

**UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE MEDICINA  
ESCUELA DE POSTGRADO**

---



**“MOVIMIENTOS OCULARES Y CAMBIOS PERCEPTUALES EN  
ESTÍMULOS BIESTABLES”**

**ENRIQUE ANTONIO LORCA PONCE**

**TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE  
DOCTOR EN CIENCIAS BIOMÉDICAS**

**Directores de Tesis: Prof. Dr. Pedro Maldonado Arbogast  
Prof. Dra. Christ Devia Manríquez**

**2020  
UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE MEDICINA  
ESCUELA DE POSTGRADO**

## INFORME DE APROBACION TESIS DE DOCTORADO

Se informa a la Comisión de Grados Académicos de la Facultad de Medicina, que la Tesis de Doctorado presentada por el candidato

ENRIQUE ANTONIO LORCA PONCE

ha sido aprobada por la Comisión Informante de Tesis como requisito para optar al Grado de Doctor en Ciencias Biomédicas en el Examen de Defensa de Tesis rendido el día 26 de octubre de 2020.

Prof. Dr. Pedro Maldonado Arbogast  
Director de Tesis  
Universidad de Chile

Prof. Dr. Christ Devia Manríquez  
Directora de Tesis  
Universidad de Chile

### COMISION INFORMANTE DE TESIS

Prof. Dr. Jorge Mpodozis

Prof. Dr. Gonzalo Farías

Prof. Dr. Eugenio Rodríguez

Prof. Dr. Rómulo Fuentes  
Presidente Comisión

*Cuando, por oficio o por vocación, uno ha meditado mucho sobre el hombre, ocurre que se experimente nostalgia por los primates. Éstos no tienen pensamientos de segunda intención.*

La Caída (1956), Albert Camus

## AGRADECIMIENTOS

Recuerdo cuando leí por primera vez el drama histórico de Shakespeare, Ricardo III. Un par de párrafos escritos en forma de verso que describían detalladamente la fisionomía y psiquis del conde de Gloucester: “Yo, entonces, en este tiempo de paz, débil y aflautado, no tengo placer con que matar el tiempo, si no es observar mi sombra al sol y entonar variaciones sobre mi propia deformidad”. La autopercepción de la realidad es tan variable como el objetivo noble que uno urde para justificar el quehacer y placer diario... Es por ello, que a pesar de la visión que pueda tener uno sobre sí mismo, siempre es bienvenida una tercera opinión que, después de todo, también goza de un ápice de realidad.

De esta manera, doy las gracias a toda y todo ser humano que creyó en mi trabajo. Agradezco a mi pequeña familia. Agradezco a mis amig@s y cercan@s. Agradezco a tod@s l@s miembros del laboratorio de Neurosistemas que se han dado el tiempo de querer conocer a quienes deciden cruzar el umbral de la puerta. Agradezco a nuestra secretaria Cecy. Agradezco a l@s tí@s del aseo. A l@s profesor@s que se dieron más tiempo en apoyar a sus estudiantes que en adoctrinarlos... Pero por sobre tod@s, agradezco a todos los animales que han dado su vida por la ciencia.

Algún día, si alguien decide leer estos agradecimientos en vez de saltarse estas páginas en virtud de ir directamente a un resultado específico, recuerda que no importa cuanto tiempo, dedicación, cariño y énfasis le pongas al trabajo, al final del día, todo lo que hacemos es en función de satisfacer nuestras necesidades personales, tanto propias como impuestas, pero que nos hacen darle un sentido consciente a nuestra conformación atómica. Si sientes que hiciste las cosas bien, y, además, durante el proceso tuviste la oportunidad de ayudar a otr@s, entonces vivirás en el recuerdo de vari@s, y eso te hace vivir para siempre.

# ÍNDICE

<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>IV</b>
<b>ÍNDICE</b> .....	<b>V</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>VI</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>VI</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>1</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>3</b>
<b>1 - INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>5</b>
1.1 - ESTÍMULOS BIESTABLES.....	7
1.2 - CORRESPONDENCIA ESTRUCTURAL Y BIESTABILIDAD.....	10
1.3 - ACTIVIDAD NEURONAL Y BIESTABILIDAD.....	11
1.4 - MOVIMIENTOS OCULARES Y BIESTABILIDAD .....	14
1.5 - HIPÓTESIS .....	17
1.6 - OBJETIVO GENERAL .....	17
1.7 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
<b>2 - MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>18</b>
2.1 - SUJETOS.....	18
2.2 – DISEÑO EXPERIMENTAL .....	19
2.3 – REGISTROS.....	22
2.4 – PROCESAMIENTO DE LA ACTIVIDAD OCULOGRÁFICA.....	23
2.5 – PROCESAMIENTO DE LA ACTIVIDAD ELECTROENCEFALOGRÁFICA.....	28
2.6 – ESTADÍSTICA.....	30
<b>3 - RESULTADOS</b> .....	<b>33</b>
3.1 – DETERMINACIÓN DE ÁREAS FRECUENTEMENTE VISITADAS.....	33
3.2 – MOVIMIENTO OCULAR Y TASA DE REVERSIÓN .....	35
3.3 – VARIABILIDAD DE LOS MOVIMIENTOS OCULARES DURANTE LA REVERSIÓN .....	36
3.4 – FRECUENCIA DEL MOVIMIENTO OCULAR ALREDEDOR DEL REPORTE .....	39
3.5 – DIRECCIÓN DEL MOVIMIENTO OCULAR Y CORRESPONDENCIA CON LA REVERSIÓN .....	46
3.6 – AMPLITUD DEL MOVIMIENTO OCULAR ALREDEDOR DEL REPORTE.....	48
3.7 – EL TIEMPO EMPLEADO EN EJECUTAR LAS SACADAS RELACIONADAS CON LA REVERSIÓN ES MENOR EN COMPARACIÓN A LA CONDUCTA OCULAR BASAL.....	55
3.8 – ACTIVIDAD ELECTROENCEFALOGRÁFICA ASOCIADA AL CAMBIO PERCEPTUAL Y LA SACADA .....	61
<b>3 - DISCUSIÓN</b> .....	<b>75</b>
<b>4 - REFERENCIAS</b> .....	<b>81</b>
<b>5 - ANEXOS</b> .....	<b>87</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 – DIAGRAMA DE LAS OBSERVACIONES DE NECKER EN 1832.- .....	8
FIGURA 2 – CLASIFICACIÓN GENERAL DE LOS ESTÍMULOS BIESTABLES.- .....	9
FIGURA 3 – ESQUEMA DE DISPOSICIÓN DE IMPLEMENTOS PARA REALIZACIÓN DE LA TAREA.-.....	19
FIGURA 4 – ESQUEMA DE PRESENTACIÓN TAREA CONDUCTUAL.- .....	20
FIGURA 5 – FIGURAS BIESTABLES PRESENTES EN TAREA CONDUCTUAL.-.....	22
FIGURA 6 – DETERMINACIÓN DEL PERIODO EN QUE LOS SUJETOS ESTÁN EN SACADA.- .....	27
FIGURA 7 – MAPAS DE CALOR PARA ÁREAS FRECUENTEMENTE VISITADAS EN FIGURAS BIESTABLES.-.....	33
FIGURA 8 – MAPAS DE TEMPORALIDAD DE FIJACIÓN EN FIGURAS BIESTABLES.- .....	34
FIGURA 9 – TASA DE REVERSIÓN PARA LAS DISTINTAS FIGURAS BIESTABLES.- .....	36
FIGURA 10 – CUANTIFICACIÓN DE LOS MOVIMIENTOS OCULARES EN FIGURAS BIESTABLES.- .....	38
FIGURA 11 – FRECUENCIA DEL MOVIMIENTO OCULAR ALREDEDOR DEL REPORTE EN FIGURAS BIESTABLES.-	45
FIGURA 12 – DIRECCIÓN DEL MOVIMIENTO OCULAR EN FIGURAS BIESTABLES.-.....	47
FIGURA 13 – AMPLITUD DEL MOVIMIENTO OCULAR ALREDEDOR DEL REPORTE EN FIGURAS BIESTABLES.- ...	54
FIGURA 14 – LAS SACADAS QUE SE REALIZAN EN UNA VENTANA TEMPORAL PRECISA PREVIA AL REPORTE MANUAL INFLUIRÍAN CON EL CAMBIO PERCEPTUAL.- .....	60
FIGURA 15 – LA CAÍDA DE PODER DE BANDA ALFA SE ALINEA MÁS PRECISAMENTE CON LAS SACADAS DE MAYOR DURACIÓN.-.....	64
FIGURA 16 – BANDA ALFA DISMINUYE SU PODER EN RELACIÓN A LA ÚLTIMA SACADA QUE OCURRE ANTES DE 400 MS PREVIOS AL REPORTE MANUAL DEL CAMBIO PERCEPTUAL EN EL CUBO DE NECKER.- .....	66
FIGURA 17 – LA CAÍDA DE PODER DE BANDA ALFA ES SIGNIFICATIVAMENTE MAYOR PARA LA ÚLTIMA SACADA QUE OCURRE ANTES DE 400 MS PREVIOS AL REPORTE MANUAL EN COMPARACIÓN A CUALQUIER OTRA SACADA.- .....	71
FIGURA 18 – EL PODER DE BANDA ALFA DECAE SIGNIFICATIVAMENTE LUEGO DE LA SACADA VINCULADA AL CAMBIO PERCEPTUAL.- .....	74
FIGURA 19 – LOS MOVIMIENTOS OCULARES MODULAN LA TRANSICIÓN ENTRE DOS ESTADOS PERCEPTUALES.- .....	80

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 – DESCRIPCIÓN DEMOGRÁFICA PARTICIPANTES.-.....	18
TABLA 2 – LA DIRECCIÓN DEL MOVIMIENTO OCULAR ES SIMILAR ENTE CONDICIONES.- .....	48
TABLA 3 – EL TIEMPO GASTADO EN SACADA ES DISTINTO EN PERIODOS DE TIEMPO PREVIOS AL REPORTE MANUAL DEL CAMBIO PERCEPTUAL.-.....	57

## RESUMEN

La percepción visual es una de las conductas más estudiadas por la neurociencia y aún nos falta conocer muchos de los mecanismos neuronales que la sustenta. Uno de los desafíos para entender esta conducta se relaciona con disociar la respuesta física a estímulos visuales, del proceso de construcción perceptual. Los estímulos visuales biestables, permiten el estudio de estos mecanismos, porque la percepción visual alterna entre dos estados sin que se modifique el estímulo físico. Esta es una de las herramientas disponibles para determinar a nivel funcional cómo nuestro cerebro selecciona un percepto por sobre otro.

Estudios previos señalan que la reversión de estímulos biestables es un proceso que recluta múltiples cortezas y estructuras cerebrales. Asimismo, se han caracterizado ciertos marcadores electroencefalográficos tales como los cambios de poder en banda  $\alpha$  y  $\gamma$ , entre otros. Estos marcadores podrían dar luces con respecto a cuando está ocurriendo el cambio perceptual. Actualmente, el reporte manual es el principal marcador utilizado para tener un correlato conductual autoreportado del cambio perceptual, sin embargo, es temporalmente impreciso, ya que el reporte presenta una variabilidad que no permite definir cuando sucede la reversión.

Se ha sugerido que los movimientos oculares juegan un rol importante durante el proceso de reversión de un percepto en figuras biestables. En este trabajo, se propone que los movimientos oculares forman parte del mecanismo de cambio perceptual en estímulos biestables en seres humanos. Consecuentemente, estos actos motores podrían jugar un rol central en tareas de reversión perceptual en figuras que tienen más de una interpretación visual.

El presente estudio se enfoca en determinar la participación de los movimientos oculares en los mecanismos de reversión de un percepto en estímulos biestables visuales, determinando la correlación temporal entre la sacada y las variaciones de poder de banda  $\alpha$ . Se realizaron pruebas conductuales donde los participantes debían explorar 3 figuras biestables (cubo de Necker, *Plaids* y *Structure from Motion*) en condiciones de exploración libre o restricción del movimiento ocular, mientras se registraba su conducta ocular, el reporte del cambio perceptual por medio de una botonera y la actividad electroencefalográfica.

Nuestros resultados indican que las sacadas ejecutadas entre 400 a 800 ms previos al reporte manual influirían en el proceso de transición perceptual en estímulos biestables. Asimismo, estas sacadas participarían en la modulación de la actividad neuronal, precediendo los cambios de poder de banda  $\alpha$ . Además, la libertad de movimiento ocular no sería un factor determinante a la hora de experimentar una reversión, ya que solo basta con orientar la mirada hacia determinadas regiones de los estímulos.

Finalmente, nuestros resultados confirman que los movimientos oculares se involucran de forma mecánica en el cambio perceptual visual en estímulos de múltiple interpretación. No obstante, nuestros resultados no indican causalidad entre eventos, por lo que los movimientos oculares participan en el cambio perceptual pero no lo gatillan. De esta manera, debemos considerar a los movimientos oculares como participantes activos en el proceso de cambio perceptual y que nos podrían ayudar a entender los procesos relacionados de cómo nuestro sistema visual puede alternar dos estados perceptuales provenientes de un mismo estímulo invariante.

## ABSTRACT

Visual perception is one of the behaviors most studied by neuroscience, and we still need to know many of the neural mechanisms that sustain it. One of the challenges in understanding this behavior is related to dissociating the physical response to visual stimuli from the process of perceptual construction. Bistable visual stimuli allow the study of these mechanisms because visual perception alternates between two states without modifying the physical stimulus. This is one of the tools available to determine how our brain selects one percept over another at a functional level.

Previous studies indicate that the reversal of bistable stimuli is a process that recruits multiple cerebral cortices and structures. Likewise, certain electroencephalographic markers have been characterized, such as power changes in the  $\alpha$  and  $\gamma$  bands, among others. These markers could shed light on when the perceptual shift is occurring. Currently, manual reporting is the primary marker used to have a self-reported behavioral correlate of perceptual change. However, it is temporarily imprecise since the report presents a variability that does not define when the reversion occurs.

It has been suggested that eye movements play an essential role during the reversal process of a percept in bistable figures. In this work, it is proposed that eye movements are part of the mechanism of perceptual change in bistable stimuli in humans. Consequently, these motor acts could play a central role in perceptual reversal tasks in figures with more than one visual interpretation.

The present study focuses on determining the participation of eye movements in the reversal mechanisms of a percept in visual bistable stimuli, determining the temporal correlation between the saccade and the variations in the  $\alpha$  band's power. Behavioral tests were carried out. The participants had to explore three bistable figures (Necker's cube, Plaids, and Structure from Motion) in conditions of free exploration or restriction of eye movement. Simultaneously, their ocular behavior was recorded, the report of perceptual change through button panel and electroencephalographic activity.

Our results indicate that the saccades executed between 400 to 800 ms prior to manual reporting would influence the perceptual transition process in bistable stimuli. Likewise, these saccades would participate in the modulation of neuronal activity,

preceding the  $\alpha$ -band power changes. Furthermore, eye movement freedom would not be a determining factor when experiencing a reversal since it is enough to direct the gaze towards some areas of the stimuli.

Finally, our results confirm that eye movements are mechanistically involved in visual perceptual change in multiple interpretations stimuli. However, our results do not indicate causality between events, so eye movements participate in perceptual change but do not trigger it. In this way, we must consider eye movements as active participants in perceptual change, which could help us understand the related processes of how our visual system can alternate two perceptual states from the same invariant stimulus.

## 1 - INTRODUCCIÓN

Los humanos nos desenvolvemos en un entorno sensorialmente complejo, donde el ambiente juega un rol fundamental cuando se desea describir alguna experiencia. Más aún, nuestra capacidad de darle un sentido a la realidad en la que vivimos se consolida a través de la integración y procesamiento de señales externas que generan un percepto único y coherente. Sin embargo, ¿Qué ocurre cuando la interpretación que podemos darle a un entorno cambia, a pesar de que no varía en el tiempo?

Pongamos un ejemplo: imagine que se encuentra sentado mirando una presentación de danza. Una de las bailarinas se esconde tras un biombo a contraluz, viéndose solo su silueta. Acto seguido, la bailarina empieza a dar giros, que evidentemente para usted son a la derecha. Sin embargo, su acompañante percibe que la bailarina está girando hacia la izquierda. Ahora, usted, sin dejar de mirar a la bailarina, empieza a percibir que empezó a girar a la izquierda sin detenerse en ningún momento. ¿Cómo es posible que la bailarina se encuentre girando en dos direcciones a la vez?

Este fenómeno es denominado **biestabilidad**, y se caracteriza por la posibilidad de interpretar de más de una manera un estímulo visual que se mantiene constante en el tiempo (*Kornmeier & Bach, 2012, Kruse & Stadler, 1995*).

La **percepción biestable** es un estado cognitivo que se caracteriza por el cambio perceptual, generando la posibilidad de diferentes interpretaciones provenientes de un mismo estímulo físico (*Kruse & Stadler, 1995*). Sin embargo, ¿cómo nuestro sistema perceptual logra a partir de un estímulo físico ambiguo seleccionar un percepto por sobre otro? (*Schwartz, 2003*). Diversos estudios han abordado esta problemática, no obstante, la información vinculada el autoreporte del cambio perceptual y el momento cuando sucede la reversión son muy ambiguos (*Kornmeier & Bach, 2012*). Sin embargo, existen algunos estudios que apuntan a que los movimientos oculares jugarían un rol en la transición entre los distintos estados perceptuales de las figuras biestables (*Nakatani & Van Leeuwen, 2013, Nakatani, et. al., 2011, Einhäuser, et. al., 2004, Riani, et.al., 1986*).

Si bien, los mecanismos fisiológicos relacionados a la percepción visual aún se desconocen, se han identificado algunas áreas del cerebro que se encuentran directamente relacionadas con el procesamiento del estímulo visual (*Kandel, et.al., 2013, Spillmann, 2009*).

En términos generales, los estímulos visuales son procesados en variadas áreas cerebrales. Clásicamente, se estima que el procesamiento visual se inicia por la estimulación de los fotorreceptores en el ojo, para luego relevar la señal al núcleo lateral geniculado y terminar en la corteza visual primaria (V1). Posteriormente, en las siguientes cortezas visuales, se llevan procesos de agrupación de características del estímulo visual, siendo V2 la primera en clasificar estas propiedades en color, orientación, profundidad y dirección. Consecutivamente V4 evaluaría más detalladamente propiedades como color y forma, mientras que V5 (también denominada MT) detectaría dirección y movimiento (*Kandel, et.al., 2013, VanEssen, et.al., 1992*).

No obstante, las cortezas dedicadas al procesamiento visual no realizan funciones exclusivas (por ejemplo, V4 no participa únicamente del procesamiento del color y la forma), por lo que las propiedades del estímulo visual son integradas de manera conjunta entre todas las cortezas (*Serre, 2016, Spillmann, 2009*). Esto indicaría que el procesamiento interconectado no requiere un sistema unidireccional, siendo posible la modulación de cortezas secundarias sobre cortezas primarias y/o del mismo orden, o bien, modulando cortezas dedicadas a otras modalidades sensoriales (*Felleman & Van Esse, 1991*).

Por otra parte, debemos considerar que factores tales como la experiencia subjetiva y la integración multisensorial, modifican la percepción visual de un estímulo en particular, provocando que la percepción de este dependa del contexto y la integridad de las redes neuronales (*Gilbert & Li, 2013, Bocci, et.al., 2014, Hillyard, et.al., 2015*).

Más aún, es posible modular la percepción visual de un estímulo a partir de una conducta motora. Por ejemplo, la sensibilidad que tiene un individuo para discriminar con mayor precisión la orientación de un estímulo visual de variado contraste es dependiente de cuanto mueve y fija la mirada sobre dicho estímulo (*Scholes, et.al.,*

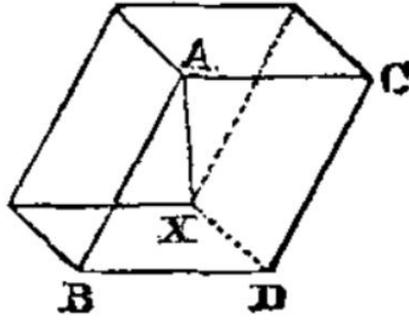
2015). Es así como se ha propuesto que las sacadas (movimientos oculares rápidos que van entre dos puntos de fijación (*Leigh & Zee, 2015*)), estarían participando en la preparación de los centros visuales, modificando las oscilaciones en curso y permitiendo que se favorezca o inhiba la entrada del estímulo visual a las distintas cortezas cerebrales que procesan la información (*Melloni, et.al., 2009*). Adicionalmente, si generalizamos cualquier proceso perceptual, independiente de su modalidad sensorial, la mayoría de los mamíferos son capaces de percibir el mundo por medio de los movimientos activos de los distintos órganos sensoriales (*Ahissar & Assa, 2016*).

Por ende, si queremos estudiar los mecanismos que rigen la percepción visual, es necesario considerar a los movimientos oculares como parte del proceso del cambio perceptual, en este caso, para la percepción biestable. Asimismo, los primeros estudios de correlación temporal y percepción mencionan que es necesario considerar los movimientos oculares como parte del proceso perceptual, sugiriendo que estos movimientos podrían correlacionar temporalmente con señales neuronales (*von der Malsburg, 1981; 1999*).

En consecuencia, *la actividad motora es importante en la modulación de cualquier proceso perceptual, incluyendo la modalidad visual*. Para abordar esta temática de transición de un percepto visual y la influencia que pueden tener los movimientos oculares en ese cambio, es que utilizaremos como herramienta de estudio los **estímulos biestables**.

### 1.1 - Estímulos Biestables

Necker describió en uno de sus trabajos asociados a cristalografía, el hallazgo de un romboide que cambiaba su orientación aparentemente de manera accidental e involuntaria. Sin embargo, cuando uno movía los ojos hacia ciertas regiones del romboide, este adquiría una orientación más probable (*Necker, 1832*).



**Figura 1 – Diagrama de las observaciones de Necker en 1832.**- El enunciado que describe a la figura señala que durante la observación de determinados cristales, la orientación de estos cambia súbitamente. Además, este cambio produce una sensación particular en el ojo. Obtenido de: *LXI. Observations on some remarkable optical phænomena seen in Switzerland; and on an optical phænomenon which occurs on viewing a figure of a crystal or geometrical solid, Philosophical Magazine Series 3, 1:5, 329-337.*

Esta descripción se ajusta perfectamente a lo enunciado por Pitts para la definición de figura biestable, que son: **“Estímulos visuales en los que la entrada física a la retina permanece constante, mientras que se producen cambios o reversiones en la percepción de la figura”**. (Pitts, et.al., 2008).

Estos estímulos nos permiten estudiar los cambios conductuales, asociados al reporte manual o verbal del cambio perceptual, perceptuales, vinculados a la transición de la percepción visual en un estímulo invariante, y electroencefalográficos, adscritos a la actividad eléctrica de las distintas cortezas, entre diferentes interpretaciones de un patrón invariante, lo que proporciona información valiosa sobre el funcionamiento nuestro sistema visual (Mathes, et.al., 2006).

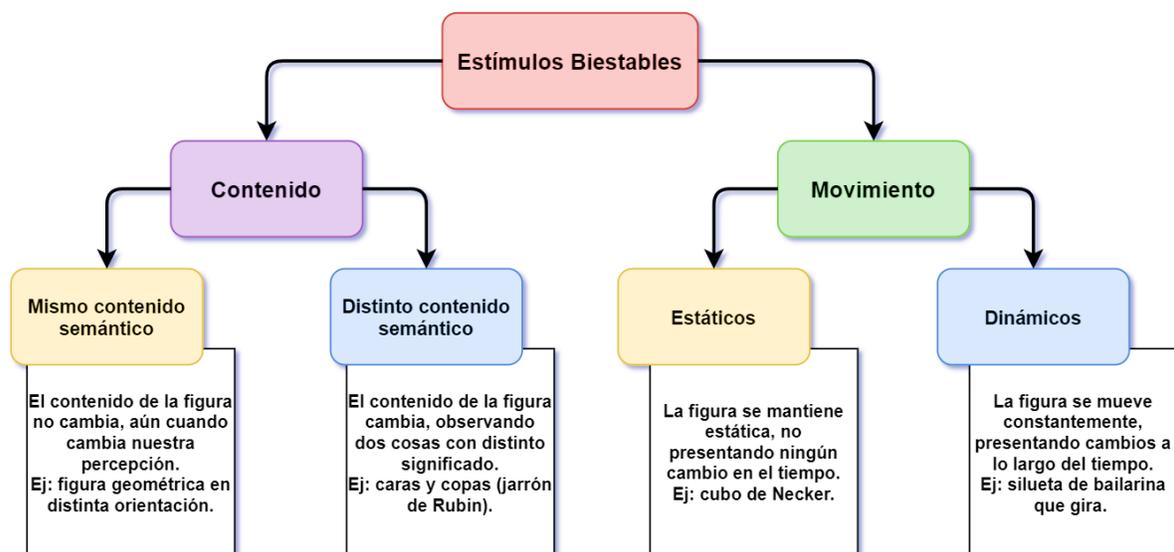
Igualmente, los estímulos biestables permiten estudiar la naturaleza endógena de las transiciones perceptivas, motivando una extensa investigación dirigida a describir los mecanismos que subyacen a estas transiciones perceptuales (Eagleman, 2001). Por ende, los cambios perceptuales espontáneos que experimentan los individuos durante la observación de estímulos biestables deberían, en principio, permitir realizar una disociación de los procesos relacionados con la estimulación del sistema visual de aquellos relacionados con la percepción (Weilhammer, et.al., 2014).

Por otra parte, las figuras biestables poseen ciertas ventajas que los posicionan por sobre los estímulos no ambiguos:

1. Son capaces de dissociar la percepción de la entrada visual del estímulo físico (Wang, et.al., 2008).
2. Permite tener a los sujetos durante procesos experimentales, en un estado perceptual estable por periodos prolongados de tiempo (Zhou, et.al., 2004).
3. Existe un compromiso en la realización de la tarea gracias a la novedad de esta, con leves cambios a nivel atencional del sujeto y grandes variaciones en la interpretación del percepto (Blake & Logothetis, 2002; Sterzer et.al., 2009).

Además, los estímulos biestables están categorizados en dos grandes divisiones: **semánticos** y **movimiento** (Figura 2):

1. Contenido semántico: (A) Mismo contenido, en donde podemos ver dos veces una misma figura, pero en distinta orientación y, (B) Distinto contenido, donde un estímulo biestable contiene dos figuras que son distintas entre sí; por ejemplo, un animal y un objeto.
2. Movimiento: (A) Estáticos, que son estímulos biestables que no presentan movimiento y, (B) Dinámicos, que se encuentran en movimiento mientras se explora el estímulo (Kruse & Stadler, 1995).



**Figura 2 – Clasificación general de los estímulos biestables.**- Las figuras biestables pueden clasificarse según su contenido y movimiento. Dependiendo de las características propias de cada estímulo, es posible combinar ambas clasificaciones (Kruse & Stadler, 1995).

Mediante esta clasificación, se puede generar un contexto que, en condiciones de laboratorio, se adecue de mejor manera a estímulos más reales y ecológicos. Nuestro criterio recae en adecuar el experimento sin cambiar el contenido semántico que percibe el sujeto. Conjuntamente, se busca que las figuras biestables presenten movimiento, para abordar de mejor manera la contribución del componente motor que participa activamente en la percepción de esta clase de figuras.

De esta manera, las figuras biestables son una herramienta de estudio que permitiría describir las áreas asociadas a la percepción biestable y la temporalidad asociada a la transición de la percepción visual. Además, *la utilización de estos estímulos ha permitido determinar estructuras y áreas cerebrales relacionadas con la selección y reversión de la percepción visual*. Es así como, se han generado mapas cerebrales de correspondencia estructural, en donde se correlacionan áreas del cerebro con la selección y estabilización perceptual visual.

## 1.2 - Correspondencia Estructural y Biestabilidad

Múltiples son las áreas cerebrales involucradas con la transición perceptual en estímulos biestables. No obstante, las técnicas utilizadas (electroencefalografía, resonancia magnética, entre otras), o bien, los distintos tipos de figuras biestables generan resultados controversiales debido a que **existen múltiples áreas o estructuras cerebrales** relacionadas a la desambiguación de esta clase de estímulos. (*Kornmeier & Bach, 2012*).

En primera instancia, se ha determinado la gran contribución que tienen las cortezas frontoparietales (surco parietal inferior, lóbulo parietal inferior, lóbulo parietal superior, surco intraparietal inferior, surco intraparietal superior y corteza prefrontal ventrolateral) en tareas de percepción biestable (*Ester, et.al., 2016*). Por medio de resonancia magnética funcional (fMRI, en inglés *functional Magnetic Resonance Imaging*), se determinó que las principales zonas que modulan su actividad cuando se presenta un estímulo ambiguo, corresponden a estas regiones. En adición, las regiones occipitales tienen una mayor actividad cuando las figuras presentadas son una versión no ambigua de estímulos biestables (*Wang, et.al., 2013*).

Por otra parte, si se perturba el funcionamiento de la corteza frontoparietal con una estimulación magnética transcranial (TMS, en inglés Transcranial Magnetic Stimulation) a 2 Hz, los sujetos tienen mayores dificultades para realizar una transición entre los distintos estados perceptuales de un estímulo biestable, teniendo un percepto estable por periodos de tiempo prolongados (*Zaretskaya, 2010*).

Además, algunas estructuras cerebrales no corticales cambian su actividad metabólica significativamente frente a distintos tipos de estímulos. Por medio de la utilización de fMRI, se determinó que el estriado y el giro temporal inferior se sincronizan con regiones frontoparietales en la reversión en tareas de rivalidad binocular. Conjuntamente, la corteza cingulada anterior dorsal, aumenta su sincronía con regiones frontoparietales con el cubo de Necker (*Baker, et.al., 2015*).

Considerando todo lo anteriormente mencionado, **las regiones específicas de las cortezas frontoparietales y occipitales participan activamente en los procesos de reversión perceptual en estímulos biestables**. Sin embargo, es necesario el reclutamiento de múltiples áreas cerebrales para lograr percibir el cambio perceptual en figuras biestables. Es por esta razón que es necesario evaluar la temporalidad de la actividad neuronal en tareas de estimulación biestable, para así determinar la dinámica de las redes neuronales que participarían en la desambiguación de un percepto.

### 1.3 - Actividad Neuronal y Biestabilidad

**Los mecanismos neuronales y/o fisiológicos que dan paso a las transiciones en la percepción multiestable aún no son claros**. Sin embargo, se han descrito ciertos marcadores electroencefalográficos que se pueden asociar a la transición entre los estados perceptuales en estímulos biestables. Además, estos eventos se han establecido como fenómenos neuronales consistentes para el entendimiento de los mecanismos relacionados a la percepción visual (*Kornmeier & Bach, 2012*).

Un primer marcador son los cambios observados en **banda  $\alpha$**  (8 - 16 Hz). Esta banda fue descrita por primera vez en trabajos de electroencefalografía, donde se observó una prominente oscilación a una frecuencia específica en las regiones

occipitales cuando los sujetos cerraban sus ojos (Berger, 1933). Se ha determinado que esta banda de frecuencia disminuye su poder cuando se transita entre los distintos estados perceptuales de un estímulo biestable (İşoğlu-Alkaç, et.al., 2000). Asimismo, se demostró que el cambio en banda  $\alpha$  es más significativo en un rango de frecuencia particular, específicamente entre los 6 – 10 Hz (İşoğlu-Alkaç & Strüber, 2006). Sin embargo, la caída de poder de banda  $\alpha$  ocurre entre los 1000 a 200 ms antes del reporte del manual de los voluntarios, lo que muestra que existe una incongruencia temporal entre la caída de poder y el reporte manual (Strüber & Herrmann, 2002).

El segundo marcador corresponde a las variaciones observadas en **banda  $\gamma$**  (30 – 50 Hz). Strüber y colaboradores indicaron que existe un aumento en el poder de banda  $\gamma$  antes del reporte manual de la reversión en sujetos que tenían una alta tasa de transiciones de percepto, en comparación a los que tenían una baja tasa de reversión, donde se observaba significativamente disminuido el poder de banda  $\gamma$  (Strüber, et.al., 2000). No obstante, este marcador también presenta el problema del correlato temporal, en donde existe una ventana de tiempo variable con respecto al reporte de la transición y el aumento del poder en banda  $\gamma$ , la cual va desde los 1000 ms antes del reporte manual de la reversión hasta 450 ms después de la misma (Basar-Eroglu, et al., 1996; Fesi & Mendola, 2015).

El tercer y último marcador es un **Potencial Relacionado a Evento-like** (ERP, del inglés *Event-Related Potential*). Este ERP se le agrega el sufijo *like*, debido a que es un evento gatillado endógenamente y no dependiente de un cambio en el estímulo, como ocurre en lo descrito en la literatura clásica de ERP. Se caracteriza por estar presente en regiones parietales, aparecer aproximadamente 250 ms antes del reporte de la reversión, y tener un área bajo la curva variable para el *peak* positivo de una componente denominada *P300-like* (Mathes, et.al., 2006; Strüber & Herrmann, 2002; Verleger, et.al., 2005). En el caso de la percepción biestable, la amplitud del *P300-like* disminuye significativamente al momento que los sujetos transitan entre los estados perceptuales figuras ambiguas comparado con figuras no ambiguas (Kornmeier & Bach, 2004).

Debemos recalcar que, hasta este punto, todos los marcadores electroencefalográficos descritos con anterioridad (banda  $\alpha$ , banda  $\gamma$  y ERP-like) tienen

una falencia común que está vinculada a la ambigüedad temporal de cuando suceden los eventos neuronales relacionados a la reversión, en comparación al autorreporte del cambio perceptual. Esto nos indica que los sujetos discriminan el cambio perceptual después de que este ocurre, y por lo tanto, no es posible determinar que eventos físicos o energéticos anteceden o contribuyen al cambio perceptual.

Es así como, se han determinado ventanas de tiempo tentativas (900 a 200 ms antes del reporte manual), que son un estimativo de donde podría estar ocurriendo la reversión a pesar de las ambigüedades temporales del autorreporte (*İşoğlu-Alkaç, et.al., 2000, Kornmeier & Bach, 2012*).

No obstante, a pesar de las limitaciones temporales que poseen todos estos marcadores, hay que considerar las limitaciones particulares que afectan directamente el análisis:

1. Los ERP se observan cuando sucede una perturbación repetitiva del sistema. El movimiento ocular, la aparición del estímulo, la contracción muscular, la planeación del acto motor, entre otros, podrían contaminar el registro electroencefalográfico (*Kornmeier & Bach, 2004, Buzsáki, 2006*). Esto dificulta de manera importante la discriminación entre los ERP que son gatillados de manera exógena de los procesos endógenos.
2. Banda  $\gamma$  se atenúa de manera considerable a través de un filtro volumétrico mediado por las múltiples capas de tejido de la cabeza (cuero cabelludo, músculos faciales y hueso), dificultando el análisis en la discriminación entre lo que es señal y ruido con EEG (*Nunez, et.al., 2006*).
3. Banda  $\alpha$  no solo se encuentra relacionada a las reversiones visuales en estímulos biestables (*Jensen & Vissers, 2017, Fries, 2015, Piantoni, et.al., 2017*), sino que también, hay múltiples procesos cognitivos y fisiológicos ligados a este mismo marcador, tales como atención, memoria de trabajo, memoria a largo plazo, entre otros (*Klimesch, 2012*)

A pesar de las desventajas recién mencionadas, hemos decidido seleccionar el marcador relacionado a banda  $\alpha$  ya que es el que presenta un menor número de limitaciones. Banda  $\alpha$  es consistente con respecto a la caída de poder relacionada a la reversión en el cubo de Necker, independiente de la limitante del reporte manual

(İşoğlu-Alkaç, et.al., 2000, İşoğlu-Alkaç & Strüber, 2006, Strüber & Herrmann, 2002), y, además, este fenómeno electroencefalográfico no varía de manera significativa, aunque se exponga al individuo a condiciones que puedan afectar a su rendimiento, como por ejemplo, privación del sueño (Piantoni, et.al., 2017).

Entonces, si consideramos que *el reporte manual del sujeto es temporalmente variable, no estando alineado con los marcadores registrados por EEG*, se vuelve necesario describir qué evento podría iniciar o preceder el proceso de cambio perceptual. Un buen candidato son **los movimientos oculares**. Estos *podrían anteceder al autorreporte manual y alinearse de forma temporalmente cercana a los marcadores electroencefalográficos descritos y, por lo tanto, formar parte de los mecanismos de reversión de figuras biestables*.

#### 1.4 - Movimientos Oculares y Biestabilidad

Los movimientos oculares se han dividido principalmente en **sacadas y fijaciones**. Las sacadas son movimientos rápidos que van desde un punto particular del espacio hasta un segundo punto de fijación, ocurriendo aproximadamente de 3 a 5 sacadas por segundo (Ross & Ma-Wyatt, 2004, Leigh & Zee, 2015). Las fijaciones, son ventanas de tiempo donde los movimientos oculares disminuyen su amplitud de manera significativa en comparación a las sacadas, pero nunca cesan completamente. Durante las fijaciones, el sistema visual realiza las extracciones de las características del medio, agrupa perceptualmente los estímulos e identifica los objetos (Engbert, 2006; Melloni et.al., 2009). Sumado a esto, las fijaciones contienen 3 tipos de movimientos oculares: *tremor, drift*, y sacadas cortas o microsacadas (Engbert, 2006; Martinez-Conde et.al., 2004). Estos últimos, son movimientos oculares de pequeña amplitud con un promedio de ocurrencia de 1 a 2 por segundo. Además, se ha sugerido que tienen un rol funcional en la atención (Engbert, 2006), mantienen la continuidad perceptual y realzan el estímulo percibido (Ross & Ma-Wyatt, 2004; McCamy, et.al., 2012).

Los primeros estudios sobre percepción indicaron la importancia del rol de los movimientos oculares en la actividad cognitiva y perceptual, por ejemplo, la capacidad que tienen los sujetos para discriminar entre dos figuras separadas a distancias

variables (*Yantis, 2000; Tsal, 1983*). Por ende, nuestros **movimientos oculares participan en la generación de estados sensoriales que dan cuenta de la organización temporo-espacial en la selección de un percepto** (*von der Malsburg, 1999*). Es así como se han descrito los principales movimientos oculares que participan en los procesos de exploración del medio externo e interno.

Algunos estudios han demostrado la importancia de banda  $\alpha$  en la percepción visual. Se dispuso de sujetos que debían explorar visualmente imágenes naturales mientras se registraba su actividad cerebral con EEG. Se demostró la existencia de una correlación entre la actividad oscilatoria de banda  $\alpha$  antes de la fijación y la respuesta evocada visualmente tras el inicio de esta, resultando en una modificación de la fase oscilatoria en curso, aumentando el poder y cambiando la temporalidad de la oscilación de banda  $\alpha$ , en zonas occipitales (*Ossandón, et.al., 2010*). Estos resultados correlacionan los cambios en la actividad neuronal con los movimientos oculares y permiten añadir evidencia experimental a la importancia de los movimientos oculares en los procesos de generación de la actividad perceptual.

Más aún, evidencia reciente determinó que los ERP producidos por una sacada, tienen una magnitud similar a la producida por las fijaciones. El ERP de la sacada se produce de manera temprana, registrándose una negatividad que comienza con el inicio del movimiento ocular. Esto sugiere que la actividad motora asociada a las sacadas modula la información de la entrada visual durante la exploración libre de imágenes (*Devia, et. al., 2017*).

Por otra parte, se estableció que cada vez se tiene la intención de realizar un cambio en el percepto en estímulos biestables, se ejecutan sacadas direccionadas a puntos específicos de las figuras en el intento de estabilización de uno de los estados perceptuales antes de reportar la reversión (*Riani, et.al., 1986*). No obstante, estos resultados fueron descritos solo de manera cualitativa, por lo que no se puede establecer un parámetro comparativo.

Trabajos más recientes indican que existe una correlación entre la posición de la mirada y el cambio perceptual. Esto indica que para que sea más probable el cambio de percepto en el cubo de Necker, los ojos se posicionan en uno de los extremos de la figura biestable. Esto podría generar una supresión de uno de los estados

interpretativos del estímulo, la cual es mediada por los movimientos oculares (*Einhäuser, et. al., 2004*).

Conjuntamente, algunos estudios han determinado que, por ejemplo, el parpadeo, sería capaz de modular el cambio perceptual por medio de una modulación indirecta de los marcadores electroencefalográficos ya mencionados, debido a que este pestañeo aumenta la probabilidad de ocurrencia de una sacada que podría estar vinculada al cambio perceptual (*Nakatani & Van Leeuwen, 2013, Nakatani, et. al., 2011*).

Esta evidencia apunta a la importancia del rol de los movimientos oculares en la percepción, y especialmente en la reversión del percepto en estímulos biestables. *Es por esta razón que como objeto de estudio se quiere determinar cómo estarían involucrados los movimientos oculares en los mecanismos de reversión de estímulos biestables.*

### 1.5 - Hipótesis

**Los movimientos oculares forman parte del mecanismo de cambio perceptual en Estímulos Biestables en seres humanos.**

*Corolario de la Hipótesis: Los movimientos oculares se alinean de manera temporalmente cerca a la modulación en la actividad electroencefalográfica relacionada con el cambio y/o reversión perceptual en estímulos biestables.*

### 1.6 - Objetivo general

- **Determinar el rol de los movimientos oculares durante la reversión perceptual en estímulos biestables.**

### 1.7 - Objetivos específicos

- Diseñar una tarea que permita estudiar los movimientos oculares y la actividad electroencefalográfica en estímulos biestables.
- Definir y caracterizar los movimientos oculares que participan durante el cambio perceptual.
- Determinar los cambios en la actividad electroencefalográfica relacionada al cambio y/o reversión perceptual acoplada a los movimientos oculares.
- Vincular el movimiento ocular con la modulación del cambio perceptual en estímulos biestables.

## 2 - MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 - Sujetos

Se registraron a 27 voluntarios entre 18 – 60 años autónomos, a los cuales se les grabó sus movimientos oculares por medio de un sistema de registro de la actividad ocular (*Eyelink 1000, SR Research*), se les registró su actividad cerebral a través de un electroencefalograma (*ActiveTwo para 32 canales, Biosemi*) y se adquirió su conducta manual con el uso de una botonera. Además, a cada participante se le realizó un pequeño cuestionario para recoger datos generales tales como lateralidad, dominancia ocular, historial de enfermedades relacionadas al sistema nervioso central y tratamiento farmacológico que afecte directamente al sistema nervioso central (Tabla 1). Algunos sujetos fueron descartados de los análisis finales debido a alteraciones en los datos. Los criterios utilizados para el descarte de sujetos fueron: 1) Problemas con la adquisición de los datos durante el procedimiento experimental, 2) Alteraciones en los registros como pérdida de marcas y mensajes relacionadas al reporte manual. 3) Registros con mucho ruido con un alto grado de complejidad para remover artefacto.

**Tabla 1 – Descripción demográfica participantes.**- Se describen los parámetros generales de los participantes totales del estudio. Sexo: Indica sexo del sujeto al nacer; Lateralidad: Zurdo o Diestro; Dominancia ocular: Ojo principalmente utilizado para centrar un punto; Mano del reporte: Mano con la cual hicieron la tarea; Tratamiento Farmacológico: Al momento del estudio estaba consumiendo fármacos de manera regular; Problemas Visuales: Alteraciones visuales normales o corregidas.

	Parámetro	
<b>Edad</b>	26±7 (N=27)	
<b>Sexo</b>	<b>Femenino</b>	<b>Masculino</b>
	12	15
<b>Lateralidad</b>	<b>Diestro/a</b>	<b>Zurdo/a</b>
	25	2
<b>Dominancia Ocular</b>	<b>Derecha</b>	<b>Izquierda</b>
	19	8
<b>Mano del reporte</b>	<b>Derecho</b>	<b>Izquierdo</b>
	14	13
<b>Trat. Farmacológico*</b>	<b>Si</b>	<b>No</b>
	5	22
<b>Prob. Visuales**</b>	<b>Si</b>	<b>No</b>
	14	13

\**Eutirox, levitiracetam, sertralina, litio*

\*\**Astigmatismo, Miopía, Hipermetropía*

## 2.2 – Diseño Experimental

Todos los sujetos fueron ubicados en una silla mirando de frente un monitor (Viewsonic de resolución 1080p y *refresh rate* de 60 Hz) a 70 cm de distancia, donde se presentaron los distintos estímulos. A esa distancia, 1 grado visual equivale a 1,22 cm (Figura 3).



**Figura 3 – Esquema de disposición de implementos para realización de la tarea.-** Los voluntarios se encontraban sentados en una silla a una distancia de 70 cm del monitor (rojo). Bajo el monitor se dispone el sistema de seguimiento ocular *EyeTracker* (amarillo). Para evitar que los sujetos varíen la distancia de su rostro con el monitor, debían apoyar la cabeza sobre una mentonera (verde). En paralelo los electrodos del EEG (celestes) son levantados para evitar el peso sobre la cabeza y que no se dañen. Finalmente, el sujeto reportaba sus respuestas por medio de una botonera (morada) que fue alternada de mano entre sujetos.

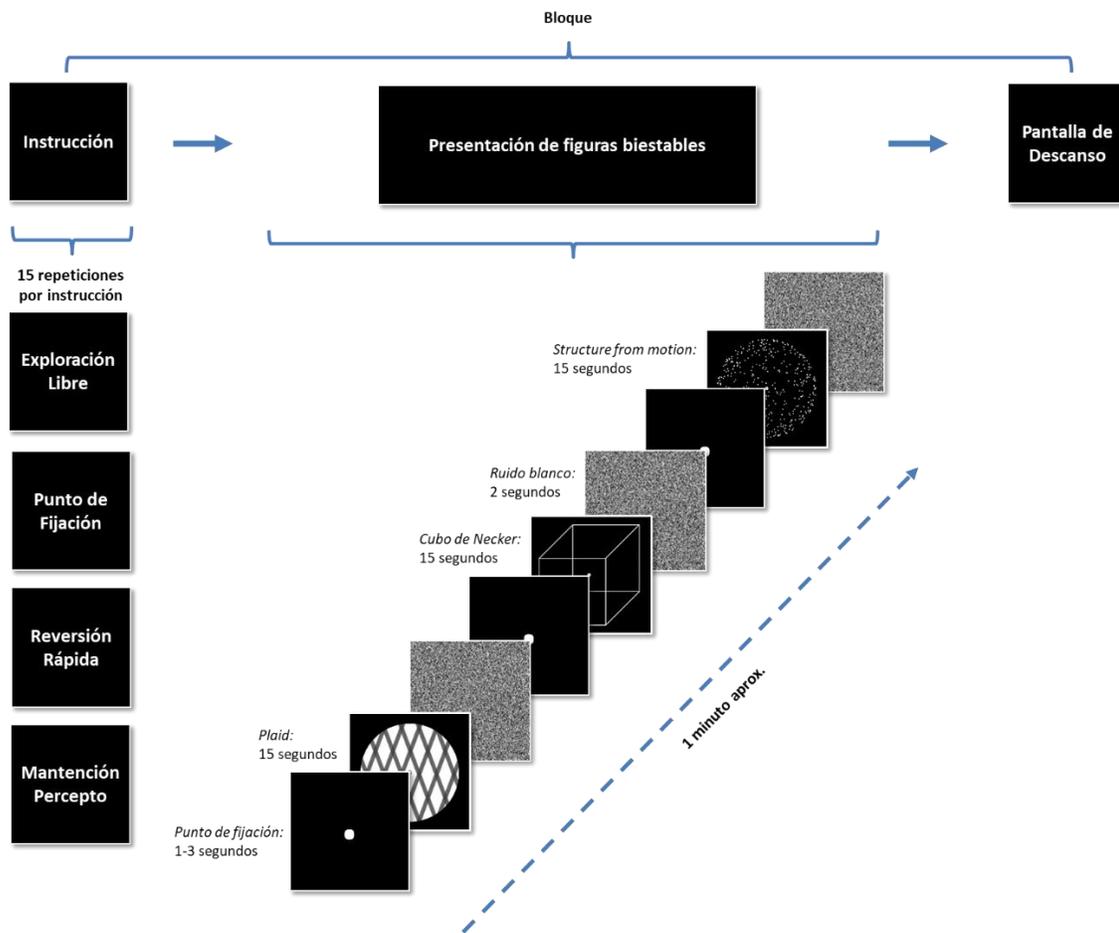
La tarea consistía en visualizar 3 estímulos biestables: cubo de Necker, *Structure from Motion*, y *plaids* (Figura 4). Todos los estímulos fueron presentados uno tras otro precedidos por una instrucción, lo cual conforma un bloque.

Las instrucciones utilizadas fueron:

- **Exploración libre (EL):** consistía en explorar libremente los estímulos y reportar el cambio perceptual por medio de una botonera.
- **Punto de fijación (FP):** al centro de cada estímulo hay un punto de fijación de 0.1° visuales. Los sujetos debían fijar su mirada en dicho punto y reportar el cambio perceptual usando una botonera.

- **Reversión rápida (RR):** el sujeto fuerza el cambio perceptual de manera voluntaria, sin restringir el movimiento ocular. Cuando experimentaba una reversión, el sujeto reportaba por medio de una botonera.
- **Mantención percepto (MP):** el sujeto mantiene un estado perceptual del estímulo biestable, tratando de mantener la percepción por el mayor tiempo posible.

Cada instrucción fue presentada 15 veces de manera aleatoria, en compañía de una pantalla de ruido blanco entre estímulos, y una pantalla de descanso al final de cada bloque, que permitía que los sujetos autoiniciaran el siguiente bloque.

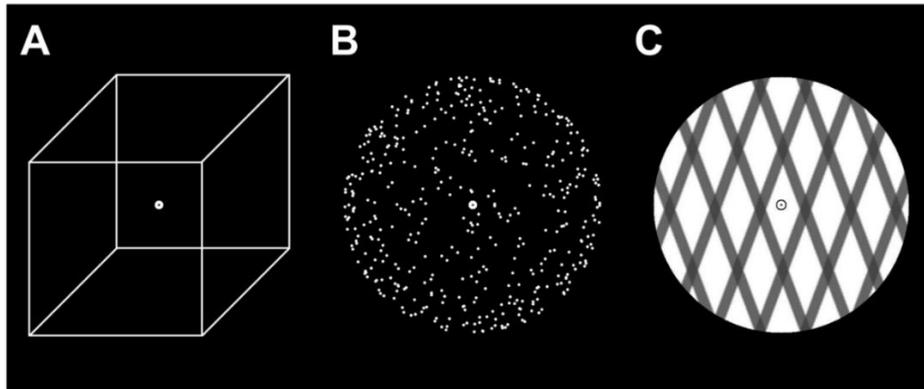


**Figura 4 – Esquema de presentación tarea conductual.**- La tarea está compuesta por 60 bloques. Cada bloque es aleatorizado en 4 condiciones: exploración libre, fijación de la mirada en un punto central, reversión rápida y mantención del percepto. Se presentaron 3 estímulos biestables: *Plaids*, *Structure from motion* y *Cubo de Necker*, los cuales también están aleatorizados dentro de cada bloque. El tiempo total de la tarea fue de aproximadamente 60 min.

Los estímulos utilizados en esta tarea fueron elegidos según los siguientes criterios: (1) Que hubiese literatura que describa los resultados observados a nivel conductual. Tal como lo descrito para el cubo de Necker (*Einhäuser, et. al., 2004*). (2) Que los cambios perceptuales cambien la orientación del estímulo, sin cambiar su contenido semántico. Esto permite sesgar la actividad cognitiva a un solo significado de la figura, sin la búsqueda de una interpretación extra no relacionada al estímulo. (3) Que exista una variedad de estímulos dinámicos (*Structure from motion* y *plaids*) y estáticos (Cubo de Necker). Esto, con la finalidad de semejar a los estímulos que se dan en contexto naturales. (4) Y finalmente, que los sujetos puedan ejecutar sacadas de una amplitud considerable que obligue a la exploración visual completa del estímulo debido a su tamaño.

Según los criterios recién mencionados, los estímulos utilizados fueron:

- ♦ **Cubo de Necker:** Cubo que tiene las aristas dibujadas una sobre otra sin relleno de figura. El estímulo tenía un tamaño de 12° visuales, con grosor de línea de 0,1° visuales color blanco, sobre fondo negro y punto de fijación de 0,1° visuales al centro (Figura 5, A).
- ♦ **Structure From Motion (SFM):** Disposición de 450 puntos blancos ubicados aleatoriamente dentro de un espacio circular negro, que se desplazan a derecha o izquierda, provocando el efecto de una esfera que gira hacia la derecha o izquierda. Los puntos tenían un tamaño de 0,075° visuales, mientras que el tamaño de la esfera fue de 12° visuales con una velocidad de rotación de 80°/s. Al centro de la figura hubo un punto de fijación de 0,1° visuales (Figura 5, B) (modificado de *van Loon, et.al., 2013*).
- ♦ **Plaids (Pd):** Patrón de movimiento formado por la superposición de dos grillas orientadas en 30° y 270° que se mueven en direcciones opuestas, dispuesta en un espacio circular de 12° visuales, generando el efecto visual de dos grupos de líneas que se desplazan en direcciones opuestas, o bien, un conjunto de rombos que suben por el espacio delimitado para el estímulo. Ambas grillas tenían una frecuencia espacial de 1.2 ciclos/°, ancho de bandas de 0,5° visuales al 70% de opacidad del color negro y un punto de fijación de 0,1° visuales al centro (Figura 5, C) (modificado de *Devia, 2013*).



**Figura 5 – Figuras biestables presentes en tarea conductual.** - A – *Plaids*, son un grupo de franjas orientadas en ángulos específicos y que avanzan en direcciones opuestas dando la interpretación de rombos que ascienden, o bien, dos grupos de franjas que se desplazan. B, *Structure from motion*, son una serie de puntos dispuestos en un área circular. Los puntos avanzan en direcciones opuestas generando la interpretación de una esfera que rota a la derecha o izquierda. C, Cubo de Necker, siendo dos cuadrados superpuestos y unidos por sus aristas, que dan la sensación de intercambio de la cara frontal del cubo.

### 2.3 – Registros

Se realizaron dos tipos de registros simultáneos: uno de carácter conductual que está asociado a los movimientos oculares y el reporte del sujeto cuando indique que logró realizar una reversión, y otro de tipo electroencefalográfico.

1. **Registro ocular (*Eye Tracking*) y reporte reversión:** Los movimientos oculares fueron registrados con un sistema de registro oculográfico de seguimiento ocular y pupilar de 500 Hz (Eyelink 1000, SR Research Ltd., Mississauga, Canadá). Antes de iniciar con cualquier tarea, se efectuó una calibración de 5 puntos hasta obtener un error menor a los  $0,5^\circ$  con respecto a la posición de la mirada. Este equipo opera con una cámara infrarroja montada justo en frente del voluntario, la cual es ajustada para cada sujeto en términos de foco y luminancia de los leds. El rastreo de la posición de la mirada se calcula en base a video y el reflejo de corneal. Durante la tarea los sujetos podían reportar libremente las reversiones por medio de la pulsación de una botonera.
2. **Registro electroencefalográfico:** La señal electroencefalográfica fue obtenida con un sistema de registro ActiveTwo Biosemi (Biosemi B.V., Amsterdam, Netherlands) de 32 canales (sitios de registro sobre la

cabeza) + 8 electrodos externos para el electro-oculograma (EOG) y referencias (Sistema Internacional 10-20), con una frecuencia de muestreo de 2048 Hz. Durante el registro no se aplicaron filtros. Se usó como referencia promedio a los mastoides.

## **2.4 – Procesamiento de la actividad oculográfica**

El equipo de seguimiento ocular detecta automáticamente los eventos de sacadas, fijaciones y parpadeos. Por otra parte, para la detección de las microsacadas se utilizó el algoritmo de Engbert y Kliegl (*Engbert and Kliegl, 2003; 2004*), con las modificaciones propuestas por Egaña y colaboradores (*Egaña, et. al., 2013*), que permite detectar y cuantificar las microsacadas binoculares a partir de los datos del entregados por el equipo.

### ***2.4.1 – Detección de microsacadas***

El proceso de detección de microsacadas se puede agrupar en 3 fases. En primer lugar, se toman las series de tiempo de la posición de la mirada y se transforman a velocidades a través de un promedio ponderado móvil.

$$\vec{v}_n = \frac{\vec{x}_{n+2} + \vec{x}_{n+1} + \vec{x}_{n-1} + \vec{x}_{n-2}}{6\Delta t}$$

En segunda instancia, se determina la desviación estándar, que delimitará el umbral de detección de micosacadas. Este parámetro se establece tanto para el eje X como Y por separado.

$$\sigma_{x,y} = \sqrt{\langle v_{x,y}^2 \rangle + \langle v_{x,y} \rangle^2}, \quad \eta_{x,y} = \lambda \sigma_{x,y}$$

Luego, cada evento para ser considerado una sacada debía cumplir la siguiente condición.

$$\left(\frac{v_{k,x}}{\eta_x}\right)^2 + \left(\frac{v_{k,y}}{\eta_y}\right)^2 > 1$$

En tercera y última instancia, se establece que el movimiento debe ser binocular. Esto establece que, si los tiempos en que ocurren los eventos para el ojo

derecho comienzan en  $r_1$  y terminan en  $r_2$ , y para el ojo izquierdo comienzan en  $l_1$  y terminan en  $l_2$ , deben superponerse al menos en una muestra.

$$r_2 > l_1 \wedge r_1 < l_2$$

Una vez detectadas las microsacadas, se definió el tiempo en que se inician ( $t_1$ ) y terminan ( $t_2$ ).

$$t_1 = \min(r_1, l_1)$$
$$t_2 = \max(r_2, l_2)$$

Cabe señalar, que los algoritmos están diseñados para aquellos registros oculográficos en los cuales se mantenía fija la mirada en un punto. Dado que la condición para ocupar este algoritmo recae en la fijación del movimiento ocular, se utilizó para la detección de microsacadas los tiempos que el dispositivo de seguimiento ocular determina como fijación. Finalmente, todos los movimientos oculares clasificados como microsacadas dentro de estos periodos de fijación, fueron reclasificados para considerar solo aquellos eventos que fuesen menores a  $1^\circ$  visual, que durasen entre 6 y 20 ms, y que tuviesen al menos 4 desviaciones estándar con respecto a la velocidad del movimiento ocular, calculado de forma independiente para los ejes horizontal y vertical (*Egaña, et. al., 2013*).

Por último, todos los cálculos referentes al conteo o análisis de sacadas se agruparon tanto las sacadas como las microsacadas.

#### **2.4.2 – Determinación de zonas frecuentemente visitadas**

Estudios como los de Einhäuser en 2004, demuestran la presencia de regiones que son visitadas con mayor frecuencia en figuras biestables, aumentando la posibilidad de que se gatille una reversión cuando la mirada se fija sobre alguna de estas áreas (*Einhäuser, et. al., 2004*). Bajo esta premisa, determinamos las regiones frecuentemente visitadas para los sujetos en 3 estímulos. Para ello, generamos una matriz de datos que contenía la información espacial de las fijaciones de los sujetos determinadas por el sistema de registro ocular. Luego, mapeamos la contribución unitaria de cada sujeto por estímulo y la normalizamos por el total de fijaciones de cada sujeto. Posteriormente, se sumaron los mapas de todos los participantes y se normalizó

la densidad entre 0 y 1. Esto fue realizado en la condición de exploración libre. Excluimos del conteo las fijaciones alrededor del centro, debido a que el punto de fijación funciona como un atractor potente, ya que la saliencia del punto mediada por su tamaño, intensidad y ubicación provoca que nuestra atención se enfoque en él (*Itti & Koch, 2001*). Esto conlleva que las fijaciones que se dan en regiones alejadas del centro se vean muy atenuadas, por lo que no son percibidas al momento de evaluar el total global de fijaciones. A continuación, considerando la exclusión recién mencionada, se determinaron las regiones donde se agrupan las fijaciones a través de todos los bloques. Finalmente, el promedio de los mapas de fijación de cada sujeto fue promediado con los mapas de los otros voluntarios. Todos los datos fueron ajustados a una distribución normal para visualizar todos los máximos locales. Esto último hace que aquellas regiones que tiene pocas fijaciones sean visibles al agrupar todos los mapas, a pesar de la poca contribución que tendrían con respecto al número total de fijaciones, o bien, con respecto a una región en particular.

Además, determinamos la temporalidad en que los sujetos fijan la mirada en estas regiones que son frecuentemente visitadas. Estas fijaciones están acotadas a una ventana temporal cercana al reporte del cambio perceptual. Para ello, mapeamos todos los términos de sacadas y microsacadas ocurridas 1200 ms antes del reporte manual a 200 ms después del mismo. El final de cada sacada debiese continuar con una fijación, por lo que es correlativo al análisis de las fijaciones en el mapa de calor. Este análisis nos permite determinar temporalmente el inicio de una sacada y por ende saber dónde está mirando el sujeto justo en el momento en el que su movimiento ocular se detiene.

#### **2.4.3 – Cuantificación de las reversiones**

Se cuantificó el número de reversiones reportadas por cada sujeto. Este valor se determinó para las condiciones de exploración libre (EL), fijación en un punto (FP), reversión rápida (RR) y mantención del percepto (MP). Los resultados fueron pareados por sujeto para determinar una razón de cambio entre la condición EL/FP y RR/MP. Esto nos indica cuantas veces mayor o menor es la cantidad de cambios perceptuales

reportados que se realizan en la condición EL sobre FP, utilizando el mismo procedimiento para RR sobre MP.

Los datos fueron expresados en graficas *box-plot* que nos indica la dispersión y simetría de 27 sujetos a lo largo de toda la tarea para cada condición (EL, FP, RR y MP), agrupados por tipo de estímulo (cubo de Necker, SFM, *Plaid*). La línea central de las cajas representa la mediana de los datos, mientras que las divisiones superior e inferior a la mediana hacen referencia a los cuartiles donde se concentran el 50% de los datos. Las cotas que sobresalen de las cajas expresan la concentración del 25% de los datos.

#### **2.4.4 – Determinación de la dirección del movimiento ocular**

Determinamos la dirección del movimiento ocular en ventanas de tiempo cercanas al reporte manual de cambio perceptual, con el objetivo de establecer la consistencia de la conducta ocular con respecto a la libertad de movimiento del ojo. Para ello determinamos las posiciones iniciales ( $p_1$ ) y finales ( $p_2$ ) de cada sacada en el plano cartesiano:

$$p_1 = (x_1 y_1)$$

$$p_2 = (x_2 y_2)$$

Con estas posiciones se puede calcular trigonométricamente los catetos de un triángulo rectángulo, siendo la distancia entre estas posiciones la hipotenusa del triángulo. Cada cateto fue calculado tanto para el eje y ( $a_{cat}$ ) como para el eje x ( $b_{cat}$ ):

$$a_{cat} = y_2 - y_1$$

$$b_{cat} = x_2 - x_1$$

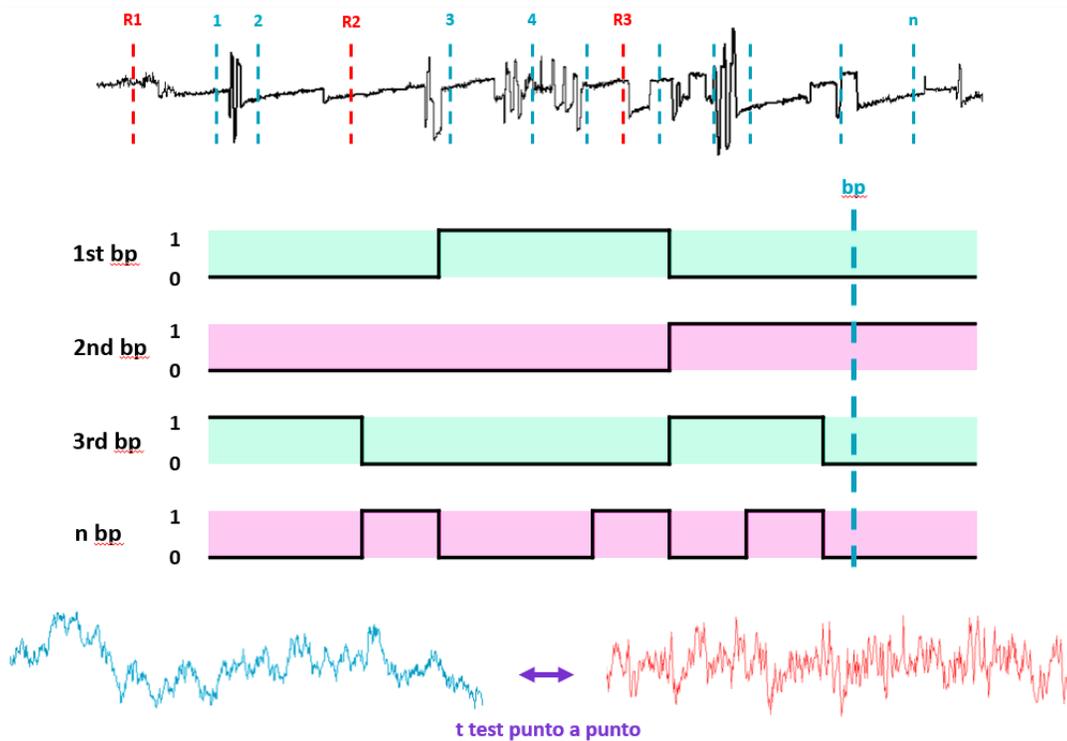
Si consideramos que tanto las posiciones iniciales y finales están siendo ajustadas a una recta, podemos calcular el ángulo ( $\alpha_{rad}$ ) que genera entre ambas posiciones, lo cual es equivalente a la dirección movimiento ocular. Hay que considerar que las sustracciones para el cálculo de  $a_{cat}$  como  $b_{cat}$  pueden dar números negativos, lo que indicaría la dirección real en que se orienta el movimiento ocular. Esto último es

importante de mencionar, ya que no se restringieron las sacadas con respecto a su origen en el espacio.

$$\alpha_{rad} = a_{cat} / b_{cat}$$

### 2.4.5 – Determinación del tiempo empleado en sacada

Evaluamos los periodos temporales y el tiempo empleado de encontrar al sujeto ejecutando sacadas alrededor del reporte manual del cambio perceptual (Figura 6). Este parámetro se calcula tomando el inicio y final de la sacada asignándole un valor máximo (1) cuando el voluntario efectivamente está en un periodo temporal donde se está realizando el movimiento ocular, mientras que el resto del tiempo donde no está realizando el movimiento ocular, mientras que el resto del tiempo donde no está ocurriendo la sacada tiene una asignación de mínimo valor (0).



**Figura 6 – Determinación del periodo en que los sujetos están en sacada.** - En la parte superior se ve un registro crudo de la actividad ocular. Cada marca celeste en el registro refiere al reporte manual del sujeto al cual pertenece el registro. Luego se añade un segundo grupo de marcas (rojas), que son los tiempos en que los otros participantes presionaron el botón para señalar una reversión. Estas marcas rojas son regiones aleatorias del registro de interés, pero que tienen periodicidad con respecto a la conducta humana. En la parte inferior de la figura, se observa la conversión del registro ocular en vectores de 0 y 1, en donde 0 indica que no hay movimiento ocular y 1 indica que el sujeto está realizando una sacada. Luego se agrupan todos los vectores para generar un ERP-like que es comparado con la actividad compilada por las marcas aleatorizadas punto a punto.

Luego la contribución promedio de cada sujeto en todas las ventanas temporales determinadas por el reporte manual del cambio perceptual, fue promediada para cada estímulo en la condición de exploración libre.

Finalmente, se comparó la distribución promedio de estar en sacada, 1000 ms antes del reporte manual y 200 ms después del mismo, versus marcas temporales periódicas determinadas por el registro del reporte manual de los otros voluntarios. Cada ventana temporal genera una distribución promedio del tiempo empleado en ejecutar una sacada, que es comparado mediante una prueba de permutaciones múltiples con las regiones determinadas por los tiempos de los otros sujetos.

## **2.5 – Procesamiento de la actividad Electroencefalográfica**

Se utilizó el conjunto de herramientas *Fieldtrip* para Matlab R2018a (Mathworks, Inc.) (Oostenveld, et. al., 2011). El objetivo general es construir cartas tiempo frecuencia de poder para determinar los cambios de la actividad cerebral general y cuantificar específicamente los cambios de poder de banda  $\alpha$ . El protocolo de procesamiento se detalla a continuación:

1. La señal del EEG fue registrada en paralelo a la actividad ocular y el reporte manual del cambio perceptual.
2. Se realizó un *downsampling* de los datos del EEG desde 2048 Hz a 512 Hz para reducir el tiempo de análisis sin perder información relevante del registro y que coincidiera con la tasa de muestro del equipo de registro ocular.
3. Se aplicó un filtro pasa alto que permitió eliminar la transiente de baja frecuencia (0.1 Hz). Se aplicó un segundo filtro pasa bajo para eliminar el ruido eléctrico (50 Hz). Ambos filtros fueron pasados en dos direcciones para evitar el desfase de la señal. Además, la señal se re-referenció a los electrodos de referencia (mastoides) para eliminar señales ruidosas de diversas fuentes, y durante el registro se ocupó como referencia los electrodos CMS y DRL según la disposición de BioSemi para 32 canales.

4. Se consideró una ventana de análisis desde los 1200 ms antes del reporte del cambio perceptual, indicado con el presionar de una botonera, hasta 500 ms después del mismo (*İşoğlu-Alkaç, et.al., 2000, Kornmeier & Bach, 2004*).
5. Se construyeron cartas de tiempo frecuencia independientes para cada estímulo, consideradas entre los 2 y los 40 Hz, y una ventana temporal de 1500 ms antes y después del evento de interés (reporte manual, sacada involucrada con el cambio perceptual o sacada no involucrada con el cambio perceptual), utilizando los electrodos occipitales (Oz), parietales (Pz) y frontales (Fz). Este conjunto de electrodos debiese mostrar el marcador relacionado al cambio perceptual (*Baker, et.al., 2015, İşoğlu-Alkaç, et.al., 2000, Kornmeier & Bach, 2004, Weinhhammer, et.al., 2013*). Es importante resaltar que el cambio de poder relacionado al cambio perceptual debiese ser más evidente en regiones occipitales.
6. Todas las cartas tiempo frecuencia fueron normalizadas según z-score, tomando como referencia un periodo de 500 ms antes y después de la ventana de interés. La normalización nos permite comparar la actividad electroencefalográfica entre sujetos.
7. Finalmente, las cartas tiempo frecuencia fueron realineadas a tres eventos distintos: el reporte manual, la sacada previa a la reversión de una ventana de tiempo específica (antes de 400 ms con relación al reporte manual) y la sacada 100 ms después del reporte manual. Estas marcas en el tiempo son descritas en la sección de resultados, con la finalidad de comprobar si este periodo temporal precede a la caída de poder de banda  $\alpha$ .

Con los datos obtenidos de la conducta ocular de los individuos, se determinó un periodo de tiempo crítico (ver sección de resultados) en el cual ocurrirían los movimientos oculares que participan en la modulación del cambio perceptual.

En esta ventana de tiempo (400 a 800 ms antes del reporte manual) se extrae el último evento sacádico que correspondería al movimiento ocular involucrado en el

cambio perceptual. A (Baker, et.al., 2015, İšođlu-Alkaç, et.al., 2000, Kornmeier & Bach, 2004, Weilhhammer, et.al., 2013).

Además, se construyó un segundo set de cartas tiempo frecuencia con eventos de sacádicos que corresponden a la primera sacada 100 ms después del reporte manual del cambio perceptual, para así comparar los fenómenos neuronales que están vinculados al cambio perceptual con regiones fuera del tiempo de interés del registro EEG.

Todo lo anteriormente expuesto fue realizado para describir las variaciones del poder de banda  $\alpha$  con respecto al reporte manual, la sacada que participa en el proceso de cambio perceptual y una sacada cualquiera involucrada en la exploración pasiva de estímulos biestables. Para ello, se sustrajeron las cartas tiempo frecuencia relacionadas al cambio perceptual y las que no, con la finalidad de determinar que tan significativo es el cambio causado en banda  $\alpha$  y como los movimientos oculares que ocurren en la ventana de tiempo crítica juegan un rol modulador distinto en comparación a cualquier otro movimiento ocular.

## 2.6 – Estadística

Para la evaluación relacionada a la conducta ligada a la reversión y movimientos oculares, se ocuparon los datos de los 27 participantes, los cuales aportan un número único de reversiones, ya que todos los sujetos experimentan el cambio perceptual a distintos tiempos y con distinta frecuencia. En todos los datos conductuales se informa su *p-value*. Dependiendo de los parámetros analizados (amplitud del movimiento ocular, dirección del movimiento, tiempo empleado en sacada, etc), se aplica una prueba estadística específica. Todos los datos conductuales fueron corregidos estadísticamente por *Bonferroni*.

La tasa de reversión fue comparada en una razón diferencial entre las condiciones EL-FP y RR-MP para cada estímulo. Se informa el *p-value*, el promedio de las reversiones, el *W-value* que corresponden al valor del estadístico para *Wilcoxon Signed Rank Test*, y el intervalo de confianza (CI).

La variabilidad de los movimientos oculares durante la reversión, que indica la cantidad de sacadas y microsacadas ejecutadas cercanas al reporte manual fue

comparada en una razón diferencial entre las condiciones EL-FP y RR-MP para cada estímulo. Se informa el *p-value*, el promedio de las reversiones, el *R-value* que corresponden al valor del estadístico para *Wilcoxon Signed Rank Test*, y el intervalo de confianza (CI).

La frecuencia del movimiento ocular alrededor del reporte fue agrupada en forma de histograma en ventanas de tiempo. Se informa el *p-value* y el CI para el test estadístico *Kruskal-Wallis test, multiple comparisons test*.

Para la dirección del movimiento ocular, que indica la orientación en la cual se realizan las sacadas alrededor del reporte, informamos el *p-value* y el valor *rho*, que indica la orientación media de los ángulos en radianes. Las comparaciones fueron realizadas con la prueba *circular-circular correlation (Berens, 2009)*. Estas comparaciones fueron realizadas para las distintas condiciones agrupadas por estímulo.

Con respecto al tiempo empleado en ejecutar las sacadas alrededor del reporte, se realizaron dos pruebas estadísticas: la primera enfocada en comparar punto a punto los datos de la conducta ocular alrededor del reporte versus la conducta ocular basal (*p-value, CI, multiple comparisons t-test*), y la segunda prueba está enfocada en comprar la distribución de los datos en 3 ventanas de tiempo definiendo el origen de aquellas ventanas con el reporte manual del cambio perceptual. Estas ventanas son: **1ra** conducta ocular que va desde los -1000 a -700 ms desde el reporte manual, **2da** conducta ocular que va desde los -700 a -400 ms desde el reporte manual y **3ra** conducta ocular que va desde los -100 a +200 ms desde el reporte manual. Con respecto a estos últimos datos informamos el *p-value*, demostración de la hipótesis (para distribuciones similares y 1 para distribuciones distintas), *z-value* y *ranksum* para *Wilcoxon rank sum test*.

En el caso de las cartas tiempo frecuencia, se utilizaron los datos de 18 sujetos. La exclusión de los registros electroencefalográficos no utilizados se debe a pérdidas importantes de las marcas conductuales (TTL), registros muy ruidosos (transientes muy pronunciadas, problemas con los electrodos de interés, alteraciones en la calidad de las referencias, entre otros) o problemas con el procesamiento de datos. Todos los registros electroencefalográficos utilizados fueron normalizados por z-score, ocupando

como línea base 500 ms antes de las ventanas de tiempo de interés (-1500 a 1500 ms desde el evento cero, que puede ser el reporte manual, la sacada involucrada en la reversión y la primera sacada 100 ms después del reporte manual).

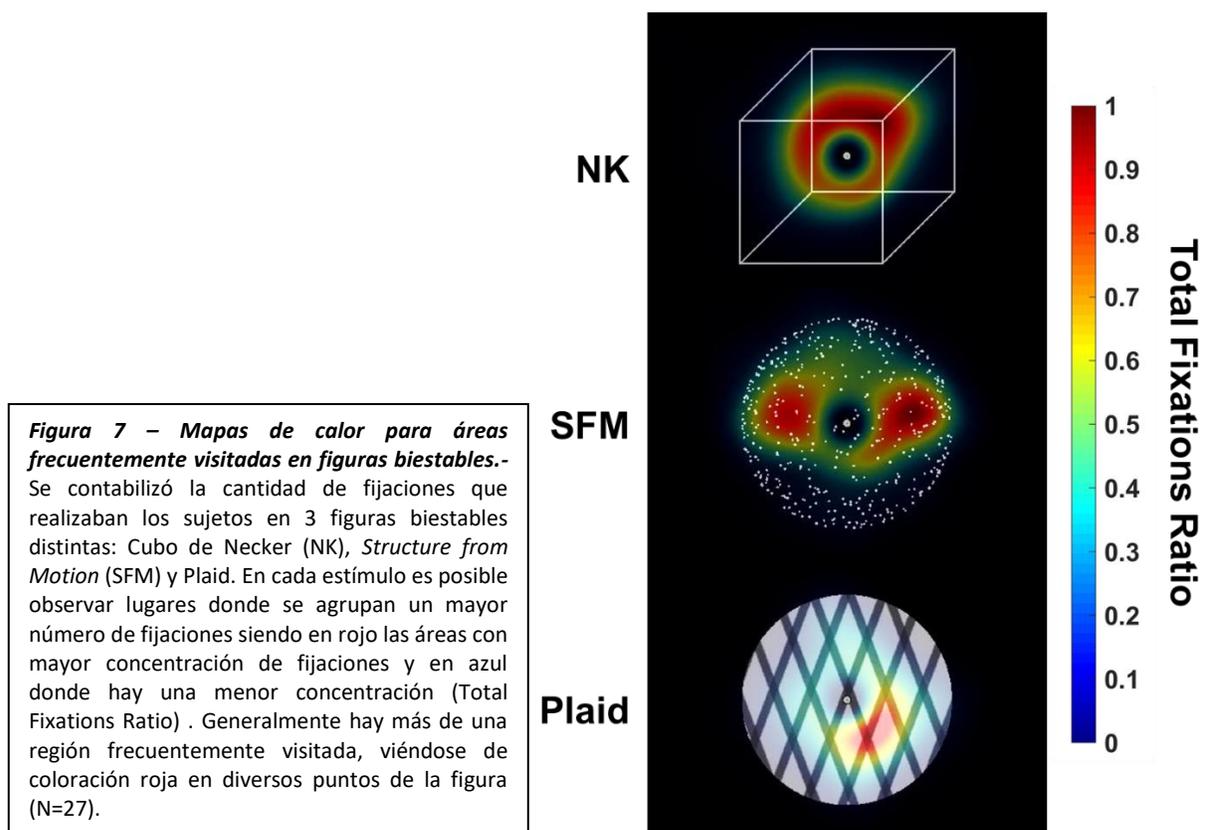
Para determinar las diferencias entre las cartas tiempo frecuencia, se realizó una sustracción de las matrices que construyen las cartas. Se aplicó una prueba estadística punto a punto (*t.test*), para construir una carta de significancia que muestra el *p-value* para las regiones de las cartas tiempo frecuencia que, al sustraerlas, la diferencia es significativamente mayor entre sí.

Finalmente se aisló la señal de banda  $\alpha$  (8 – 12 Hz) desde las cartas tiempo frecuencias construidas anteriormente para los eventos del reporte manual, la sacada involucrada con la reversión y la primera sacada 100 ms después del reporte manual. Se comparó la variación de poder promedio en tres ventanas de tiempo (-800 a -400 ms desde el evento alineado, -400 a 0 desde el evento alineado y 0 a 400 ms desde el evento alineado). Se informa el *p-value* y el valor estadístico *t* obtenido desde la prueba estadística *2way ANOVA – multiple comparisons*.

### 3 - RESULTADOS

#### 3.1 – Determinación de áreas frecuentemente visitadas

Estudios como los de Einhäuser en 2004, demuestran la presencia de regiones que son visitadas con mayor frecuencia en figuras biestables, aumentando la posibilidad de que se gatille una reversión cuando la mirada se fija sobre alguna de estas áreas (Einhäuser, et. al., 2004). Bajo esta premisa, determinamos las regiones frecuentemente visitadas para los sujetos en el Cubo de Necker (NK), *Structure from Motion* (SFM) y *Plaids*.



Según los resultados obtenidos, se observó que, en todas las figuras utilizadas, existen al menos una región de interés, siendo visitada con mayor frecuencia por los sujetos (Figura 7). En el caso del cubo de Necker, es posible reconocer una exploración diagonal del cubo que se enfoca principalmente en las aristas opuestas diagonalmente (Figura 7, arriba). Para el SFM, se determinaron dos regiones que se encuentran en los extremos horizontales de la figura (Figura 7, centro). Finalmente,

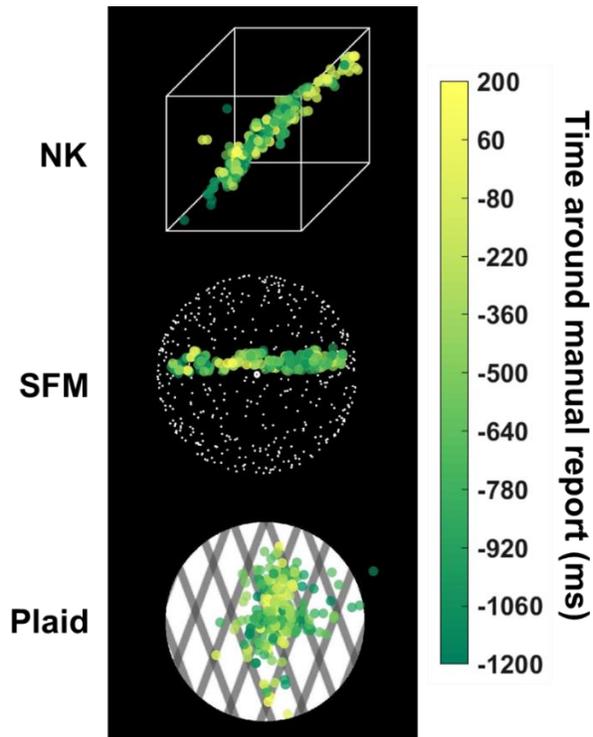
para las *Plaids*, es posible reconocer una preferencia central con sesgo hacia la parte inferior derecha (Figura 7, abajo).

Estos resultados sugieren que los individuos desarrollan estrategias de exploración sesgadas que podrían estar contribuyendo a la facilitación del cambio perceptual. Sin embargo, el posicionamiento de la mirada en estas regiones que son frecuentemente visitadas no garantiza el hecho de que los sujetos experimenten una reversión.

Consiguientemente, decidimos evaluar la temporalidad de la exploración, comprendida como las fijaciones en una ventana de tiempo cercana al reporte del cambio perceptual. Para ello, mapeamos todos los términos de sacadas y microsacadas ocurridas 1200 ms antes del reporte manual a 200 ms después del mismo. El final de cada sacada coincide con el inicio de una fijación, por lo tanto, el mapa de calor de fijaciones es similar al de sacadas, por ello sólo analizaremos el mapa de sacadas.

Eventualmente, si un grupo de puntos del mapa de final de sacadas (Figura 8) se agruparan en fijaciones que están separadas temporalmente en un área de exploración, indicaría que los eventos oculares que ocurren en ese tiempo podrían estar vinculados con el aumento de la probabilidad de experimentar una reversión.

**Figura 8 – Mapas de temporalidad de fijación en figuras biestables.**- Se mapeo el final de las sacadas que ocurrían temporalmente cerca del reporte manual del voluntario cuando experimentaba una reversión (-1200 a 200 ms desde el reporte) (Time around manual report). No se observa una distribución temporal clara en relación a que región observa el sujeto y el momento del reporte (Sujeto representativo).



Los resultados indican que no hay una preferencia temporal y espacial para el final de una sacada en ninguno de los sujetos, por lo que el final de una sacada no necesariamente coincide con el reporte de una reversión (Figura 8). Esto nos indica que, a pesar de que un sujeto observe en un determinado momento una región específica del estímulo, no necesariamente aumenta la probabilidad de experimentar un cambio perceptual.

### 3.2 – Movimiento ocular y tasa de reversión

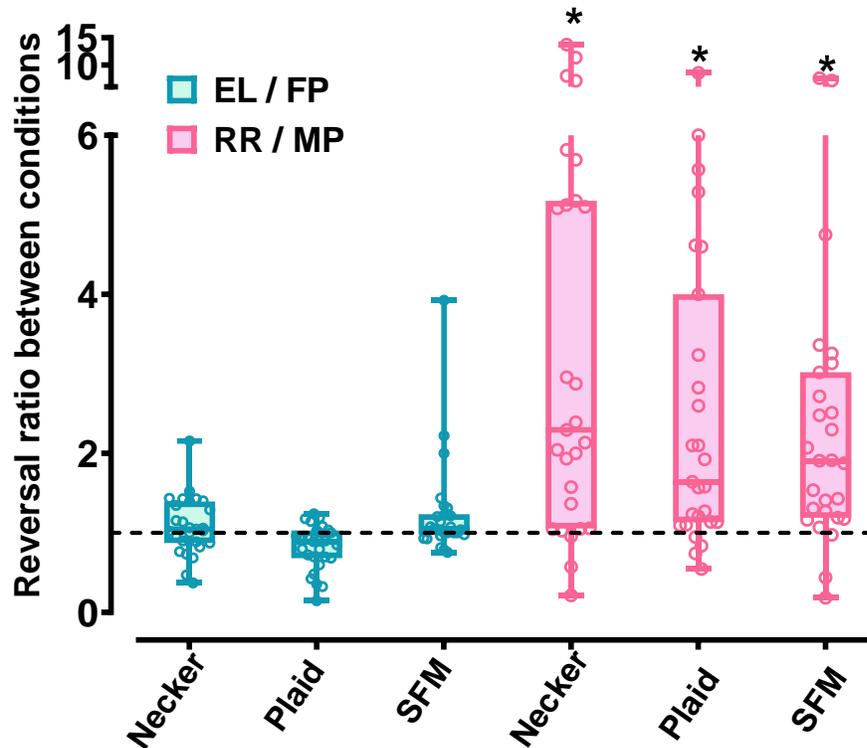
En elk experimento, se cuantificó el número de reversiones reportadas por cada sujeto. Este valor se determinó para las condiciones de exploración libre (EL), fijación en un punto (FP), reversión rápida (RR) y mantención del percepto (MP). Vale especificar que los sujetos en las condiciones RR y MP podían explorar libremente los estímulos. Los resultados fueron pareados por sujeto para determinar una razón de cambio entre la condición EL/FP y RR/MP. Esto nos indica cuantas veces mayor o menor es la cantidad de cambios perceptuales reportados que se realizan en la condición EL sobre FP, utilizando el mismo procedimiento para RR sobre MP.

Los datos fueron expresados en un *box-plot* que indica la dispersión y simetría de 27 sujetos a lo largo de toda la tarea para cada condición (EL, FP, RR y MP), agrupados por tipo de estímulo (cubo de Necker, SFM, *Plaid*) (Figura 9).

Al comparar el número de reversiones realizadas por los sujetos, encontramos que no hay diferencias significativas en los promedios de reversiones entre las condiciones EL y FP (Necker:  $p=0,2201$ ;  $\bar{x}=1,089$ ;  $R=0,057$ ; *Plaid*:  $p=0,038$ ;  $\bar{x}=0,81$ ;  $R=0,2926$ ; SFM:  $p=0,0497$ ;  $\bar{x}=1,048$ ;  $R=0,1401$ ;  $CI=99\%$ ; *Wilcoxon Signed Rank Test*). Asimismo, al evaluar las condiciones de RR y MP, observamos que la tasa de reversión es significativamente mayor en la condición RR por sobre la MP (Necker:  $p=0,0003$ ;  $\bar{x}=2,297$ ;  $R=0,403$ ; *Plaid*:  $p=0,0004$ ;  $\bar{x}=1,643$ ;  $R=0,388$ ; SFM:  $p=0,0005$ ;  $\bar{x}=1,907$ ;  $R=0,3754$ ;  $CI=99\%$ ; *Wilcoxon Signed Rank Test*). Este resultado sugiere que los sujetos s<participantes son capaces de manejar de manera voluntaria la reversión cuando la instrucción se los solicita (Figura 9).

Esto nos lleva a concluir que, independientemente si los sujetos pueden mover libremente sus ojos (hacer sacadas de cualquier amplitud) o deben fijar su mirada en

el punto de fijación (amplitud de sacada restringida), realizan una tasa similar de reversiones. Por ende, la exploración sin restricción del estímulo biestable no jugaría un rol fundamental durante la reversión.



**Figura 9 – Tasa de reversión para las distintas figuras biestables.**- Se cuantificó la tasa reversiones realizadas entre las condiciones EL/FP y RR/MP. El número de reversiones es similar, independiente de la libertad de movimiento ocular (azul), sin embargo, estas reversiones pueden ser controladas según la instrucción (rosa) (N=27).

### 3.3 – Variabilidad de los movimientos oculares durante la reversión

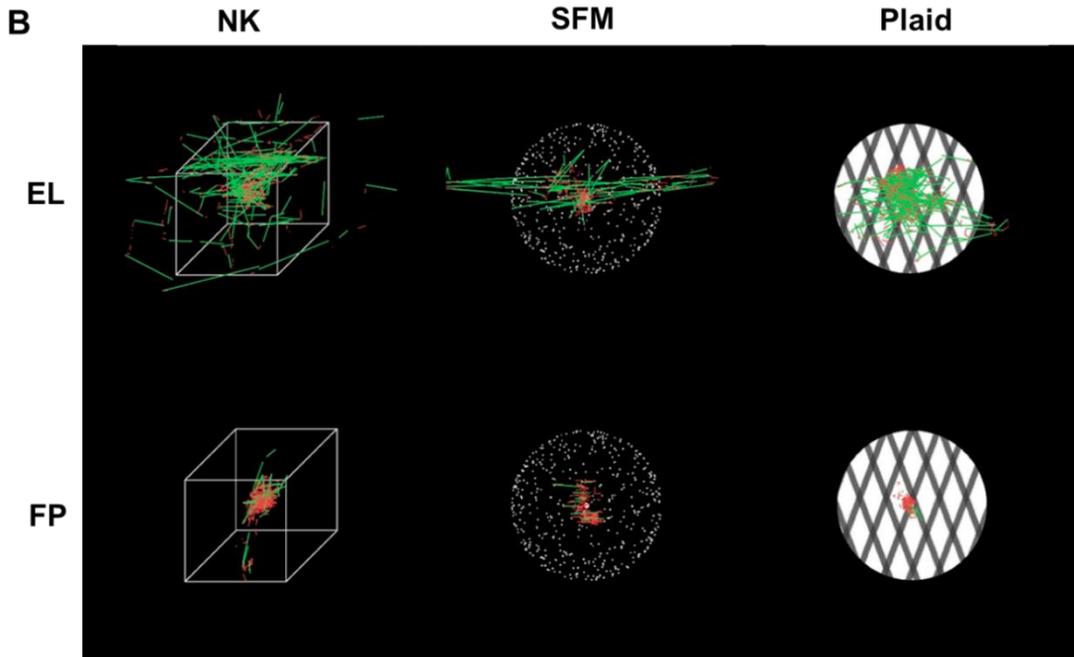
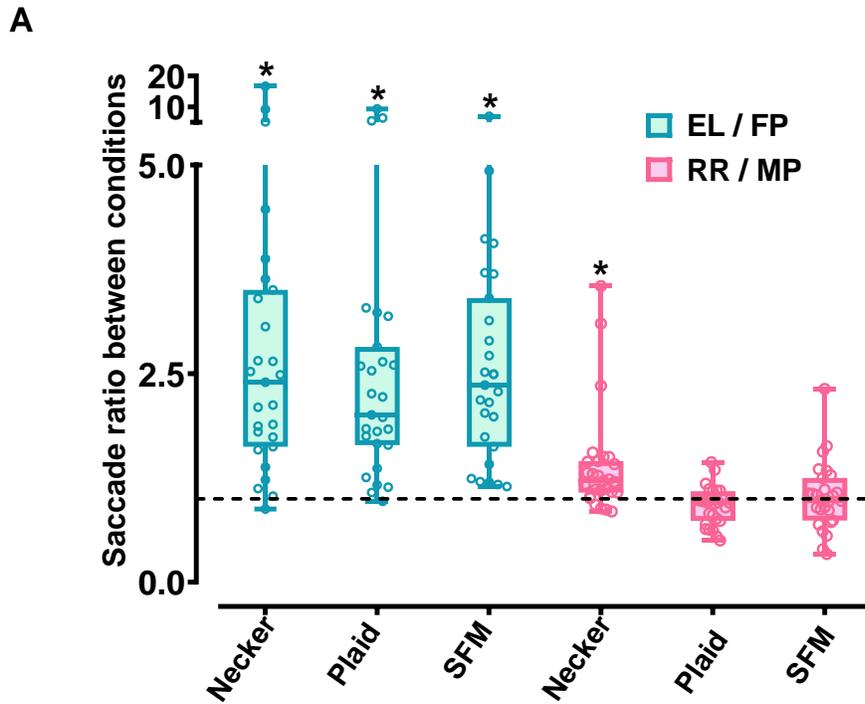
Como se mencionó anteriormente, la tasa de reversión no cambia, aunque los sujetos estén limitados a fijar la mirada en un punto central. Por lo tanto, decidimos cuantificar el total de sacadas ejecutadas en las distintas condiciones y estímulos. Es importante recalcar que los movimientos oculares siempre ocurren, aun cuando los sujetos están fijando su mirada en un área particular (*Ratliff & Riggs, 1950*). En este caso las sacadas son de amplitudes menores a 1° visual.

Al caracterizar el movimiento ocular en las condiciones EL y FP, se determinó que la razón de sacadas (sacadas en EL/ sacadas en FP) es significativamente mayor en las condiciones de EL por sobre la condición de FP (Necker:  $p=0,0014$ ;  $\bar{x}=3,187$ ;

R=0,3302; Plaid:  $p=0,0001$ ;  $\bar{x}=2,007$ ; R=0,4401; SFM:  $p=<0,0001$ ;  $\bar{x}=2,364$ ; R=0,6053; CI=99%; *Wilcoxon Signed Rank Test*). Por otra parte, cuando cuantificamos el número de sacadas y microsacadas para las condiciones RR sobre MP, los movimientos oculares en el caso de *Plaids* y SFM (Necker:  $p=0,0034$ ;  $\bar{x}=1,215$ ; R=0,2853; Plaid:  $p=0,0771$ ;  $\bar{x}=0,957$ ; R=0,1153; SFM:  $p=0,7688$ ;  $\bar{x}=0,9774$ ; R=0,0033; CI=99%; *Wilcoxon Signed Rank Test*).

Estos resultados nos permiten inferir que la ocurrencia del movimiento ocular, aunque suceda con mayor frecuencia (Figura 10, A, azul), no influiría directamente en la tasa de reversión. Conjuntamente, aunque se controle voluntariamente la reversión, la ocurrencia de los movimientos oculares no cambia (Figura 10, A, rosa). Es así como, considerando estos resultados, el número de sacadas que ocurren durante la presentación del estímulo no influirían directamente en la reversión de la figura biestable.

De esta manera, la tasa de reversión pareciera no verse afectada (Figura 9) por la cantidad de movimientos oculares que se ejecutan (Figura 10). Además, los datos indicarían que la amplitud de la sacada pareciera no participar directamente en el proceso de cambio perceptual, por lo que se vuelve necesario evaluar otras características del movimiento ocular que podrían vincular este acto motor con la reversión.



**Figura 10 –Cuantificación de los movimientos oculares en figuras biestables.-** A - Se cuantificó la tasa de sacadas + microsacadas realizadas entre las condiciones EL/FP y RR/MP. Los sujetos realizan más movimientos oculares durante la exploración libre en comparación a la restricción de movimientos (azul), sin embargo, la cantidad de movimientos oculares es similar entre las condiciones de RR y MP, indicando que el número de sacadas parece ser irrelevante para lograr el cambio perceptual (rosa) (N=27). B – Los movimientos oculares siempre están sucediendo, aun cuando se restringe el movimiento ocular. Sacadas (verde) o microsacadas (rojo) (Sujeto representativo).

### 3.4 – Frecuencia del movimiento ocular alrededor del reporte

Al ser las estrategias de exploración similares para cada estímulo en todas las condiciones experimentales, es que decidimos evaluar solo los movimientos oculares que suceden en un espacio temporal cercano al reporte manual. Esto debido a que no hay una correlación entre un mayor número de sacadas ejecutadas con un aumento en la probabilidad de experimentar una reversión.

Si evaluamos otras características de la sacada, como la amplitud, la ocurrencia, la orientación, el tiempo invertido en estar realizando una sacada, entre otros, deberíamos obtener información relevante con respecto a que característica podrían estar influyendo directamente en el proceso de reversión. Más aún, si consideramos exclusivamente lo que sucede cerca del reporte manual del cambio perceptual.

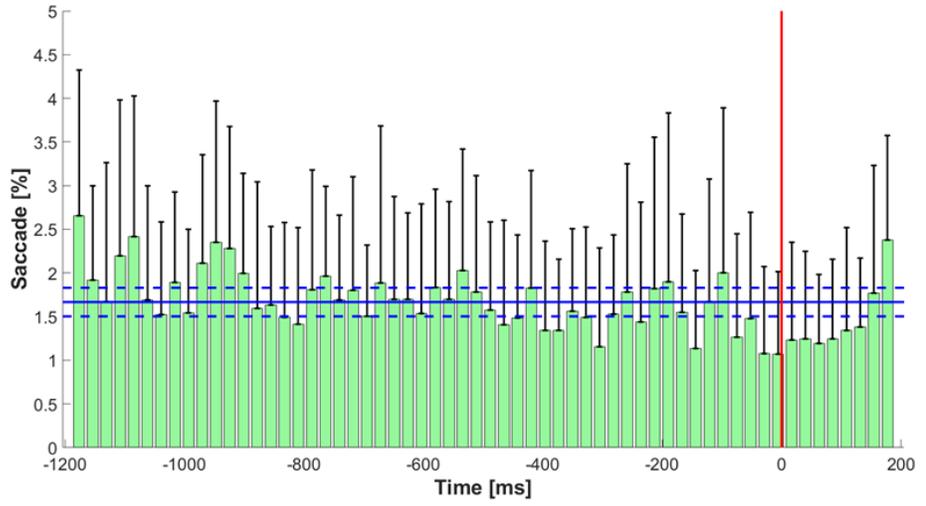
De esta manera, considerando que el número de sacadas varía según la condición, decidimos evaluar las sacadas que suceden alrededor del reporte manual. Se realizó un histograma que indica la cantidad de sacadas que hacen los participantes, alineando estos movimientos oculares al reporte de la reversión. Se consideraron todos los movimientos realizados 1200 ms antes del reporte manual y 200 ms después del mismo. Además, se excluyeron del conteo todos los eventos que correspondían a un reporte manual que se superponga a la ventana temporal utilizada para el análisis definida anteriormente. El histograma está construido con el promedio de sacadas de los 27 sujetos, en donde cada barra representa la contribución en porcentaje con respecto al total de sacadas realizadas alrededor del reporte.

Los movimientos oculares no cambian su distribución de ocurrencia alrededor del reporte manual (FE, FP, RC, HC, todos los estímulos,  $p > 0,9999$ , CI=95%, *Kruskal-Wallis test, multiple comparisons test*), lo que indicaría que el movimiento ocular se mantiene constante y por ende soporta los resultados obtenidos anteriormente (Figura 10), donde se explica que la cantidad de movimientos oculares no correlaciona con la probabilidad de experimentar un cambio perceptual (Figura 11). Este fenómeno de la mantención de la frecuencia de movimiento ocular alrededor del reporte se da en todas las condiciones evaluadas, reafirmando la independencia del número de los movimientos oculares con la cantidad de reversiones.

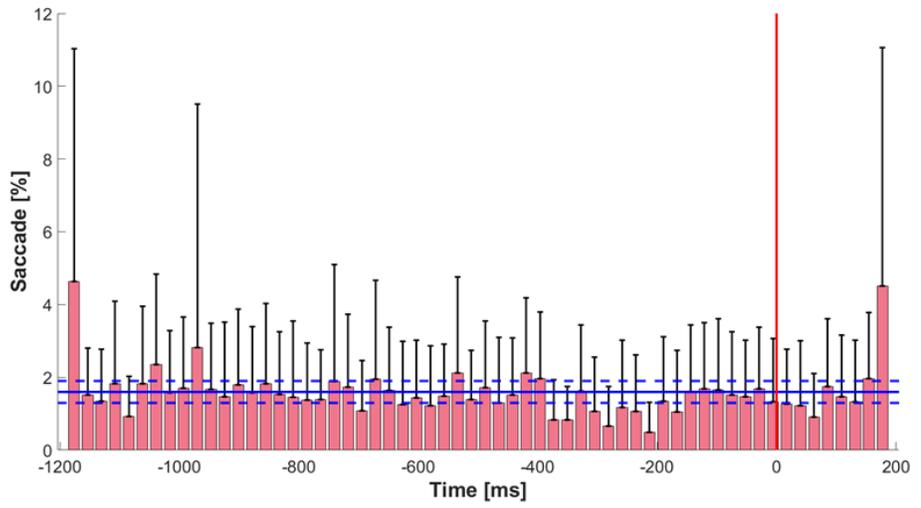
**NK**

**EL**

**Saccades (%)**



**FP**



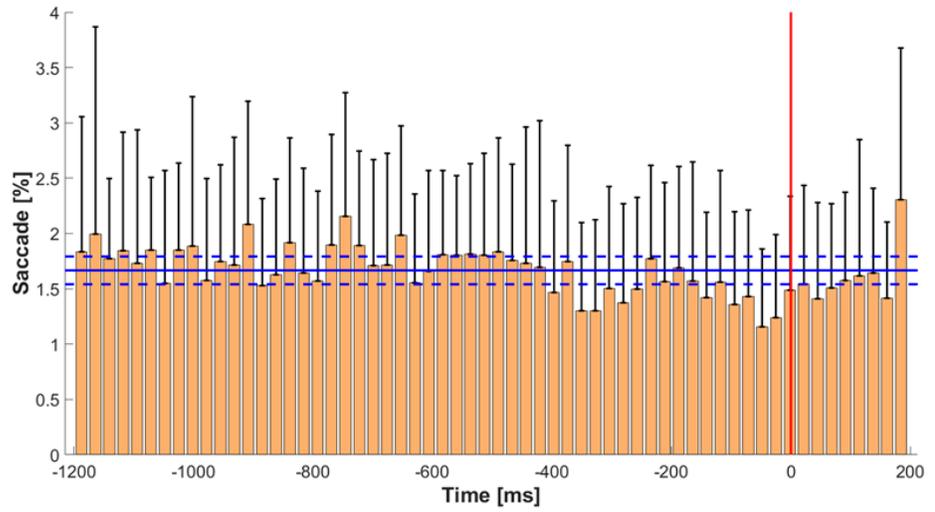
**Time (ms)**

*Continúa*

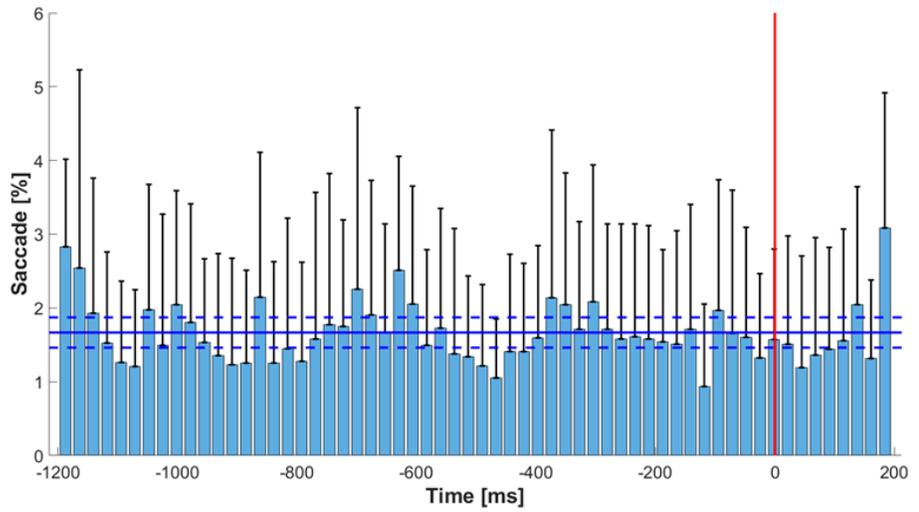
**NK**

**RR**

**Saccades (%)**



**MP**



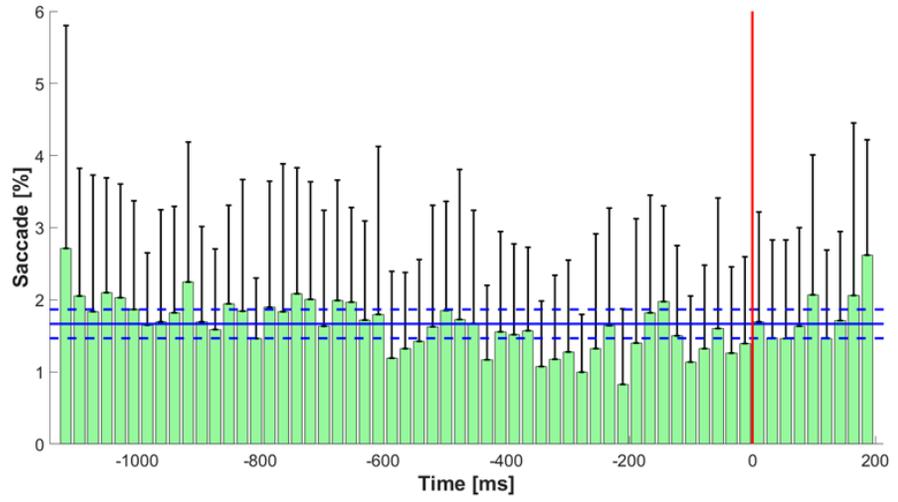
**Time (ms)**

*Continúa*

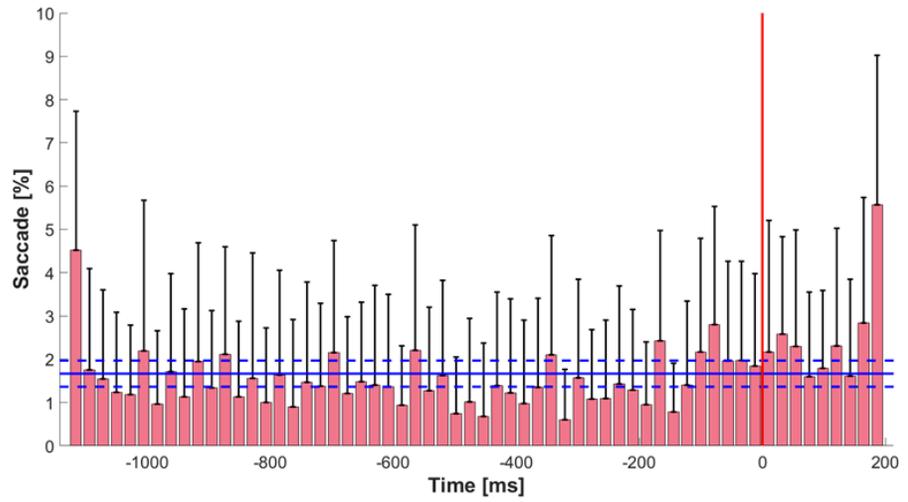
# SFM

EL

Saccades (%)



FP



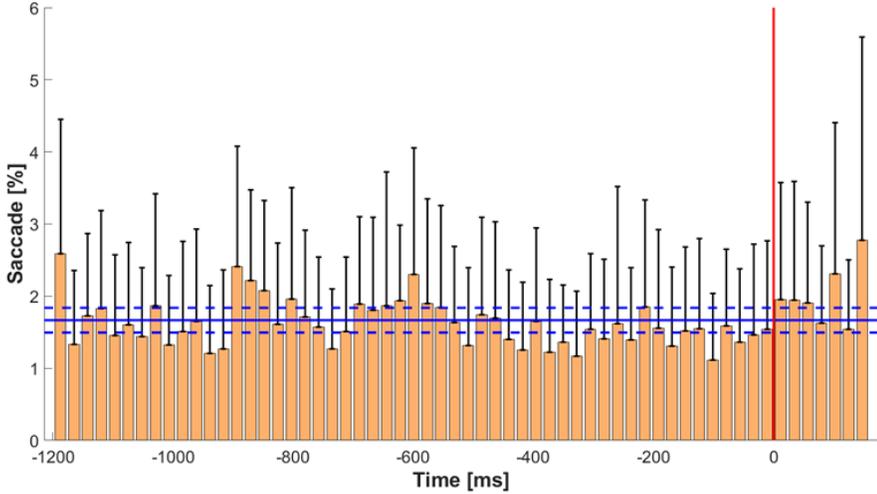
Time (ms)

*Continúa*

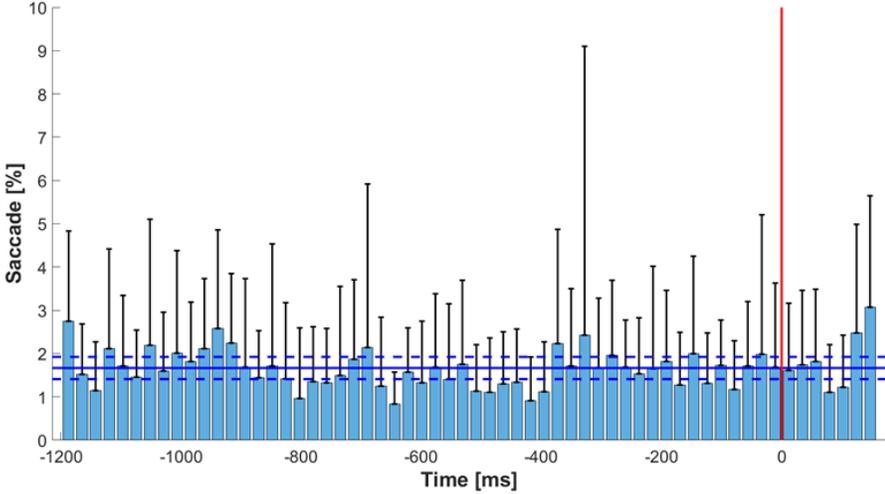
# SFM

RR

Saccades (%)



MP



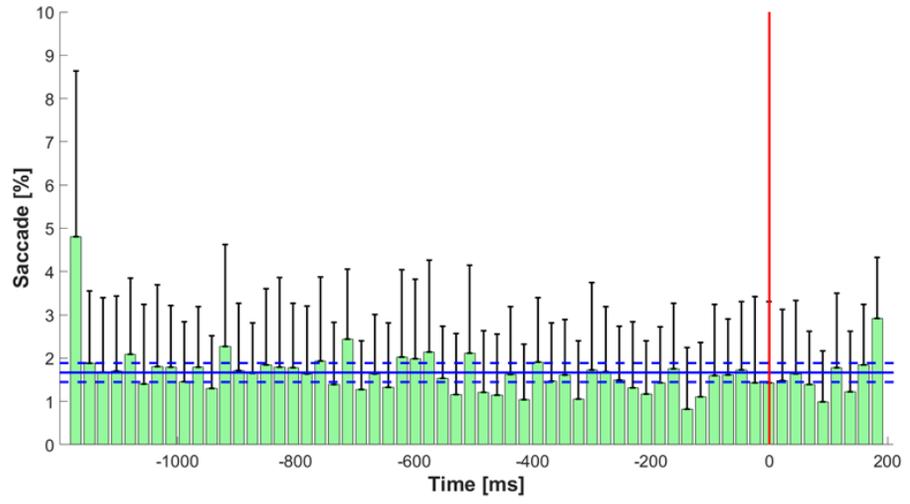
Time (ms)

Continúa

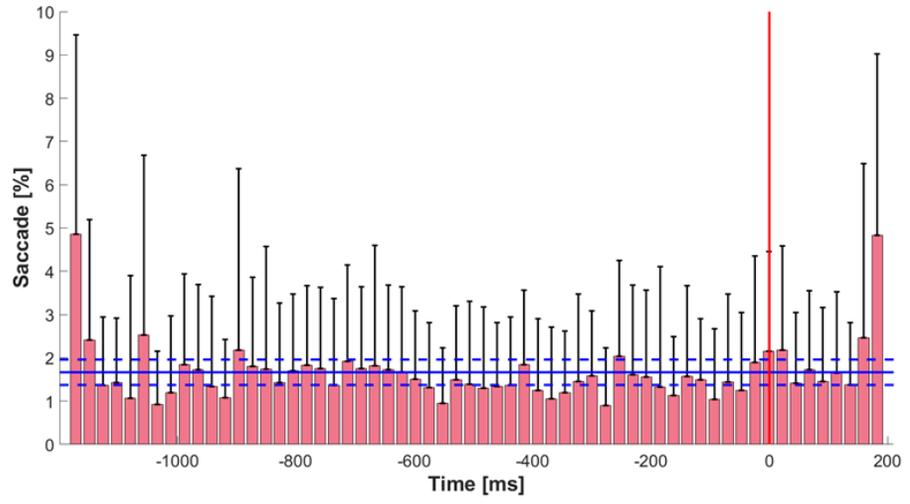
# Plaid

EL

Saccades (%)



FP

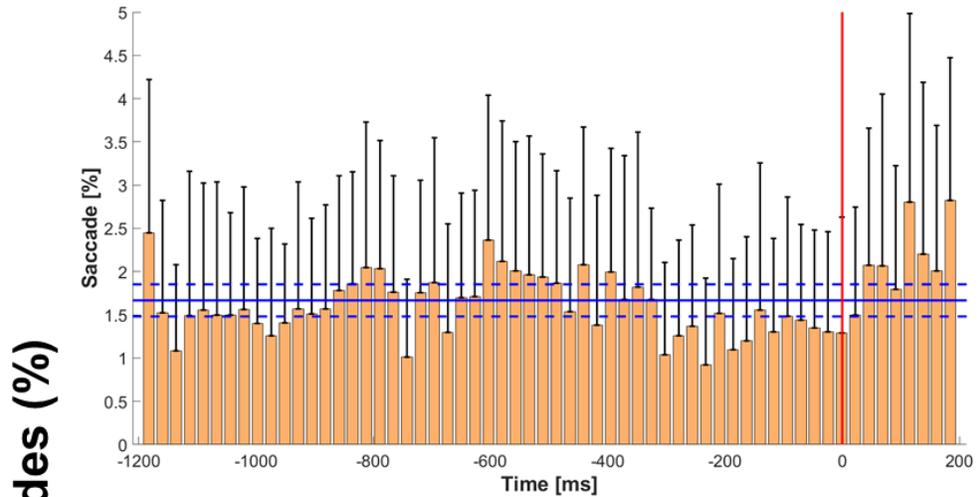


Time (ms)

*Continúa*

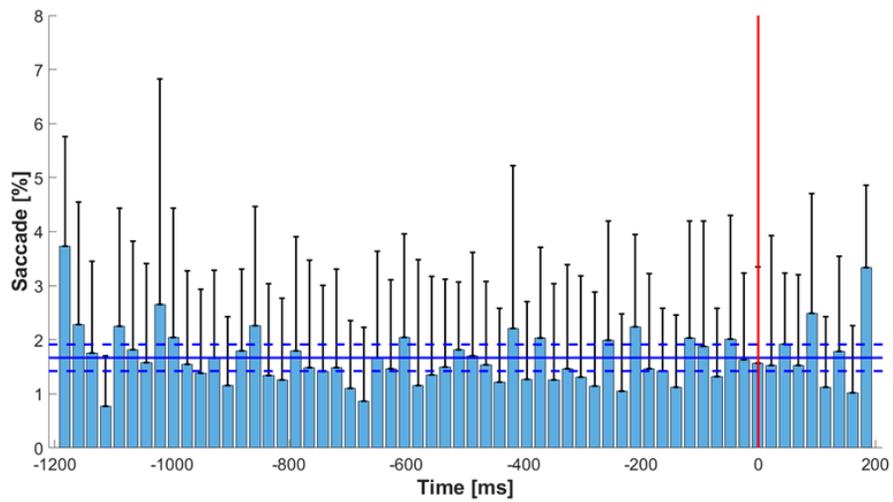
# Plaid

RR



Saccades (%)

MP



Time (ms)

**Figura 11 – Frecuencia del movimiento ocular alrededor del reporte en figuras biestables.-** Se analizó la frecuencia del movimiento ocular en las condiciones de EL (verde), FP (rojo), RR (Naranja) y MP (azul) alrededor del reporte manual (línea roja vertical). Las cotas del histograma son error estándar. El tamaño del bin corresponde a 20 ms. La distribución de la ocurrencia de las sacadas a lo largo del tiempo es poco variable con respecto a la media (línea azul horizontal), por lo que no hay un cambio significativo en la cantidad de movimientos oculares en el tiempo que ocurren cerca del reporte (N=27). *Kruskal-Wallis test, multiple comparisons test.*

### 3.5 – Dirección del movimiento ocular y correspondencia con la reversión

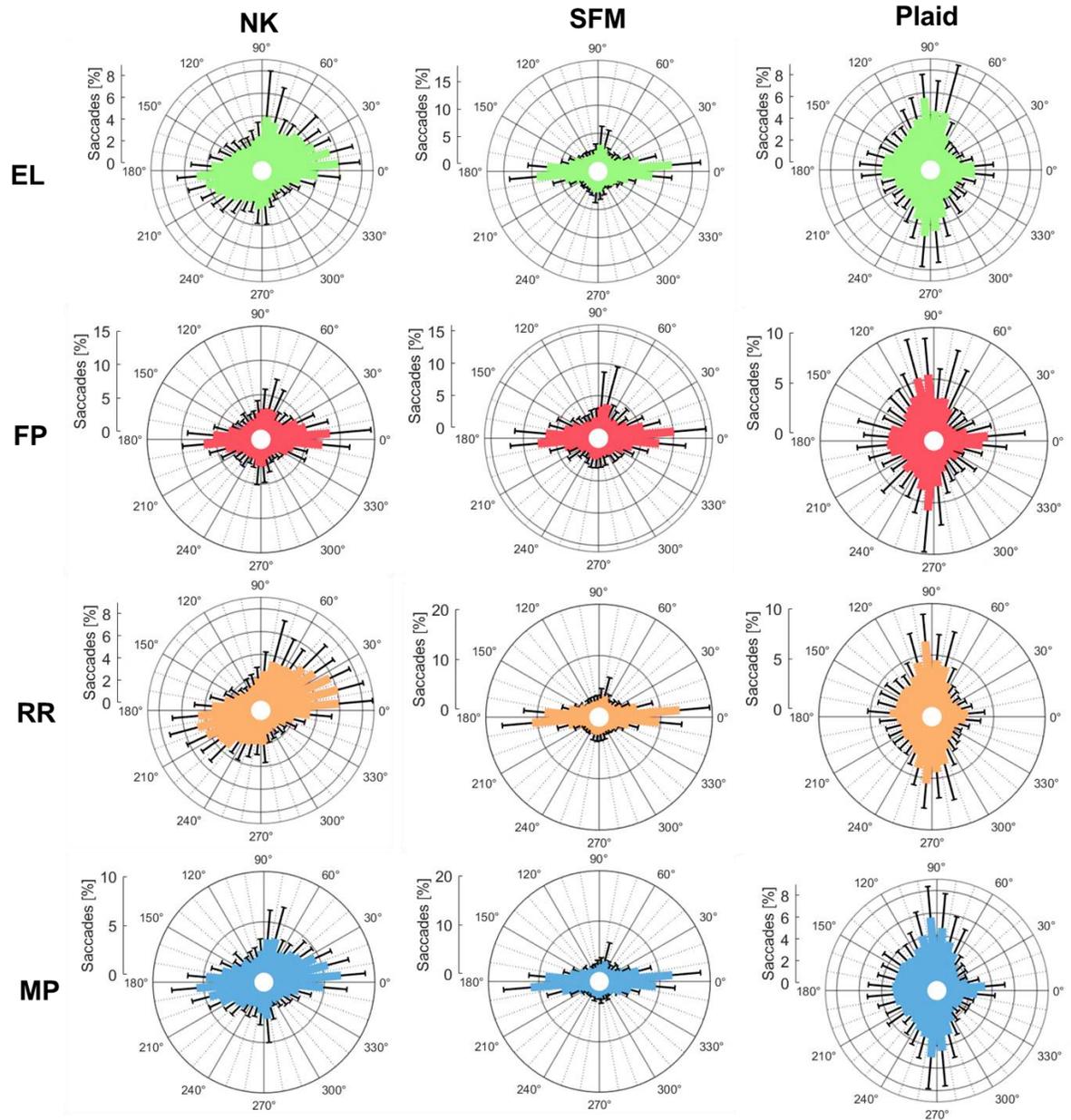
Nuestros datos indican que la libertad del movimiento ocular o la frecuencia de las sacadas no correlacionan directamente con el cambio perceptual. Sin embargo, nuestros resultados muestran que los movimientos oculares parecen orientarse de manera preferente hacia regiones particulares de cada estímulo biestable (Figura 7), por ende, un candidato que podría indicar la relación entre cambio perceptual y los movimientos oculares es la dirección u orientación de la sacada.

Determinamos la dirección del movimiento ocular para las cuatro condiciones evaluadas por medio de un *polar-plot*, que nos permite graficar, en forma de histograma normalizado en porcentaje (siendo el 100% el total de sacadas de cada sujeto), la dirección de los movimientos oculares ejecutados por los sujetos alrededor del reporte manual. Los gráficos muestran en el centro el punto de inicio de la sacada. Además, cuantificamos la frecuencia con la cual los sujetos realizan movimientos oculares en alguna dirección, considerando un tamaño de bin de 10° angulares.

Al observar como se orientaba el movimiento ocular, nos percatamos que la dirección de la sacada, independiente de la condición (EL, FP, RR o MP), era coincidente con las regiones de interés descritas en la figura 7 (Figura 12 y Tabla 2).

Esta coincidencia de la dirección de la sacada es clara para las condiciones donde no hay restricción del movimiento ocular (EL, RR, MP), sin embargo, este comportamiento no es tan evidente cuando el movimiento ocular es restringido. Aun así, los voluntarios al estar sometidos a la condición de FP orientan sus movimientos oculares hacia aquellos lugares donde la mirada se posa con mayor frecuencia (Figura 12, FP).

Este resultado sugiere que los sujetos direccionan su mirada hacia aquellas regiones que son frecuentemente visitadas, independientemente si tiene completa libertad del movimiento ocular o no, no obstante, no podemos determinar que solo con la orientación de la mirada se produce el cambio perceptual, ya que esta conducta solo confirma que los voluntarios tienen un sesgo de observación de determinadas regiones de los estímulos biestable (Figura 12), y que además es consistente entre condiciones (Tabla 2). Normalized



**Figura 12 – Dirección del movimiento ocular en figuras biestables.-** Se analizó la dirección del movimiento ocular en las condiciones de EL (verde), FP (rojo), RR (Naranja) y MP (azul). Las sacadas se orientan hacia las regiones que son frecuentemente visitadas. Esta estrategia de exploración es similar en todas las condiciones independiente la de restricción del movimiento ocular. (N=27; bin=10°).

**Tabla 2 – La dirección del movimiento ocular es similar ente condiciones.**- Se compararon los mapas de dirección del movimiento ocular para las cuatro condiciones descritas previamente (EL, FP, RR y MP). La tabla indica el índice de correlación entre las distribuciones de datos (rho) de dos condiciones y la significancia de dicha correlación (pval). Los cuadros coloreados en Amarillo muestran aquellos resultados que son estadísticamente significativos, indicando la similitud de la dirección del movimiento ocular entre las distintas condiciones. Los resultados indicados como 0 son más pequeños que a  $1 \times 10^{-16}$ . (*Circular-circular correlation*).

		NK	SFM	Plaid
FE vs WF	rho	0.1301	0.1364	0.0861
	pval	<b>1.35E-04</b>	<b>4.59E-05</b>	0.0101
FE vs RC	rho	0.34	0.2489	0.1366
	pval	<b>0</b>	<b>7.61E-13</b>	<b>4.56E-05</b>
FE vs HC	rho	0.2206	0.2359	0.2536
	pval	<b>3.70E-11</b>	<b>7.17E-12</b>	<b>6.46E-14</b>
WF vs RC	rho	0.0939	0.1146	0.0455
	pval	0.0055	<b>6.81E-04</b>	0.1778
WF vs HC	rho	0.1025	0.1618	0.1176
	pval	0.0021	<b>1.36E-06</b>	<b>4.09E-04</b>
RC vs HC	rho	0.2894	0.2464	0.2507
	pval	<b>0</b>	<b>1.87E-12</b>	<b>5.82E-14</b>
Bonferroni		0.0021		

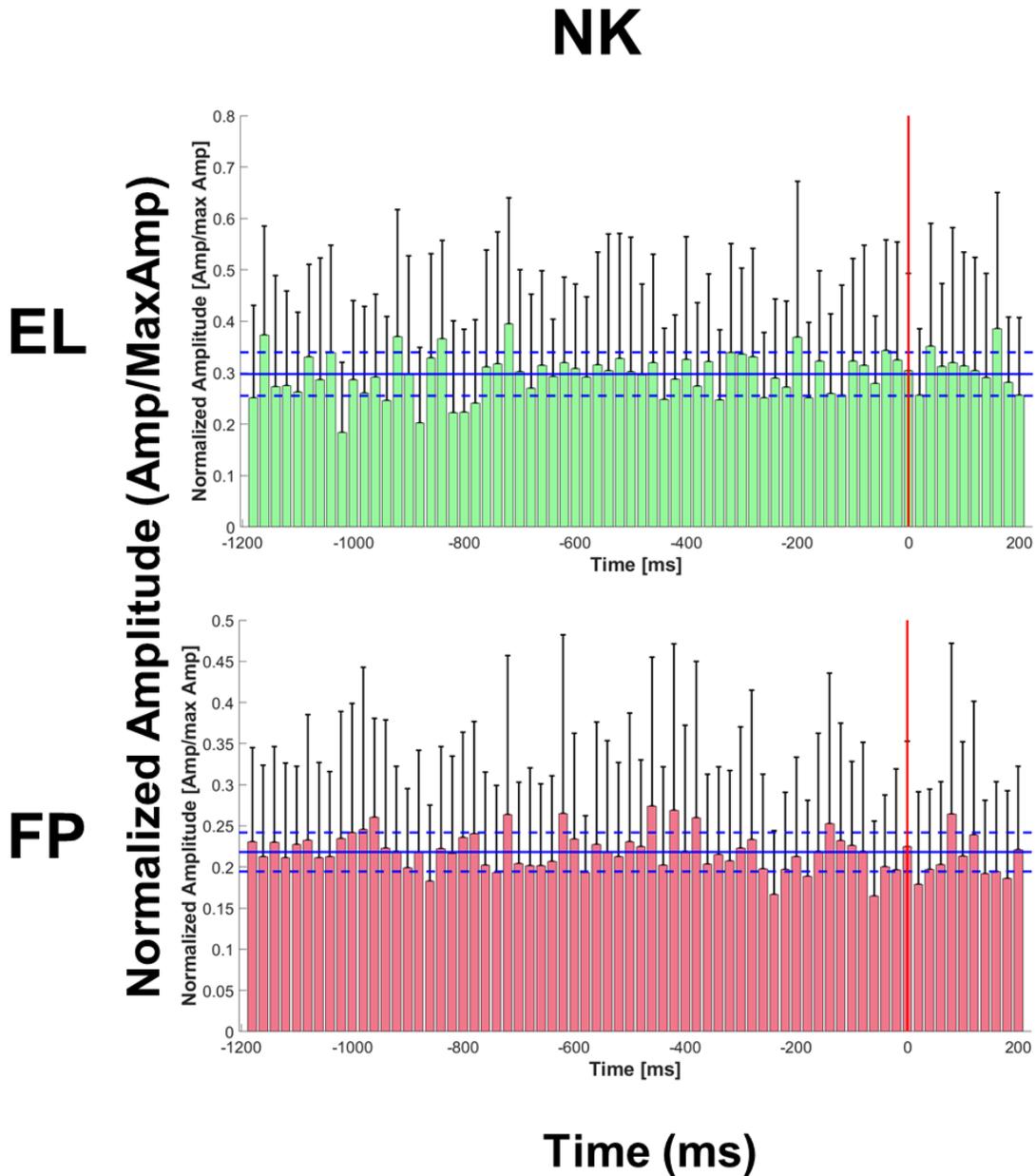
### 3.6 – Amplitud del movimiento ocular alrededor del reporte

Los movimientos oculares tienen múltiples características que aportan de manera significativa a como percibimos el mundo. En el caso de las sacadas, la amplitud de estas es fundamental para concebir el espacio de manera general, o bien, extraer información específica del mundo que nos rodea (*Engbert, 2006*). Es así como la diferencia de amplitud nos permite rescatar información importante del entorno y, por ende, podría estar contribuyendo de manera significativa al cambio de la percepción en estímulos biestables.

Evaluamos la amplitud de todos los movimientos sacádicos ocurridos alrededor del reporte manual en una ventana temporal entre 1200 ms antes del reporte y 200 ms después del mismo. Luego graficamos las distintas amplitudes en el tiempo y evaluamos la distribución de estas. Normalizamos las amplitudes de la sacada para cada sujeto según la amplitud máxima.

Los resultados sugieren que hay una distribución uniforme de la amplitud (FE, FP, RC, HC, todos los estímulos,  $p > 0,9999$ , CI=95%, *Kruskal-Wallis test, multiple*

comparisons test), ya que los movimientos oculares no varían con respecto a la media de los datos, por lo que no es posible determinar un tiempo específico que pudiese caracterizar a una sacada en particular que contribuya al cambio perceptual (Figura 13).

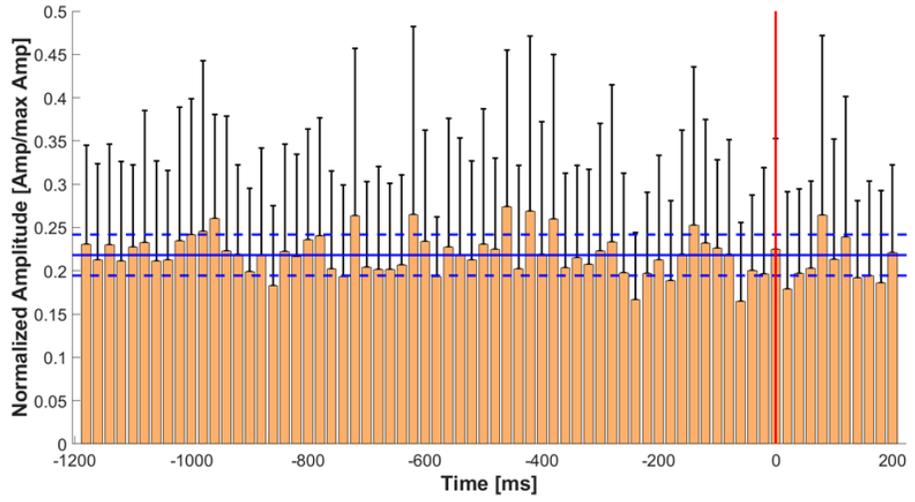


Continúa

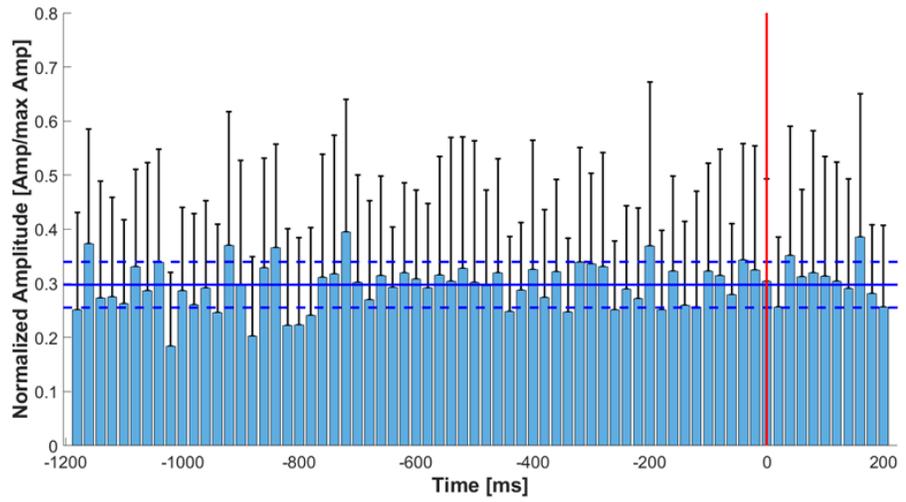
**NK**

**RR**

**Normalized Amplitude (Amp/MaxAmp)**



**MP**



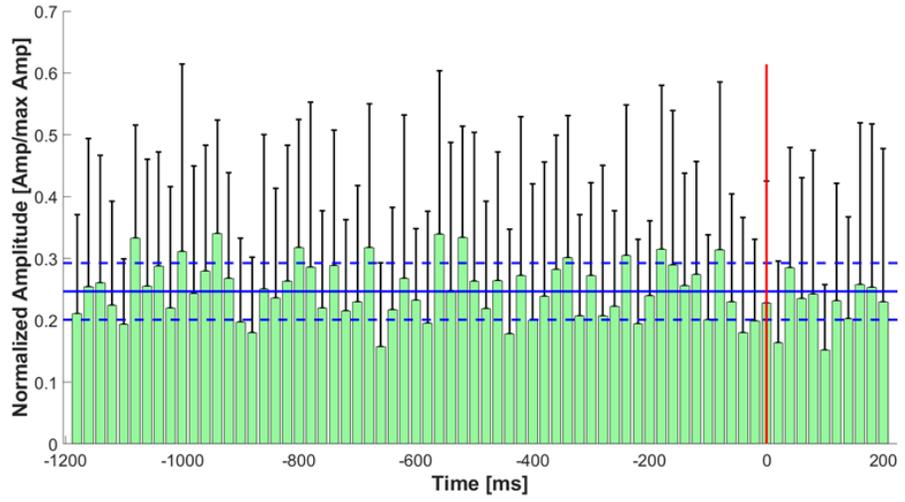
**Time (ms)**

*Continúa*

# SFM

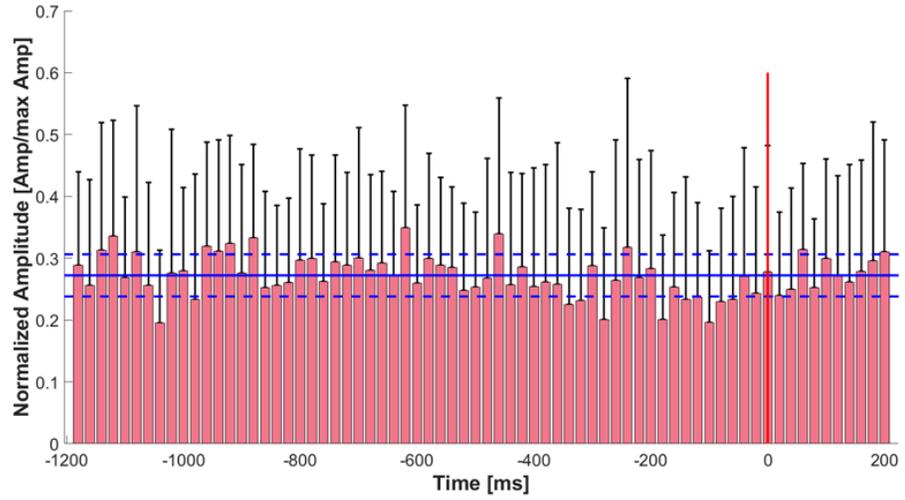
FL

Normalized Amplitude (Amp/MaxAmp)



FP

Normalized Amplitude (Amp/MaxAmp)

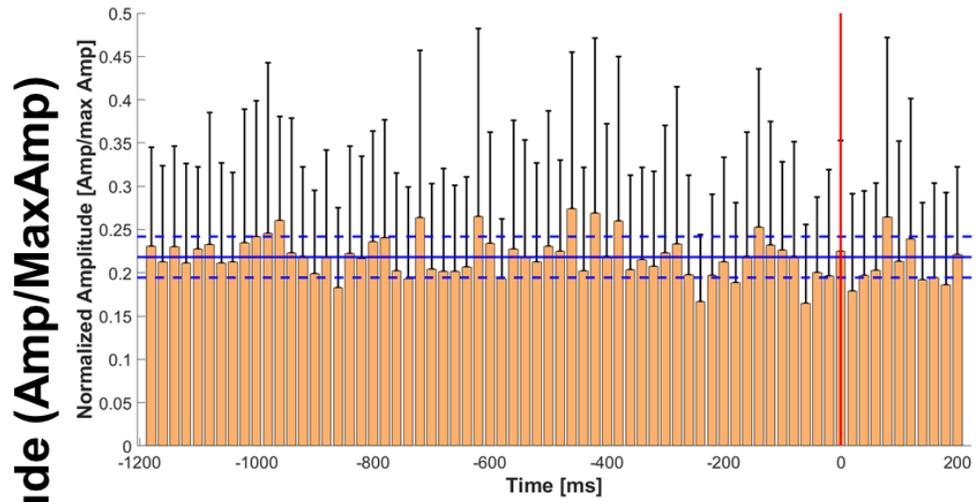


Time (ms)

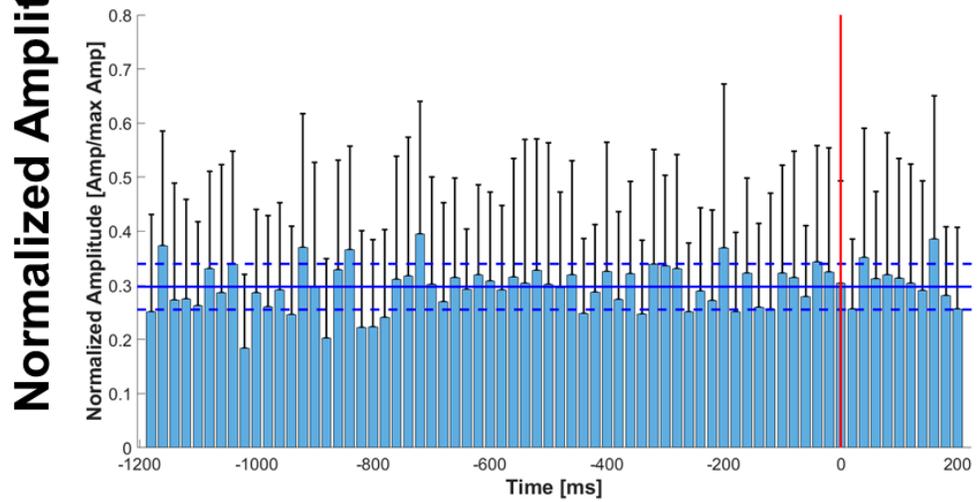
*Continúa*

# SFM

RR



MP



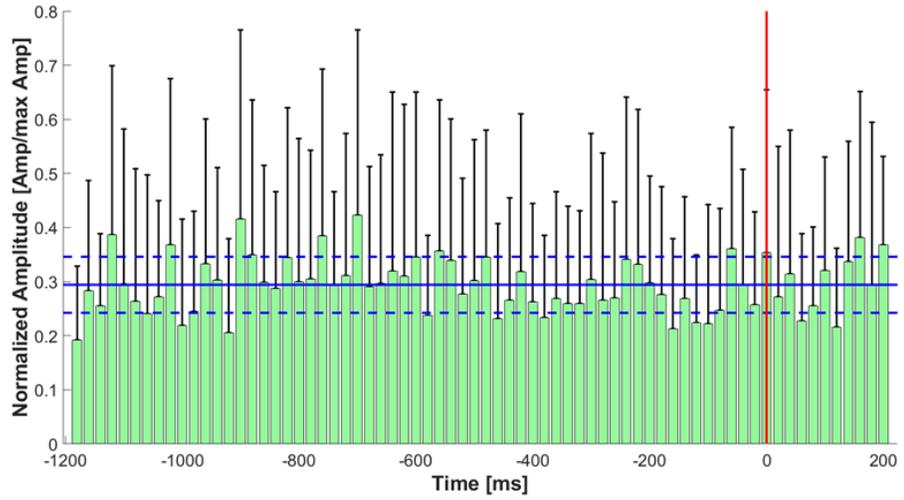
Time (ms)

*Continúa*

# Plaid

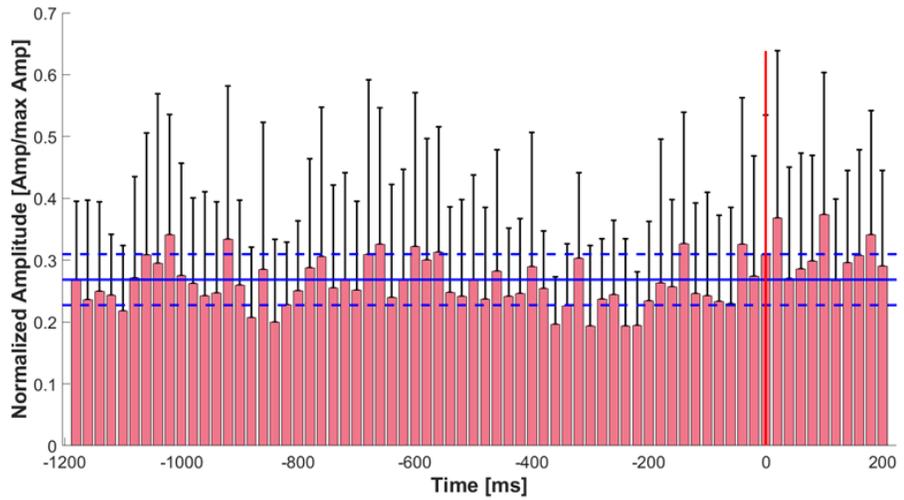
**FL**

**Normalized Amplitude (Amp/MaxAmp)**



**FP**

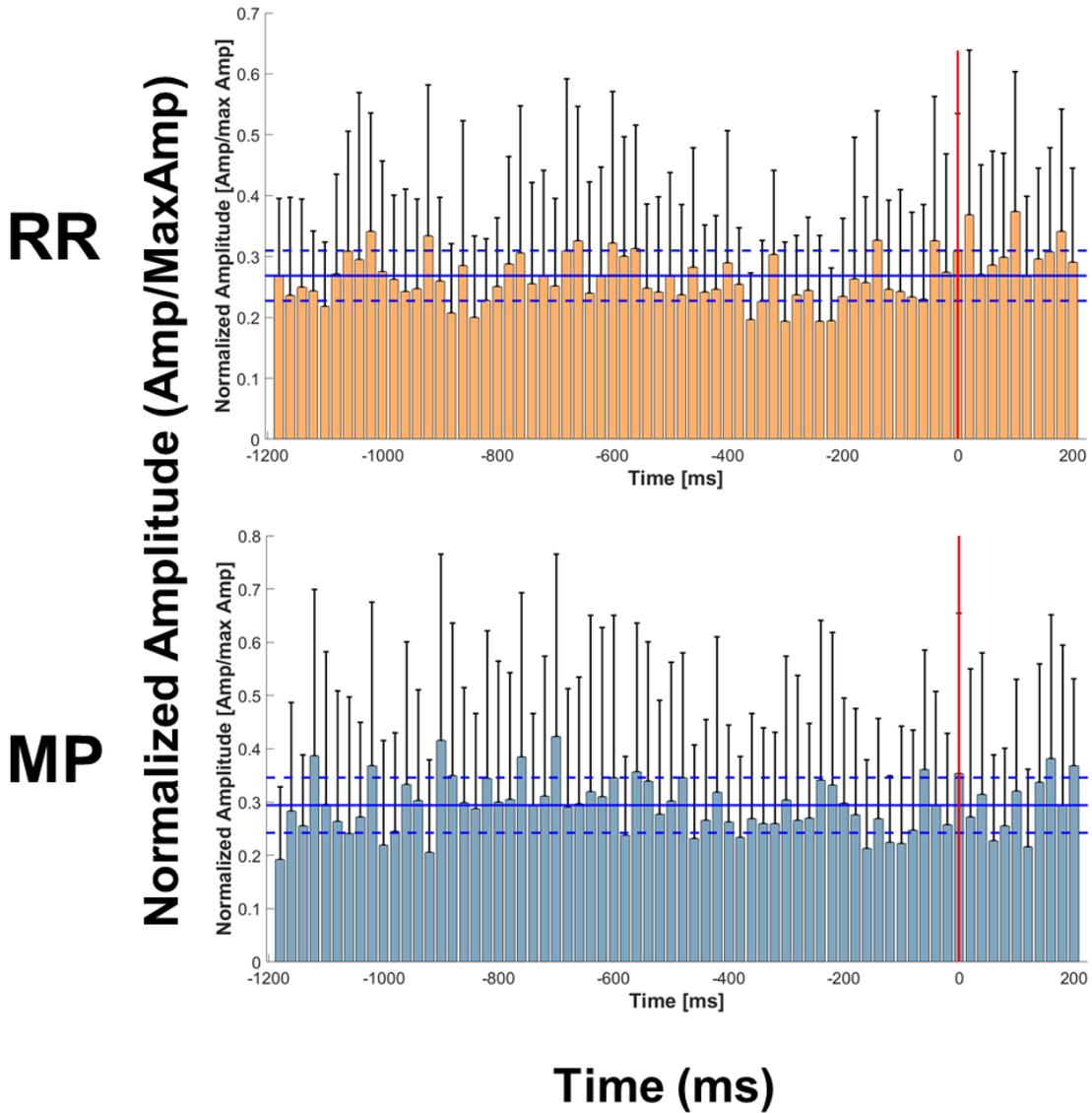
**Normalized Amplitude (Amp/Max Amp)**



**Time (ms)**

*Continúa*

# Plaid



**Figura 13 – Amplitud del movimiento ocular alrededor del reporte en figuras biestables.**- Se analizó la amplitud del movimiento ocular en las condiciones de EL (verde), FP (rojo), RR (Naranja) y MP (azul) alrededor del reporte manual (línea roja vertical). Las cotas del histograma son error estándar. El tamaño del bin corresponde a 20 ms. La amplitud de las sacadas no varía significativamente al compararlo con la media de los datos (línea azul horizontal) (N=27) *Kruskal-Wallis test, multiple comparisons test.*

Finalmente, las sacadas pueden variar su velocidad, duración y conjugación dependiendo del patrón de exploración individual de cada sujeto para observar una figura (Martinez-Conde, et.al. 2004). De esta manera, las sacadas poseen ciertas propiedades físicas que les permiten realizar una función diferencial para la extracción de información a diversos niveles de la percepción. No obstante, estas propiedades físicas no dan cuenta de la temporalidad en la que se ejecuta la sacada, o bien, cómo el movimiento ocular podría modular temporalmente la actividad neuronal para experimentar una reversión.

Por esta razón, decidimos determinar la probabilidad de ocurrencia de las sacadas alrededor del reporte, ya que es un factor que podría afectar directamente al cambio perceptual y, en consecuencia, participar en el proceso de reversión.

### 3.7 – El tiempo empleado en ejecutar las sacadas relacionadas con la reversión es menor en comparación a la conducta ocular basal

La figura 14 muestra el tiempo que emplean los sujetos realizando sacadas alrededor del reporte (ver sección métodos 2.4.5), donde se resalta en color rosa las ventanas temporales en que los sujetos tienen una conducta ocular diferencial antes del reporte manual del cambio perceptual (celeste), comparados con cualquier otro movimiento ocular del registro (rojo). Vale destacar que las ventanas de tiempo resaltadas fueron seleccionadas en función de la literatura que expone que los eventos neuronales relacionados al cambio perceptual sucederían -1200 a -400 ms desde el reporte manual. Cada punto de color naranja sobre el gráfico indica los tiempos específicos donde la actividad ocular es significativamente distinta.

Es importante mencionar que, al momento de referirnos con conducta ocular diferencial, hacemos hincapié a aquellas sacadas que coinciden con la temporalidad de los eventos electroencefalográficos asociados al cambio perceptual que la literatura reporta, en este caso la caída de poder de banda  $\alpha$  (İşoğlu-Alkaç, et.al., 2000, İşoğlu-Alkaç & Strüber, 2006, Strüber & Herrmann, 2002, Kornmeier & Bach, 2012). Sin embargo, esta conducta ocular, no indicaría causalidad directa entre eventos, por lo que estos resultados se orientan en que movimiento ocular no precede al cambio

perceptual para que este ocurra, sino que podría participar en los mecanismos relacionados a la reversión.

Los resultados indican que existe un periodo temporal donde decrece la probabilidad de estar en una sacada en comparación a los movimientos oculares que suceden comúnmente en cualquier momento del registro ( $p < 0,05$ , CI=95%, *multiple comparisons t-test*). Además, esta temporalidad tiene una variación que es estímulo dependiente (Figura 14).

No obstante, todos los movimientos oculares que suceden entre los -400 a -700 ms desde el reporte manual, podrían participar de alguna manera en el proceso de reversión. Sin embargo, esto no descarta la posible influencia de los eventos oculares que suceden previamente a esta ventana temporal. Por ende, los movimientos oculares ocurridos entre los -700 a -1000 ms desde el reporte manual podrían condicionar la probabilidad de experimentar una reversión. En cuanto a la conducta ocular que ocurre entre los -200 a 200 ms desde el reporte manual, se presume que no estaría influyendo en el proceso de transición perceptual, pero podría estar participando en el proceso de estabilizar la percepción visual en estímulos biestables.

En consecuencia, decidimos evaluar la distribución de los datos de la conducta ocular en cada una de las ventanas de tiempo recién mencionadas, para determinar dentro de la misma ventana de análisis como varía el tiempo gastado en sacada (Tabla 3). Asimismo, realizamos un *Wilcoxon rank-sum test* con la finalidad de evaluar si la distribución de los datos en cada ventana de tiempo es realmente un comportamiento sistemático y no azaroso. Definimos cada ventana de datos como **1ra** a la conducta ocular que va desde los -1000 a -700 ms desde el reporte manual, como **2da** a la ventana entre los -700 a -400 ms y **3ra** a los datos comprendidos entre los -100 a +200 ms. La tercera ventana de tiempo no es correlativa a las ventanas anteriores, ya que se comparará la conducta ocular que está asociada al cambio perceptual con una que no debiese estar asociada directamente a la reversión. Esta comparación se realizó para cada uno de los estímulos de manera independiente.

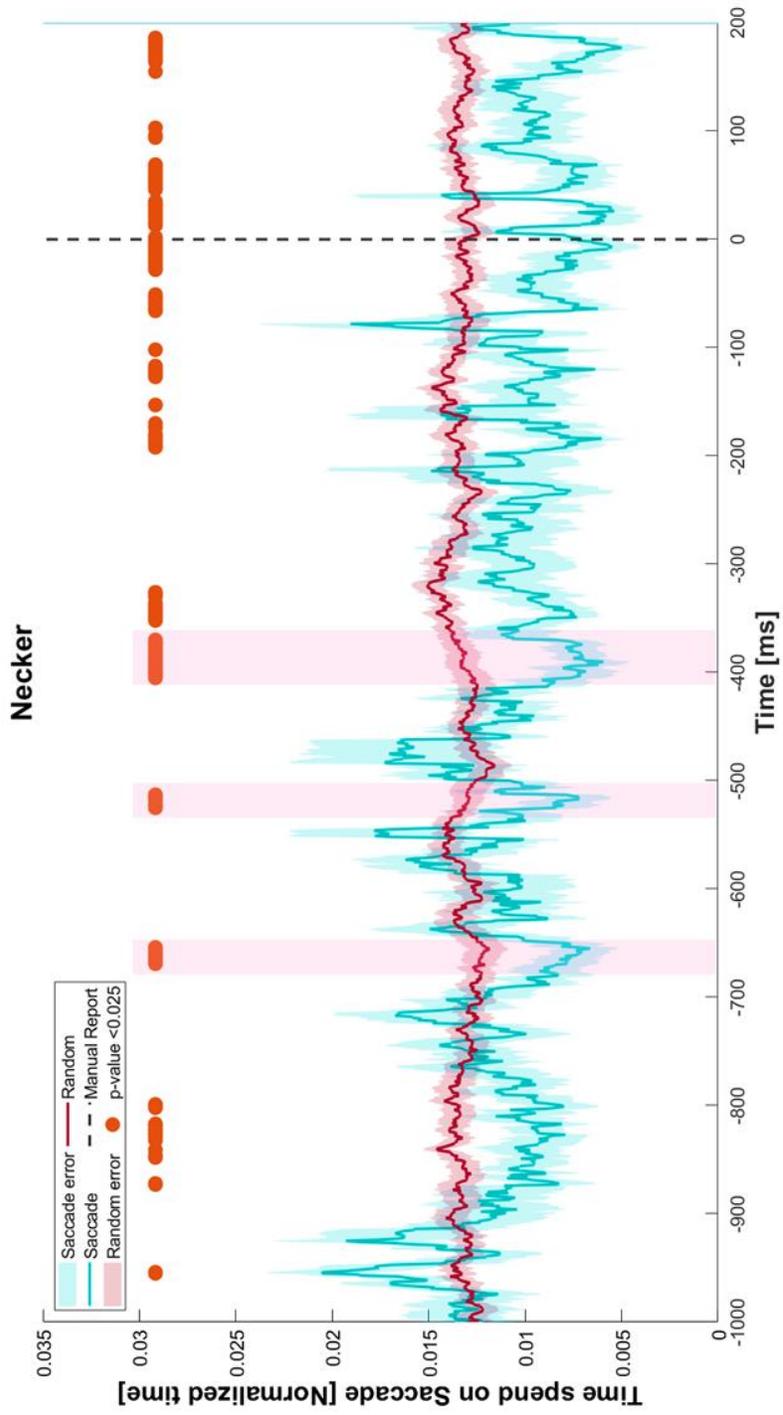
Nuestros resultados indican que la distribución de los datos y, por ende, la probabilidad de encontrar a los sujetos ejecutando una sacada, es distinta en cada uno de los periodos analizados, por lo que la conducta ocular media (2da) es distinta de la

conducta ocular que temprana (1ra) en todos los estímulos. Estos mismos resultados son observados al comparar la conducta ocular media (2da) con la tardía (3ra) tanto para el cubo de Necker como para las *Plaids* (Tabla 3).

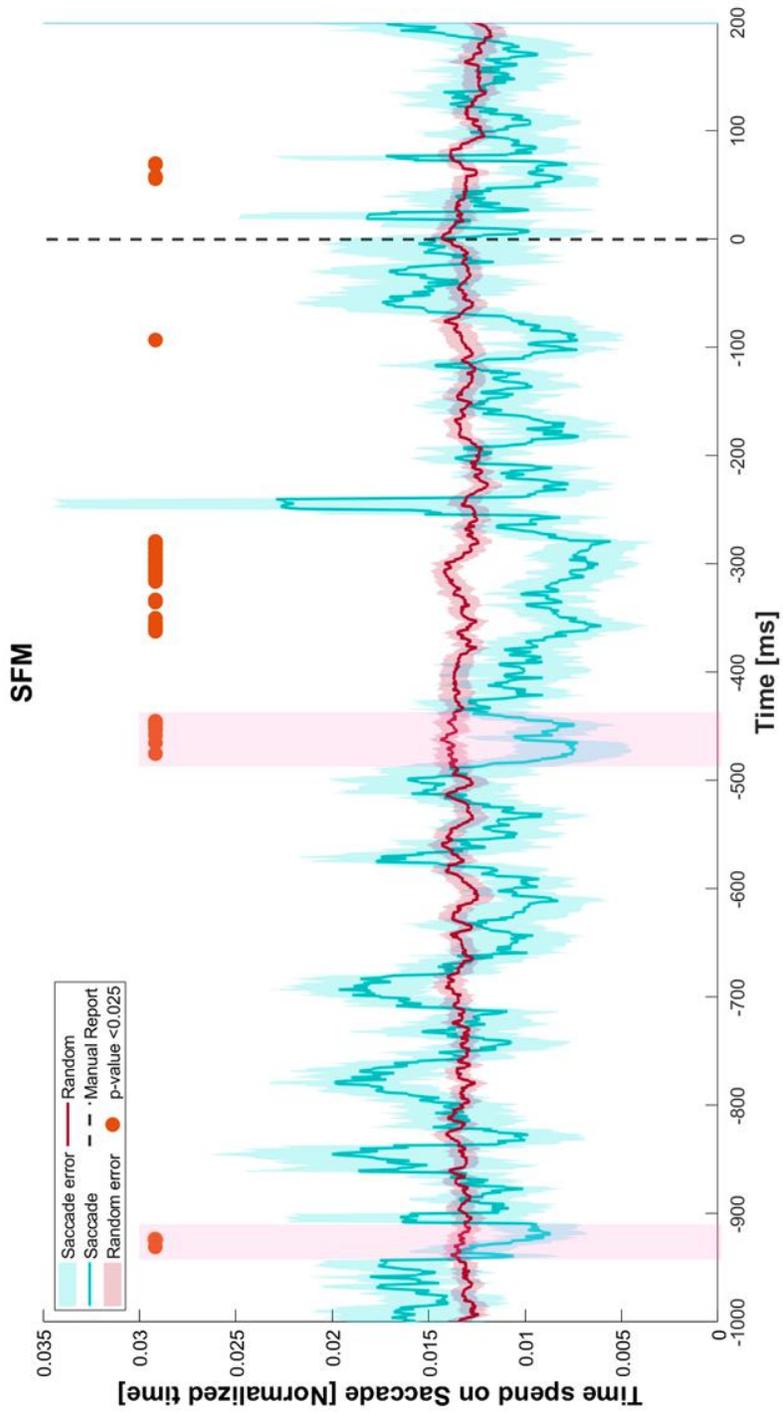
Esto nos indicaría que, al momento de reportar un cambio perceptual en estímulos biestables, nuestra conducta ocular, en este caso, la probabilidad de estar en una sacada, varía de manera significativa y sistemática momentos previos al reporte manual del cambio perceptual. No obstante, no es posible determinar que característica en particular de la sacada influiría en la probabilidad de experimentar una reversión.

**Tabla 3 – El tiempo gastado en sacada es distinto en periodos de tiempo previos al reporte manual del cambio perceptual.**- Se comparó la distribución del tiempo gastado en sacada en 3 ventanas de tiempo cercanas al reporte manual del cambio perceptual. Se definió como 1ra a la conducta ocular que va desde los -1000 a -700 ms desde el reporte manual, como 2da a la ventana entre los -700 a -400 ms y 3ra a los datos comprendidos entre los -100 a +200 ms (*Wilcoxon rank-sum test*).

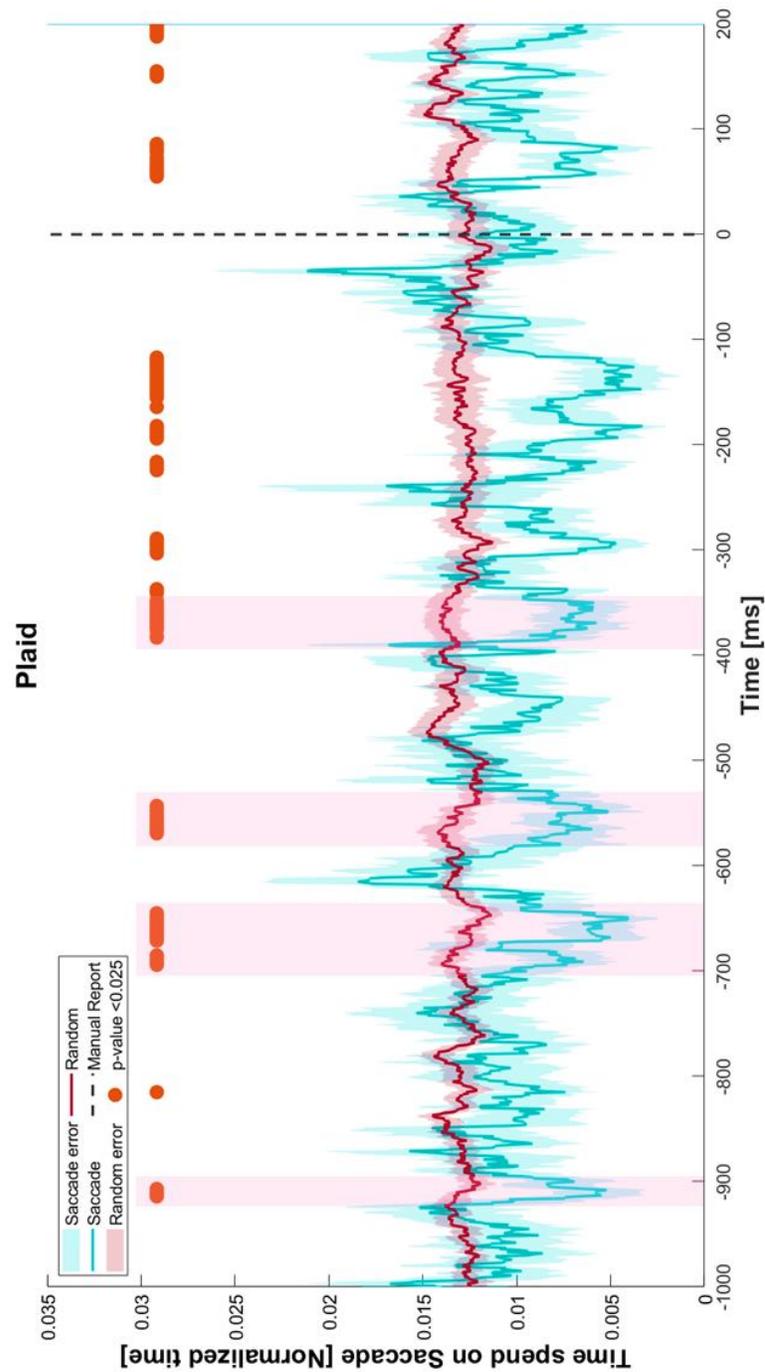
NECKER		
Ventana	p-value	z-val
1ra vs 2da	9.8439e-09	5.7334
1ra vs 3ra	4.1131e-24	10.1289
2da vs 3ra	1.3115e-06	4.8380
SFM		
Ventana	p-value	z-val
1ra vs 2da	1.3588e-06	4.8310
1ra vs 3ra	0.0225	2.2818
2da vs 3ra	0.2459	-1.1603
PLAID		
Ventana	p-value	z-val
1ra vs 2da	0.0026	3.0145
1ra vs 3ra	1.9005e-17	-8.4997
2da vs 3ra	2.2876e-21	-9.4910



Continúa



Continúa



**Figura 14 – Las sacadas que se realizan en una ventana temporal precisa previa al reporte manual influirían con el cambio perceptual.** - Todas las gráficas fueron construidas a partir de la probabilidad de estar realizando un movimiento ocular previo al reporte manual en la condición de EL. Existe un grupo de sacadas que suceden con mayor probabilidad en una temporalidad previa al reporte manual (cuadros rosas). La ocurrencia de cada sacada alrededor del cambio perceptual (celeste), fue comparada con 500 regiones aleatorizadas del registro ocular (rojo), señalando una probabilidad significativamente mayor de estar realizando una sacada en un tiempo específico previo al reporte manual en comparación a la actividad ocular basal de los sujetos (puntos naranjas) (N=27).

### 3.8 – Actividad electroencefalográfica asociada al cambio perceptual y la sacada

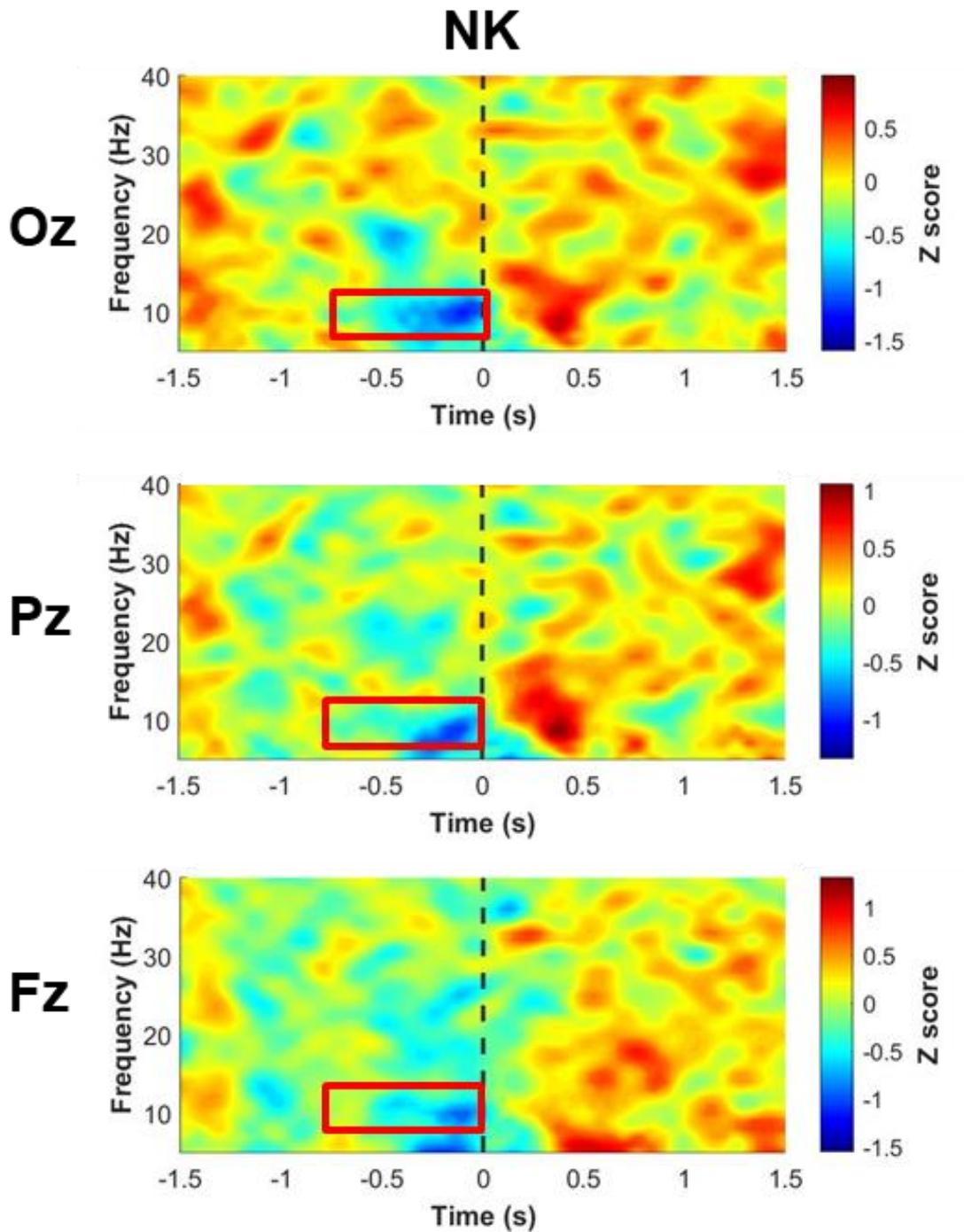
Como ya se mencionó con anterioridad, existen múltiples marcadores electroencefalográficos asociados al cambio perceptual. Una vez expuestos los diversos pros y contras de cada uno de ellos, hemos decidido enfocarnos en la actividad de banda  $\alpha$ . Esta actividad se traduce en una caída de poder de banda  $\alpha$  que es variable en el tiempo y que se encuentra entre los -1000 a -200 ms desde el reporte manual.

Nuestros resultados indican que la caída de banda  $\alpha$  sucede antes del reporte manual del cambio perceptual, tal como se había documentado en literatura previa (Figura 15) (*Kornmeier & Bach, 2004, Nakatani & Van Leeuwen, 2013*). Sin embargo, este cambio en el poder de banda  $\alpha$  ha sido escasamente documentado para otro tipo de estímulos biestable que no fueran el cubo de Necker. Asimismo, figuras biestables con características estáticas y dinámicas, presentan una disminución del poder en banda  $\alpha$  previo al reporte, observando el inicio de esta caída en periodos que van desde los 300 hasta los 1000 ms antes de apretar el botón (Figura 15). Además, la caída de poder de banda  $\alpha$  es un fenómeno observable en aquellas figuras biestables que tienen un mismo contenido semántico.

La caída de poder de banda  $\alpha$  es temporalmente distinta para cada estímulo evaluado, observándose entre los -800 a -300 ms antes desde el reporte manual (Figura 15). Esto confluye con lo expuesto por Baker, que dice que la transición entre estados perceptuales de distintos estímulos biestables es dependiente de distintas regiones cerebrales (*Baker, et.al., 2015*). Por lo tanto, las redes neuronales que son parte de aquellas regiones cerebrales que estarían relacionadas al proceso de desambiguación son estímulo dependiente.

En conjunto, al determinar el tiempo medio asociado al periodo temporal del cambio de la actividad ocular para cada estímulo, considerando como tiempo medio el valor medio de las ventanas resaltadas (NK: -620 ms aprox.; SFM: -820 ms aprox.; Plaid: -790 ms aprox.) en relación con los datos obtenidos de la figura 14, pareciera que la media temporal del cambio en la actividad ocular previa al reporte manual ocurriría temporalmente cercana al inicio de la caída de poder de banda  $\alpha$  (Figura 15, línea continua en cada carta tiempo frecuencia). No obstante, estos tiempos medios

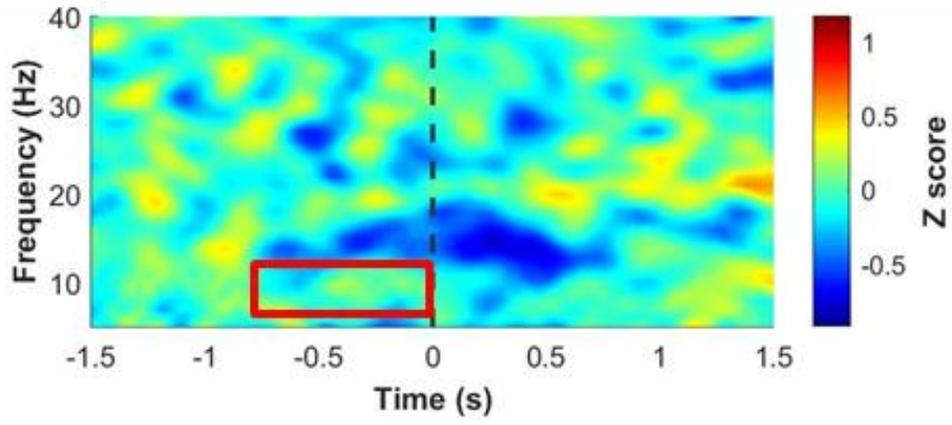
no dan cuenta de cuando ocurre el evento ocular que podría estar vinculado al cambio perceptual.



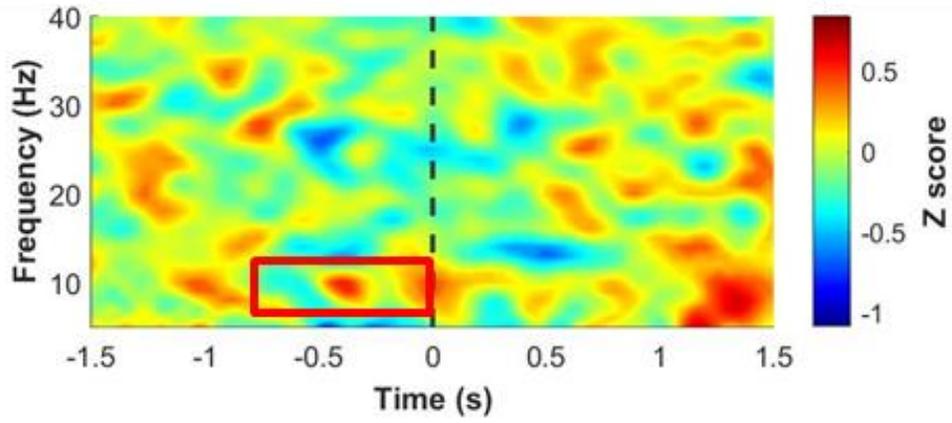
*Continúa*

# SFM

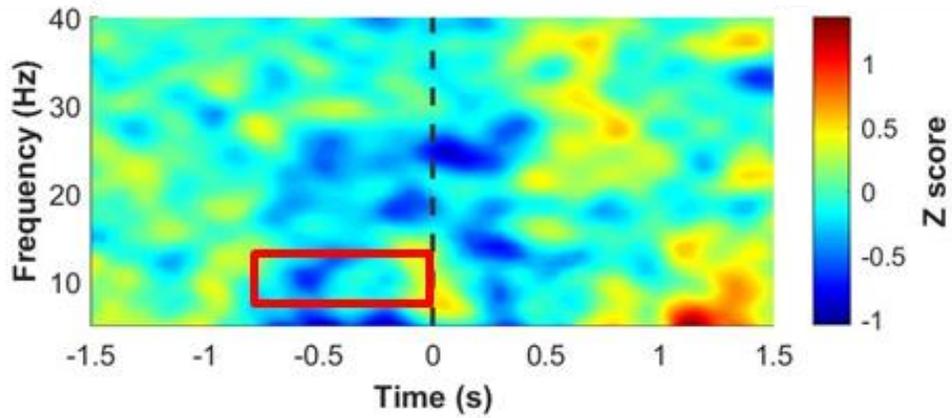
Oz



Pz

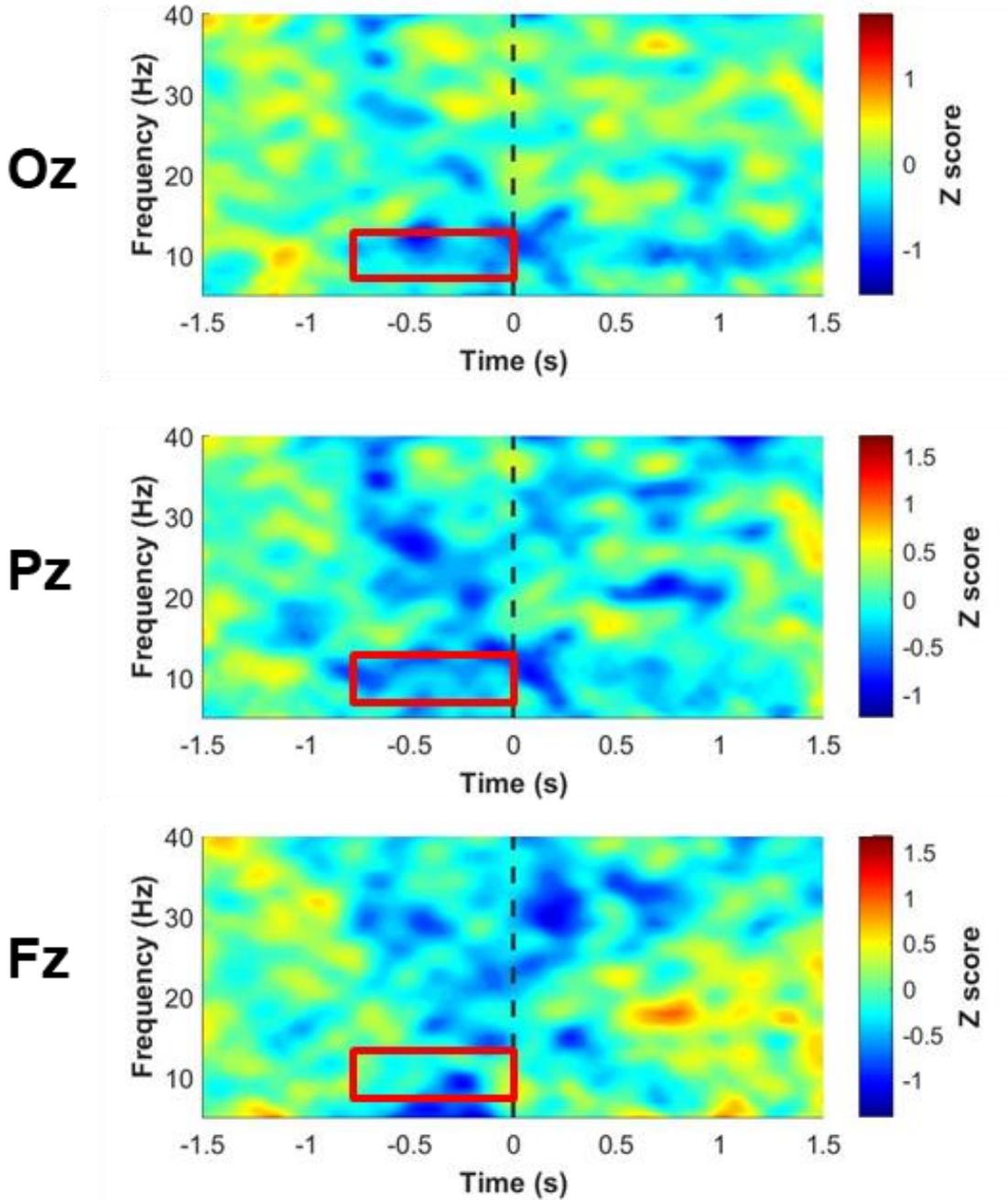


Fz



*Continúa*

## Plaid



**Figura 15 – La caída de poder de banda  $\alpha$  se alinea más precisamente con las sacadas de mayor duración.** - Se construyeron cartas tiempo frecuencia que fueron normalizadas según z-score. La caída de banda  $\alpha$  es un fenómeno que es visualizable en regiones occipitales, frontales y parietales. Sin embargo, el fenómeno es más consistente en regiones occipitales. La línea punteada refiere al reporte manual de los voluntarios. La caída de poder de banda  $\alpha$  se observa claramente en NK previa al reporte manual, indicándonos que este tiempo previo asociado al cambio del comportamiento ocular podría estar involucrado en el proceso de reversión de la percepción en estímulos biestables.

Por esta razón, evaluamos las cartas tiempo frecuencia alineadas a la última sacada ejecutada en la segunda ventana de tiempo definida en la sección anterior, en este caso, para el cubo de Necker, ya que como se demostró con anterioridad, la caída de poder de banda  $\alpha$  pareciera ser un fenómeno consistente independiente de los estímulos biestables utilizados. No obstante, esta caída no observable en todos los electrodos para todos los estímulos (Figura 15), razón que justifica además el proceder del análisis en función del cubo de Necker.

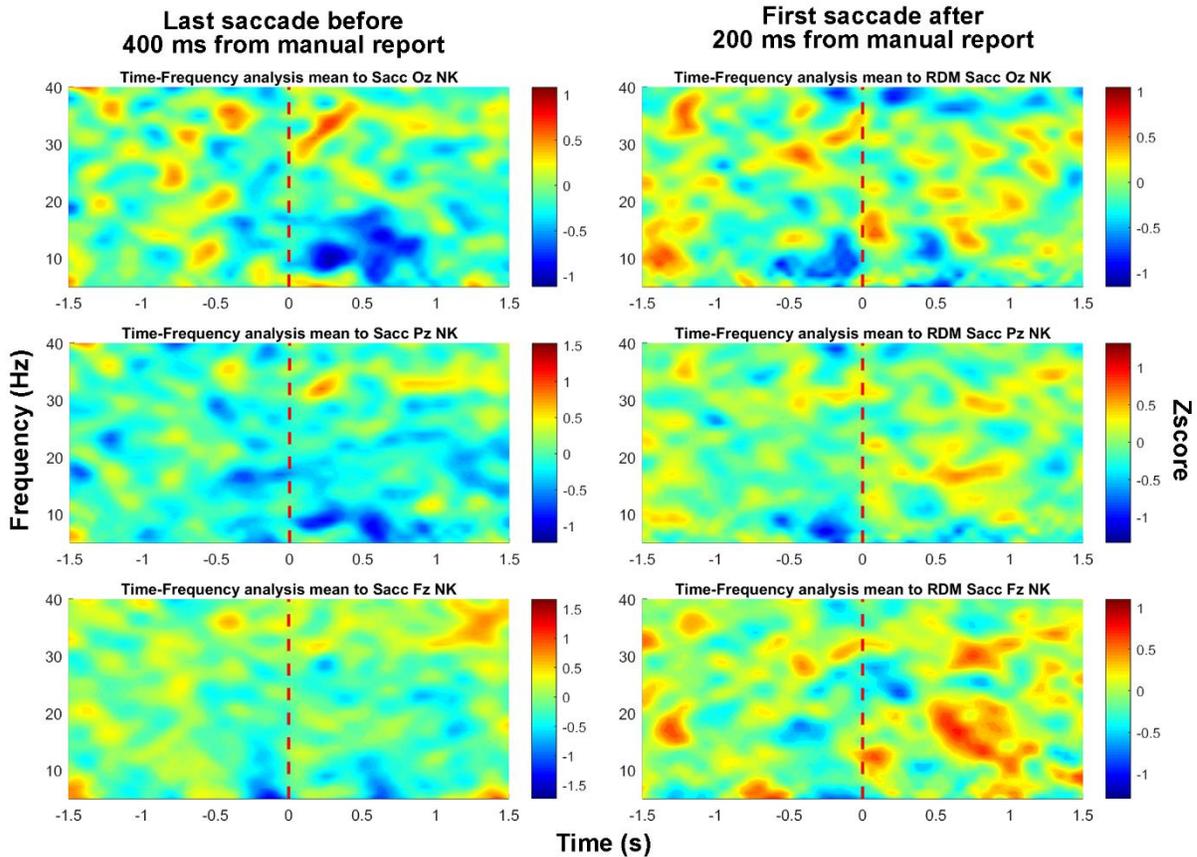
Los resultados indican que las cartas tiempo frecuencia alineadas a la última sacada realizada -400 ms con respecto al reporte manual del cambio perceptual, anteceden a la caída de poder de banda  $\alpha$ , actividad que no es observable al tomar la primera sacada 200 ms después del reporte manual (Figura 16). Estos resultados sugieren que los movimientos oculares participarían en los mecanismos relacionados al cambio perceptual en estímulos biestables.

Es importante destacar que, desde este punto en adelante, solo nos enfocaremos en los resultados obtenidos para el cubo de Necker, ya que la actividad electroencefalográfica observada para este estímulo correlaciona con la literatura relacionada al tema.

De esta manera, cuantificamos la diferencia de poder de la actividad cerebral alineada a la sacada que antecede al cambio perceptual y aquella que no está vinculada a la reversión. Para ello, sustrajimos las cartas tiempo frecuencia de ambas sacadas (última sacada -400 ms antes desde el reporte manual menos la primera sacada 200 ms después del reporte manual) y determinamos las regiones en donde la diferencia de poder era significativamente distinta (*Wilcoxon rank sum test*) (Figura 17).

La figura 17 muestra las cartas tiempo frecuencia construidas anteriormente en la figura 16 (parte izquierda de las gráficas de la Figura 17) y la sustracción de dichas cartas con sus respectivos p valores (parte derecha de las gráficas de la Figura 17). Estos resultados muestran que existen regiones en donde la diferencia de la actividad cerebral entre ambos eventos oculares es significativamente distinta. De hecho, se observa principalmente en los electrodos occipitales (Oz, Figura 17) que hay una diferencia de poder importante entre los 10 y 13 Hz, y que es observable aproximadamente 400 ms después desde del evento ocular, lo que sugiere que en la

caída de poder de banda  $\alpha$  podría estar participando el movimiento ocular. Se ha documentado que el cambio de poder en  $\alpha$  pareciera ser más evidente en los límites superiores de la banda más que en todo el marco de frecuencia que la representa (İşoğlu-Alkaç & Strüber, 2006).



**Figura 16 – Banda  $\alpha$  disminuye su poder en relación a la última sacada que ocurre antes de 400 ms previos al reporte manual del cambio perceptual en el cubo de Necker.**- Las cartas tiempo frecuencia fueron normalizadas según z-score. La columna izquierda muestra las cartas alineadas a la última sacada ejecutada antes de 400 ms con respecto reporte manual del cambio perceptual. La columna derecha muestra cartas alineadas a la primera sacada luego del reporte manual. La línea punteada indica el inicio de la sacada. La caída de banda  $\alpha$  asociada a la sacada previa al reporte manual es evidente en los electrodos occipitales (Oz) (columna izquierda, arriba), mientras que este fenómeno no es claramente observable para las sacadas que ocurren luego del reporte manual (columna derecha, arriba).

Finalmente, para determinar si efectivamente la última sacada ejecutada 400 ms antes del reporte manual juega un rol en la modulación del cambio perceptual, decidimos aislar la banda  $\alpha$  desde las cartas tiempo frecuencia, y determinar cómo varía el poder de dicha banda en el tiempo, al alinear la actividad cerebral a 3 eventos distintos (reporte manual, sacada asociada a la reversión y sacada no asociada a la

reversión). Además, parcializamos la temporalidad del registro en tres ventanas de tiempo (t1: -800 a -400 ms desde el evento alineado, t2: -400 a 0 desde el evento alineado y t3: 0 a 400 ms desde el evento alineado), que se aproximan visualmente a las dinámicas del cambio de poder para cada evento alineado (Figura 18).

Nuestros resultados nos indican que la disminución de poder de banda  $\alpha$  asociada al cambio perceptual se da en periodos temporales previos al reporte manual del cambio perceptual (Oz: t1 vs t2:  $p < 0,0001$ ;  $t = 40,22$ . t2 vs t3:  $p < 0,0001$ ;  $t = 12,79$  / Pz: t1 vs t2:  $p < 0,0001$ ;  $t = 15,49$ . t2 vs t3:  $p < 0,0001$ ;  $t = 13,04$  / Fz: t1 vs t2:  $p < 0,0001$ ;  $t = 9,84$ . t2 vs t3:  $p < 0,0001$ ;  $t = 11,95$ . 2way ANOVA Bonferroni multiple comparisons test) (Figura 18, rosado), tal como lo documentado por literatura previa (*İşoğlu-Alkaç, et.al., 2000, İşoğlu-Alkaç & Strüber, 2006, Strüber & Herrmann, 2002, Kornmeier & Bach, 2012*). No obstante, al alinear el cambio de poder de banda  $\alpha$  a la sacada asociada al cambio perceptual (Figura 18, celeste), es posible determinar que el poder de banda  $\alpha$  varía poco hasta que se ejecuta el evento ocular (Figura 18, rosa) (Oz: t1 vs t2:  $p > 0,05$ ;  $t = 0,2958$ . t2 vs t3:  $p < 0,0001$ ;  $t = 55,94$ . / Pz: t1 vs t2:  $p < 0,0001$ ;  $t = 8,873$ . t2 vs t3:  $p < 0,0001$ ;  $t = 17,78$  / Fz: t1 vs t2:  $p < 0,0001$ ;  $t = 5,415$ . t2 vs t3:  $p > 0,05$ ;  $t = 2,42$ . 2way ANOVA Bonferroni multiple comparisons test), tanto en regiones occipitales como parietales. Por otra parte, al alinear el cambio de poder de banda  $\alpha$  a la sacada que sucede luego del cambio perceptual (figura 18, verde), observamos una dinámica de la variación del poder similar a lo observado para el reporte manual (Oz: t1 vs t2:  $p < 0,0001$ ;  $t = 22,35$ . t2 vs t3:  $p < 0,0001$ ;  $t = 22,82$ . / Pz: t1 vs t2:  $p < 0,0001$ ;  $t = 16,64$ . t2 vs t3:  $p < 0,0001$ ;  $t = 18,84$  / Fz: t1 vs t2:  $p < 0,0001$ ;  $t = 12,45$ . t2 vs t3:  $p < 0,0001$ ;  $t = 4,97$ . 2way ANOVA Bonferroni multiple comparisons test).

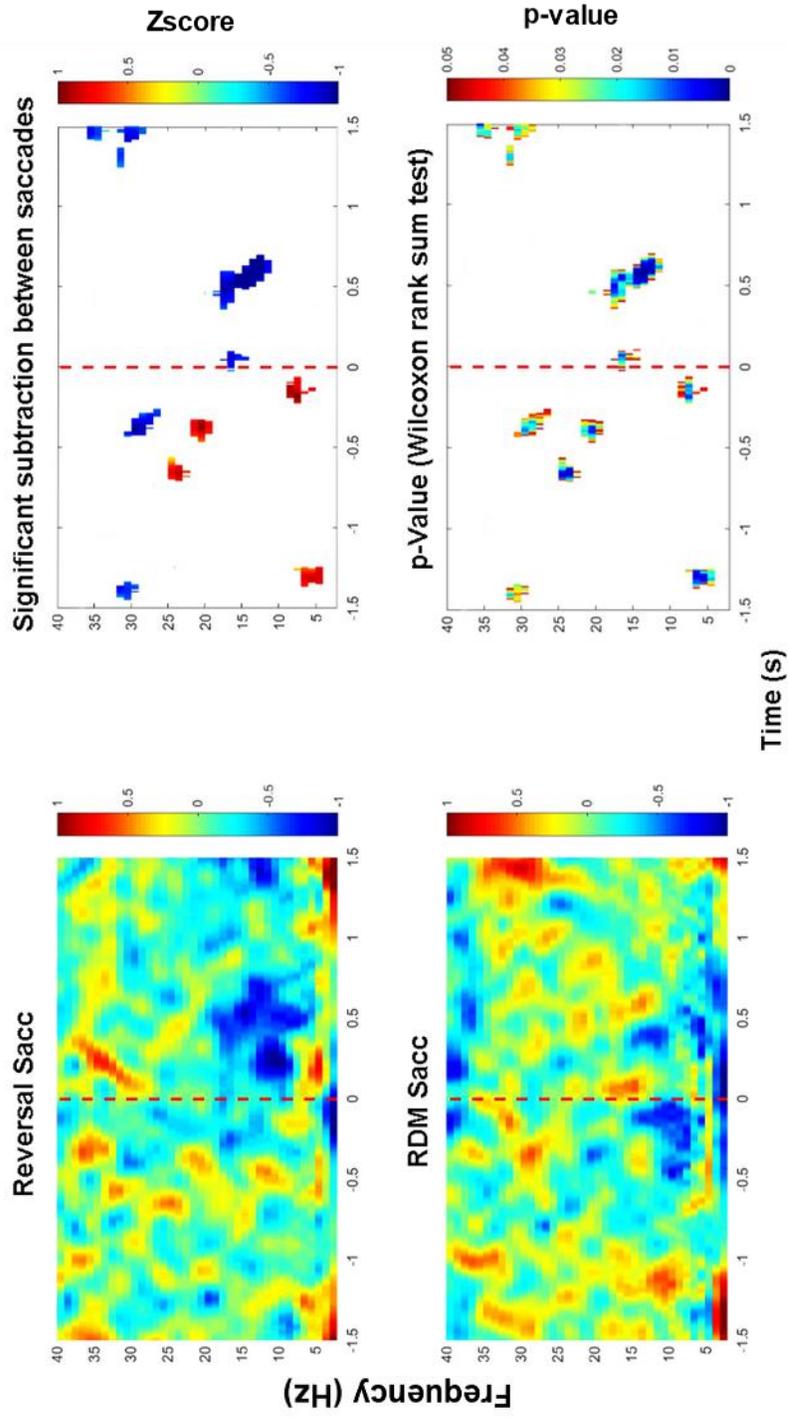
Añadiendo a lo anterior, si comparamos el cambio de poder de banda  $\alpha$  una vez sucedido el evento de interés (t3 para reporte manual, sacada asociada a la reversión o sacada no asociada a la reversión), la caída de poder de esta banda es significativamente mayor para las sacadas relacionadas a la reversión en comparación a los otros dos eventos (Oz: sacada reversión vs reporte manual:  $p < 0,0001$ ;  $t = 11,67$ . sacada reversión vs sacada no reversión:  $p < 0,0001$ ;  $t = 11,56$ . / Pz: sacada reversión vs reporte manual:  $p < 0,0001$ ;  $t = 14,81,35$ . sacada reversión vs sacada no reversión:  $p < 0,0001$ ;  $t = 14,98$ . / Fz: sacada reversión vs reporte manual:  $p < 0,0001$ ;  $t = 8,36$ . sacada

reversión vs sacada no reversión:  $p < 0,0001$ ;  $t = 15,03$ . 2way ANOVA Bonferroni multiple comparisons test).

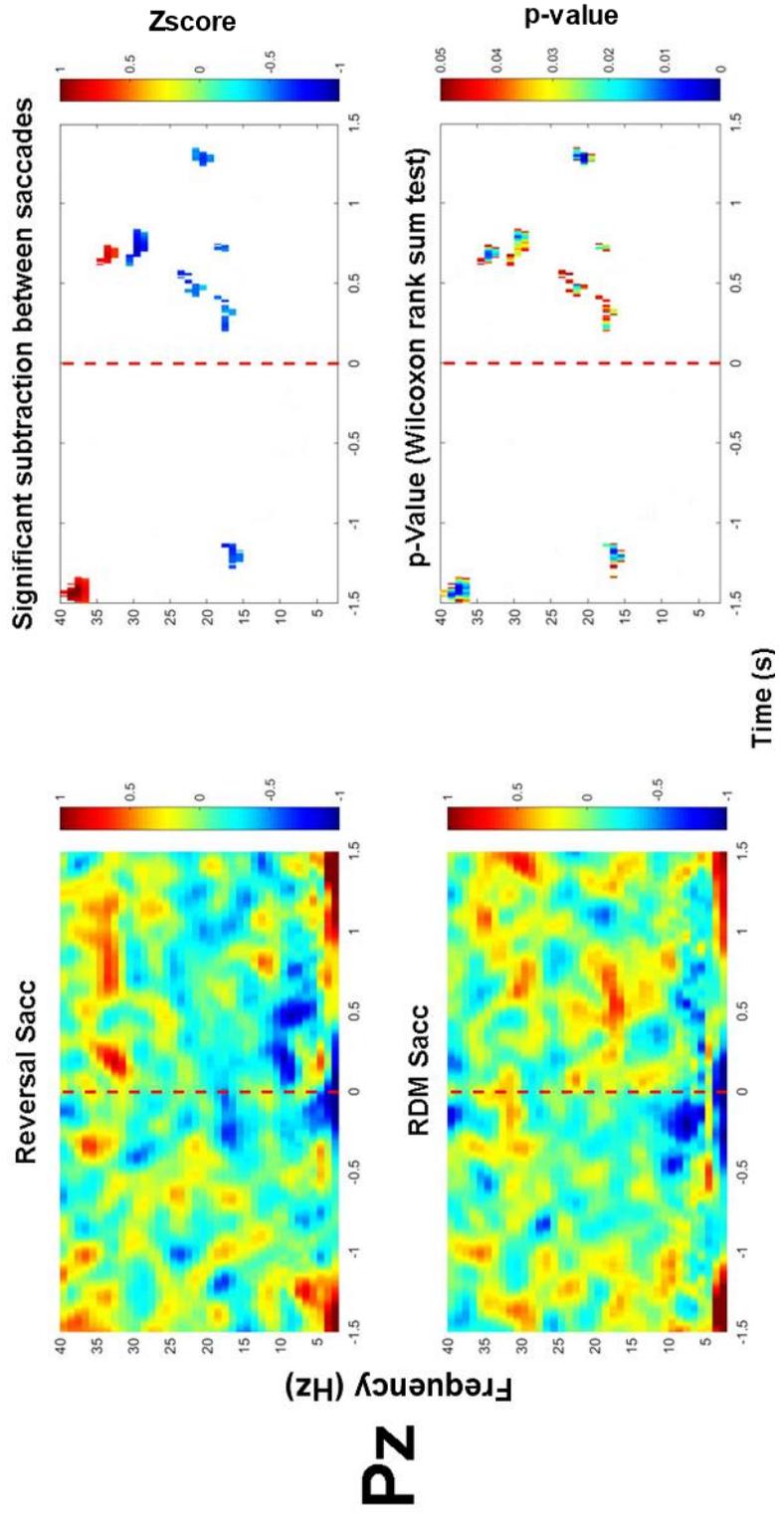
Este resultado sugiere una relación entre los movimientos oculares y la caída de poder de la banda  $\alpha$ , especialmente las sacadas que preceden el reporte perceptual. No obstante, aunque el movimiento ocular que precede la reversión y el cambio en banda  $\alpha$  es correlacional, no puede considerarse como evidencia directa de que las sacadas producen la reversión perceptual.

Finalmente, los resultados sugieren que la dirección del movimiento ocular pareciera ser importante para aumentar la probabilidad de experimentar un cambio perceptual. Características relacionadas al movimiento ocular como la amplitud, la frecuencia y la libertad de movimiento, parecieran no influir en el proceso de reversión. Además, el tiempo que se emplea en la ejecución de las sacadas disminuye previo al reporte manual. Este periodo de tiempo en donde decae la actividad ocular correlaciona con la caída de poder de banda  $\alpha$ . Asimismo, sacadas previas al reporte manual anteceden esta caída de poder, lo que sugiere la vinculación entre el movimiento ocular y el cambio perceptual en estímulos biestables.

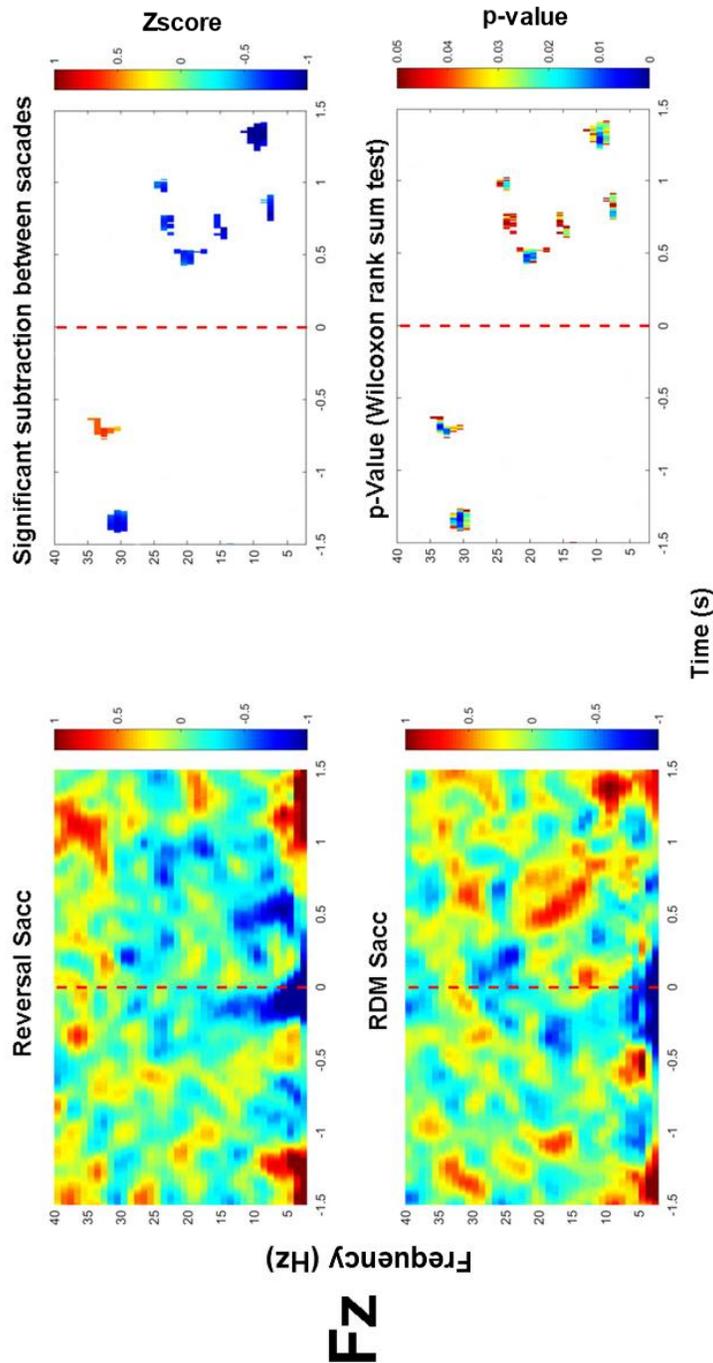
# OZ



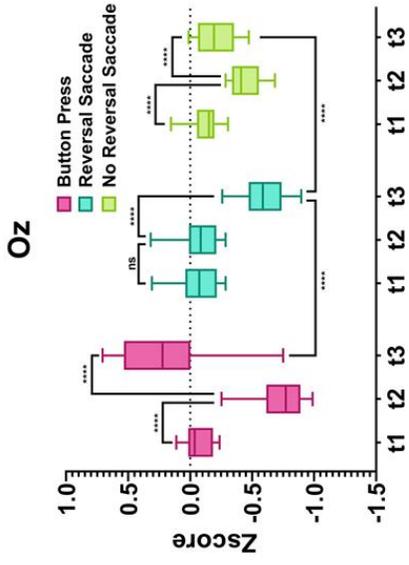
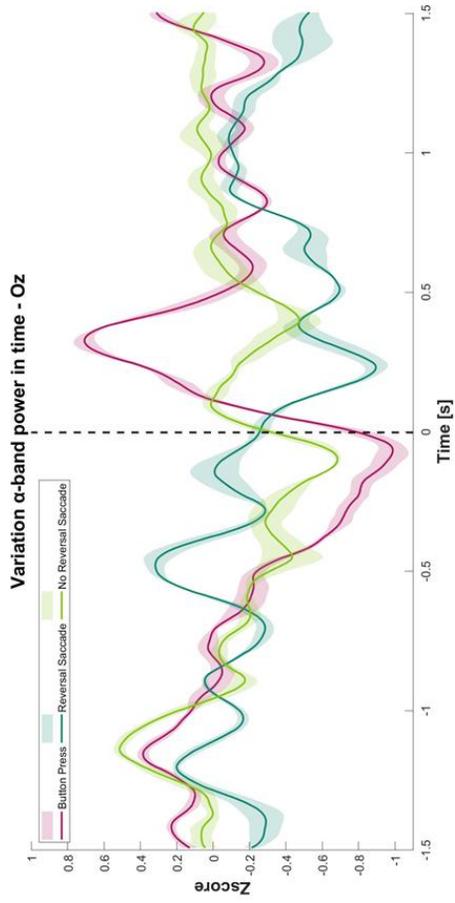
Continúa

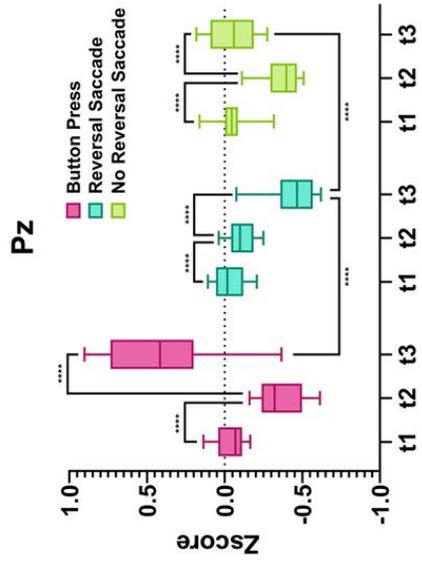
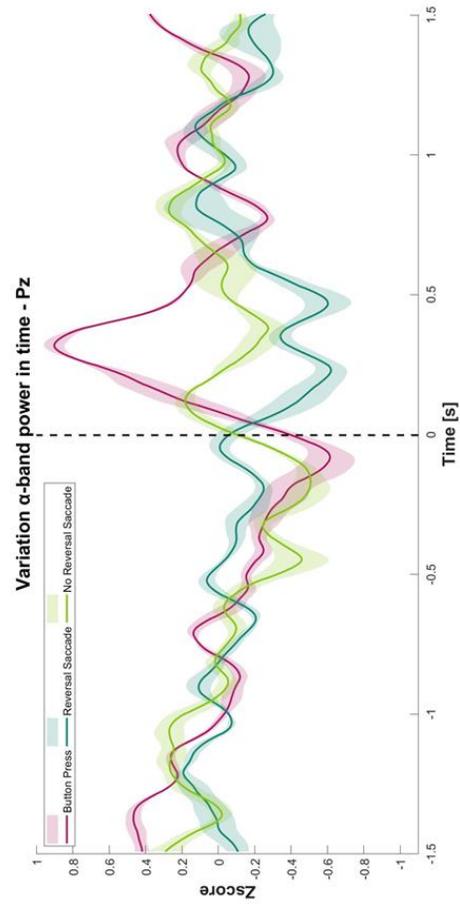


*Continúa*

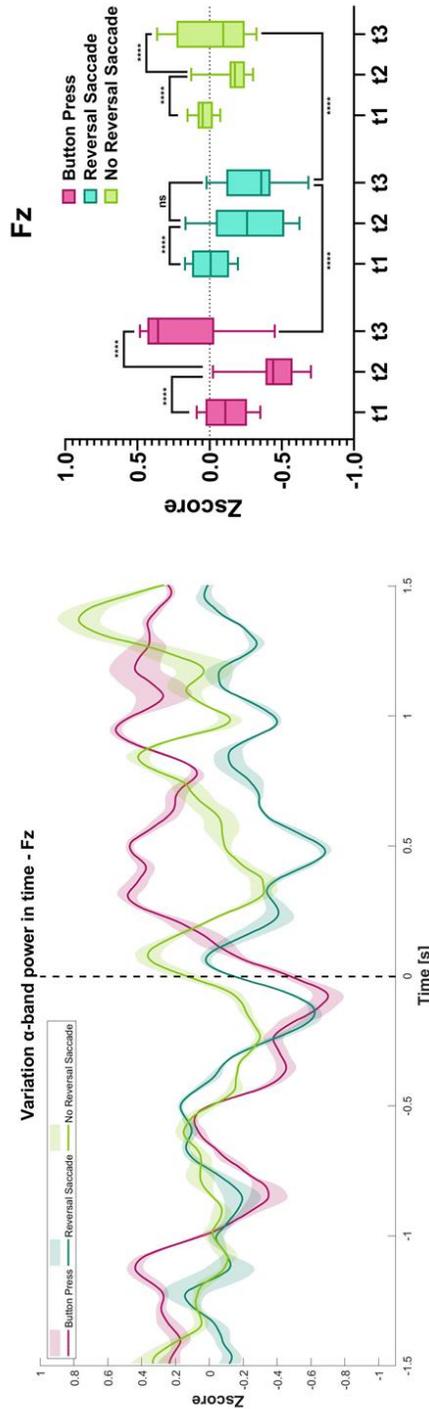


**Figura 17 – La caída de poder de banda  $\alpha$  es significativamente mayor para la última sacada que ocurre antes de 400 ms previos al reporte manual en comparación a cualquier otra sacada.** -Las cartas tiempo frecuencia fueron normalizadas según z-score. La parte izquierda de las figuras muestra las cartas tiempo frecuencia de la figura 16. La parte derecha de las figuras muestra la sustracción de dichas cartas (sacada asociada a la reversión menos sacada no asociada a la reversión) y la significancia de dicha sustracción. La línea punteada indica el inicio de la sacada. La caída de banda  $\alpha$  es significativamente mayor para las sacadas ejecutadas en periodos anteriores a 400 ms desde el reporte manual. Esto es observable a varios rangos de frecuencia, no obstante, la caída de banda  $\alpha$  que se asocia al cambio perceptual es mucho más evidente en los electrodos Oz. *Wilcoxon rank sum test*, N=18 sujetos. \*Reversal Sacc: última sacada ejecutada antes de 400 ms previos al reporte manual; RDM Sacc: primera sacada ejecutada 200 ms después del reporte manual.





Continúa



**Figura 18 – El poder de banda  $\alpha$  decae significativamente luego de la sacada vinculada al cambio perceptual.**- Se aisló el poder de banda  $\alpha$  (8 – 12 Hz) desde las cartas tiempo frecuencia normalizado en z score. En rosa se muestra el cambio de poder de banda  $\alpha$  en el tiempo para el reporte manual, en celeste para la sacada asociada a la reversión y en verde para la sacada no asociada a la reversión. Se determinaron 3 ventanas temporales de análisis las cuales corresponden a: t1: -800 a -400 ms desde el evento alineado, t2: -400 a 0 desde el evento alineado y t3: 0 a 400 ms desde el evento alineado. Las gráficas de la izquierda de cada imagen muestran la variación temporal del poder de  $\alpha$  para los electrodos Oz, Pz y Fz. La derecha de cada imagen muestra el poder promedio en las 3 ventanas de tiempo antes definidas. Estos resultados sugieren que la última sacada ejecutada antes de 400 ms del reporte manual participaría en la modulación de los mecanismos involucrados en el cambio perceptual. \*\*\*\*= $p < 0,0001$ ; 2way ANOVA Bonferroni multiple comparisons test.

### 3 - DISCUSIÓN

El principal objetivo de nuestra investigación es determinar la contribución de los movimientos oculares en el proceso perceptual de reversión de figuras biestables. Los resultados obtenidos nos llevan a concluir que los sujetos exploran ciertas regiones con mayor frecuencia, independientemente del tipo de estímulo (Figura 7). Este resultado es consistente con estudios previos, donde se ha mostró que fijar la mirada en ciertas áreas, aumenta la probabilidad de experimentar un cambio perceptual (*Einhäuser, et. al., 2004, Riani, et. al., 1986*). Estos resultados han sido descritos principalmente para el cubo de Necker, mientras que en el presente trabajo definimos que existe un sesgo espacial para las todas las figuras evaluadas, independiente si el estímulo es de origen estático o dinámico. Al mismo tiempo, en este estudio no se calculó la probabilidad de que cambio perceptual ocurra según la posición de los ojos, lo que abre una nueva posibilidad investigativa para complementar lo documentado hasta ahora. No obstante, aunque los individuos visiten libremente estas áreas o estén restringidos en su movimiento ocular, estas condiciones no son un indicativo directo de que se gatille un cambio perceptual, ya que solo se aumentaría la probabilidad de que este ocurra (*Einhäuser, et. al., 2004*). De esta manera, la caracterización de los movimientos oculares, en este caso las sacadas, podría dar luces de como algunas características particulares del movimiento ocular podrían estar influyendo en el proceso de reversión.

Las sacadas ayudan a la mantención de la visión cuando hay fatiga retinal (*Ditchburn, et.al., 1959*), promueven la corrección de fijación del objetivo (*Cornsweet, 1956*), producen la activación neural transciente entre cortezas (*Macknik & Livingstone, 1998*), entre otras. Algunas características de las sacadas son la duración, la amplitud, la dirección, la velocidad, la cantidad, entre otras, por ende, el estudio minucioso de cada una de ellas podría ayudar a comprender la contribución de los movimientos oculares en la transición perceptual en estímulos biestables.

Una primera consideración es que no parece haber un patrón temporal de exploración que nos permita determinar que los sujetos miran ciertas regiones particulares del estímulo en determinado momento antes del reporte manual de reversión de la percepción, y que, además, se correlacione justo con el momento de

la reversión (Figura 8). Más aun, las reversiones experimentadas por los sujetos no dependen de la libertad de exploración (Figura 9), por ende, las características de la sacada que podrían estar influyendo en el proceso de cambio perceptual, pueden estar contenidas tanto las sacadas de gran magnitud como en las de pequeña magnitud. No obstante, es importante recalcar que la amplitud no es una característica relevante que influya al cambio perceptual (Figura 13). Es así como, al momento de considerar sacadas, también integramos a las microsacadas dentro la descripción.

Nuestros resultados indican que la cantidad de reversiones es similar tanto en las condiciones de exploración libre (EL), como en fijación en un punto (FP) (Figura 9). Sin embargo, las transiciones perceptuales pueden ser experimentadas de manera autogatillada, ya que los sujetos son capaces de controlar la reversión rápida (RR) como la mantención del percepto (MP) (ambas condiciones sin restricción del movimiento ocular), generando una cantidad de reversiones significativamente distintas entre estas dos últimas condiciones. No obstante, el control de la reversión no presenta una actividad ocular diferencial, indicándonos que los sujetos mueven los ojos en una frecuencia similar tanto para cambiar la percepción como para mantenerla (Figura 10). Más aún, la cantidad de sacadas también es variable, debido a que los sujetos realizan más sacadas cuando no hay restricción del movimiento ocular, no obstante, esta libertad de movimiento no aumenta la tasa de reversiones (Figuras 9 y 10).

Los hallazgos recién mencionados nos sugieren que la transición entre estados no dependería de la libertad del movimiento ocular. Esto debido a que independiente de la libertad ocular para explorar los estímulos biestables, los voluntarios son capaces de experimentar una reversión, permitiéndonos inferir que no todos los movimientos sacádicos estarían involucrados en el cambio perceptual. Asimismo, características como la cantidad de sacadas alrededor del reporte manual (Figura 11), o la amplitud del movimiento ocular (Figura 13), no cumplen un rol fundamental al momento de experimentar una reversión. Esto se sustenta bajo la premisa que, independiente del tiempo que consideremos alrededor del reporte, tanto la amplitud como la cantidad de sacadas, es similar en todo momento antes del reporte del cambio perceptual.

De esta manera, nuestros análisis indican que características tales como la amplitud de la sacada, la frecuencia del movimiento ocular, la libertad de exploración y la temporalidad de las fijaciones, no son determinantes al momento de experimentar una reversión.

Debemos considerar que el movimiento ocular ocurre aun cuando los sujetos tienen restringida la libertad del movimiento ocular (*Ratliff & Riggs, 1950, Engbert. & Kliegl, 2003, Engbert, 2006*), es importante evaluar la dirección de las sacadas en los distintos estímulos, ya que de esta manera se puede establecer la existencia de alguna característica del comportamiento ocular que sea consistente, y que además podría modular el cambio perceptual. Es así como nuestros resultados indican que la dirección del movimiento ocular es similar entre condiciones (Figura 12 y Tabla 2), indicándonos y que la probabilidad de experimentar un cambio perceptual es dependiente de la intencionalidad de la dirección de la sacada. Cuando mencionamos la intencionalidad, referimos a la condición de restricción del movimiento ocular (condición FP), ya que los sujetos ejecutan principalmente microsacadas en dicha condición. En consecuencia, si los sujetos orientan su sacada en dirección a las regiones que son frecuentemente visitadas en los distintos estímulos biestables, podría aumentar la probabilidad de percibir un cambio perceptual. No obstante, en este trabajo no determinamos la correlación entre la probabilidad de reversión y la dirección del movimiento ocular.

El hallazgo relacionado a la dirección del movimiento ocular contribuye a los parámetros de exploración de estímulos biestables descritos por Einhäuser (*Einhäuser, et. al., 2004*), indicándonos que no sólo fijar la mirada en un punto crítico de la figura podría cambiar nuestra percepción, sino que también el hecho de direccionar nuestra mirada a dicho punto podría influir en el hecho de experimentar una reversión. Por otra parte, para saber si los individuos experimentan una reversión, nuestro principal indicador es el autorreporte. El principal problema asociado al reporte manual es la ambigüedad temporal, ya que existe una inconsistencia entre el momento en que los sujetos reportan una reversión y los cambios en la actividad neuronal asociada al cambio perceptual. No obstante, la actividad cerebral asociada a la transición perceptual en figuras biestables es un fenómeno observable en todos los

sujetos, pero que es difícil resolver en qué momento específico sucede o qué eventos podrían estar modulándola (*İşoğlu-Alkaç, et.al., 2000, İşoğlu-Alkaç & Strüber, 2006, Kornmeier, J., & Bach, 2004*).

Para demostrar que el movimiento ocular está involucrado en el proceso de cambio perceptual, evaluamos el tiempo que los sujetos emplean realizando una sacada previa al reporte manual del cambio perceptual. Nuestros resultados nos indican que existen periodos temporales previos al reporte de la reversión en donde hay una menor probabilidad de que el sujeto se encuentre realizando una sacada (Figura 14 y Tabla 3). Estos datos nos permiten determinar que existen periodos temporales específicos en donde los sujetos disminuye el tiempo ejecutando una sacada en comparación a la conducta ocular general no vinculada a la reversión. Es así como se pueden generar 3 ventanas temporales en donde se da este cambio de conducta: Una **ventana temprana** que va desde los 1000 a 700 ms antes del reporte manual, una segunda **ventana media** que va desde los 700 a 400 ms antes del reporte y una **ventana tardía** que va desde los 400 a 100 ms previos en relación con el reporte (Figura 14 y Tabla 3).

Aquellas sacadas comprendidas en las ventanas temprana y media podrían jugar un rol en los mecanismos que rigen el cambio perceptual, ya que en estos periodos de tiempo es cuando principalmente inician los fenómenos electroencefalográficos asociados al cambio perceptual (*Basar-Eroglu, et al., 1996; Fesi & Mendola, 2015, İşoğlu-Alkaç, et.al., 2000, İşoğlu-Alkaç & Strüber, 2006, Strüber & Herrmann, 2002, Kornmeier & Bach, 2004, Nakatani & Van Leeuwen, 2013, Nakatani, et. al., 2011*). Nuestros resultados sugieren que el inicio de la caída de poder de banda  $\alpha$  ocurre entre los 300 a 800 ms antes del reporte manual, al igual de lo que ha sido reportado en la literatura (Figura 15). Conjuntamente, la variación temporal es estímulo dependiente, indicándonos que la caída de poder cambia su temporalidad dependiendo de la figura biestable que se está explorando.

Al determinar todas las ventanas temporales en donde disminuye el tiempo empleado en ejecutar una sacada y calcular la media temporal de estas ventanas, se obtiene una temporalidad particular para cada estímulo que pareciera ajustarse de manera mucho más precisa a la caída de poder de banda  $\alpha$  (Figura 15), lo que nos

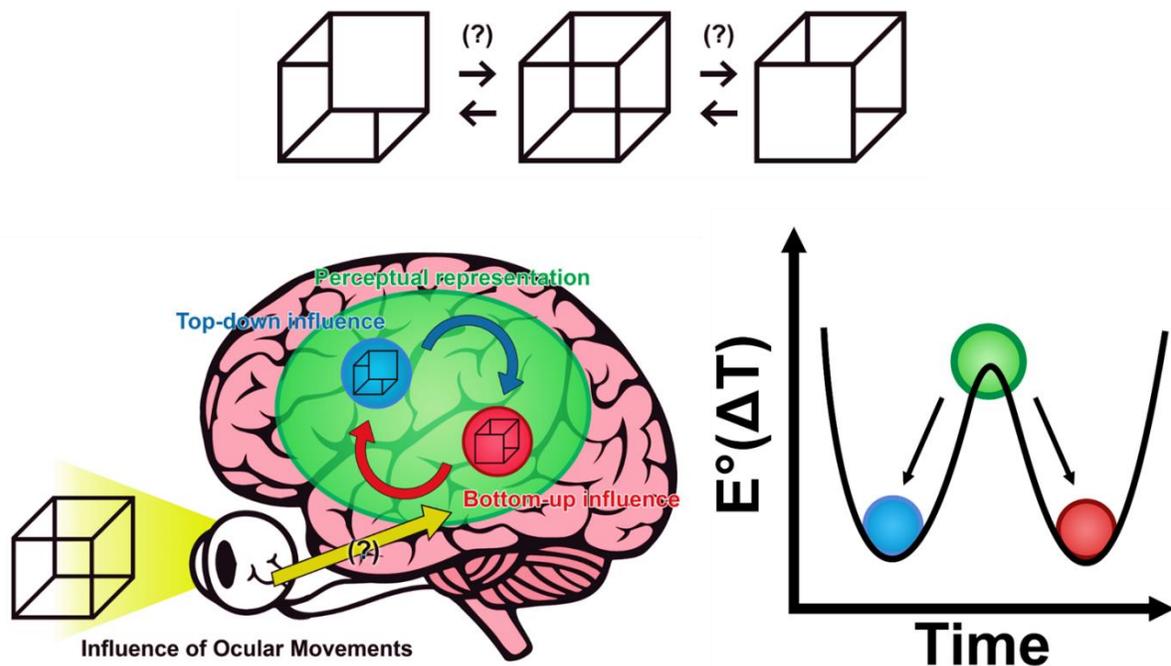
sugiere que las sacadas ejecutadas de manera temprana y media podrían estar jugando un rol modulador en el proceso de cambio perceptual.

A partir de lo anteriormente mencionado, evaluamos los espectros electroencefalográficos en formato de carta tiempo frecuencia, para determinar los diferentes patrones asociados a la última sacada ejecutada al menos 400 ms antes del reporte del cambio perceptual, comparándolos con los patrones electroencefalográficos asociados a la primera sacada después del reporte manual (Figura 16 y 17). Estos resultados indican que existe una caída de poder de banda  $\alpha$  considerablemente más marcada en las sacadas previas al reporte manual en comparación a aquellas sacadas que se ejecutan aproximadamente 2 sacadas después del movimiento ocular involucrado en la reversión (Figura 18).

Por otra parte, es posible observar una caída de poder de banda  $\alpha$ , que se da previa a la ejecución de la sacada y que es consistente para los dos grupos de sacadas evaluadas. Este cambio de poder se ha determinado que estaría asociado al planeamiento de la ejecución de la sacada, o bien, a la regulación de la atención (*Bittencourt, et. al., 2012, Brignani, et. al., 2007, Hamm, et. al., 2012*). De esta manera, podemos asegurar que las sacadas que ocurren en una ventana temporal previa a 400 ms desde el reporte de la reversión jugarían un rol modulador en la transición del percepto. Sin embargo, no podemos determinar que todas las sacadas que ocurran en ese periodo de tiempo particular vayan a provocar un cambio en la representación perceptual de la figura biestable y por ende una reversión, o que el movimiento ocular sacádico provoque el cambio perceptual. Por lo tanto, estos resultados no implican causalidad directa entre ambos fenómenos.

Finalmente, algunos estudios proponen que, para transitar entre los estados perceptuales de figuras biestables, existen estados de mínimo de energía que son gobernados por principios energéticos entrópicos mediados por la actividad neuronal (*Moreno-Bote, et.al., 2011, Moreno-Bote, et.al., 2009*). Por ende, la posibilidad de transitar entre los estados perceptuales de una figura biestable es un fenómeno probabilístico que puede verse modulado por determinados sesgos relacionados al comportamiento de las redes neuronales. Por ejemplo, tal es el caso de las oscilaciones  $\alpha$  en curso, que están asociadas al movimiento ocular y la planeación de

la sacada (Ossandón, et. al., 2010, Bittencourt, et. al., 2012, Brignani, et. al., 2007, Hamm, et. al., 2012), que podrían modificar los parámetros energéticos en donde las redes neuronales se estabilizan para la consolidación de un percepto en figuras biestables. Entonces, existe la posibilidad de que la modulación en banda  $\alpha$  posterior a la ejecución del movimiento ocular, juegue un rol inhibitorio del estado perceptual en curso, favoreciendo la transición de la percepción visual en estímulos biestables. Además, debemos considerar que lo percibido por los sujetos está influenciado por una actividad neuronal previa que guarda relación con la experiencia y una modulación de carácter top-down (Gilbert & Li, 2013, Pitts, 2008), favoreciendo un estado energético de las redes neuronales que mantiene la percepción estable. Por lo tanto, con el presente estudio, es posible determinar que el movimiento ocular (Figuras 16, 17 y 18) que ocurre en una temporalidad específica contribuirá de manera no directa a la transición entre posibles estados perceptuales, y por ende, modular la reversión en figuras bistables (Figura 19).



**Figura 19 – Los movimientos oculares modulan la transición entre dos estados perceptuales.**- Las sacadas ocurridas en estadios previos al reporte manual del cambio perceptual, modularían de manera no directa la transición entre los posibles estados no ambiguos de una figura biestable. El rol que podrían jugar estos movimientos oculares es en aumentar la entropía del sistema que permite establecer un nivel de energía estable que consolida la percepción.

## 4 - REFERENCIAS

1. Ahissar, E. & Assa, E. (2016). Perception as a closed-loop convergence process. *eLife*. **5**;e212830, 1-26.
2. Baker, D.H., Karapanagiotidis, T., Coggan, D.D., Wailes-Newson, K., Smallwood, J. (2015). Brain networks underlying bistable perception. *Neuroimage*. **119**, 229–234.
3. Basar-Eroglu, C., Struber, D., Kruse, P., Basar, E., and Stadler, M. (1996). Frontal gamma-band enhancement during multistable visual perception. *International Journal Psychophysiology*. **24**, 113–125.
4. Berens, P. (2009). CircStat: A MATLAB Toolbox for Circular Statistics. *Journal of Statistical Software*. DOI: 10.18637/jss.v031.i10.
5. Berger, H. (1933). Über das Elektroenzephalogramm des Menschen. Sechste Mitteilung. *Arch Psychiatr Nervenkr*. **99**, 555–574.
6. Blake, R., and Logothetis, N. K. (2002). Visual competition. *Nature Review Neuroscience*. **3**, 13–21.
7. Bittencourt, J., Machado, S., Teixeira, S., Schlee, G., Salles, J. I., Budde, H., ... Ribeiro, P. (2012). Alpha-band power in the left frontal cortex discriminates the execution of fixed stimulus during saccadic eye movement. *Neuroscience Letters*. **523(2)**, 148–153.
8. Bosman, C. A., Womelsdorf, T., Desimone, R., and Fries, P. (2009). A microsaccadic rhythm modulates gamma-band synchronization and behavior. *Journal of Neuroscience*. **29**, 9471–9480.
9. Bocci, T., Pietrasanta, M., Cerri, c., Restani, L., Caleo, M., Sartucci, F. (2014). Visual callosal connections: role in visual processing in health and disease. *Reviews in Neuroscience*. **25(1)**, 113-127.
10. Brignani, D., Maioli, C., Maria Rossini, P., & Miniussi, C. (2007). Event-related power modulations of brain activity preceding visually guided saccades. *Brain Research*. **1136**, 122–131.
11. Buzsáki, G. (2006). Rhythms of the brain. *Oxford University Press*.
12. Cornsweet, T. N. (1956). Determination of the stimuli for involuntary drifts and saccadic eye movements. *J. Opt. Soc. Am*. **46**, 987–993.
13. Devia, C. (2013). Tesis Doctorado: Patrón temporal de coherencia del eeg durante cambio y estabilidad de la percepción de un estímulo visual bi-estable. Facultad de Medicina. Universidad de Chile.
14. Devia, C., Montefusco-Siegmund, R., Egaña, J. I., Maldonado, P. E. (2017). Precise timing of sensory modulations coupled to eye movements during active vision. *bioRxiv*.

**Doi:** 10.1101/144477.

15. Ditchburn, R. W., Fender, D. H. & Mayne, S. (1959). Vision with controlled movements of the retinal image. *J. Physiol. (Lond.)*. **145**, 98–107.
16. Eagleman, D.M. (2001). Visual illusions and neurobiology. *Nature Reviews Neuroscience*. **2**, 920-926.
17. Egaña, J. I., Devia, C., Mayol, R., Parrini, J., Orellana, G., Ruiz, A., & Maldonado, P. E. (2013). Small Saccades and Image Complexity during Free Viewing of Natural Images in Schizophrenia. *Frontiers in Psychiatry*. doi:10.3389/fpsy.2013.00037.
18. Engbert, R. & Kliegl, R. (2003). Microsaccades uncover the orientation of covert attention. *Vision Research*. **43**, 1035-1045.
19. Engbert, R. (2006). Microsaccades: a microcosm for research on oculomotor control, attention, and visual perception. *Progress in Brain Research*. **154**, 177-92.
20. Einhauser, W., Martin, K. A. C., Konig, P. (2004). Are switches in perception of the Necker cube related to eye position? *European Journal of Neuroscience*. **20**, 2811 – 2818
21. Ester, E.F., Sutterer, D.W., Serences, J.T., Awh, E. (2016). Feature-Selective Attentional Modulations in Human Frontoparietal Cortex. *Journal of Neuroscience*. **36(31)**, 8188– 8199.
22. Felleman, D.J. & Van Essen, D.C. (1991). Distributed Hierarchical Processing in the Primate Cerebral Cortex. *Cerebral Cortex*. **1**, 1-47.
23. Fesi, J. & Mendola, J.D. (2015). Individual Peak Gamma Frequency Predicts Switch Rate in Perceptual Rivalry. *Human Brain Mapping*. **36**, 566-576.
24. Fries, P. (2015). Rhythms for Cognition: Communication through Coherence. *Neuron*. **88**, 220-235.
25. Gilbert, C. & Li, W. (2013). Top-down influences on visual processing. *Nature Reviews Neuroscience*. **14**, 350-363.
26. Hamm, J. P., Sabatinelli, D., & Clementz, B. A. (2012). Alpha oscillations and the control of voluntary saccadic behavior. *Experimental Brain Research*, **221(2)**, 123–128.
27. İsoğlu-Alkaç, U., 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**, 313–320.
28. İsoğlu-Alkaç, U., & Strüber, D. (2006). Necker cube reversals during long-term EEG recordings: subbands of alpha activity. *International Journal Psychophysiology*. **59**, 179–189.

29. Itti, L., & Koch, C. (2001). Computational modelling of visual attention. *Nature Reviews Neuroscience*. **2(3)**, 194–203.
30. Jensen, O. & Vissers, M.E. (2017). Multiple visual objects are sampled sequentially. *PLOS Biology*. **15(7)**, e2003230.
31. Kandel, E. R., Schwartz, J. H., and Jessell, T. M. (2013). Principles of Neural Science – 5<sup>th</sup> Edition. *McGraw-Hill*.
32. Klimesch, W. (2012). Alpha-band oscillations, attention, and controlled access to stored information. *Trends in Cognitive Sciences*. **16(12)**, 606-617.
33. Knapen, T., Brascamp, J., Pearson, J., van Ee, R., Blake, R. (2011). The Role of Frontal and Parietal Brain Areas in Bistable Perception. *Journal of Neuroscience*. **31(28)**, 10293–10301.
34. Kornmeier, J., & Bach, M. (2004). Early neural activity in Necker-cube reversal: evidence for low-level processing of a gestalt phenomenon. *Psychophysiology*. **41**, 1–8.
35. 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)**, 1-23.
36. Kruse, P & Stadler, M. (1995). Ambiguity in Mind and Nature - Multistable Cognitive Phenomena. *Springer*.
37. Leigh, R.J. & Zee, D.S. (2015). The Neurology of the Eye Movements – 5<sup>th</sup> Edition. *Oxford University Press*.
38. Macknik, S. L. & Livingstone, M. S. (1998). Neuronal correlates of visibility and invisibility in the primate visual system. *Nature Neuroscience*. **1**, 144–149.
39. Martinez-Conde, S., Macknik, S. L., and Hubel, D. H. (2004). The role of fixational eye movements in visual perception. *Nature Review Neuroscience*. **5**, 229–240.
40. Mathes, B., Strüber, 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**, 145-149.
41. McCamy, M.B., Otero-Millan, J., Macknik, S.L., Yang, Y., Troncoso, X.G., Baer, S.M., Crook, S.M., and Martinez-Conde, S. (2012). Microsaccadic efficacy and contribution to foveal and peripheral vision. *Journal of Neuroscience*. **32**, 9194–9204.
42. Melloni, L., Schwiedrzik, C. M., Rodriguez, E., and Singer, W. (2009). (Micro)Saccades, corollary activity and cortical oscillations. *Trends in Cognitive Sciences*. **13**, 239–245.
43. Moreno-Bote, R., Knill, D. C., Pouget, A. (2011). Bayesian sampling in visual

- perception. *PNAS*. **108**; **30**, 12491–12496.
44. Moreno-Bote, R., Rinzel, J., & Rubin, N. Noise-Induced Alternations in an Attractor Network Model of Perceptual Bistability. (2007). *J Neurophysiol*. **98**, 1125–1139
  45. Nakatani, H., Orlandi, N., van Leeuwen, C. (2011). Precisely timed oculomotor and parietal EEG activity in perceptual switching. *Cognitive Neurodynamics*. **5**, 399-409.
  46. Nakatani, H. & van Leeuwen, C. (2013). Antecedent occipital alpha band activity predicts the impact of oculomotor events in perceptual switching. *Frontiers in Systems Neuroscience*. **DOI**: 10.3389/fnsys.2013.00019.
  47. Necker, L.A. (1832). LXI. Observations on some remarkable optical phænomena seen in Switzerland; and on an optical phænomenon which occurs on viewing a figure of a crystal or geometrical solid. *Philosophical Magazine Series 3*. **1:5**, 329-337.
  48. Nikolaev, A.R., Meghanathan, R.N., van Leeuwen, C. (2016). Combining EEG and eye movement recording in free viewing: Pitfalls and possibilities. *Brain and Cognition*. **107**, 55–83.
  49. Nunez, P.L., Srinivasan, R. (2006). Electric Fields of the Brain – The Neurophysics of EEG. 2<sup>nd</sup> Edition. *Oxford University Press*.
  50. Oostenveld, R., Fries, P., Maris, E., & Schoffelen, J.-M. (2011). FieldTrip: Open Source Software for Advanced Analysis of MEG, EEG, and Invasive Electrophysiological Data. *Computational Intelligence and Neuroscience*. **2011**, 1–9.
  51. Ossandón, J.P., Helo, A.V., Montefusco-Siegmund, R., Maldonado, P.E. (2010). Superposition Model Predicts EEG Occipital Activity during Free Viewing of Natural Scenes. *Journal of Neurosciences*. **30(13)**, 4787– 4795.
  52. Piantoni, G., Romeijn, N., Gomez-Herrero, G., Van Der Werf, I.D., Van Someren, E.J.W. (2017). Alpha Power Predicts Persistence of Bistable Perception. *Scientific Reports*.
  53. 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**, 11-24.
  54. Quinn, G.P. & Keough, M.J. (2002). Experimental Design and Data Analysis for Biologists. *Cambridge University Press*.
  55. Ratliff, F., & Riggs, L. A. (1950). Involuntary motions of the eye during monocular fixation. *Journal of Experimental Psychology*. **40**, 687–701.
  56. Riani, M., Tuccio, M.T., Borsellino, A., Radilova, J., Radil, T. (1986). Perceptual ambiguity and stability of reversible figures. *Perceptual and Motor Skills*. **63**, 191-205.
  57. Ross, J., and Ma-Wyatt, A. (2004). Saccades actively maintain perceptual continuity.

- Nature Neuroscience*. **7**, 65–69.
58. Schwartz, R. (2003). Perception (*Blackwell Readings in Philosophy*).
59. Serre, T. (2016). Models of visual categorization. *WIREs Cogn Sci*. **7**, 197-213.
60. Scholes, C., McGraw, P.V., Nystrom, M., Roach, N.W. (2015). Fixational eye movements predict visual sensitivity. *Proc. R. Soc. B*. **282**, 20151568.
61. Shimojo, S., Kamitani, Y., Nishida, S. (2001). Afterimage of Perceptually Filled-in Surface. *Science*. **293**, 1677-1680.
62. Spillmann, L. (2009). Phenomenology and neurophysiological correlations: two approaches to perception research. *Vision Research*. **49**, 1507–1521.
63. Sterzer, P. & Kleinschmidt, A. (2007). A neural basis for inference in perceptual ambiguity. *PNAS*. **104(1)**, 323-328.
64. Sterzer, P., Kleinschmidt, A., and Rees, G. (2009). The neural bases of multistable perception. *Trends in Cognitive Sciences*. **13**, 310–318.
65. Strüber, D., Basar-Eroglu, C., Hoff, E, Stadler, M. (2000). Reversal rate dependent differences in the EEG gamma-band during multistable visual perception. *International Journal Psychophysiology*. **38**, 243–252.
66. Strüber, D., & Herrmann, C.S. (2002). MEG alpha activity decrease reflects destabilization of multistable percepts. *Cognitive Brain Research*. **14**, 370–382.
67. Tsal, Y. (1983). Movements of attention across the visual field. *J. Exp. Psychol.: Hum. Percept. Perform.* **9**, 523–30
68. van Loon, A.M., Scholte, H.S., Donner, T.H., Knapen, T., St. John-Saaltink, E., Lamme, V.A.F. (2013). GABA Shapes the Dynamics of Bistable Perception. *Current Biology*. **23**, 823–827.
69. VanEssen, D.C., Anderson, C.H., Felleman, D.J. (1992). Information processing in the primate visual system: an integrated systems perspective. *Science*. **255**, 419–423.
70. VanRullen, R., & Koch, C. (2003). Is perception discrete or continuous? *Trends in Cognitive Sciences*. **7**, 207–213.
71. Varela, F. J. (1995). Resonant cell assemblies: a new approach to cognitive functions and neuronal synchrony. *Biological Research*. **28**, 81–95.
72. Verleger, R., Jaskowski, P., and Wascher, E. (2005). Evidence for an integrative role of P3b in linking reaction to perception. *Journal Psychophysiology*. **19**, 165–181.
73. von der Malsburg, C. (1981). The Correlation Theory of Brain Function. *Departmental Technical Report*, 26.
74. von der Malsburg, C. (1999). The what and why of binding: the modeler's perspective.

- Neuron*. **24(1)**, 95-104, 111-25.
75. Wang, Z., Logothetis, N. K., and Liang, H. (2008). Decoding a bistable percept with integrated time-frequency representation of single-trial local field potential. *Journal of Neural Engineering*. **5**, 433–442.
76. Wang, M., Arteaga, D., He, B.J. (2013). Brain mechanisms for simple perception and bistable perception. *PNAS*. **E3350–E3359**.
77. Weilhhammer, V.A., Ludwig, K., Hesselmann, G., Sterzer, P. (2013). Frontoparietal Cortex Mediates Perceptual Transitions in Bistable Perception. *Journal of Neuroscience*. **33(40)**, 16009 –16015
78. Weilhhammer, V. A., Ludwig, K., Sterzer, P., Hesselmann, G. (2014). Revisiting the Lissajous figure as a tool to study bistable perception. *Vision Research*. **98**, 107-112.
79. Wittgenstein, L. (1972). *Philosophical Investigations* - 3<sup>th</sup> edition. Oxford, UK: Basil Blackwell.
80. Yantis, S. (2000). *Visual Perception: Key Readings*. Psychology Press.
81. Zaretskaya, N., Logothetis, N. K., Thielscher, A., Bartels, A. (2010). Disrupting Parietal Function Prolongs Dominance Durations in Binocular Rivalry. *Current Biology*. **20**, 2106–2111.
82. Zhou, Y. H., Gao, J. B., White, K. D., Merk, I., and Yao, K. (2004). Perceptual dominance time distributions in multistable visual perception. *Biological Cybernetics*. **90**, 256–263.

## 5 - ANEXOS



UNIVERSIDAD DE CHILE - FACULTAD DE MEDICINA  
COMITÉ DE ÉTICA DE INVESTIGACIÓN EN SERES

### **ACTA DE APROBACIÓN DE PROYECTO**

(Documento en versión 1 corregida 15.01.2018)

FECHA: 22 de Mayo de 2018.

**PROYECTO: "MOVIMIENTOS OCULARES Y CAMBIOS PERCEPTUALES EN ESTÍMULOS BIESTABLES".**

**INVESTIGADOR RESPONSABLE: SR. ENRIQUE LORCA PONCE**

**INSTITUCIÓN: DEPARTAMENTO DE NEUROCIENCIAS, FACULTAD DE MEDICINA, UNIVERSIDAD DE CHILE. TUTOR PROF. PEDRO MALDONADO**

Con fecha 22 de Mayo de 2018, el proyecto ha sido analizado a la luz de los postulados de la Declaración de Helsinki, de la Guía Internacional de Ética para la Investigación Biomédica que involucra sujetos humanos CIOMS 1992, y de las Guías de Buena Práctica Clínica de ICH 1996.

Sobre la base de la información proporcionada en el texto del proyecto el Comité de Ética de Investigación en Seres Humanos de la Facultad de Medicina de la Universidad de Chile, estima que el estudio propuesto está bien justificado y que no significa para los sujetos involucrados riesgos físicos, psíquicos o sociales mayores que mínimos.

En virtud de las consideraciones anteriores el Comité otorga la aprobación ética para la realización del estudio propuesto, dentro de las especificaciones del protocolo.

Este comité también analizó y aprobó el correspondiente documento de Consentimiento Informado en su versión modificada de fecha 16 de Mayo de 2018. Además se toma conocimiento de carta de Director del Establecimiento o custodio de la base de datos o carta de compromiso del Investigador responsable de fecha 09 de Enero de 2018.

Se extiende este documento por el periodo de un año a contar desde la fecha de aprobación prorrogable según informe de avance y seguimiento bioético.

#### **LUGAR DE REALIZACIÓN DEL ESTUDIO**

- LABORATORIO DE NEUROCIENCIAS, FACULTAD DE MEDICINA, UNIVERSIDAD DE CHILE.

*Teléfono: 29789536 - Email: comiteceish@med.uchile.cl*





UNIVERSIDAD DE CHILE - FACULTAD DE MEDICINA  
COMITÉ DE ÉTICA DE INVESTIGACIÓN EN SERES

**INTEGRANTES DEL COMITÉ DE ÉTICA DE INVESTIGACIÓN  
EN SERES HUMANOS**

<b>NOMBRE</b>	<b>CARGO</b>	<b>RELACIÓN CON LA INSTITUCIÓN</b>
Dr. Manuel Oyarzún G.	Presidente	Sí
Dr. Hugo Amigo C.	Vicepresidente	Sí
Dra. Lucía Cifuentes O.	Miembro	Sí
Dra. Grisel Orellana V.	Miembro	Sí
Sra. Gina Raineri B.	Miembro	Sí
Dra. María Ángela Delucchi B.	Miembro	Sí
Dr. Miguel O’Ryan G.	Miembro	Sí
Sra. Claudia Marshall F.	Miembro	Sí
Dra. Julieta Gonzalez B.	Miembro	Sí
Prof. <sup>a</sup> Maria Luz Bascañán R.	Miembro	Sí

Santiago, 22 de Mayo de 2018.

UNIVERSIDAD DE CHILE  
COMITÉ DE ÉTICA  
PARA INVESTIGACIONES  
EN SERES HUMANOS  
FACULTAD DE MEDICINA  
**Dr. Hugo Amigo Cartagena**  
Vicepresidente CEISH

c.c.: - Proyecto N° 013-2018  
-Archivo Acta n° 022

Teléfono: 29789536 - Email: comiteceish@med.uchile.cl

UNIVERSIDAD DE CHILE  
COMITÉ DE ÉTICA  
PARA INVESTIGACIONES  
EN SERES HUMANOS  
FACULTAD DE MEDICINA  
22 MAY 2018

COMITÉ DE ÉTICA  
INVESTIGACIÓN EN SERES HUMANOS  
FACULTAD DE MEDICINA  
UNIVERSIDAD DE CHILE

## CONSENTIMIENTO INFORMADO MOVIMIENTOS OCULARES Y CAMBIOS PERCEPTUALES EN ESTÍMULOS BIESTABLES

Nombre del Investigador Principal: Dr. Pedro Maldonado A.  
Institución: Programa de Fisiología y Biofísica, ICBM, Facultad de Medicina, Universidad de Chile.  
Teléfonos: 978 6035

**Invitación a participar:** Le estamos invitando a participar en el proyecto de investigación "Movimientos Oculares y Cambios Perceptuales en Estímulos Biestables", debido a que se requiere personas de población general.

**Objetivos:** Esta investigación tiene por objetivo investigar cómo es que nuestro cerebro procesa la información que le envían los ojos para tomar una decisión en figuras que tienen una doble interpretación. El estudio incluirá a un número total de 25 sujetos.

**Procedimientos:** Si Ud. acepta participar será sometido, por un período de 50 minutos a los siguientes procedimientos: Breve cuestionario para recoger información general (sexo, edad, lateralidad); medición de la actividad cerebral a través de un equipo de electroencefalografía (EEG), que son pequeños discos que se ponen sobre el pelo y, de movimientos oculares con el uso de una cámara de video especialmente diseñada para ello. Ambas técnicas son inofensivas y no invasivas.

**Riesgos:** Los registros de EEG y movimientos oculares no han mostrado efectos adversos, son utilizados ampliamente como exámenes rutinarios en cientos de laboratorios en todo el mundo.

**Costos:** Las técnicas mencionadas no tienen costo alguno para Ud, todos los medios para realizarlos serán proporcionados por el Laboratorio de Neurosistemas de la Facultad de Medicina de la Universidad de Chile.

**Beneficios:** Un beneficio directo de este estudio es el progreso del conocimiento además de ser un aporte significativo a la comprensión de los mecanismos de la percepción visual.

**Alternativas:** Si Ud. decide no participar en esta investigación, debe informarlo a los investigadores y no significará ningún perjuicio para su persona.

**Compensación:** Ud. no recibirá ninguna compensación económica por su participación en el estudio.

**Confidencialidad:** Toda la información derivada de su participación en este estudio será conservada en forma de estricta confidencialidad, lo que incluye el acceso de los investigadores o agencias supervisoras de la investigación. Cualquier publicación o comunicación científica de los resultados de la investigación será completamente anónima.

**Información adicional:** Ud. será informado si durante el desarrollo de este estudio surgen nuevos conocimientos o complicaciones administrativas que puedan afectar su voluntad de continuar participando en la investigación.

**Voluntariedad:** Su participación en esta investigación es totalmente voluntaria y se puede retirar en cualquier momento comunicándolo al investigador. De igual manera el investigador podrá determinar su retiro del estudio si consideran que esa decisión va en su beneficio.

**Complicaciones:** En el improbable caso de que Ud. presente complicaciones directamente dependientes de la utilización de las técnicas mencionadas, Ud. recibirá el tratamiento médico completo de dicha complicación, financiado por el proyecto al cual se asocia este estudio y sin costo alguno para Ud. o su sistema previsional. Las únicas complicaciones descritas en esta clase de procedimientos y que podrían ser subsidiadas por el proyecto son dolor de cabeza leve, fatiga



ocular y, en casos muy aislados, mareo o vértigo. Además, si se observan anomalías fisiológicas en su EEG, estas serán informadas a un especialista para que pueda brindarle la orientación y soporte adecuados.

**Derechos del participante:** Si Ud. requiere cualquier otra información sobre su participación en este estudio puede llamar a:

Investigador: Enrique Lorca; Fono: +569 94769961

Autoridad de la Institución: Dr. Pedro Maldonado; Fono: 2 978 60 35

**Otros Derechos del participante:** En caso de duda sobre sus derechos debe comunicarse con el presidente del "Comité de Ética de Investigación en Seres Humanos", Dr. Manuel Oyarzún G., Teléfono: 2-978.9536, Email: comiteceish@med.uchile.cl, cuya oficina se encuentra ubicada a un costado de la Biblioteca Central de la Facultad de Medicina, Universidad de Chile en Av. Independencia 1027, Comuna de Independencia.

**Conclusión:**

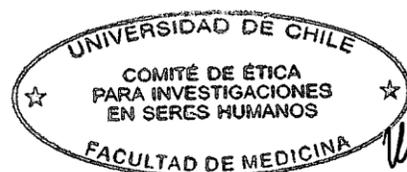
Después de haber recibido y comprendido la información de este documento y de haber podido aclarar todas mis dudas, otorgo mi consentimiento para participar en el proyecto "Movimientos Oculares y Cambios Perceptuales en Estímulos Biestables".

\_\_\_\_\_  
Nombre del sujeto, Firma, Fecha

\_\_\_\_\_  
Nombre de informante, Firma, Fecha

\_\_\_\_\_  
Nombre del investigador, Firma Fecha

Fecha: \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 20\_\_



22 MAY 2018