que juegan

en la alternancia perceptual ya que podría suponerse que estas regiones participan en la reorganización de la actividad de la corteza visual o bien son efecto secundario de la activación de áreas visuales (Sterzer et al., 2009). También existe evidencia de que las regiones dorsales frontoparietales participan en el cambio perceptual espontáneo inducido por el Cubo de Necker (Inui, Tanaka, Okada, Nishizawa, Katayama & Konishi, 2000; Shen et al. 2009). Estas regiones forman parte de la red dorsal atencional que participan en el control voluntario de la atención (Corbetta & Shulman 2002; Corbetta, Patel & Shulman, 2008; Slotnick & Yantis 2005).

En resumen, se puede señalar que las áreas visuales que se activan durante la alternancia perceptual son las cortezas extraestriadas V4 y v5/MS y el área temporal medial. En el caso de la desestabilización perceptual que ocurre en la corteza visual actúa como un evento saliente, mientras que en el caso de las áreas temporales se sugiere una participación de estabilidad perceptual; además el área fusiforme, el área parahipocampal y el complejo occipital lateral podrían mostrar un papel importante de la memoria visual. Paralelamente, también se activan las cortezas frontal y parietal, en su porción dorsal que constituyen la red dorsal atencional, a ella se le atribuye un rol en la modulación voluntaria de los cambios perceptuales.

### **Dimensiones electrofisiológicas en el estudio de la percepción multiestable.**

En el apartado anterior se describieron los sustratos neuroanatómicos que acompañan al fenómeno de la percepción multiestable, no obstante, el mecanismo por el cual se inicia y se mantienen los cambios perceptuales no se tienen claramente identificados. Además, siendo este un proceso que depende de factores temporales, en el orden de milisegundos, y dada la baja resolución temporal de las técnicas de imagen, es imposible analizar con estos métodos los cambios neurales que ocurren a la velocidad descrita.

Dada esta situación, el estudio de los cambios electroencefalográficos durante la percepción multiestable se ha situado como una de las técnicas más efectivas, debido a su

alta resolución temporal, permitiendo esclarecer los mecanismos promotores y de estabilidad perceptual.

La actividad electroencefalográfica (EEG), que recogen los electrodos sobre el cuero cabelludo, representa el curso temporal de los campos eléctricos generados por la actividad neuronal global del cerebro en determinado instante. La actividad es una señal compleja y aleatoria con variaciones continuas en el voltaje y que depende principalmente del tiempo, además de reflejar una topografía momentánea (Lopes da Silva, 2011). La visión clásica considera esta variación como ruido, que solo se suprime ante la estimulación externa, por lo que la mayoría de las investigaciones realizadas para entender la organización funcional del sistema visual se basan en indagar cómo el procesamiento de la estimulación física se refleja en los componentes de la actividad neuronal. Para lograr de estos objetivos se han utilizado diferentes métodos de estimulación y de análisis de la actividad eléctrica cerebral, entre los que destacan los Potenciales Relacionados a Eventos (PREs), el Análisis de Microestados y el Análisis Espectral de Tiempo-Frecuencia.

### ***Potenciales Relacionados a Eventos.***

Entender las características y secuencia temporal de los componentes del procesamiento visual es posible gracias a los análisis de los PREs. Se trata de una medida electrofisiológica directa de los potenciales de campo de la actividad neuronal con excelente resolución temporal del análisis jerárquico de las características de los estímulos. La presentación repetida de un estímulo permite realizar el promedio de los dipolos generados en ventanas de tiempo específicas para disociar el componente electrofisiológico de interés del ruido de fondo de la actividad eléctrica cerebral. Las dimensiones que se consideran son la amplitud (valor del voltaje), la polaridad (positivo o negativo respecto al eje del voltaje), la latencia (tiempo) y la distribución topográfica (Luck, 2005).

Se pueden distinguir dos tipos de PREs, aquellos con una modalidad exógena que son los componentes más tempranos en presentarse, ellos reflejan la secuencia de las respuestas a las características físicas de los estímulos. En el caso del procesamiento visual se puede

observar en electrodos occipitales laterales una onda P1 que comienza a los 60–90 ms después de la aparición del estímulo, mostrando su pico máximo en el eje positivo de voltaje entre los 100 a 300 ms, este PRE es sensible a la variación de los parámetros del estímulo, como el contraste. Posteriormente, se presenta una onda negativa, la N1 que también ocurre en etapas tempranas del procesamiento visual, con pico máximo de voltaje a los 100-150 ms post estímulo en regiones anteriores, y posteriormente entre los 150-200 ms se registra en la corteza parietal y occipital, relacionado con la orientación espacial (Luck, 2005). Por otra parte, los PREs endógenos son aquellos componentes tardíos que suelen presentarse entre los 300-400 ms o más y que reflejan procesos de alto nivel cognoscitivo como la atención selectiva, la memoria o el cierre perceptual; un ejemplo de ellos es el componente positivo, la P300, que aparece en regiones centro-parietales ante tareas que demandan categorización y comparación de los estímulos a lo largo de las diferentes modalidades sensoriales (Silva, 2011).

#### *Evidencia electrofisiológica PREs en la percepción multiestable.*

Con tareas de presentación discontinua es posible aplicar la técnica de los potenciales relacionados a eventos. A lo largo de los estudios se ha encontrado que tanto en las condiciones ambiguas y en las de control (figuras no ambiguas) se observan componentes tempranos como la onda P1 y la N1 que aparecen a partir de los 110 a 150 ms y de los 180 a 220 ms, respectivamente, después de la presentación del estímulo (Yokota et al., 2014). Estos componentes están asociados al procesamiento de las características físicas de los estímulos visuales, por lo que no llega a haber diferencias entre condiciones.

Por otra parte, se ha identificado que la respuesta ante los estímulos no-ambiguos presenta una amplia deflexión positiva centro-parietal cerca de los 400 ms después del comienzo del estímulo (P400). En los casos en los que la figura tiene un efecto de ambigüedad, la P400 es mínima o está ausente en regiones centro-parietales, aunque se observa una P200 en regiones fronto-centrales (Kornmeier, Wörner & Bach, 2016).

Podría entonces suponerse que estos componentes están fuertemente influenciados por las características físicas de los estímulos; no obstante, la amplitud está inversamente relacionada con el grado de ambigüedad del estímulo, independientemente de las categorías visuales que se presenten (cubo de Necker, la figura de Boring: mujer joven/vieja y estímulos estroboscópicos), las cuales cuentan con diferentes parámetros en sus características ópticas (luminosidad, radio, elementos en la línea, etc), esto sugiere un procesamiento en un nivel superior de abstracción (Kornmeier, Wörner & Bach, 2016).

Kornmeier y cols. (2016) suponen que el rol que juegan P200 y P400 tiene que ver con el nivel en el que el sistema visual realiza una predicción perceptual, en términos de probabilidades bayesianas para generar un constructo perceptual, basándose en la información sensorial que recibe, la relación entre objetos, la historia perceptual y los conceptos disponibles en la memoria. Lo que sugeriría que la amplitud de estos dos componentes refleja el resultado de esta estimación de la confiabilidad. Las grandes amplitudes reflejan una alta confiabilidad, mientras que, en el caso de las condiciones ambiguas, el sistema perceptual ajusta la información sensorial incompleta a la memoria perceptual con el propósito de desambiguarla y construir un constructo perceptual confiable y estable.

Otro de los métodos para el análisis de trazos electrofisiológicos se ha realizado a través de la substracción de épocas de actividad estable con épocas de actividad donde ocurrieron los cambios perceptuales, con el propósito de obtener una onda diferencia. En estados tempranos del procesamiento algunos estudios han reportado una onda diferencia positiva que aparece 130 ms después del inicio del estímulo exclusivamente ante los cambios endógenos del estímulo ambiguo, llamada *Reverso Positivo* que muestra una amplitud pequeña en regiones occipitales; sin embargo, la mayoría de las investigaciones no reportan esta onda (Kornmeier & Bach, 2005; Yokota et al., 2014).

Por otra parte, una onda que se ha encontrado consistentemente a lo largo de los estudios es la *Negatividad Reversa* (RN – por sus siglas en inglés *Reversal Negativity*), es una onda diferencia con polaridad negativa que se asocia con el cambio de percepción, sin importar

si se trata de cambios inducidos exógenamente con estímulos no-ambiguos o de cambios endógenos producidos por estímulos ambiguos (Ehm, Bach & Kornmeier, 2011; Intaitė, Koivisto, Rukšėnas & Revonsuo, 2010; Kornmeier & Bach, 2012; Yokota, et al., 2014).

La mayor amplitud de la RN se ha localizado en regiones occipitales y parietales, que ocurre en una amplia ventana de tiempo (180 – 300 ms) (Russo & De Pascalis, 2016), aproximadamente 220 ms después del inicio del estímulo en los cambios exógenos inducidos por las figuras no-ambiguas y 40 ms más tarde para los cambios endógenos inducidos por los cambios espontáneos de la figura ambigua. Algunos autores argumentan que esta onda puede ser un indicador de la influencia Top-Down en el fenómeno de cambio perceptual (Kornmeier & Bach, 2012; Pitts, Gavin & Nerger, 2008). La RN puede reflejar aspectos de la conciencia visual y compartir mecanismos similares al cambio de atención, ya que se ha observado que la amplitud aumenta ante condiciones de control voluntario, relacionado con la atención selectiva (Russo & De Pascalis, 2016).

De acuerdo con Russo y De Pascalis (2016) la RN puede ser similar a la onda *Mismatch Negativity* visual, puesto que la detección del cambio requiere comparar entre la memoria sensorial previa con la actual. Los cambios perceptuales pueden ser vistos como eventos desviantes y la percepción estable como una condición estándar. Ellos observaron que la variabilidad individual en los cambios perceptuales ambiguos conlleva cambios en la amplitud de esta onda, identificaron que en aquellos participantes que experimentaron mayor número de cambios perceptuales la amplitud de la RN disminuyó.

También se ha reportado un componente positivo tardío (LPC – por sus siglas en inglés *Late Positive Component*) en regiones fronto-centrales que ocurre entre los 350-550 ms post-estímulo tanto en condiciones de cambio perceptual exógeno como endógeno. La LPC refleja actualización del contexto en la memoria de trabajo o la valoración consciente del juicio de cambio de percepción (Kornmeier & Bach, 2012). Aquí también, existe una modulación de la amplitud en LPC dependiente de la frecuencia de cambios perceptuales individuales; una mayor positividad en LPC está asociada con un alto número de cambios perceptuales (Russo & De Pascalis, 2016).

Debido a las características del diseño de presentación continuo, poco se ha empleado el análisis de los PREs ante la observación pasiva de la figura ambigua. Isoglu-Alkaç, Basar-Eroglu, Ademoglu, Demiralp, Miener & Stadler (2000) describieron un componente P300 localizado en regiones parietales que ocurre 250 ms antes de que el participante presionara la tecla para indicar el cambio en la orientación del cubo de Necker; los resultados brindan evidencia de que este componente está involucrado en la modulación de procesos Top-Down.

### ***Microestados.***

Una visión más actual de la actividad eléctrica cerebral sugiere que la actividad del EEG realmente no es una actividad estocástica, sino que su organización es tan compleja que vista desde un modelo biológico es imposible comprender su estructura (Lopes da Silva, 2011). El desarrollo de modelos matemáticos ha permitido identificar en estado de reposo redes neurocognoscitivas de larga escala bien definidas de la actividad espontánea. La percepción multiestable estaría implicada dentro de esta fluctuación espontánea cerebral e influir sobre el fenómeno perceptual, puesto que el cambio esporádico no necesariamente está dado por los cambios físicos del ambiente.

Uno de estos modelos de análisis de la actividad EEG permite estudiar el procesamiento de los estados dependientes desde la dimensión espacial, a través de la evaluación de las diferencias topográficas del campo eléctrico cerebral (Britz, Díaz, Ro & Michel, 2014). La topografía del EEG es una medida global y de libre referencia de la actividad cerebral momentánea, que permanece estable por periodos cuasi estables de 80-120 ms, llamados *Microestados* (Lehmann, Pascual-Marqui, Strik & Koenig, 2010).

Una medición de este componente es el poder de campo global (GFP) que es equivalente a la desviación estándar espacial del potencial de campo, por lo que el GFP máximo en una ventana de tiempo es el mejor estado representativo del microestado (Britz, Landis & Michel, 2009). Los microestados del EEG representan estados globales momentáneos del cerebro y ellos reflejan la actividad a larga escala de las redes funcionales que pueden

reorganizarse rápidamente en una escala de tiempo muy corta. Se han identificado cuatro microestados dominantes (A, B, C, D), que explican el mayor porcentaje de la varianza de esos cambios; ellos han sido llamados “los bloques básicos de la cognición” o “los átomos del pensamiento” (Lehmann et al., 2010).

Estos microestados están espacialmente correlacionados con cuatro redes del default network identificados por la IRMf; ellos se han atribuido a A) procesos fonológicos, B) la imaginaria visual, C) la reorientación de la atención y D) las funciones autónomas interoceptivas; no obstante, se señala que todos los microestados pueden ocurrir en estas cuatro condiciones, por lo que no son exclusivos de alguna de estas redes funcionales (Milz, Faber, Lehmann, Koenig, Kochi & Pascual-Marqui, 2016). Los parámetros que se miden en los microestados son: los cambios en la topografía, la duración, la ocurrencia, la cobertura y la secuencia entre ellos.

#### *Hallazgos topográficos sobre la percepción multiestable.*

Britz y cols. (2009) implementaron el diseño de presentación discontinua, en la que consideraron dos condiciones diferentes, la de cambios perceptuales y la de estabilidad en donde no ocurría cambio perceptual. Para cada una de estas condiciones consideraron el pico máximo del GFP en el EEG (dentro de las bandas 1-30Hz) en una ventana de tiempo de 50 ms previos a la aparición del estímulo. Primero identificaron para cada individuo aquellos mapas que diferenciaban mejor la condición de cambio perceptual de la estable, y posteriormente hicieron lo mismo con los mapas que mejor distinguieran las condiciones entre todos los individuos. De esta manera pudieron identificar para cada condición un mapa diferente que ocurrió más frecuente en alguna de las condiciones, ambigua o no-ambigua. Posteriormente el grupo de investigadores confirmó que estos resultados pueden ser generalizados para cualquier fenómeno de la percepción multiestable: con la rivalidad binocular o con las figuras ambiguas (Britz, Pitts & Michel, 2011).

Los análisis de la densidad de corriente intracraneal (LORETA) revelaron un incremento de activación en el lóbulo parietal inferior derecho (Britz et al. 2009; 2011), y un decremento

bilateral del área occipital lateral y áreas temporales que precedían al cambio perceptual (Britz et al., 2011). Britz et al. (2009; 2011) sugieren que el lóbulo parietal inferior derecho puede tener un rol causal en la iniciación del cambio perceptual de figuras ambiguas o en la competición de estímulos monoculares.

Estos estudios sobre la percepción multiestable apoyan la noción de que las condiciones inmediatas del cerebro durante la percepción modulan la entrada de la estimulación externa. Lo anterior demuestra que la aparente fluctuación aleatoria de actividad espontánea cerebral también influencia el procesamiento de los estímulos presentados subsecuentemente (Britz et al., 2009; Britz & Michel, 2011).

La revisión sobre el empleo de diversas técnicas en la dimensión temporal (análisis espectral, microestados, estimulación magnética) en diferentes fenómenos perceptuales: detección sensorial, discriminación de umbrales y la percepción multiestables o la rivalidad binocular, han mostrado que el procesamiento sensorial de bajo nivel depende de la excitabilidad momentánea de las cortezas sensitivas; mientras que los procesos de integración perceptual dependen momentáneamente de la actividad pre-estímulo de áreas no visuales de alto nivel (Britz & Michel, 2011). De acuerdo con la revisión que hicieron estos mismos autores, postulan que la información que fluye entre las conexiones anatómicas se da en un sentido bidireccional “abajo ↔ arriba”. Además, la jerarquía funcional no necesariamente implica jerarquía temporal, ya que, por ejemplo, ante la identificación de estímulos complejos las áreas orbitofrontales están activas antes que las áreas visuales primarias (Britz & Michel, 2011).

### ***Análisis espectrales de frecuencia y de tiempo.***

Los análisis de EEG espontáneo que consideran la dimensión temporal evalúan de forma independiente el curso de la potencia de la actividad eléctrica cerebral y las fluctuaciones de fase. La fase es la posición a lo largo de la onda seno en cualquier punto en el tiempo y se mide en radianes o grados. La potencia es la cantidad de energía en una banda de

frecuencia y la amplitud al cuadrado de la oscilación. El poder espectral es una función de la frecuencia, colapsando sobre un periodo de tiempo que puede ser de cientos de milisegundos a decimas de minutos (Cohen, 2014).

Una de las técnicas paramétricas más utilizadas para calcular la densidad de poder espectral es la transformada de Fourier. Al aplicar este análisis se obtiene un periodograma que condensa en un sólo resultado las frecuencias de actividad más predominantes ante una condición. Tradicionalmente el espectro de frecuencias suele dividirse en bandas de actividad conocidas como *Delta* (1-3 Hz), *Theta* (4-7 Hz), *Alfa* (8-12 Hz), *Beta* (13-35 Hz) y *Gama* (>35 Hz).

Uno de los supuestos que debe cumplir la señal es que los datos sean estacionarios, lo que significa que las características estadísticas de la señal, como la media, la varianza y la frecuencia, deberán permanecer invariables (Lopes da Silva, 2011). De principio, la señal del EEG no cumple con estas reglas, ya que la actividad cambia todo el tiempo, incluso sus momentos estadísticos pueden diferir entre condiciones de reposo o actividad cognoscitiva. Uno de los métodos para asegurar épocas cuasiestables es tener segmentos de análisis cortos en torno a 1 segundo, y con tasas de muestreo bajas, alrededor de 64 Hz, lo que limitaría el estudio a oscilaciones lentas y dejando fuera el análisis en altas frecuencias (Gonen & Tchislavski, 2012).

Otro de los métodos de análisis cuantitativo es el estudio de las ondeletas (wavelets), que es útil para detectar cambios en la frecuencia a través del tiempo. Su método descompone la señal del EEG en frecuencia, pero mantiene la información de fase, permitiendo el análisis tiempo-frecuencia de la respuesta cerebral durante el procesamiento del estímulo. Este procedimiento tiene la ventaja de que las ventanas de análisis pueden ser más amplias, dado que su método asume representar señales no estacionarias, ya que parte del supuesto de que la señal será estacionaria sólo durante el periodo de tiempo en la que la onda luce como una onda seno (Cohen, 2014).

*Hallazgos de la dimensión de la Frecuencia y el tiempo en la percepción multiestable.*

A pesar de que las investigaciones que han implementado el diseño de presentación discontinua se enfocan en el análisis de los PRE o de los microestados, algunos de ellos han incursionado en el análisis espectral de la señal que acompaña a la respuesta de cambio perceptual; sin embargo, por las diferencias en el diseño, el tipo de estímulos empleados y las bandas de interés analizadas, los resultados entre ellos han sido heterogéneos. Se ha observado que ante los cambios exógenos producidos por figuras no-ambiguas puede haber un aumento de oscilaciones lentas en la banda de *Theta* (Yokota et al., 2014) e incremento de oscilaciones rápidas de actividad *Gamma* a los 150 ms y actividad *Beta* a los 260 ms posteriores a la presentación del estímulo, en regiones centrales izquierdas y bilaterales respectivamente (Kornmeier & Bach, 2012).

Para las figuras ambiguas, también se observó el aumento de actividad Gamma y Beta, aunque su aparición fue más tardía. Para la actividad Gamma el aumento se presentó entre 200-250 ms, un estudio reportó este cambio en regiones anteriores derechas, mientras que otro en regiones centrales izquierdas (Ehm et al., 2011; Kornmeier & Bach, 2012).

Para la banda Beta tanto Kornmeier y Bach (2012) como Yokota et al. (2014) encontraron un incremento dentro de un intervalo de tiempo de los 320 a los 450 ms después de la aparición del estímulo ambiguo, el primer autor observó este aumento en regiones centrales izquierdas y el segundo en las regiones occipitales derechas.

Adicionalmente, se ha descrito que el componente RP se acompaña de una reducción temprana en la potencia de la banda *Alfa*, en los electrodos occipitales y frontales izquierdos (Kornmeier & Bach, 2005; Yokota et al., 2014). Esta reducción de la banda Alfa también se observa en procesamientos tardíos en el mismo intervalo de tiempo en que se presenta la P300 en regiones parietales previa a la presión del botón para indicar cambio perceptual (Isoglu-Alkaç et al., 2000).

Los estudios que implementan el diseño de presentación continua de figuras ambiguas analizan los segmentos del EEG que ocurren previos a la presión de la tecla cada vez que el participante experimenta un cambio perceptual espontáneo en la figura ambigua. Los análisis de tiempo-frecuencia, aplicados a los segundos previos al reporte conductual, han revelado que los cambios perceptuales espontáneos durante la observación pasiva están modulados por frecuencias de 3 y 4 Hz en la región frontal izquierda, alrededor de los 750 ms antes del reporte de cambio perceptual, pasando por sitios parietales centrales 600 ms antes de la respuesta y terminando en sitios parietales derechos alrededor de los 350 ms previos a la respuesta motora (Ozaki et al., 2012). Los mismos autores aplicaron un análisis integrado EEG-IRMf, encontrando que las regiones cerebrales principalmente activas durante los periodos de cambio perceptual están asociadas con el sistema Dorsal Atencional (DAN- por sus siglas en inglés *Dorsal Attentional Network*), conformado por el campo ocular frontal, la región opercular frontal, la corteza precentral y postcentral y el surco intraparietal. Ellos proponen que los cambios perceptuales espontáneos durante la observación pasiva de la figura ambigua podrían depender de oscilaciones en la banda *Delta* de la actividad neuronal de la DAN, la cual se relaciona con el control voluntario de la atención y con los cambios perceptuales inducidos por el Cubo de Necker.

La influencia de frecuencias bajas también se ha observado durante la presentación de estímulos con movimiento estroboscópico alterno. El comienzo de la actividad Theta difiere entre tareas ambiguas y no ambiguas, ya que durante la condición de movimiento ambiguo el gradiente anteroposterior de Theta es mayor durante la presentación de las figuras ambiguas (Mathes et al., 2014). Estos autores proponen que la presentación de un evento perceptual relevante para una tarea, tal como un cambio perceptual, produce un incremento transitorio en la actividad Theta que podría dominar la respuesta cerebral tanto para los cambios perceptuales en estímulos ambiguos y no ambiguos. Los resultados de los investigadores mostraron una mayor actividad de Theta en sitios frontales y centrales respecto a los sitios parietales y occipitales, durante la presentación de figuras ambiguas; mientras que para la presentación de figuras no ambiguas la respuesta de Theta fue mayor en la región central respecto a la parietal. Es decir, durante la presentación de la figura

ambigua encontraron un mayor involucramiento de áreas de orden superior que de áreas sensitivas, lo que hablaría de una fuerte modulación Top-Down.

Recientemente Piantoni, Romeijn, Gomez-Herrero, Van Der Werf & Van Someren (2017) propusieron otra hipótesis para explicar los cambios perceptuales inducidos por las figuras ambiguas. Basados en la literatura, estos autores proponen que la flexibilidad que muestra el sistema perceptual para procesar de diferentes maneras un estímulo físico idéntico, depende en gran medida de las características de la actividad cerebral en curso. Los autores proponen que aún en reposo, ante un estímulo físico que no cambia, el cerebro continúa explorando interpretaciones perceptuales alternativas, lo cual se vuelve más susceptible cuando el estímulo es una figura ambigua. Proponen que este mecanismo está basado en el ritmo Alfa, el cual codifica diferentes fuentes de información. De acuerdo con estos autores, Alfa tiene una mediación mediante la inhibición de regiones cerebrales que son irrelevantes para la tarea, y favoreciendo la atención focalizada, por lo que esta oscilación pudiera reflejar un mecanismo neuronal que regula la cantidad de información visual que puede pasar hacia áreas cerebrales de orden superior para el procesamiento consciente y para la iniciación de las repuestas conductuales. Se supone que dicha inhibición ocurre al nivel de competencia entre poblaciones neuronales que codifican las representaciones que rivalizan entre sí y que resultan en una alternancia perceptual más lenta. Así, basados en sus propias investigaciones, los autores proponen que la sincronización de las oscilaciones de Alfa en una amplia red neuronal promueve el mantenimiento y estabilización de la representación perceptual actual.

Adicionalmente, se ha puesto interés en el papel que juegan los eventos oculomotores sobre la organización perceptual (Nakatani et al., 2011; Nakatani & van Leeuwen, 2013). En el caso de los parpadeos asociados con el cambio perceptual se ha observado un incremento de actividad Alfa sobre regiones occipitales 250 ms antes del inicio del parpadeo (Nakatani & van Leeuwen, 2013). Un alto porcentaje de los parpadeos ocurre 1000 ms previos al reporte de cambio perceptual de figuras ambiguas y después de su aparición se

reportan periodos transitorios de actividad Theta en áreas parietales que precede a los movimientos sacádicos (Nakatani et al., 2011).

Los movimientos sacádicos se presentan en la condición ambigua y no-ambigua 150 ms antes del reporte de cambio perceptual; pero es solamente durante la observación de las figuras ambiguas que la dirección de la sacada correlaciona con la orientación percibida de la figura. También se ha reportado que es posible anticipar el cambio perceptual, si previo a la sacada ocurre un incremento de actividad Alfa y posteriormente un decremento en su amplitud (Nakatani & van Leeuwen, 2013). Por el contrario, para las condiciones no-ambiguas los periodos transitorios de actividad Theta son provocados por el cambio exógeno de los estímulos (Nakatani et al., 2011).

Las evidencias anteriores apuntan a un rol crucial de procesos atencionales sobre los cambios perceptuales espontáneos. El decremento en Alfa previo a la sacada reflejaría la facilitación del procesamiento de características visuales; mientras que su incremento indicaría inhibición activa del procesamiento a tareas irrelevantes (Nakatani & van Leeuwen, 2013).

Miller & Buschman (2013) sugieren que la actividad lenta es la actividad intrínseca de la red dorsal atencional, ya que los correlatos neuroanatómicos y funcionales de la DAN durante tareas visuales se encuentran asociados con áreas bilaterales fronto-parietales que incluyen el surco intraparietal y el campo ocular frontal. Ozaki et al. (2012) proponen que la continua fluctuación de la DAN dentro de los 3-4 Hz provoca los cambios espontáneos en las figuras ambiguas; es decir que la percepción de estímulos ambiguos es mediada por la auto-organización y/o la resonancia estocástica de oscilaciones neuronales involucradas en el control atencional que viaja en sentido antero-posterior a lo largo de la red dorsal atencional.

La modulación a gran escala entre regiones anteriores y posteriores durante la percepción multiestable, también se ha visto respaldada por los hallazgos sobre el aumento de la sincronía de fase alrededor de los 4 Hz en áreas fronto-occipitales ante tareas de control voluntario al cambio perceptual. Este cambio de sincronía va modificándose de forma

paulatina, en un inicio coexisten pequeños grupos independientes hasta organizarse en un único grupo en el momento en que los participantes reportan un cambio en la percepción (Shimaoka, Kitajo, Kaneko & Yamaguchi, 2010).

De esta forma, las investigaciones de los mecanismos que dan cuenta de los cambios perceptuales por medio del estudio de la actividad eléctrica cerebral han arrojado una diversidad de resultados que sugieren que las oscilaciones cerebrales que ocurren antes del reporte de los cambios perceptuales por parte del individuo pueden ser un predictor de los cambios perceptuales que se dan ante la presentación de figuras ambiguas o no ambiguas. No obstante, los cambios electroencefalográficos reportados son variados y los resultados son inconsistentes en la medida en que los diferentes estudios reportan aumentos de potencia en un amplio rango de frecuencias: Delta, Theta, Alfa, Beta y Gamma.

## CAPÍTULO III

---

### JUSTIFICACIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las investigaciones sobre los aspectos biológicos que subyacen a la percepción multiestable han podido establecer que el control de la estabilidad perceptual depende de las modificaciones externas que se hacen al estímulo, pero también y de una manera muy importante, de las fluctuaciones que caracterizan a la actividad electroencefalográfica antes y durante la percepción. El estudio de estas fluctuaciones podría ayudar a encontrar el mecanismo por el cual se podrían explicar los cambios perceptuales que se presentan durante el fenómeno de la multiestabilidad.

Los esfuerzos que se han hecho hasta el momento no han podido establecer este mecanismo ya que los resultados descritos en la literatura son muy diversos, en el que se ha observado la implicación de una amplia variedad de oscilaciones en el rango Delta, Theta, Alfa, Beta y Gamma como desencadenantes de los cambios perceptuales, las cuáles aumentan su potencia en diferentes rangos de tiempo. En el caso de los diseños de presentación discontinua estos tiempos van de los 150-450 ms post estímulo en regiones temporales, centrales izquierdas, centrales bilaterales, frontales y occipitales derechas; mientras que en los estudios de presentación continua los tiempos van entre los 350-750 ms previos a la respuesta motora sobre las regiones frontal izquierda, parieto-central y parietales derechas.

Así, la falta de consistencia en los resultados hace difícil explicar el posible mecanismo que inicia el cambio perceptual y mantiene el estado de representación actual. No obstante, parece ser que hay suficiente evidencia para afirmar que existen cambios electrofisiológicos que se presentan durante algunos cientos de milisegundos que anticipan el cambio mencionado.

Esta falta de consistencia se puede deber a varias razones, ya que, la metodología que han usado los diferentes trabajos ha sido tan variada que resulta difícil comparar los resultados. La heterogeneidad en las investigaciones se debe a las diferencias en el tamaño de la muestra, generalmente pequeña, o bien por las características del tipo de estímulo visual que se utiliza (estático, en movimiento, grado de ambigüedad, figuras control), la instrucción para realizar la tarea (observación pasiva, control voluntario o interferencia con otros procesos), el tipo de procesamiento de los datos (análisis de las variaciones del voltaje en el tiempo, análisis tiempo-frecuencia, sincronía, microestados, asociación con eventos oculomotores) y el tipo de diseño de presentación (intermitente o continuo). La mayoría de los estudios utiliza diseños experimentales que incluyen tareas activas durante la visualización continua o intermitente de figuras ambiguas, donde la instrucción consiste en que el participante realice un esfuerzo voluntario por mantener una de las interpretaciones perceptuales del estímulo ambiguo. Por otra parte, los diseños de presentación intermitente han servido para poder rastrear en el tiempo aquellos componentes responsables de la conciencia perceptual. No obstante, este tipo de diseño exige al participante una demanda atencional constante y de recursos de memoria que podrían estar sumándose a los cambios intrínsecos de la organización cerebral durante el cambio perceptual. Además de que los cambios electrofisiológicos observados en estos diseños experimentales en general son dependientes de factores extrínsecos a los individuos, dado el efecto que tienen los ISIs en la frecuencia del cambio perceptual.

Los diseños anteriores parecen inadecuados si el interés es indagar los cambios endógenos de la actividad electroencefalográfica que aparecen de forma espontánea y que pudieran tener efecto sobre los fenómenos perceptuales en un ambiente estable. Es por ello que, para evaluar la transición de la actividad cerebral de un estado perceptual a otro, con el menor número de interferencias exógenas o de control voluntario, el diseño de presentación de los estímulos que mejor se ajusta para resolver la problemática es la presentación continua que implica la observación pasiva.

Además de los problemas mencionados, la mayoría de los trabajos analizan solo una o dos bandas de las oscilaciones cerebrales, independientemente del tipo de análisis empleado,

lo cual ofrece resultados relacionados solo con las frecuencias del EEG de interés, dejando de lado el análisis de lo que sucede con otras bandas de frecuencia que también podrían estar teniendo cambios durante el fenómeno. Estas limitaciones que presenta el restringir su análisis a una parte muy pequeña del espectro de potencia, podría explicar de manera muy importante la diversidad de resultados que se han obtenido hasta el momento.

En el presente trabajo se analizó el EEG ante la presentación continua del Cubo de Necker, con dos diferentes metodologías: la primera analizando el espectro de potencia en sus bandas Delta, Theta, Alfa, Beta y Gamma durante el período anterior al cambio perceptual y durante los períodos de percepción estable, para poder detectar las frecuencias dominantes en las diferentes regiones cerebrales. La segunda metodología fue el análisis tiempo frecuencia, para describir los cambios de potencia en el tiempo y determinar si la presencia de alguna frecuencia en particular se asociaba al cambio perceptual en algún momento en específico.

Este estudio aportará información que permitirá apoyar o refutar alguna de las hipótesis que proponen un involucramiento de la actividad lenta (Delta o Theta) o las que proponen un papel fundamental de la actividad Alfa o Beta en la producción del cambio perceptual durante la percepción multiestable.

El fenómeno de la multiestabilidad describe a aquellos sistemas dinámicos no lineales, cuya característica más importante es la coexistencia de posibles estados estables finales (atractores), para un conjunto dado de parámetros (Pisarchik & Feudel, 2014). En el campo de la percepción multiestable podemos observar que el control de la estabilidad perceptual depende de las modificaciones externas que se hacen al estímulo, pero también de las fluctuaciones aleatorias inherentes que caracterizan a la actividad electroencefalográfica. Es aquí donde reside la relevancia de este estudio, el poder describir las condiciones electroencefalográficas que desencadenan y mantienen el estado “atractor” de la percepción.

Finalmente, otra de las propiedades que se mencionan de los sistemas multiestables son sus componentes fractales, por lo que las características de este fenómeno tienden a

manifestarse en diferentes escalas (Pisarchik & Feudel, 2014), así que estudiar la dinámica electroencefalográfica nos podría permitir acercarnos al entendimiento de la dimensión cognitiva o conductual. El conocimiento de las características de la dinámica perceptual nos permitirá más adelante asociar con patologías en las que se han observado irregularidades en la transición de estados, como los pacientes con Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad (TDAH), cuyas alteraciones se observan en la baja regulación de las redes cerebrales durante la transición a tareas dirigidas a metas (Castellanos & Proal, 2012). Otro trastorno de interés podría ser la esquizofrenia en donde se ha reportado que estos pacientes tienden a presentar fallas en el mantenimiento de la estabilidad perceptual (Basar-Eroglu, Mathes, Khalaidovski, Brand & Schmiedt-Fehr, 2016), lo que podría indicar una dinámica cerebral con cambios rápidos y poco regulados entre estados.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Analizar la actividad electroencefalográfica en sus dimensiones espectro de potencia y tiempo-frecuencia que precede al cambio perceptual espontáneo o inducido con respecto a lo que sucede en períodos de estabilidad durante la percepción multiestable.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Comparar la frecuencia de los cambios perceptuales espontáneos entre la figura ambigua y las figuras inducidas.
- Comparar el tiempo de estabilidad de los cambios perceptuales espontáneos entre la figura ambigua y las inducidas.
- Comparar el espectro de poder previo al cambio perceptual espontáneo o inducido respecto a la condición de estabilidad perceptual (No-cambio).

- Describir el espectro tiempo-frecuencia de la actividad electroencefalográfica previo al cambio perceptual de las figuras ambigua e inducidas.

## **HIPÓTESIS**

### **RESULTADOS CONDUCTUALES ESPERADOS**

H1: La figura ambigua tendrá mayor número de cambios perceptuales con relación a las figuras inducidas.

H2: Las figuras inducidas mostrarán mayor estabilidad en la dirección del cambio perceptual inducido (izquierdo o derecho). En el caso del cubo ambiguo no se esperan diferencias en la estabilidad perceptual respecto a la orientación reportada.

### **RESULTADOS ELECTROENCEFALOGRÁFICOS ESPERADOS**

H1: Se observará un patrón de actividad con periodos transitorios de actividad Alfa aproximadamente 1000 ms antes del reporte de la respuesta del cambio; seguida de actividad Theta y Delta antes de la aparición de la respuesta.

H2: El patrón de actividad electroencefalográfico que se presente será similar entre los cambios perceptuales espontáneos y los inducidos por figuras con un nivel de menor ambigüedad; aunque habrá variaciones entre ellos en cuanto a los tiempos de aparición o la amplitud de las bandas de potencia.

## CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA

---

### MUESTRA

Participaron 31 estudiantes (19 mujeres) de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM, con edades comprendidas entre los 17 y 30 años. Después de la corrección de los registros conductuales y electrofisiológicos se descartaron 9 participantes por no cumplir con el suficiente número de respuestas y épocas del EEG para el análisis. La muestra final consistió de 12 mujeres y 10 hombres con edad promedio de 19.6 años ( $\pm 2.7$  años).

#### **Criterios de inclusión.**

- Mujeres y hombres universitarios.
- Edad comprendida entre los 17 y 30 años.
- Sin diagnóstico neurológico o psiquiátrico.
- Sin problemas de visión o visión corregida.
- Que hayan firmado la carta de consentimiento informado (Anexo 1).

#### **Criterios de exclusión para el grupo de estudio.**

- Obtener una puntuación inferior al promedio en el índice de razonamiento perceptual del WAIS-IV.
- Que en el archivo conductual o después de la limpieza del registro de EEG, la cantidad de cambios perceptuales “correctos” (respuestas opuestas a la inmediata anterior) estuviera por debajo de los 15 cambios perceptuales para cada condición.

## **MATERIALES**

- Subescala del índice de Razonamiento perceptivo de la Escala Wechsler de inteligencia para adultos WAIS-IV (Wechsler, 2014), compuesta por la tarea de cubos, matrices y rompecabezas visuales. Con la suma de las puntuaciones escalares de las tres tareas se ubicó el valor del índice de Razonamiento perceptivo que puede ir de 50 a 150.
- Programa de estimulación visual PercepFiguras (Ortiz-Cruz, Rodríguez-Camacho, Rodríguez-Camacho & Bernal-Hernández, 2018) desarrollado con lenguaje de programación C++ que permite al usuario presentar imágenes y recibir una o varias respuestas a cada una, sincronizar las respuestas con un sistema de registro electroencefalográfico por medio de una señal digital de pulso estándar TTL (transistor-transistor logic) y generar un archivo conductual con la clave de cada figura y los datos de las latencias de las respuestas del participante.

## **DISEÑO DE LA TAREA**

La participación de la persona consistió en dos sesiones separadas, la primera con el objetivo de dar a conocer la carta de consentimiento informado (Anexo 1) y realizar la evaluación cognitiva. En la segunda sesión se realizó el registro electroencefalográfico durante la presentación de la tarea de percepción multiestable.

La tarea perceptual consistió en la presentación continua aleatoria del cubo de Necker en diferentes grados de ambigüedad. Hubo tres diferentes tipos de estímulos: Cubo de Necker ambiguo, cubo de Necker inducido a la derecha y cubo de Necker inducido a la izquierda (Figura 5). Los cubos estaban formados por líneas blancas sobre fondo negro y con punto de fijación al centro de la figura. El tamaño de los estímulos fue de un ángulo visual de 6°.

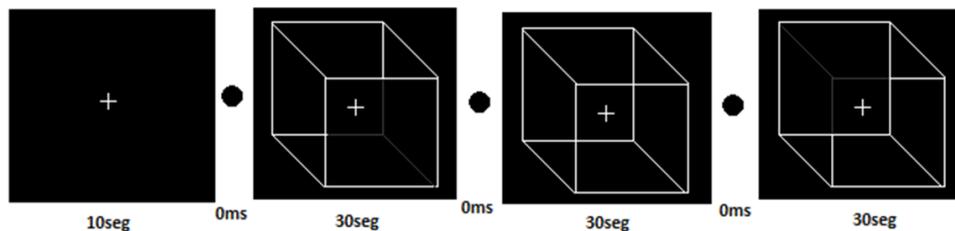
La tarea consistió en una presentación semi-continua de los cubos, ya que cada 30 segundos se intercambiaba aleatoriamente uno de los tres cubos hasta completar 6 minutos; es decir, que para completar un bloque eran necesario cuatro apariciones de cada uno de los cubos. La tarea se completaba cuando se presentaban 4 bloques.

A lo largo de la presentación el participante tenía que indicar con un botón cada vez que su percepción cambiara, espontáneamente o de forma inducida, la orientación de la cara delantera del cubo; con la tecla de la flecha izquierda indicaba que el cambio de percepción había ocurrido hacia la orientación izquierda, y con la tecla de la flecha derecha indicaba que su percepción había ocurrido hacia la orientación derecha.

El programa de presentación se sincronizó con el equipo de registro electroencefalográfico NEUROSCAN. En el EEG continuo se registró cada pulso, lo que permitió identificar en el eje del tiempo la aparición de la figura y sus respectivas respuestas. Además, se obtuvieron los datos conductuales en el que se indica el tipo de figura que se presentó, la latencia de cada respuesta, el tipo de respuesta que dio el participante y si hubo errores (que presionara la misma tecla seguida).

### Figura 5

*Ejemplo del inicio de un bloque de presentación*



*Nota.* El primer cubo que aparece se trata de un cubo inducido con orientación derecha, el segundo representa el cubo ambiguo y el último el cubo inducido con orientación a la izquierda.

## **ADQUISICIÓN DEL EEG**

El registro se llevó a cabo con un equipo NEUROSCAN, en el que se adquirió la señal de 20 canales, Fp1, Fp2, F7, F8, F3, F4, Fz, C3, C4, T7, T8, Cz, P3, P4, P7, P8, Pz, Oz, O1, y O2 de acuerdo con la colocación del sistema Internacional 10-20. Adicionalmente se agregó un canal A1 en el auricular izquierdo y se registró la actividad de movimientos oculares verticales. Durante el registro en línea los canales se referenciaron al auricular derecho y posteriormente se realizó la re-referenciación de A1 fuera de línea. Se utilizó un filtro pasa banda de 0.05 a 100 Hz con una frecuencia de muestreo de 1000 Hz.

## **ANÁLISIS**

### **Análisis de datos conductuales.**

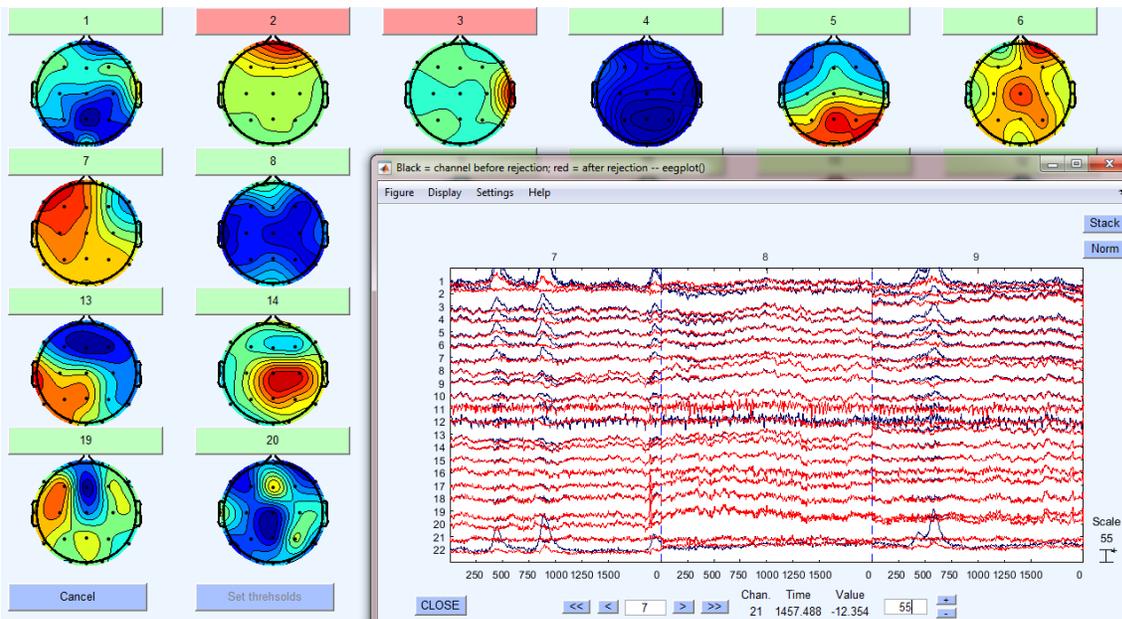
El primer paso para la preparación de la base de datos conductuales fue identificar las respuestas erróneas para descartarlas del análisis (aquellas respuestas consecutivas que indicaban la misma orientación durante la presentación de una de las tres figuras). Posteriormente de manera independiente se analizó por condición (figura Ambigua, Inducida derecha e izquierda) la frecuencia de cambios perceptuales y el tiempo de la estabilidad de la percepción. Se utilizó el programa Statistica para la comparación de los resultados conductuales, en el que se aplicó un ANOVA de medidas repetidas de 2 factores (3X2) con corrección Bonferroni: el factor *Figura* con 3 niveles (figuras Ambigua, Inducida izquierda e Inducida derecha) y el factor *Dirección del cambio perceptual* con 2 niveles (cambio izquierdo y cambio derecho). Se consideró el tamaño del efecto ( $\eta^2p$ ) con la prueba *eta cuadrado parcial*, donde a partir de un valor de 0.06 se considera un efecto medio y mayor a 0.13 es un efecto medio. Para los análisis *Post-hoc* se aplicó la prueba Tukey, los valores reportados son la Diferencia de Media ( $DM_T$ ) y se consideró un nivel de significancia menor o igual a 0.05.

## Pretratamiento de registros electroencefalográficos.

La limpieza de los registros electroencefalográficos se realizó con el toolbox EEGLAB versión 14\_1\_2b de MATLAB a través del análisis de componentes independientes (ICA por sus siglas en inglés). Se identificaron y retiraron aquellos componentes asociados con artefactos oculares, con la tensión mastoidea o saturación muscular frontal (Figura 6).

**Figura 6**

*Ejemplo de la limpieza del EEG a través del ICA*



*Nota.* De los 22 componentes se identificaron dos asociados con artefactos, el componente #2 con parpadeos y el componente #3 con artefacto en el canal T8. En la ventana del registro los trazos azules muestran el registro original y los trazos rojos sobrepuestos muestran el registro después de haber eliminado los componentes asociados a artefactos.

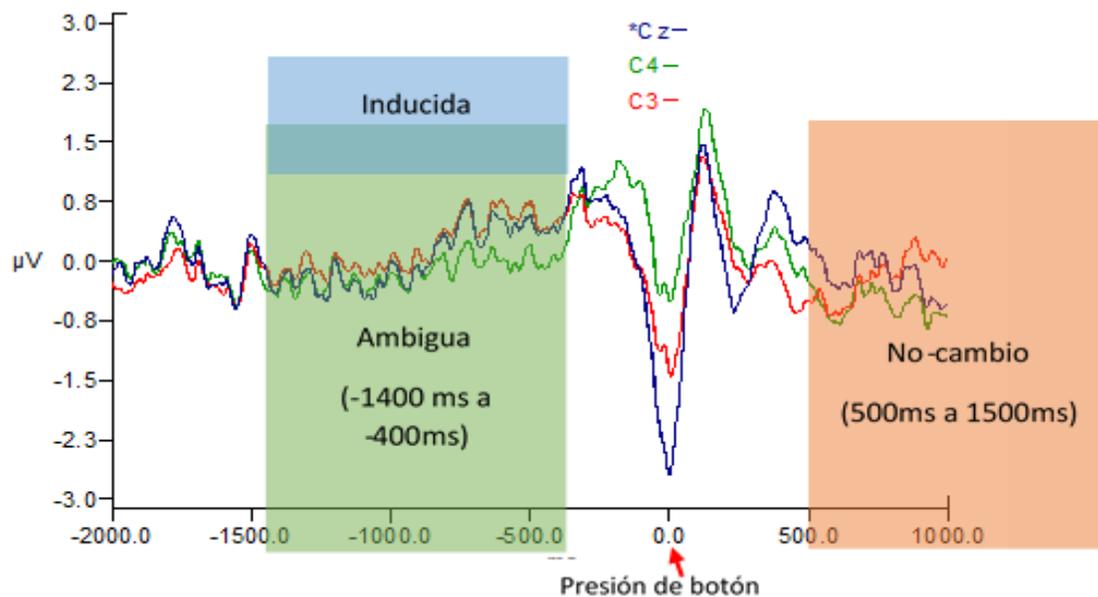
## Estimación de la duración de épocas para el análisis espectral.

Se realizó un análisis de promediación para estimar el tiempo de duración de la ventana de análisis con el objetivo de dejar fuera el componente motor de la respuesta. En la figura 7 se observa que en los electrodos centrales existe una deflexión que comienza a partir de los

300 ms previos a la presión del botón por parte del participante, observándose su pico máximo justo en el momento en que se da la respuesta y recuperándose después de los 400 ms.

**Figura 7**

*Promedio de actividad de los electrodos centrales*



*Nota.* Se observa una mayor amplitud negativa en la región media, seguida del electrodo izquierdo. Los recuadros de colores señalan los tiempos en el que se tomó la señal para formar las épocas para el análisis espectral.

### **Análisis Espectral de la señal.**

A partir de los resultados de promediación se consideró la duración de las épocas para las condiciones de la figura Ambigua y la condición Inducida a partir de los de los -1400 ms a los -400 ms previos a la presión del botón que indicaba el reporte del participante de haber experimentado un cambio perceptual. Para la condición de No-cambio se tomó de los 500 ms a los 1500 ms después de la respuesta (Figura 7), aceptándose únicamente respuestas

cuya estabilidad fuera mayor a 3500ms para evitar el traslape con actividad asociada con el siguiente cambio perceptual.

Con la aplicación de EEGLAB se hizo el análisis de espectro de potencia con el método Transformada Rápida de Fourier. Se obtuvieron los mapas topográficos para cada tipo de banda y en cada mapa se representa la densidad de poder espectral en escala logarítmica de cada uno de los electrodos.

Para el análisis estadístico se consideró el factor de *Condición* con tres niveles (Ambigua, Inducida y No-cambio), el factor *Línea longitudinal* en donde se agruparon los electrodos en tres niveles: Línea Frontal (F7, F3, Fz, F4 y F8), Línea Coronal (T3, C3, Cz, C4, T4) y Línea Parietal (P7, P3, Pz, P4, P8) y el factor *Lateralidad* que comprendió 5 niveles (Izquierdo distal, Izquierdo proximal, Central, Derecho proximal y Derecho distal). Con el programa Statistica se realizó un análisis multivariado de medidas repetidas, aplicando la prueba Wilks Lambda. Para los análisis post-hoc se utilizó la prueba Tukey para evaluar las comparaciones entre los niveles de los factores, estableciendo un nivel de significancia menor o igual a 0.05.

### **Análisis tiempo-frecuencia.**

Se aplicó el método de Wavelets a las mismas épocas de análisis, los parámetros establecidos para el análisis de las Wavelets fueron los siguientes:

*'cycles', [3], 'nfreqs', 40, 'ntimesout', 200, 'freqs', [0 50], 'freqscale', 'log', 'scale', 'log'*

De acuerdo con Cohen (2014), el número de ciclos controla el intercambio entre la precisión temporal y de frecuencia; un número grande de ciclos, entre 7 a 14, ofrece una mejor precisión de la frecuencia a costa de la precisión temporal. No obstante, como el objetivo del trabajo fue seguir los cambios de frecuencia en el tiempo, se optó por establecer tres ciclos wavelets para detectar de mejor manera la actividad transitoria.

En cuanto al parámetro *nfreqs*, se refiere al número de frecuencias de salida generadas, que tiene que ver con la resolución de las frecuencias, mientras mayor sea este valor (e.g. 100

Hz) se obtendrán gráficos más suavizados, pero se aumentará innecesariamente el tiempo de procesamiento, pues sería poco probable encontrar información independiente entre frecuencias cercanas (e.g. 6.3 Hz contra 6.6 Hz). Por esta razón se recomienda usar de 20 a 30 las cuales cubren el rango de frecuencias a analizar (Cohen, 2014). El parámetro *Ntimesout* que es el número de tiempo de salida, en donde a mayor tiempo mejor es la resolución temporal en el gráfico.

*Freqs* se refiere al rango de frecuencias a analizar. El parámetro *Freqscale* afecta la apariencia visual del gráfico sin alterar los datos de los análisis, a diferencia de la lineal, la escala logarítmica (*'log'*) permite examinar claramente la actividad de baja frecuencia. La escala logarítmica fue de interés ya que en los análisis espectrales se observaron resultados significativos en oscilaciones lentas.

El resultado final consistió en la representación gráfica del promedio de la distribución de las frecuencias en el tiempo con su valor de densidad espectral para cada una de las condiciones de la tarea perceptual. Los gráficos obtenidos se examinaron de forma descriptiva.

## CAPÍTULO V

---

### RESULTADOS

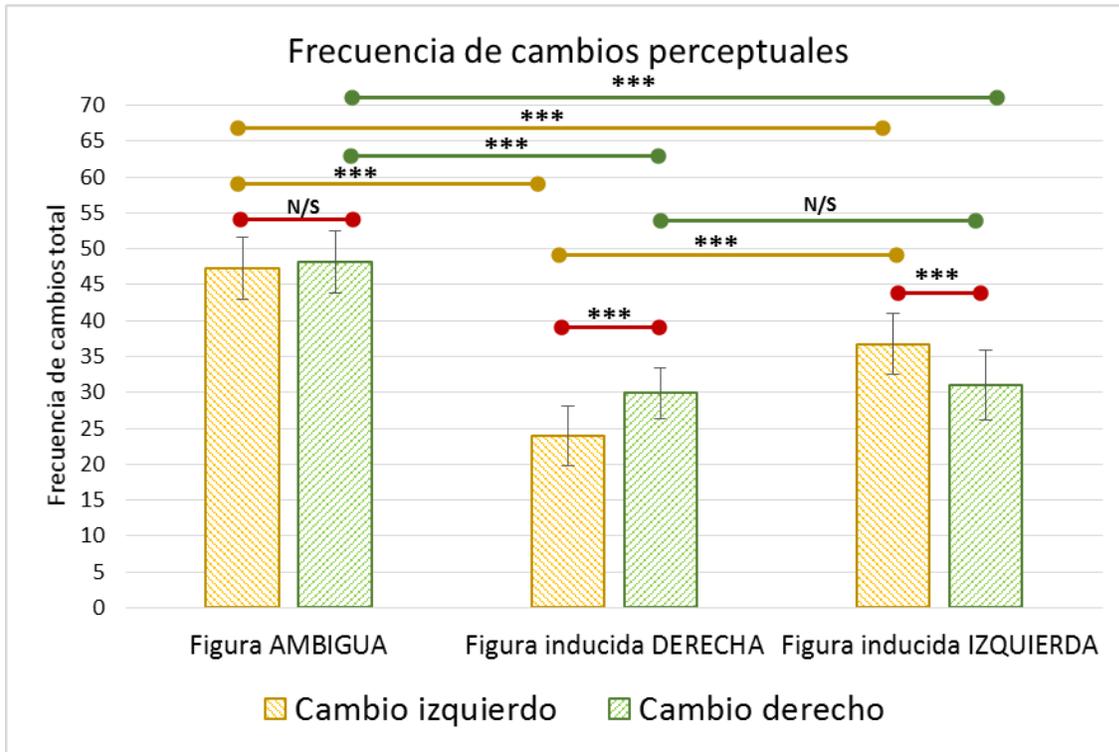
#### RESULTADOS CONDUCTUALES

A partir de la evaluación previa que se realizó sobre las habilidades perceptuales se obtuvo el índice promedio de razonamiento perceptual de los participantes, encontrándose un valor medio de 100 ( $\pm 12$ ). La mayoría de los participantes obtuvieron una puntuación que se ubicó dentro del promedio ( $n=16$ ), seguido de un índice promedio-bajo ( $n=3$ ), promedio alto ( $n=2$ ) y superior al promedio ( $n=1$ ).

Con relación al número de cambios perceptuales se observó un efecto significativo entre el tipo de figura ( $F(2, 42) = 29.755, p=0.000, \eta^2p=0.586$ ). La frecuencia de cambios promedio en la figura Ambigua fue de 96 cambios en 6 minutos, esta cantidad fue significativamente mayor que los cambios observados en la figura Inducida izquierda con 68 cambios ( $p<0.0001$ ), así como la figura Inducida derecha con 54 cambios ( $p=0.0001$ ). En cuanto a las diferencias entre la frecuencia de cambios de las figuras Inducidas, el cubo derecho obtuvo un menor número de cambios ( $p=0.039$ ). Adicionalmente se encontró una interacción significativa entre los factores de condición x orientación de la percepción ( $F(2, 42) = 31.45, p=0.000, \eta^2p=0.59$ ). En la Figura 8 se muestran las diferencias significativas de los análisis post-hoc entre cada una de las condiciones, en ella se observa que únicamente en la condición Ambigua los cambios en la orientación derecha e izquierda se mantuvieron similares, sin cambios significativos; lo opuesto ocurrió con las figuras Inducidas, en donde la mayor cantidad de cambios ocurrió en la orientación que se indujo. Sin embargo, cuando se compara la misma orientación entre las figuras Inducidas, se observa que los cambios derechos permanecieron similares entre sí.

**Figura 8**

*Promedio del número de cambios perceptuales por tipo de figura presentada*



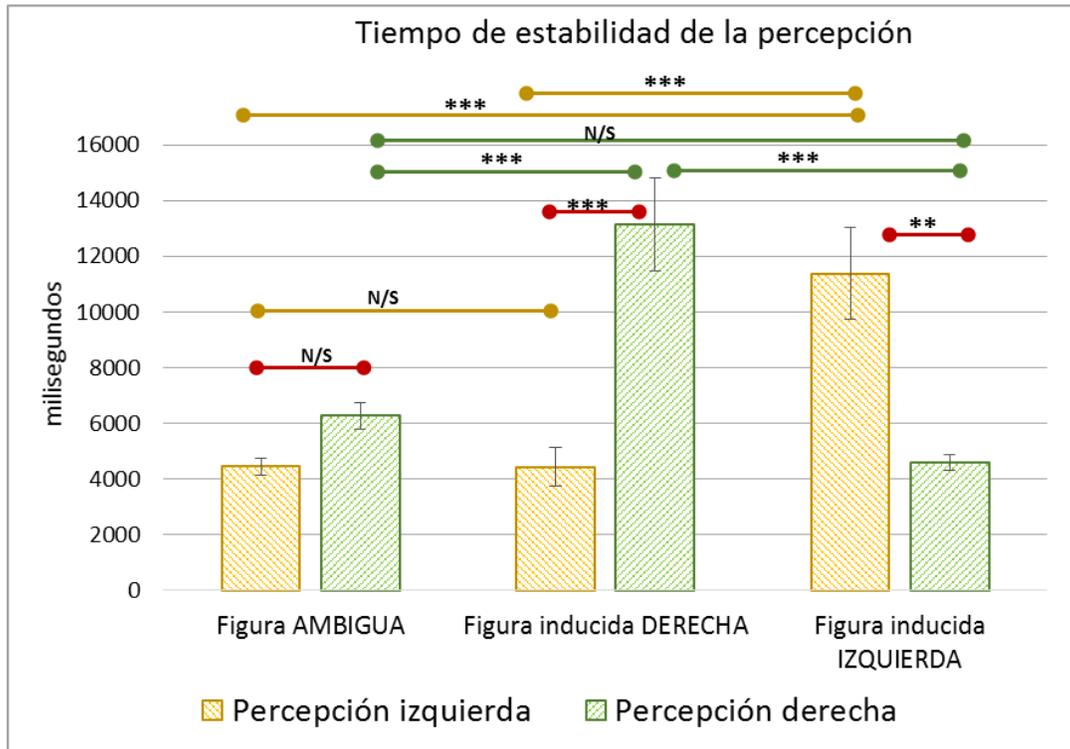
*Nota.* Las líneas horizontales indican las comparaciones entre condiciones, donde \*\*\* =  $p \leq 0.001$  y N/S= no significativo.

En cuanto al análisis tiempo de estabilidad de la percepción, se observó una interacción significativa entre la figura y la dirección del cambio perceptual ( $F(2, 40) = 25.17, p = 0.000, \eta^2_p = 0.557$ ). Como se puede observar en la Figura 9, las comparaciones post-hoc indican que durante la presentación de la figura Ambigua la duración de la estabilidad derecha o izquierda no difieren significativamente ( $DM_T = 1864.33, p = 0.754$ ). En la figura Inducida derecha se mantiene más estable la percepción derecha (13140 ms) en comparación con la percepción izquierda ( $DM_T = 7905.83, p = 0.002$ ); mientras que para la figura Inducida izquierda la estabilidad de la percepción izquierda (11368 ms) es mayor que la percepción derecha ( $DM_T = 5894.20, p = 0.000$ ). En cuanto a la comparación entre el tipo de orientación con las diferentes figuras, no hubo diferencias significativas entre el tiempo de estabilidad de la orientación izquierda de la figura Ambigua con la figura derecha ( $p = 1$ ), así como tampoco ocurrió con la orientación derecha de la figura Ambigua contra la de la figura

izquierda ( $p= 0.844$ ); esto quiere decir que para las figuras Inducidas, la orientación opuesta que no se induce muestra características de tiempo similares a las de la figura Ambigua.

**Figura 9**

*Comparación del tiempo de estabilidad entre condición y dirección del cambio perceptual*



Nota. Las líneas horizontales indican las comparaciones entre condiciones, donde \*\*=  $p \leq 0.01$ , \*\*\*=  $P \leq 0.001$  y N/S= no significativo.

## RESULTADOS ELECTROFISIOLÓGICOS

### Análisis espectral de la señal.

Para el análisis de la banda Delta se encontró un efecto principal de la condición (Wilks Lambda= 0.428,  $F= 12.356$ ,  $p= 0.0002$ ), lo que indica que independientemente del electrodo hubo diferencias significativas entre las condiciones. De acuerdo con los análisis post hoc, hubo un aumento de la actividad Delta en las condiciones Ambigua ( $p=0.002$ ) y la Inducida ( $p= 0.001$ ) respecto a la condición de No-cambio. No se observaron diferencias significativas entre la condición Ambigua contra la Inducida ( $P= 0.078$ ). El aumento de potencia asociado

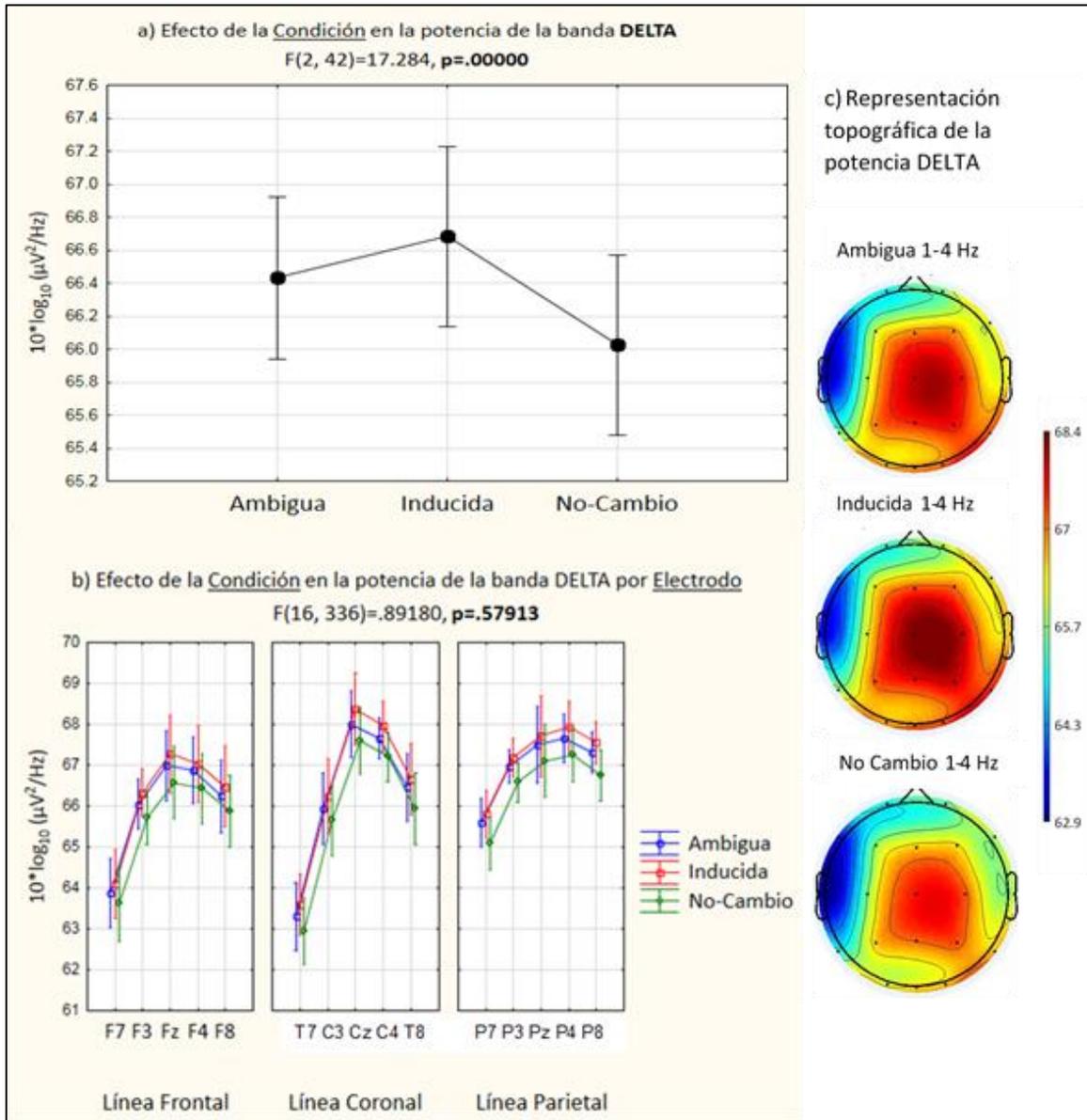
al cambio perceptual se generalizó en todos los electrodos, a pesar de que en los análisis topográficos se observara una mayor densidad de potencia en los electrodos centro-parietales derechos (Figura 10), la interacción no fue estadísticamente significativa entre los factores: Condición \* Línea longitudinal (Wilks Lambda= 0.855, F= 0.76, p= 0.564), ni para la Condición \* Lateralidad (Wilks Lambda= 0.729, F=0.649, p= 0.726).

Para la banda Theta (4-7 Hz) también se encontró un efecto principal de la condición (Wilks Lambda= 0.517, F= 9.329, p= 0.001), en donde se observó un aumento de la potencia de Theta en la condición Ambigua (p= 0.002) e Inducida (p= 0.003) respecto a la condición de No-cambio. Al igual que en Delta, el aumento de potencia en la oscilación Theta no difiere entre los cambios perceptuales de la condición Ambigua e Inducida (p= 0.989). Por otra parte, no se encontró una interacción significativa entre los tres factores Condición \* Línea longitudinal \* Lateralidad (Figura 11).

Para la banda Alfa, se observó un efecto principal entre condiciones (Wilks Lambda= 0.697, F= 4.336, p= 0.027), en donde la diferencia de potencia es significativamente mayor únicamente en la condición Ambigua respecto a la condición de No-cambio (p= 0.009). Adicionalmente, hubo una interacción significativa entre los factores Condición \* Línea longitudinal (Wilks Lambda= 0.426, F= 6.061, p= 0.0028). Como se puede observar en la Figura 12, de acuerdo con las comparaciones post hoc, en la línea Frontal se observó un aumento de potencia ante el cambio perceptual respecto a la condición de No-cambio (Ambigua: p=0.000; Inducida: p= 0.000), pero no hubo diferencias entre las condiciones Ambigua o Inducida (p= 0.102). En la línea coronal también se vio el efecto de aumento de potencia asociada al cambio perceptual (Ambigua: p= 0.003; Inducida: p= 0.000), pero adicionalmente la condición Ambigua mostró una diferencia mayor respecto a la Inducida (p= 0.000). Finalmente, en la línea parietal exclusivamente para la condición Ambigua mostró un aumento de potencia respecto a la condición Inducida (p= 0.000) y la de No-cambio (p= 0.000).

**Figura 10**

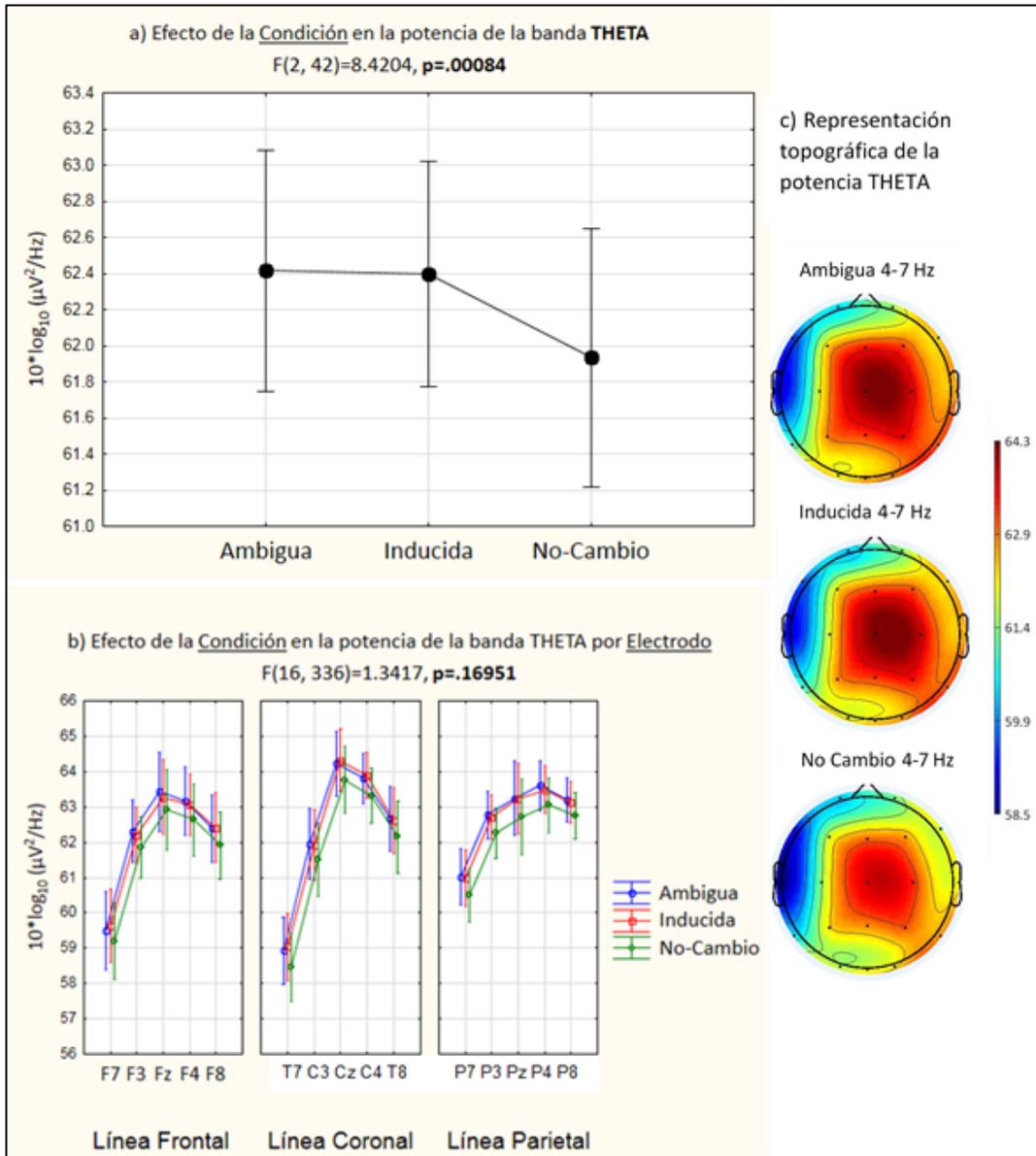
Valores de potencia en la banda Delta (1-4 Hz) por condición



*Nota.* Se observa un aumento de Delta para las dos condiciones de cambio perceptual respecto a la de estabilidad, en la gráfica b) se presenta el mismo efecto, en donde cada electrodo de la línea frontal, coronal y parietal se aprecia una mayor potencia de Delta en las condiciones Ambigua e Inducida. En la figura c) aparecen los tres mapas topográficos para la condición Ambigua, Inducida y No-cambio. Los colores indican el valor de la densidad de poder espectral ( $\mu V^2/Hz$ ) para cada electrodo.

**Figura 11**

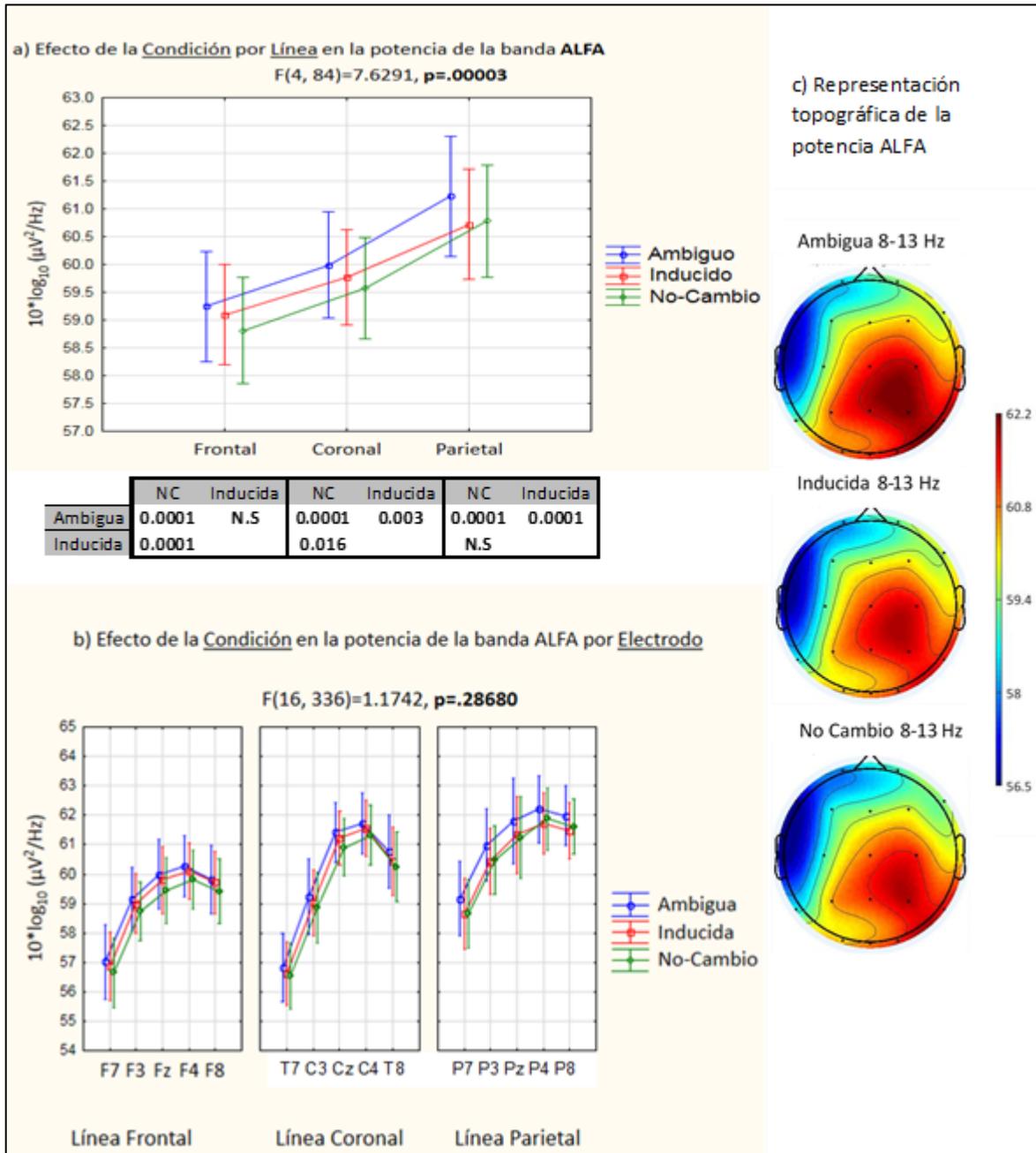
Valores de potencia en la banda Theta (4-7 Hz) por condición



Nota. En la gráfica a) se observa un aumento de Theta para las dos condiciones de cambio perceptual respecto a la de estabilidad. En la gráfica b) se puede observar el mismo efecto, en donde cada electrodo de la línea frontal, coronal y parietal se aprecia una mayor potencia de Theta en las condiciones Ambigua e Inducida. En la figura c) aparecen los tres mapas topográficos para la condición Ambigua, Inducida y No-cambio. Los colores indican el valor de la densidad de poder espectral ( $\mu V^2/Hz$ ) para cada electrodo.

**Figura 12**

Valores de potencia en la banda Alfa (1-4 Hz) por condición

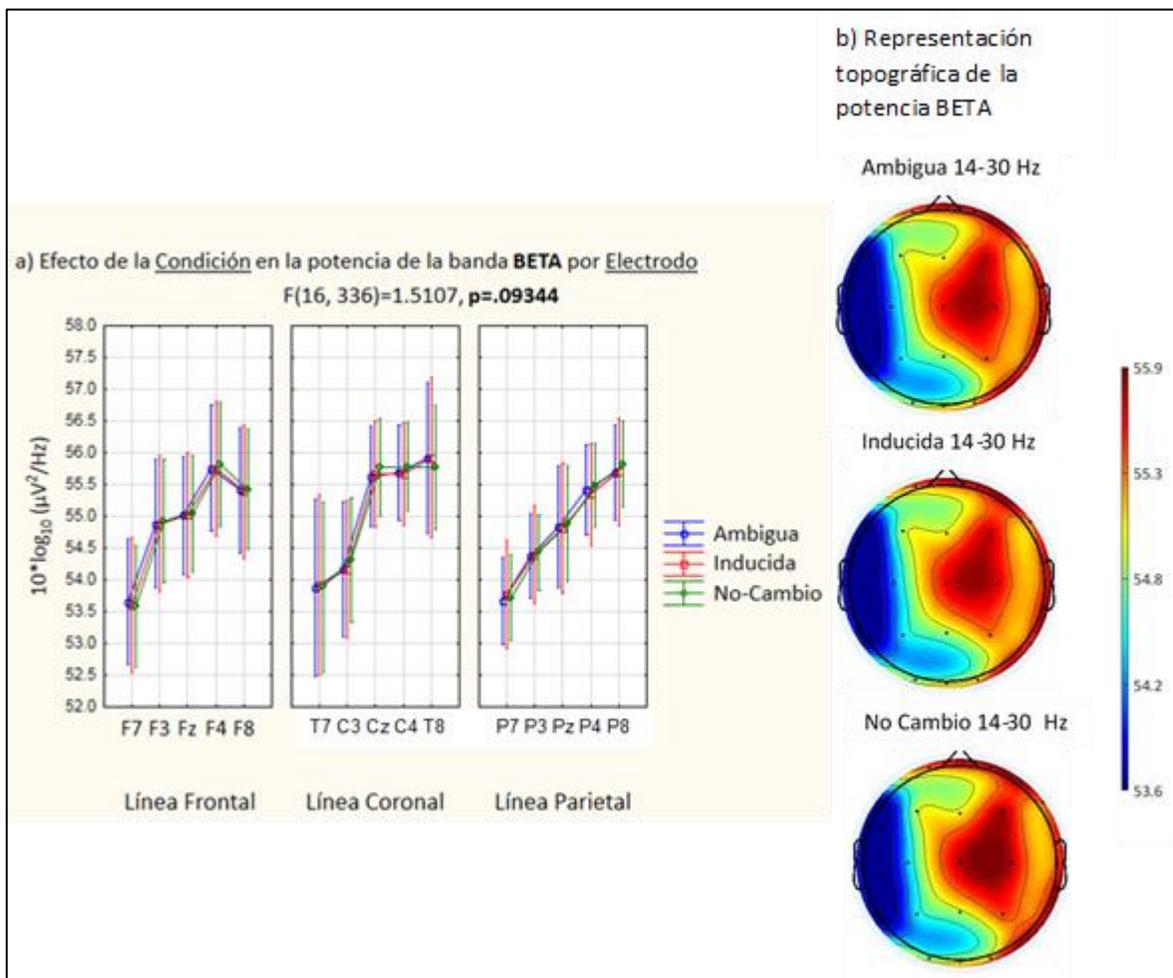


*Nota.* a) Se observa un aumento de Alfa frontocentral para las dos condiciones de cambio perceptual respecto a la de estabilidad, mientras que en la línea parietal el aumento solamente ocurre para la condición Ambigua. En b) se puede observar el mismo efecto descrito en a) pero de forma específica para cada uno de los electrodos. En la figura c) aparecen los tres mapas topográficos para la condición Ambigua, Inducida y No-cambio. Los colores indican el valor de la densidad de poder espectral ( $\mu V^2/Hz$ ) para cada electrodo.

En cuanto a la potencia de la banda Beta no se observó ningún efecto principal para la condición, o la interacción entre la región y/o lateralidad. A pesar de que en los mapas topográficos de Beta (Figura 13) se logra apreciar mayor potencia en regiones frontocentrales derechas no hubo un efecto significativo con la condición perceptual. Para Gamma tampoco ocurrió ningún efecto principal significativo para el factor condición (figura 14).

**Figura 13**

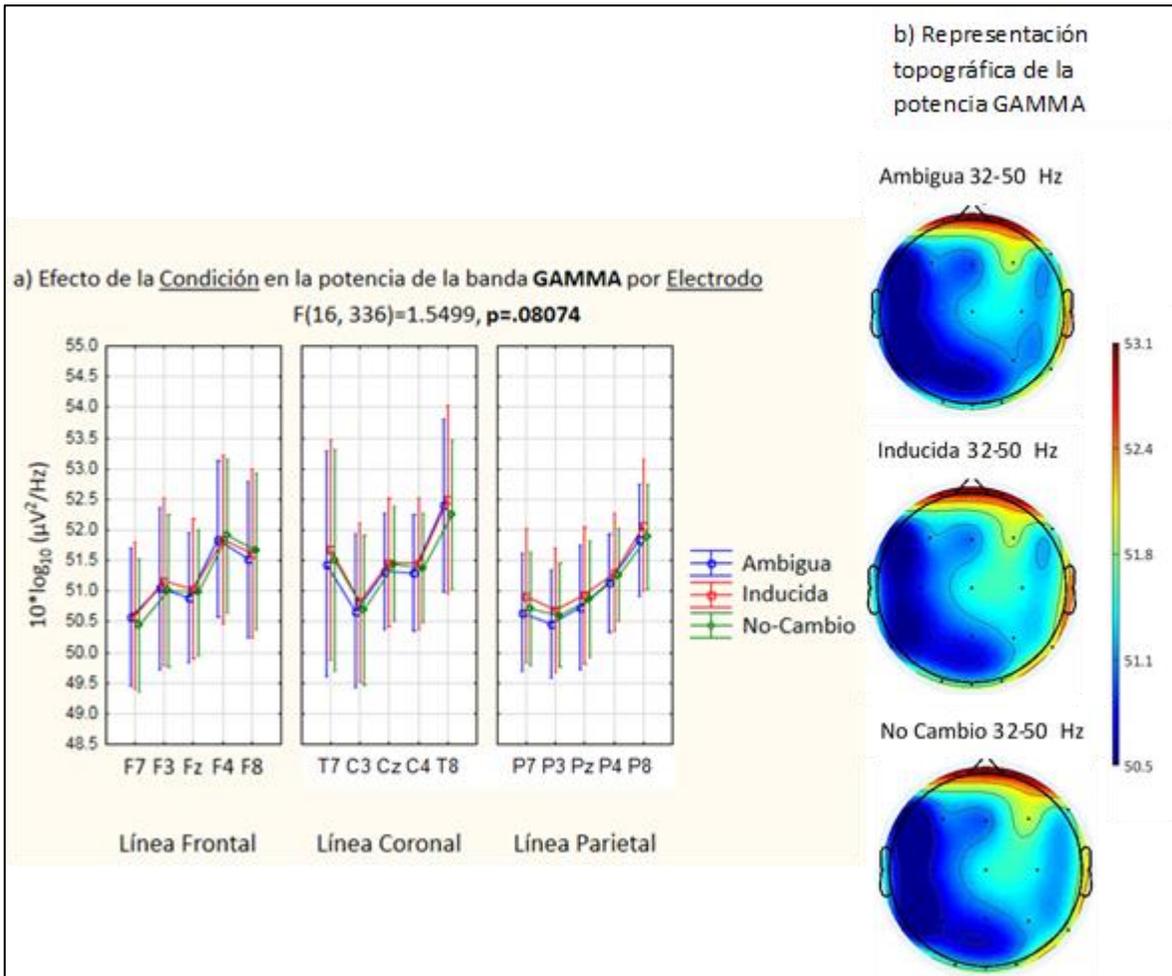
*Valores de potencia en la banda Beta (14-30 Hz) por condición*



*Nota.* a) Las gráficas muestran los valores de potencia alcanzados dentro de la banda Beta por cada electrodo para cada una de las condiciones. b) Se muestran los tres mapas topográficos para la condición Ambigua, Inducida y No-cambio. Los colores indican el valor de la densidad de poder espectral ( $\mu V^2/Hz$ ) para cada electrodo.

**Figura 14**

Valores de potencia en la banda Gamma (32-50 Hz) por condición



*Nota.* a) Las gráficas muestran los valores de potencia alcanzados dentro de la banda Gamma por cada electrodo para cada una de las condiciones. b) Se muestran los tres mapas topográficos para la condición Ambigua, Inducida y No-cambio. Los colores indican el valor de la densidad de poder espectral ( $\mu V^2/Hz$ ) para cada electrodo.

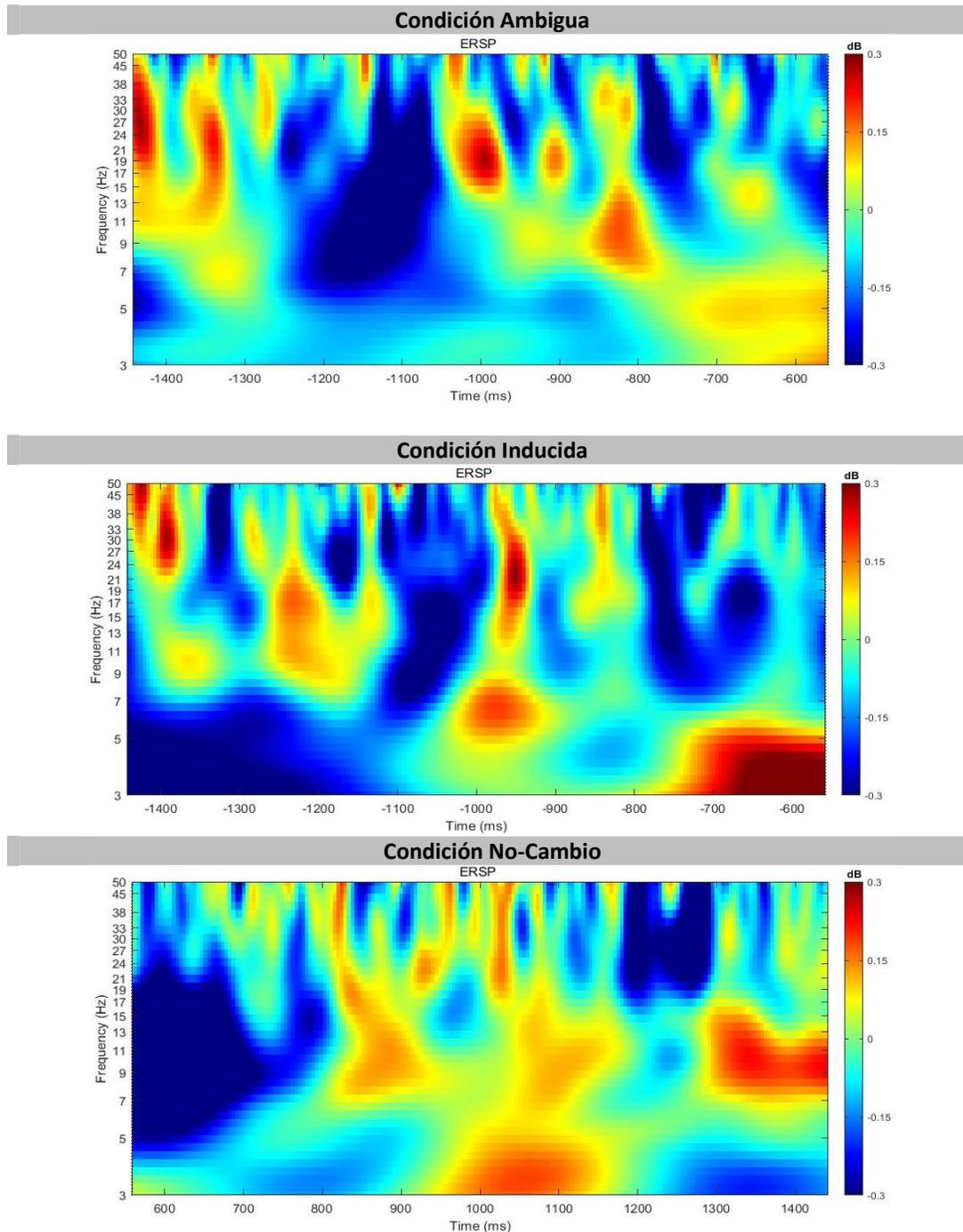
### **Análisis tiempo-frecuencia.**

El método de análisis wavelets permitió obtener de manera independiente el promedio de la actividad predominante que se presenta durante el tiempo para cada una de las tres condiciones. De manera cualitativa en la gráfica 1 de la Figura 15 se pueden identificar dos momentos en los que ocurre aumento de actividad Beta a los 1400 ms y 1000 ms previos a la respuesta del participante. A partir de este punto, 200 ms después, alrededor de los -850 ms, aparece un aumento de oscilaciones Alfa, y finalmente, a partir de los -700 ms es sustituida por actividad perteneciente a las bandas Theta y Delta. La gráfica 2 que muestra la transición de actividad en la condición Inducida, se observan patrones similares a la condición anterior, a los -1400 ms predominan las oscilaciones rápidas Alfa-Beta, finalmente este complejo se vuelve más denso a los 1000 ms previos a la respuesta, y a partir de los -700 ms la potencia de Theta y Delta aumenta, incluso en un mayor nivel que en la condición Ambigua.

En el caso de la condición de No-cambio fue diferente, puesto que la oscilación Beta no alcanzó la misma magnitud que en las condiciones de cambio perceptual. La actividad que se encuentra predominantemente extendida a lo largo del tiempo es la oscilación que pertenecen a la banda Alfa, y una ocurrencia de actividad lenta, Theta y Delta, 1000 ms después de la respuesta motora.

**Figura 15**

*Representación visual del promedio de los análisis Tiempo-Frecuencia*



*Nota.* Se muestra la transición del promedio de los 20 electrodos de la densidad espectral previos a la presión de tecla (condición Ambigua e Inducida) o posteriores (condición No-cambio). El eje horizontal representa la dimensión temporal; el eje vertical representa las frecuencias. Los colores señalan la magnitud de la actividad en decibeles (dB), va de una escala de menor a mayor representados por la transición de azul a rojo respectivamente.

## DISCUSIÓN

Este trabajo tuvo como objetivo describir la dinámica cerebral que acompaña a los cambios perceptuales espontáneos durante la observación de diferentes variaciones del grado de ambigüedad en una figura. Los resultados conductuales apoyaron las primeras dos hipótesis planteadas, en donde se observó un mayor número de cambios perceptuales en la figura ambigua respecto a las figuras inducidas; aunque también se encontraron diferencias significativas en la frecuencia de cambios perceptuales dependiendo del tipo de figura inducida. Las claves dadas para mantener la orientación derecha o izquierda tuvieron mayor influencia en la estabilidad perceptual, influyendo así en una menor ocurrencia de cambios.

De manera general, se observó que la frecuencia de cambios perceptuales es inversamente recíproco al tiempo de estabilidad perceptual, en el caso de la figura ambigua menor tiempo de estabilidad se acompañó de una mayor tasa de cambios perceptuales respecto a las figuras inducidas. De acuerdo con Kornmeier y cols. (2009), la frecuencia de cambios puede estar determinada por la duración de la estabilidad; sin embargo, esta operación no es siempre recíproca, ya que se ha observado que estrategias de control voluntario pueden incrementar o disminuir el tiempo de estabilidad, pero no haber un efecto en la tasa de cambios. Se sugiere que estas observaciones podrían estar reflejando procesos neuronales independientes, por lo que es importante analizar por separado estas dos variables. En el caso del presente estudio, se observó una mayor estabilidad de la percepción a medida que se añadían ayudas visuales en las figuras inducidas, lo que indica una fuerte influencia del sistema Bottom-Up sobre la interpretación de la información a partir de los cambios en la estimulación externa. No obstante, el hecho de que aun en las figuras inducidas hubiera cambios perceptuales, ante la misma figura inducida, indica la activación adicional del sistema Top-Down.

## **LAS OSCILACIONES LENTAS EN LA PERCEPCIÓN MULTIESTABLE**

Con relación a las hipótesis planteadas a nivel electrofisiológico se encontró que los cambios perceptuales se acompañaron de una modulación de oscilaciones lentas; independientemente de que se tratara de la condición Ambigua o Inducida se observó aumento generalizado de la actividad en las bandas Delta y Theta, previo al cambio perceptual respecto a la condición de No-cambio. La modulación encontrada de las oscilaciones lentas coincide con los hallazgos de estudios previos ante tareas perceptuales durante la observación continua de la figura ambigua, aunque a diferencia de otras investigaciones no se encontró una diferenciación entre sitios cerebrales, quienes han descrito un aumento de la actividad Theta en regiones fronto-centrales y centro-parietales que acompañan al cambio perceptual, ya sea espontáneo, voluntario o inducido (Mathes et al., 2014; Ozaki et al., 2012).

Tradicionalmente, se considera que el predominio de la actividad lenta es representativo de las fases de sueño profundo; no obstante, es posible atribuirle un papel funcional en los procesos cognoscitivos. De acuerdo con Harmony (2013), la función activa de la actividad Delta en estado de vigilia está relacionada con la inhibición de procesos atencionales externos cuando se dirigen los recursos cognoscitivos hacia representaciones mentales internas, por ejemplo, durante operaciones que demandan el proceso de memoria de trabajo. En el caso del presente estudio, la atención se dirige hacia un constructo interno derivado de información incompleta, por lo que los cambios perceptuales espontáneos estarían dependiendo en mayor medida de los procesos constructivos internos (Palmer, 1999) del sistema perceptual más que de la modificación de las claves externas.

Respecto a la actividad Theta, se ha descrito un acoplamiento de actividad Theta-Gamma asociado a procesos del muestreo atencional visoespacial continuo. Los estudios de Landau, Schreyer, van Pelt y Fries (2015) sugieren que la alternancia del foco atencional puesto a diferentes localizaciones espaciales está modulada por actividad Theta. Cabe la posibilidad que durante la observación continua de una figura ambigua el sistema perceptual se encuentre continuamente muestreando y alternando la atención puesta a las dos opciones

de constructos perceptuales. Podría suponerse que las oscilaciones Theta están asociadas con procesos transitorios atencionales de monitoreo que ocurren de forma pasiva e independientemente de la estimulación externa.

Dado que durante la percepción multiestable la atención se dirige hacia un constructo interno, podrían estar ocurriendo también procesos transitorios atencionales de monitoreo pasivo, es posible suponer que ambos tipos de actividades, Delta y Theta estarían en funcionamiento durante este proceso de percepción multiestable.

Se ha sugerido que el origen de las oscilaciones lentas ocurre en regiones anteriores, como el giro medial frontal, fronto-medial, giro frontal inferior, cíngulo anterior, precuneus, cíngulo posterior (Harmony, 2013), regiones que son representativas de la red neuronal en reposo (llamada en inglés *Default Mode Network* - DMN), la cual se mantiene predominantemente activa en estados pasivos, en ausencia de estimulación externa o de tareas dirigidas a metas; esta red muestra una correlación negativa en su activación con las otras redes asociadas al procesamiento visual, auditivo o de atención (Fox, Snyder, Vincent, Corbetta, Van Essen & Raichle, 2005; Raichle, MacLeod, Snyder, Powers, Gusnard & Shulman, 2001).

Un estudio reciente ha demostrado una modulación de la oscilación Theta entre la interacción de la DMN con una subred del Control Frontoparietal (CFP) asociada con la atención dirigida a procesos internos (Kam, Lin, Solbakk, Endestad, Larsson & Knight; 2019), en esta red de CFP participa la corteza frontal rostralateral y el surco parietal inferior (Dixon et al., 2018). Aunque los estudios de neuroimagen funcional aún muestran inconsistencias en el tipo de relación que pudiera existir entre la DMN y la CFP al realizar tareas de atención interna (Dixon et al., 2018; Scheibner, Bogler, Gleich, Haynes & Bermppohl, 2017); sin embargo, no se puede descartar su participación en la modulación de los cambios durante la percepción multiestable.

Si existiera algún tipo de interacción entre las dos redes que se acaban de mencionar se puede suponer que las oscilaciones lentas serían representativas de la actividad intrínseca de alguna de estas redes. Especialmente la actividad Theta cumpliría la función de muestreo

intermitente lo que conllevaría a fases de mayor susceptibilidad perceptual, impactando así la transición de las representaciones perceptuales experimentadas por el individuo. Esta suposición contrasta con lo señalado por Ozaki y cols. (2012) quienes suponen que la red implicada en el proceso de la percepción multiestable es el sistema Dorsal Atencional (DAN) y que su firma electrofisiológica está entre los 3 y 4 Hz. En el presente estudio también se observó aumento de oscilaciones entre los 3 y 7 Hz a partir de los -700 ms previos a la respuesta motora, incluso en los gráficos de tiempo se observa una mayor magnitud para los cambios de la condición Inducida; no obstante, parecen contradictorias estas conclusiones puesto que la actividad de la DAN está implicada en tareas dirigida por metas, es decir por el control voluntario de la atención; sin embargo, en el paradigma de presentación continua la instrucción que se les da a los participantes es mantener una actitud pasiva ante los cambios.

En términos anatómo-funcionales tampoco se podría hablar de una contribución paralela de la DMN y la DAN, puesto que los estudios realizados con IMRf consistentemente han señalado una desactivación de la DMN ante tareas de atención dirigida a metas que involucran a la DAN. La Tabla 1 muestra un resumen de estudios de IRMf sobre las regiones y correlación de actividad entre estas redes. (Corbetta et al., 2008; Dixon et al., 2017).

En estudios posteriores habría que disociar la actividad Delta- Theta y la contribución entre la DMN, CFP con las redes atencionales (DAN y ventral atencional) durante el proceso de la percepción multiestable, puesto que estos cuatro sistemas comparten estructuras cerebrales de la corteza frontal y parietal (Corbetta et al., 2008; Kam et al., 2019; Scheibner et al., 2017) cuya actividad podría traslaparse.

**Tabla 1**

*Regiones cerebrales involucradas en las redes neuronales y su correlación funcional*

Redes	Default Mode (DMN)	Control Fronto parietal (CFP)	Dorsal Atencional (DAN)	Ventral Atencional (VAN)
Regiones asociadas	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Cx prefrontal medial</li> <li>•Cíngulo posterior</li> <li>•Cx parietal medial</li> <li>•Unión temporoparietal</li> <li>•Cx parietal inferior</li> <li>•Hipocampo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Cx prefrontal rostralateral</li> <li>•Giro frontal superior y medio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Surco precentral</li> <li>•Campo ocular frontal</li> <li>•Surco intraparietal</li> <li>•Giro parietal superior</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Giro frontal medio e inferior.</li> <li>•Unión temporoparietal</li> </ul>

Correlación IRMf	DMN	CFP	DAN	VAN
			↑ - ↓↑	
		↓ - ↑		
	↑ - ↑			↑ - ↓↑

Nota. Se muestran los hallazgos de diferentes estudios de IRMf (Corbetta et al., 2008; Kam et al., 2019; Scheibner et al., 2017). La orientación de las flechas indica la dirección de activación simultánea respecto a la otra red; por ejemplo, en el caso en que se activa (↑) la DAN, la DMN disminuye (↓) su actividad, mientras que en el caso de la VAN algunos estudios han encontrado activación mientras que otros señalan desactivación (↓↑).

### LA OSCILACIÓN ALFA COMO ESTABILIZADORA DE LA PERCEPCIÓN

En el presente estudio se observó una potencia aumentada de la banda Alfa asociada a los cambios perceptuales, tal como se detalló en la tercera hipótesis, la modulación de actividad Alfa tuvo un efecto diferenciado por el tipo de condición perceptual, puesto que el aumento en regiones parietales fue exclusivo de la condición de mayor ambigüedad. Estos resultados coinciden con los estudios llevados a cabo con técnicas de IRMf (Baker, Karapanagiotidis, Coggan, Wailes-Newson & Smallwood, 2015; Megumi, Bahrami & Rees, 2015) y los análisis de densidad de corriente (Britz et al., 2009; Britz et al., 2011), quienes señalan consistentemente al lóbulo parietal derecho como una región fundamental durante el proceso de la percepción multiestable. Con estos resultados se puede suponer que el proceso de cambio perceptual ocurre en esta región y se encuentra modulada por la

oscilación Alfa, especialmente cuando el sistema es menos susceptible a la estimulación externa.

Los estudios sobre percepción multiestable han señalado una correlación positiva del poder de Alfa con el mantenimiento de la estabilidad perceptual (Piantoni et al., 2017). Incluso se han asociado aspectos de la variabilidad individual de la actividad en reposo, en donde aquellos individuos que muestran una fuerte correlación en la banda Alfa entre dos momentos diferentes experimentan una tasa menor de cambios espontáneos (Sangiuliano-Intra, Avramiea, Irrmischer, Poil, Mansvelder & Linkenkaer-Hansen, 2018). El rol causal de Alfa también se ha estudiado manipulando variables fisiológicas que alteran los tiempos de estabilidad perceptual, por ejemplo, ante la privación de sueño de un grupo de participantes, se presenta un aumento en la amplitud de Alfa, este grupo reportó menos cambios perceptuales respecto al grupo control (Piantoni et al., 2017).

Tradicionalmente se ha asignado a la oscilación Alfa un papel inhibitorio del procesamiento visual de la información en las cortezas visuales primarias, en donde el aumento de potencia conlleva a una disminución de la excitabilidad cortical junto a la baja capacidad para procesar múltiples estímulos (Lange, Keil, Schnitzler, van Dijk & Weisz, 2014). De hecho, una característica típica que se identifica durante el EEG en reposo con ojos cerrados es el aumento de actividad Alfa sobre regiones occipitales, la aparición de esta oscilación se asocia con la ausencia de procesamiento de la información visual externa.

Por otra parte, Piantoni y cols. (2017) proponen que Alfa no se restringe únicamente a procesos inhibitorios, ya que esta banda también opera en altos niveles de jerarquía cortical manteniendo su potencia estable durante la duración de la percepción, por lo que su función es la de estabilizar la actual configuración de la actividad neuronal.

Una propuesta para ajustar los hallazgos señalados previamente con los encontrados en el presente estudio sería que la actividad Alfa observada durante los periodos previos y posteriores a la respuesta de cambio perceptual podrían estar reflejando dos procesos diferentes. Los gráficos tiempo-frecuencia ilustran que en las condiciones de cambio perceptual la actividad Alfa se presenta asociada casi de forma simultánea con actividad

rápida a los -1400 ms y posteriormente a los -1000 ms; en este último periodo, sólo para la condición Ambigua, Alfa aparece desfasada casi 200 ms después de la ocurrencia de actividad rápida. Estas observaciones supondrían, como más adelante se detallará, que Alfa podría estar cumpliendo la función de inhibir la percepción contraria, siendo más marcada en regiones parietales para la condición Ambigua, puesto que las características físicas de la figura la hacen más propensa al cambio, mientras que para la condición de No-cambio que corresponde a un periodo de análisis de estabilidad perceptual, la potencia de Alfa aunque menor comparada con las otras dos condiciones, es la oscilación que predomina en los gráficos de tiempo, por lo que se le podría atribuir el rol de estabilizar el estado perceptual actual.

Hasta aquí se han descrito las diferentes funciones de la oscilación Alfa sobre los procesos asociados a la ausencia de estimulación visual con una mayor contribución de regiones parieto-occipitales. Sin embargo, también existe otro tipo de modulación en un rango de frecuencias similares (8 a 13 Hz) pero asociado a la percepción del movimiento que ocurre únicamente en regiones centrales conocido como ritmo *Mu*. Esta oscilación fue descrita por primera vez por Gastaut y Bert (1954) quienes reportaron la supresión durante la imaginación del movimiento o la simple observación del movimiento en un agente externo. Se ha propuesto al circuito de las neuronas espejo responsable de este mecanismo de control, ya que la simple observación de las acciones, emociones y sensaciones de otros activa nuestras propias representaciones internas de nuestro cuerpo asociadas a esos estímulos sociales (Garakh, Novototsky-Vlasov, Larionova & Zaytseva, 2020; Pineda, Giromini, Porcelli, Parolin & Viglione, 2011). Las representaciones internas sobre la sensación del movimiento también pueden ocurrir durante la observación de estímulos ambiguos que simulen un movimiento biológico; ejemplo de ello es el estudio de Pineda et al. (2011) realizado con láminas de Rorschach en el que se les pedía a los participantes tratar de mantener la percepción en determinada interpretación, se encontró una mayor supresión de *Mu* en sitios centrales de la corteza cerebral durante la observación de estímulos ambiguos que evocaban acciones de conducta humana (e.g niños en un columpio) contra los estímulos ambiguos con menor grado de movilidad (e.g árbol de navidad). Incluso, la percepción de

herramientas (e.g. una llave de agua) contra estímulos no-herramientas (e.g. una maceta) está asociada a la desincronización de Mu sobre sitios centro-parietales, con una tendencia hacia la lateralización izquierda, 140-175 ms después de la presentación de los estímulos (Proverbio, 2012). Estos estudios sugieren una relación entre la percepción del uso intrínseco del objeto (affordance) y una mayor activación de las regiones sensoriomotoras responsables de la supresión del ritmo Mu. En lo que respecta a la presente investigación, es poco probable que los estímulos ambiguos usados, los cubos de Necker, guarden una connotación con el movimiento biológico; además, en los análisis de potencia más que encontrar una disminución de la banda Alfa, ésta incrementó su gradiente anteroposterior durante el cambio perceptual, siendo mayor para la condición Ambigua. Sería recomendable realizar análisis más precisos en segmentos cortos de tiempo para distinguir la supresión, además de incluir diferentes figuras ambiguas con grados de movilidad biológica diferentes (e.g la figura *cara-copa* o estímulos ambiguos con movimiento estroboscópico). De encontrarse un efecto sobre la supresión del ritmo Mu, se podría tomar como indicador al cambio de la percepción y prescindir de la respuesta motora iniciada voluntariamente por el participante, de esta manera se evitaría la inclusión de otros procesos no asociados al cambio perceptual.

## **LAS OSCILACIONES RÁPIDAS PROMOTORAS DEL CAMBIO**

En el análisis espectral de la banda Beta y Gamma no se encontraron diferencias significativas entre las condiciones de cambio perceptual y de No-cambio; no obstante, en los gráficos tiempo-frecuencia se observó una contribución transitoria corta de la banda Beta (14 a 30 Hz) y Gamma (33-50 Hz) alrededor de los 1400 ms previos a la respuesta, y posteriormente otra contribución esporádica de Beta a los -1000 ms. Es probable que la ausencia de diferencias en la potencia de Beta entre condiciones se deba a que la contribución de Beta en las condiciones de cambio perceptual (ambigua e inducida) fuera realmente corta, aproximadamente de 100 ms, respecto al total de la ventana de análisis de 1000 ms.

Adicionalmente, alrededor de los -1000 ms se pudo observar un “complejo Beta-Alfa” asociados en el tiempo, en el caso de la condición Inducida se presentan en el mismo momento, mientras que para la condición Ambigua unos 100 ms desfasada. Al respecto, en la literatura se ha descrito que ante procesos de atención selectiva visual se observa actividad de la banda Gamma acoplada con Theta (Landau et al., 2015). También se han asociado frecuencias de  $\pm 36$  Hz que correlacionan con el proceso de identificación perceptual 230 ms después de la aparición del estímulo visual (Rodríguez, George, Lachaux, Martinerie, Renault & Varela, 1999). Se ha propuesto que las oscilaciones rápidas entre 20 a 80 Hz, registradas intracorticalmente, tienen implicaciones en los procesos de integración simultánea de la información repartida entre distintas áreas del cerebro. Lo que quiere decir que la fase y la frecuencia son iguales entre redes encargadas del procesamiento de las distintas características de un mismo objeto, pero distintas de los grupos neuronales del procesamiento de otros objetos, esto permite asociar los atributos visuales de un solo objeto sin que se mezclen con otros de la misma escena visual (Contreras, 2002).

Se le ha atribuido un rol especial a las oscilaciones rápidas como desencadenadoras de los cambios perceptuales, ya que cuando se aumenta de manera exógena esta actividad, a través de estimulación de corriente alterna transcraneal a 60 Hz se ha observado un incremento de los cambios perceptuales; la interpretación de los resultados es que a nivel cortical las oscilaciones rápidas facilitan la integración transitoria de ensamblajes neuronales distribuidos asociados al procesamiento de las características de un mismo estímulo (Cabral-Calderin, Schmidt-Samoa & Wilke, 2015).

El hecho de observar inicialmente, en los análisis de tiempo, actividad transitoria de oscilaciones rápidas previas al reporte de cambio perceptual, podría ser una característica de las redes en reposo en la que se introduce el componente de "ruido", lo que convertiría al sistema en un estado más propenso al cambio; mientras que la coincidencia de ocurrencia con la banda Alfa sería la combinación necesaria para iniciar la construcción de una nueva representación perceptual.

## LA PERCEPCIÓN MULTISTABLE EN CONDICIONES CLÍNICAS

Finalmente, retomando el modelo de los sistemas dinámicos de Pisarchik y Feudel (2014), la multiestabilidad aumenta en sistemas acoplados dado el incremento en la complejidad cuando dos o más sistemas se unen, por lo que la emergencia de la multiestabilidad depende fuertemente del tipo y la fuerza de acoplamiento (lineal o no lineal, unidireccional o mutuo), los puntos en los que ocurre el cambio de “atractor” está frecuentemente acompañada por pérdida de sincronización. Con base a lo anterior, es factible que en condiciones clínicas psiquiátricas se encuentren afectadas las redes o configuraciones y se muestren más propensas al ruido, ya que la coexistencia de estados dinámicos indeseables podría cambiar los parámetros del sistema. Ejemplo de estas condiciones clínicas es el caso de la esquizofrenia en donde se ha encontrado ausencia de la modulación de Theta asociada al cambio perceptual, además de mostrar una alta actividad Theta durante reposo (Mathes, Schmiedt-Fehr, Kedilaya, Strüber, Brand & Basar-Eroglu, 2016). En el caso del TDAH no existen estudios que relacionen la dinámica perceptual con las características cognoscitivas del trastorno, aunque se ha visto que existe correlación entre los parámetros del tiempo de estabilidad perceptual y la velocidad de procesamientos en tareas de atención endógena, es decir, que la inestabilidad perceptual y altos niveles de atención están asociadas con la dinámica cerebral endógena, por lo que se esperaría encontrar el patrón opuesto en este grupo clínico (Wernery, Atmanspacher, Kornmeier, Candia, Folkers & Wittmann, 2015). En cuanto a la banda Alfa se propone como un indicador para estudiar ciertos déficits cognoscitivos, donde se esperaría que en aquellos individuos con menor flexibilidad mental se observe una potencia elevada y una disminución de los cambios perceptuales espontáneos (Piantoni, et al., 2017).

## LIMITACIONES Y RECOMENDACIONES FUTURAS

Es probable que la ausencia de diferencias significativas en el patrón electroencefalográfico entre las condiciones de cambio perceptual (ambigua e inducida) se deba a que se trate del mismo fenómeno perceptual espontáneo, ya que a pesar de que conductualmente en la figura inducida se encuentre disminuida la frecuencia de cambio perceptual y aumentado su tiempo de estabilidad, el proceso de cambio perceptual seguía ocurriendo. Es por ello que sería conveniente incluir figuras control sin ambigüedad y alternarlas con tiempos aleatorios durante el segmento de presentación continua.

Otra alternativa que se podría implementar para tener mayor control sobre los cambios perceptuales en la condición Inducida, sería a través del diseño de experimentos sobre reclutamiento de claves (visuales y/o auditivas); existe evidencia que a través del aprendizaje asociativo la tasa de aprendizaje a una clave elegida de manera arbitraria puede llegar a controlar los atributos perceptuales a los que se atiende y por ende cambiar la percepción de la figura ambigua (Haijiang, Saunders, Stone & Backus, 2006).

En esta misma línea se hace otra de las críticas al diseño de presentación continua, que es la dificultad para poder marcar de forma confiable en el registro electroencefalográfico el cambio perceptual a partir de la respuesta motora, lo que dificulta y genera cuestionamientos sobre la selección adecuada de la ventana de análisis, ya que en el mismo segmento podrían estar incluidos otros procesos cognoscitivos, como la atención orientada, la toma de decisiones, la memoria de trabajo y la preparación motora. Una manera de reducir este conflicto sería diseñando tareas en donde se estime el tiempo promedio de respuesta motora post estímulo ante las figuras no ambiguas y posteriormente excluir esta ventana de tiempo para el análisis. Adicionalmente, sería ventajoso estudiar las características espectrales asociadas a la respuesta motora del reporte de cambio perceptual, ya que se tiene conocimiento de que la transición entre dos actos cognoscitivos diferentes (percepción de caras y respuesta motora) se acompaña de oscilaciones rápidas alrededor de los 40 Hz (Rodríguez et al., 1999). Otra alternativa sería tomar como referencia otra señal electrofisiológica que ocurra de manera automática y que no implique una

respuesta propositiva del participante; en este sentido, se ha visto que los eventos oculomotores acompañan a los cambios perceptuales, los parpadeos se presentan inicialmente a los 1000 ms y las sacadas 150 ms antes de la respuesta motora (Nakatani & van Leeuwen, 2013). Así que, a través del uso de aparatos de registro, como el *Eye Tracking* o la misma señal del electroculograma, podrían tomarse como referencia para seleccionar las épocas de análisis y empezar a discernir los diferentes procesos implicados durante la percepción multiestable.

En cuanto a los análisis complementarios que resultarían ventajosos para estudiar la transición de estados cuasi-estables de la actividad electroencefalográfica, el análisis de los microestados aún son limitados ya que existe una única línea de investigación que ha sido desarrollada en torno a la percepción multiestable (Britz et al., 2009) y ésta se ha realizado con el diseño de presentación discontinua, por lo que se carece de información para anticipar que estas mismas configuraciones topográficas se den ante la observación pasiva durante la presentación continua. En investigaciones futuras se tendría que calcular a partir de un amplio rango de frecuencia los puntos de mayor poder de campo global y posteriormente realizar análisis de clusters para identificar el tipo de microestado que expliquen el máximo de varianza de los mapas durante la condición de cambio perceptual. De acuerdo con Milz y cols. (2016), existe un tipo de microestado *D* que se observa en condiciones de reposo y que tiende a ser más lento, esta configuración se ha asociado con la DMN; por lo que se esperaría encontrar la clase *D* de microestado durante la observación continua de la figura ambigua.

Otro tipo de análisis de interés serán los de sincronía, ya que de acuerdo con Pisarchik y Feudel (2014) durante periodos multiestables la fuerza de coherencia entre diversas áreas se encuentra disminuida, lo que nos daría la oportunidad de comprobar si en momentos previos al cambio perceptual existe menor sincronización respecto a segmentos del mantenimiento de la estabilidad. En este caso sería conveniente tener condiciones en donde se pida al individuo mantener voluntariamente la percepción hacia determinada orientación.

En cuanto a la utilidad de estudiar la dinámica de la percepción multiestable en diferentes grupos clínicos permitirá tener acceso a la organización de las redes cerebrales, en el caso del TDAH sería un buen candidato considerando sus implicaciones en la modulación entre los sistemas atencionales y la DMN (Castellanos & Proal, 2012). A lo largo de las revisiones se ha podido observar que el proceso atencional se encuentra íntimamente relacionado con la percepción multiestable, de acuerdo con Orlandi (2012b) un sistema de control atencional mayormente sofisticado producirá una mayor frecuencia de cambios; una de sus poblaciones de interés ha sido la etapa infantil, en donde los niños escolares bilingües, quienes se supondría cuentan con un mejor control atencional presentan mayor número de cambios respecto a los niños monolingües; o bien, los niños menores de 5 años de edad quienes tienden a no presentan cambios reversos puesto que el desarrollo de la corteza pre-frontal ocurre más tardíamente. Tomando en cuenta estos antecedentes, el fenómeno de percepción multiestable podría ofrecer la generación de una línea de investigación conductual y electrofisiológica para evaluar la maduración de los sistemas atencionales en las etapas del desarrollo.

Finalmente, en cuanto a la discusión que se ha presentado respecto a los enfoques internalista y externalista para explicar la percepción multiestable, la evidencia señala la influencia de condiciones intrínsecas del sistema nervioso que modulan el procesamiento de la información entrante. Con los resultados del presente estudio no hay pruebas que refuten el procesamiento basado en inferencias, e incluso la actividad Delta observada podría estar indicando un estado de “representación mental” que ocurre tardíamente y es relativamente prolongado; sin embargo, no sería posible conocer si se llevan a cabo procesos jerárquicos de construcción perceptual o sea resultado de una única representación inmediata, aunque hay que considerar que las oscilaciones rápidas se han asociados con procesos de integración y construcción perceptual, lo que apoyaría la primer suposición. También es cierto que se observaron procesos de orientación atencional, argumento que sostiene el enfoque externalista, al suponer que el cerebro cuenta con un mecanismo de muestreo intermitente que facilita el procesamiento de la información, además del hecho de haber observado una modulación de Alfa dependiente de las

características del estímulo. Por lo que los resultados actuales son un complemento de ambas y el abordaje que se haga de la percepción dependerá de las características que se quieran estudiar.

## CONCLUSIÓN

Los cambios perceptuales que ocurren durante la observación continua de las figuras ambiguas están fuertemente influenciados por la dinámica intrínseca de diversas redes neuronales y por los cambios externos en las configuraciones de los estímulos. La aportación de este estudio fue que se evaluó el panorama general de la actividad electroencefalográfica a lo largo de todo el espectro de frecuencias y la dinámica temporal entre ellas. Durante la observación pasiva del cubo de Necker y antes del reporte del cambio perceptual se observaron periodos transitorios rápidos de actividad Beta, y alrededor de los 1000 ms previos a la respuesta motora apareció asociada con la banda Alfa. Estos hallazgos podrían suponer que la banda Beta tiene un papel de desestabilizador de la percepción, mecanismo que resulta ser de utilidad para el cerebro, puesto que mantiene continuamente el muestreo aleatorio del ambiente permitiendo así la eficacia en el procesamiento de información endógena y exógena. Por su parte, el papel inicial de la actividad Alfa es el de inhibir la representación perceptual opuesta, con una disminución de actividad parietal dependiente de las características físicas del estímulo cuando éstas se vuelven más estables; mientras que la actividad Alfa que aparece posterior a la respuesta motora es estabilizadora de la percepción actual. Respecto a las oscilaciones lentas, también aparece su implicación significativa alrededor de los 700 ms previos a la respuesta motora, y podría ser representativa de redes cerebrales como la DMN, la red CFP o bien de la modulación entre ellas y las redes atencionales durante el proceso constructivo de la percepción, por lo que podríamos estar observando procesos de orientación hacia representaciones internas.

## REFERENCIAS

- Alais, D., van Boxtel, J. J., Parker, A., & van Ee, R. (2010). Attending to auditory signals slows visual alternations in binocular rivalry. *Vision research*, *50*(10), 929-935. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2010.03.010>
- Antúnez, L. L. (1996). *Anatomía funcional del sistema nervioso*. Noriega Editores. México.
- Baker, D. H., Karapanagiotidis, T., Coggan, D. D., Wailes-Newson, K., & Smallwood, J. (2015). Brain networks underlying bistable perception. *NeuroImage*, *119*, 229-234. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2015.06.053>
- Barbot, A., Liu, S., Kimchi, R., & Carrasco, M. (2018). Attention enhances apparent perceptual organization. *Psychonomic bulletin & review*, *25*(5), 1824-1832. <https://doi.org/10.3758/s13423-017-1365-x>
- Basar-Eroglu, C., Mathes, B., Khalaidovski, K., Brand, A., & Schmiedt-Fehr, C. (2016). Altered alpha brain oscillations during multistable perception in schizophrenia. *International Journal of Psychophysiology*, *103*, 118-128. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2015.02.002>
- Brascamp, J. W., Van Ee, R., Noest, A. J., Jacobs, R. H., & van den Berg, A. V. (2006). The time course of binocular rivalry reveals a fundamental role of noise. *Journal of vision*, *6*(11), 1244-1256. <https://doi.org/10.1167/6.11.8>
- Brascamp, J., Pearson, J., Blake, R., & van den Berg, A. (2008). Slow changes in neural state mediate percept switches in intermittent binocular rivalry. *Journal of Vision*, *8*(6), 786. <https://doi.org/10.1167/8.6.786>
- Britz, J., & Michel, C. M. (2011). State-dependent visual processing. *Frontiers in psychology*, *2*, 370. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2011.00370>
- Britz, J., Díaz, H. L., Ro, T. & Michel, C. M. (2014). EEG-microstate dependent emergence of perceptual awareness. *Frontiers in behavioral neuroscience*, *8*, 163. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2014.00163>
- Britz, J., Landis, T., & Michel, C. M. (2009). Right parietal brain activity precedes perceptual alternation of bistable stimuli. *Cerebral Cortex*, *19*(1), 55-65. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhn056>
- Britz, J., Pitts, M. A., & Michel, C. M. (2011). Right parietal brain activity precedes perceptual alternation during binocular rivalry. *Human brain mapping*, *32*(9), 1432-1442. <https://doi.org/10.1002/hbm.21117>
- Cabral-Calderin, Y., Schmidt-Samoa, C., & Wilke, M. (2015). Rhythmic gamma stimulation affects bistable perception. *Journal of cognitive neuroscience*, *27*(7), 1298-1307. [https://doi.org/10.1162/jocn\\_a\\_00781](https://doi.org/10.1162/jocn_a_00781)

- Castellanos, F. X., & Proal, E. (2012). Large-scale brain systems in ADHD: beyond the prefrontal–striatal model. *Trends in cognitive sciences*, 16(1), 17-26. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2011.11.007>
- Cavanagh, P. (2011). Visual cognition. *Vision research*, 51(13), 1538-1551. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2011.01.015>
- Cheng, K. (2016). What We Have Learned about Human Primary Visual Cortex from High Resolution Functional Magnetic Resonance Imaging. *Magnetic Resonance in Medical Sciences*. 15(1), 1-10. <https://doi.org/10.2463/mrms.2015-0008>
- Cohen, M. X. (2014). *Analyzing neural time series data: theory and practice*. MIT press.
- Contreras, D. (2002). Mecanismos de generación de oscilaciones rápidas (20-80 Hz) en circuitos talamocorticales. *Revista de Neurología*, 35(2), 135-141.
- Corbetta, M. & Shulman, G. L. (2002). Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain. *Nature Reviews Neuroscience*, 3(3), 201–215. <https://doi.org/10.1038/nrn755>
- Corbetta, M., Patel, G., & Shulman, G. L. (2008). The reorienting system of the human brain: from environment to theory of mind. *Neuron*, 58(3), 306-324. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2008.04.017>
- Dixon, M. L., Andrews-Hanna, J. R., Spreng, R. N., Irving, Z. C., Mills, C., Girn, M., & Christoff, K. (2017). Interactions between the default network and dorsal attention network vary across default subsystems, time, and cognitive states. *Neuroimage*, 147, 632-649. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2016.12.073>
- Dixon, M. L., De La Vega, A., Mills, C., Andrews-Hanna, J., Spreng, R. N., Cole, M. W., & Christoff, K. (2018). Heterogeneity within the frontoparietal control network and its relationship to the default and dorsal attention networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 115(7), E1598-E1607. <https://doi.org/10.1073/pnas.1715766115>
- Ehm, W., Bach, M., & Kornmeier, J. (2011). Ambiguous figures and binding: EEG frequency modulations during multistable perception. *Psychophysiology*, 48(4), 547-558. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2010.01087.x>
- Einhäuser, W., Martin, K. A., & König, P. (2004). Are switches in perception of the Necker cube related to eye position? *European Journal of Neuroscience*, 20(10), 2811-2818. <https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.2004.03722.x>
- Entenza, A. (2008). Elementos básicos de las representaciones visuales funcionales. Análisis crítico de las aportaciones realizadas desde diversas disciplinas. Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Barcelona.

- Fox, M. D., Snyder, A. Z., Vincent, J. L., Corbetta, M., Van Essen, D. C., & Raichle, M. E. (2005). The human brain is intrinsically organized into dynamic, anticorrelated functional networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *102*(27), 9673-9678. <https://doi.org/10.1073/pnas.0504136102>
- Freud, E., Plaut, D. C., & Behrmann, M. (2016). 'What'is happening in the dorsal visual pathway. *Trends in Cognitive Sciences*, *20*(10), 773-784. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2016.08.003>
- Garakh, Z., Novototsky-Vlasov, V., Larionova, E., & Zaytseva, Y. (2020). Mu rhythm separation from the mix with alpha rhythm: Principal component analyses and factor topography. *Journal of Neuroscience Methods*, *346*, 108892. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2020.108892>
- Gonen, F. F., & Tcheslavski, G. V. (2012). Techniques to assess stationarity and gaussianity of EEG: An overview. *International Journal of Bioautomation*, *16*(2), 135-142.
- Grill-Spector, K. (2003). The neural basis of object perception. *Current opinion in neurobiology*, *13*(2), 159-166. [https://doi.org/10.1016/s0959-4388\(03\)00040-0](https://doi.org/10.1016/s0959-4388(03)00040-0)
- Haijiang, Q., Saunders, J. A., Stone, R. W., & Backus, B. T. (2006). Demonstration of cue recruitment: Change in visual appearance by means of Pavlovian conditioning. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *103*(2), 483-488. <https://doi.org/10.1073/pnas.0506728103>
- Harmony, T. (2013). The functional significance of delta oscillations in cognitive processing. *Frontiers in integrative neuroscience*, *7*, 83. <https://doi.org/10.3389/fnint.2013.00083>
- Hoffman, D. D. (2000). *Inteligencia visual: cómo creamos lo que vemos*. Paidós Ibérica
- Hubel, D. H., & Wiesel, T. N. (1968). Receptive fields and functional architecture of monkey striate cortex. *The Journal of physiology*, *195*(1), 215-243. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1968.sp008455>
- Huguet, G., Rinzel, J., & Hupé, J. M. (2014). Noise and adaptation in multistable perception: noise drives when to switch, adaptation determines percept choice. *Journal of vision*, *14*(3), 19. <https://doi.org/10.1167/14.3.19>
- Intaitè, M., Koivisto, M., & Castelo-Branco, M. (2014). Event-related potential responses to perceptual reversals are modulated by working memory load. *Neuropsychologia*, *56*, 428-438. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2014.02.016>
- Intaitè, M., Koivisto, M., Rukšėnas, O., & Revonsuo, A. (2010). Reversal negativity and bistable stimuli: Attention, awareness, or something else? *Brain and cognition*, *74*(1), 24-34. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2010.06.002>

- Intaitė, M., Noreika, V., Šoliūnas, A., & Falter, C. M. (2013). Interaction of bottom-up and top-down processes in the perception of ambiguous figures. *Vision research*, *89*, 24-31. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2013.06.011>
- Inui, T., Tanaka, S., Okada, T., Nishizawa, S., Katayama, M. & Konishi, J. (2000). Neural substrates for depth perception of the Necker cube; a functional magnetic resonance imaging study in human subjects. *Neuroscience Letters*, *282*(3), 145–148. [https://doi.org/10.1016/s0304-3940\(00\)00899-5](https://doi.org/10.1016/s0304-3940(00)00899-5)
- Isoglu-Alkaç, Ü., Basar-Eroglu, C., Ademoglu, A., Demiralp, T., Miener, M., & Stadler, M. (2000). Alpha activity decreases during the perception of Necker cube reversals: an application of wavelet transform. *Biological cybernetics*, *82*(4), 313-320. <https://doi.org/10.1007/s004220050585>
- Kam, J. W., Lin, J. J., Solbakk, A. K., Endestad, T., Larsson, P. G., & Knight, R. T. (2019). Default network and frontoparietal control network theta connectivity supports internal attention. *Nature human behaviour*, *3*(12), 1263-1270. <https://doi.org/10.1038/s41562-019-0717-0>
- Kaplan, E., & Benardete, E. (2001). The dynamics of primate retinal ganglion cells. In *Progress in brain research*, *134*, 17-34. [https://doi.org/10.1016/s0079-6123\(01\)34003-7](https://doi.org/10.1016/s0079-6123(01)34003-7)
- Kornmeier, J., & Bach, M. (2005). The Necker cube—an ambiguous figure disambiguated in early visual processing. *Vision research*, *45*(8), 955-960. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2004.10.006>
- Kornmeier, J., & Bach, M. (2006). Bistable perception—along the processing chain from ambiguous visual input to a stable percept. *International Journal of Psychophysiology*, *62*(2), 345-349. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2006.04.007>
- Kornmeier, J., & Bach, M. (2012). Ambiguous figures—what happens in the brain when perception changes but not the stimulus. *Frontiers in human neuroscience*, *6*, 51. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2012.00051>
- Kornmeier, J., Ehm, W., Bigalke, H., & Bach, M. (2007). Discontinuous presentation of ambiguous figures: How interstimulus-interval durations affect reversal dynamics and ERPs. *Psychophysiology*, *44*(4), 552-560. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2007.00525.x>
- Kornmeier, J., Hein, C. M., & Bach, M. (2009). Multistable perception: when bottom-up and top-down coincide. *Brain and cognition*, *69*(1), 138-147. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2008.06.005>
- Kornmeier, J., Wörner, R., & Bach, M. (2016). Can I trust in what I see? EEG evidence for a cognitive evaluation of perceptual constructs. *Psychophysiology*, *53*(10), 1507-1523. <https://doi.org/10.1111/psyp.12702>

- Landau, A. N., Schreyer, H. M., Van Pelt, S., & Fries, P. (2015). Distributed attention is implemented through theta-rhythmic gamma modulation. *Current Biology*, 25(17), 2332-2337. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2015.07.048>
- Lange, J., Keil, J., Schnitzler, A., van Dijk, H., & Weisz, N. (2014). The role of alpha oscillations for illusory perception. *Behavioural brain research*, 271(100), 294-301. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2014.06.015>
- Lehmann, D., Pascual-Marqui, R. D., Strik, W. K., & Koenig, T. (2010). Core networks for visual-concrete and abstract thought content: a brain electric microstate analysis. *Neuroimage*, 49(1), 1073-1079. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2009.07.054>
- Leopold, D. A., & Logothetis, N. K. (1999). Multistable phenomena: changing views in perception. *Trends in cognitive sciences*, 3(7), 254-264.
- Lim, A., & Sinnett, S. (2014). The interaction of feature and space based orienting within the attention set. *Frontiers in integrative neuroscience*, 8, 9. <https://doi.org/10.3389/fnint.2014.00009>
- Long, G. M., & Olszewski, A. D. (1999). To reverse or not to reverse: when is an ambiguous figure not ambiguous?. *The American journal of psychology*, 112(1), 41-71.
- Lopes da Silva, F. H. (2011). EEG analysis: theory and practice. En: D. L. Schomer & F.H. Lopes da Silva F., (eds.), *Niedermeyer's Electroencephalography: basic principles, clinical applications, and related fields* (pp. 1147-1178). Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
- Luck, S. J. (2005). An Introduction to Event-Related Potentials and their Neural Origins (Chapter 1). En *An introduction to the event-related potential technique*. Editorial MIT. Cambridge, MA.
- Mathes, B., Khalaidovski, K., Schmiedt-Fehr, C., & Basar-Eroglu, C. (2014). Frontal theta activity is pronounced during illusory perception. *International Journal of Psychophysiology*, 94(3), 445-454. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2014.08.585>
- Mathes, B., Schmiedt-Fehr, C., Kedilaya, S., Strüber, D., Brand, A., & Basar-Eroglu, C. (2016). Theta response in schizophrenia is indifferent to perceptual illusion. *Clinical Neurophysiology*, 127(1), 419-430. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2015.02.061>
- Mathes, B., Struber, D., Stadler, M. A., & Basar-Eroglu, C. (2006). Voluntary control of Necker cube reversals modulates the EEG delta and gamma-band response. *Neuroscience letters*, 402(1-2), 145-149. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2006.03.063>
- Megumi, F., Bahrami, B., Kanai, R., & Rees, G. (2015). Brain activity dynamics in human parietal regions during spontaneous switches in bistable perception. *NeuroImage*, 107, 190-197. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2014.12.018>

- Meng, M., & Tong, F. (2004). Can attention selectively bias bistable perception? Differences between binocular rivalry and ambiguous figures. *Journal of vision*, 4(7), 539–551. <https://doi.org/10.1167/4.7.2>
- Miller, E. K., & Buschman, T. J. (2013). Cortical circuits for the control of attention. *Current Opinion Neurobiology*, 23(2), 216-222. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2012.11.011>
- Milz, P., Faber, P. L., Lehmann, D., Koenig, T., Kochi, K., & Pascual-Marqui, R. D. (2016). The functional significance of EEG microstates—associations with modalities of thinking. *Neuroimage*, 125, 643-656. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2015.08.023>
- Nakatani, H., & van Leeuwen, C. (2013). Antecedent occipital alpha band activity predicts the impact of oculomotor events in perceptual switching. *Frontiers in systems neuroscience*, 7, 1-9. <https://doi.org/10.3389/fnsys.2013.00019>
- Nakatani, H., Orlandi, N., & van Leeuwen, C. (2011). Precisely timed oculomotor and parietal EEG activity in perceptual switching. *Cognitive neurodynamics*, 5(4), 399-409. <https://doi.org/10.1007/s11571-011-9168-7>
- Nelson, R. (2007). Visual Responses of Ganglion Cells. *En Webvision: The Organization of the Retina and Visual System* [Internet]. University of Utah Health Sciences Center.
- Orbach, J., Ehrlich, D., & Heath, H. A. (1963). Reversibility of the necker cube: I. An examination of the concept of “satiation of orientation”. *Perceptual and Motor Skills*. 17, 439-458. <https://doi.org/10.2466/pms.1963.17.2.439>
- Orlandi, N. (2012a). Embedded seeing-as: Multi-stable visual perception without interpretation. *Philosophical Psychology*, 25(4), 555-573. <https://doi.org/10.1080/09515089.2011.579425>
- Orlandi, N. (2012b). Visual switching: the illusion of instantaneity and visual search. *Review of Philosophy and Psychology*, 3(4), 469-480. <https://doi.org/10.1007/s13164-012-0098-z>
- Ortiz-Cruz, E. E., Rodríguez-Camacho, H., Rodríguez-Camacho, M. A. & Bernal-Hernández, J. (2018). PercepFiguras: programa computarizado de estimulación visual para evaluar conductual y electrofisiológicamente la percepción multiestable. *Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica*, 39(2), 90-204. <https://doi.org/10.17488/RMIB.39.2.5>
- Oviedo, G. L. (2004). La definición del concepto de percepción en psicología con base en la teoría Gestalt. *Revista de estudios sociales*, (18), 89-96. <https://doi.org/10.7440/res18.2004.08>
- Ozaki, T.J., Sato, N., Kitajo, K., Someya, Y., Anami, K., Mizuhara, H., Ogawa, S., & Yamaguchi, Y. (2012). Traveling EEG slow oscillation along the dorsal attention network initiates spontaneous perceptual switching. *Cognitive Neurodynamics*, 6(2), 185-198. <https://doi.org/10.1007/s11571-012-9196-y>

- Palmer, S. E. (1999). An Introduction to Vision Science. En *Vision science: Photons to phenomenology*; Palmer. MIT press.
- Piantoni, G., Romeijn, N., Gomez-Herrero, G., Van Der Werf, Y. D., & Van Someren, E. J. (2017). Alpha power predicts persistence of bistable perception. *Scientific reports*, 7(1), 1-11. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-05610-8>
- Pineda, J. A., Giromini, L., Porcelli, P., Parolin, L., & Viglione, D. J. (2011). Mu suppression and human movement responses to the Rorschach test. *Neuroreport*, 22(5), 223-226. <https://doi.org/10.1097/WNR.0b013e328344f45c>
- Pisarchik, A. N., & Feudel, U. (2014). Control of multistability. *Physics Reports*, 540(4), 167-218. <https://doi.org/10.1016/j.physrep.2014.02.007>
- Pitts, M. A., Gavin, W. J., & Nerger, J. L. (2008). Early top-down influences on bistable perception revealed by event-related potentials. *Brain and cognition*, 67(1), 11-24. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2007.10.004>
- Pitts, M. A., Nerger, J. L., & Davis, T. J. (2007). Electrophysiological correlates of perceptual reversals for three different types of multistable images. *Journal of Vision*, 7(1), 6. <https://doi.org/10.1167/7.1.6>
- Proverbio, A. M. (2012). Tool perception suppresses 10–12 Hz  $\mu$  rhythm of EEG over the somatosensory area. *Biological psychology*, 91(1), 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2012.04.003>
- Raichle, M. E., MacLeod, A. M., Snyder, A. Z., Powers, W. J., Gusnard, D. A., & Shulman, G. L. (2001). A default mode of brain function. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 98(2), 676-682. <https://doi.org/10.1073/pnas.98.2.676>
- Rodriguez, E., George, N., Lachaux, J. P., Martinerie, J., Renault, B., & Varela, F. J. (1999). Perception's shadow: long-distance synchronization of human brain activity. *Nature*, 397(6718), 430-433. <https://doi.org/10.1038/17120>
- Russo, E., & De Pascalis, V. (2016). Individual variability in perceptual switching behaviour is associated with reversal-related EEG modulations. *Clinical Neurophysiology*, 127(1), 479-489. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2015.06.003>
- Sangiuliano-Intra, F., Avramiea, A-E., Irmischer, M., Poil, S-S., Mansvelder, H. D. & Linkenkaer-Hansen, K. (2018). Long-Range Temporal Correlations in Alpha Oscillations Stabilize Perception of Ambiguous Visual Stimuli. *Frontiers Human Neuroscience*. 12(159), 1-11. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2018.00159>
- Scheibner, H. J., Bogler, C., Gleich, T., Haynes, J. D., & Bermpohl, F. (2017). Internal and external attention and the default mode network. *Neuroimage*, 148, 381-389. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2017.01.044>

- Schwartz, J. L., Grimault, N., Hupé, J. M., Moore, B. C., & Pressnitzer, D. (2012). Multistability in perception: binding sensory modalities, an overview. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, 367(1591), 896-905. <https://doi.org/10.1098/rstb.2011.0254>
- Shen, L., Zeng, Z.L., Huang, P.Y., Li, Q., Mu, J., Huang, X.Q., Lui, S., Gong, Q.Y., & Xie, P. (2009). Temporal cortex participates in spontaneous perceptual reversal. *NeuroReport*, 20(7), 647–651. <https://doi.org/10.1097/WNR.0b013e32832974a8>
- Shimaoka, D., Kitajo, K., Kaneko, K., & Yamaguchi, Y. (2010). Transient process of cortical activity during Necker cube perception: from local clusters to global synchrony. *Nonlinear biomedical physics*, 4(Suppl 1), S7. <https://doi.org/10.1186/1753-4631-4-S1-S7>
- Shapiro, A., Moreno-Bote, R., Rubin, N., & Rinzal, J. (2009). Balance between noise and adaptation in competition models of perceptual bistability. *Journal of computational neuroscience*, 27(1), 37-54. <https://doi.org/10.1007/s10827-008-0125-3>
- Silva, P. J. (2011). *Métodos en neurociencias cognoscitivas*. Manual Moderno.
- Singh, M., & Hoffman, D. D. (1997). Constructing and representing visual objects. *Trends in Cognitive Sciences*, 1(3), 98-102. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(97\)89055-9](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(97)89055-9)
- Slotnick, S.D. & Yantis, S. (2005). Common neural substrates for the control and effects of visual attention and perceptual bistability. *Brain research. Cognitive brain research*, 24(1), 97–108. <https://doi.org/10.1016/j.cogbrainres.2004.12.008>
- Solomon, S. G., Peirce, J. W., Dhruv, N. T., & Lennie, P. (2004). Profound contrast adaptation early in the visual pathway. *Neuron*, 42(1), 155-162. [https://doi.org/10.1016/s0896-6273\(04\)00178-3](https://doi.org/10.1016/s0896-6273(04)00178-3)
- Sterzer, P., Kleinschmidt, A., & Rees, G. (2009). The neural bases of multistable perception. *Trends in cognitive sciences*, 13(7), 310-318. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2009.04.006>
- Van Dam, L. C., & van Ee, R. (2006). Retinal image shifts, but not eye movements per se, cause alternations in awareness during binocular rivalry. *Journal of Vision*, 6(11), 1172–1179. <https://doi.org/10.1167/6.11.3>
- Van Ee, R. (2009). Stochastic variations in sensory awareness are driven by noisy neuronal adaptation: evidence from serial correlations in perceptual bistability. *Journal of the Optical Society of America. A, Optics, image science, and vision*, 26(12), 2612-2622. <https://doi.org/10.1364/JOSAA.26.002612>
- Van Ee, R., Van Dam, L. C. J., & Brouwer, G. J. (2005). Voluntary control and the dynamics of perceptual bi-stability. *Vision research*, 45(1), 41-55. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2004.07.030>
- Wagemans, J., Elder, J. H., Kubovy, M., Palmer, S. E., Peterson, M. A., Singh, M., & von der Heydt, R. (2012). A century of Gestalt psychology in visual perception: I. Perceptual grouping

- and figure–ground organization. *Psychological bulletin*, 138(6), 1172-1217.  
<https://doi.org/10.1037/a0029333>
- Wechsler, D. (2014). *WAIS-IV: Escala Wechsler de inteligencia para adultos-IV*. México: El Manual Moderno.
- Wernery, J., Atmanspacher, H., Kornmeier, J., Candia, V., Folkers, G., & Wittmann, M. (2015). Temporal processing in bistable perception of the Necker cube. *Perception*, 44(2), 157-168. <https://doi.org/10.1068/p7780>
- Wilson, H. R., & Cowan, J. D. (1972). Excitatory and inhibitory interactions in localized populations of model neurons. *Biophysical journal*, 12(1), 1-24.  
[https://doi.org/10.1016/S0006-3495\(72\)86068-5](https://doi.org/10.1016/S0006-3495(72)86068-5)
- Yeshurun, Y., & Sabo, G. (2012). Differential effects of transient attention on inferred parvocellular and magnocellular processing. *Vision research*, 74, 21-29.  
<https://doi.org/10.1016/j.visres.2012.06.006>
- Yokota, Y., Minami, T., Naruse, Y., & Nakauchi, S. (2014). Neural processes in pseudo perceptual rivalry: An ERP and time–frequency approach. *Neuroscience*, 271, 35-44.  
<https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2014.04.015>

## ANEXO 1

Fecha: \_\_\_\_\_

### CARTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

#### “Caracterización de la actividad electroencefalográfica durante la percepción multiestable en una figura ambigua”

Por medio de la presente, confirmo que fui invitado a participar como voluntario en un estudio de investigación cuyo propósito es evaluar la actividad eléctrica cerebral durante la ejecución de una tarea de percepción visual.

#### Justificación del estudio

Los procesos psicológicos son mediados por cambios de actividad que ocurren en el cerebro, por lo que en el campo de la percepción se vuelve importante evaluar los procesos que involucran este fenómeno para poder comprender la organización del sistema perceptual visual.

#### Características del estudio

El procedimiento del estudio consiste de dos evaluaciones que se llevarán en sesiones separadas. La primera se trata de la aplicación de pruebas cognoscitivas de lápiz y papel, con una duración aproximada de 1 hora 50 minutos. Posteriormente en la segunda sesión se realizará el registro de la actividad cerebral, mediante el uso del electroencefalograma. Se colocará en la cabeza una gorra con electrodos, en los que se aplicará una pasta conductora compuesta de sales, con el propósito de recibir la actividad que se genera en el cerebro mientras se realiza una tarea de percepción visual en la computadora.

#### Riesgos y beneficios

- La electroencefalografía es una técnica no invasiva; no obstante durante la colocación pueden presentarse algunas molestias como comezón o sudoración, por lo que si llegase a presentar incomodidad es imprescindible avise inmediatamente al investigador.
- Otras de las molestias asociadas es el cansancio de la vista durante la prueba perceptual por lo que tendrá bloques específicos de tiempo para poder descansar y recuperarse.
- La participación en el estudio es completamente voluntaria y no implica ninguna remuneración económica. Los beneficios otorgados es la entrega de sus resultados de la evaluación cognoscitiva.
- La participación en esta investigación no compromete al investigador para ofrecer un diagnóstico ni tratamiento en caso de observar alguna anomalía en el estudio.

Por lo anterior:

Doy a entender que me ha quedado claro el procedimiento del estudio. Asimismo, los investigadores respondieron a mis dudas y preguntas. Declaro que se me han informado ampliamente sobre las posibles molestias y beneficios derivados de la participación en el estudio.

En la presente investigación prevalecerán el respeto a la dignidad y la protección de mis derechos y bienestar. Se me ha informado que puedo retirarme del estudio en cualquier momento si así lo decido, sin ninguna consecuencia o restricción.

La información derivada de este estudio será manejada de forma confidencial. Los investigadores se han comprometido a proporcionarme información actualizada que se obtenga durante el estudio, así como a responder cualquier pregunta y aclarar cualquier duda que pudiera surgir a lo largo de éste.

De acuerdo a lo anterior, acepto participar en esta investigación:

\_\_\_\_\_  
Firma del Participante

\_\_\_\_\_  
Firma del investigador

Solicito la entrega de mis resultados cognoscitivos	Si	No
Doy mi autorización para que me sea informado en caso de que los investigadores encuentren alguna anomalía en mis resultados electrofisiológicos	Si	No