



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

FACULTAD DE PSICOLOGÍA

**BALANCE DE LA DOMINANCIA OCULAR MEDIANTE
INTEGRACIÓN MULTISENSORIAL**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADA EN PSICOLOGÍA
P R E S E N T A :
DANIELA ETCHEGARAY OROZCO**

DIRECTOR: DR. GERMÁN PALAFOX PALAFOX

REVISOR: DR. ÓSCAR VLADIMIR ORDUÑA TRUJILLO

COMITÉ SINODAL: DR. ARTURO BOUZAS RIAÑO

DR. ÓSCAR ZAMORA AREVALO

DR. GABRIEL GUTIÉRREZ OSPINA



MÉXICO D.F.

2015



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

A LOS DOS QUE SE ME FUERON PRONTO,

A MI ALE Y A EMMANUEL.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a todo aquel que tuvo algo que ver con que se realizara este trabajo. Agradezco a quien me animó, a quien me escuchó en momentos difíciles, a quien se echó mi rollo una y otra vez cuando me entusiasmada (y cuando no tanto) hablar de percepción, de integración, de los múltiples sentidos, de qué diablos es la Realidad y, durante algún tiempo, de la consciencia.

Agradezco a mis padres, Ramón y Patricia, que a ellos sí les tocó todo lo anterior a una potencia bastante alta. Gracias por su profundo y constante apoyo. Muchas gracias por confiar en mí.

Agradezco a Emmanuel Guzmán. Gracias, Emmanuel, por introducirme a este tema tan fascinante. Gracias por el honor de invitarme a trabajar contigo, por creer en mí y ayudarme a creer más en mí misma. Sobretudo, gracias por tu valiosísima amistad, tu enorme corazón y admirable sencillez. Gracias por ser mi maestro. Agradezco los grandes momentos en Puebla, las vistas del Popocatepetl y del campo, los ratos de trabajo escuchando excelente música, los incentivos de tornamesas y la cantidad de conversaciones tan ricas e interesantes que tuvimos. Agradezco los descansos en el jardín y los 12 gansos. Agradezco a Laura Ortega, por formar parte de todos esos buenos ratos, por pasarla tan bien los tres juntos y por su importantísimo papel en la realización del experimento. Gracias, Laura, por estar siempre ahí y por seguir ahí. Gracias a la familia Guzmán Martínez por su cariño y apoyo desde el inicio.

Agradezco al Dr. Palafox por tomar este proyecto y apoyarme, por las oportunidades de presentación en congresos y por sus comentarios y revisiones. Gracias al Dr. Orduña, por el apoyo y la escucha y porque siempre tuvo el consejo que me hacía falta. Al Dr. Gutiérrez Ospina, gracias por la guía, el ánimo y las buenas charlas, por ayudarme a ver las cosas desde distintas perspectivas. Gracias al Dr. Bouzas y al Dr. Zamora por su apoyo, comentarios y revisiones. Gracias al Sr. Del Castillo por sus observaciones con respecto a los datos.

Gracias a todas mis muy queridas familias: la de sangre, la de cariño, la de Cerro Tuera, la de mis amigos lejos y cerca. Muchas gracias a cada uno.

Tesis elaborada con el apoyo de PAPIIT IN308314

RESUMEN

Los organismos extraen diferentes tipos de información acerca del medio ambiente a través de múltiples canales sensoriales. Las distintas clases de información interactúan mediante mecanismos de procesamiento multisensorial, ya sea influyendo una sobre otra o concediendo al organismo una percepción unificada del entorno. Por otro lado, se sabe que al menos en primates, las contribuciones informáticas de los ojos son asimétricas, dominando un ojo sobre el otro (i.e., dominancia ocular) en la formación de la imagen visual. En el área de procesamiento multisensorial poco sabemos acerca de los efectos de dicho proceso sobre la entrada de información unimodal, por lo que en el presente estudio se investigó, mediante una tarea basada en el fenómeno de rivalidad binocular, si la información auditiva presentada de manera simultánea con la visual puede alterar el balance de la dominancia ocular en una muestra de estudiantes universitarios. Nuestros resultados apuntan a que esto es así, sugiriendo una influencia de la información procesada en áreas de alto nivel sobre información de cortezas sensoriales primarias.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 LOS SISTEMAS SENSORIALES: PRINCIPIOS GENERALES DE OPERACIÓN.....	3
1.2 PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN SENSORIAL UNIMODAL: LA VISIÓN COMO EJEMPLO.....	4
Visión binocular y disparidad.....	5
Integración de la información binocular y estereopsis.....	6
Dominancia ocular.....	7
Inhibición interocular y Rivalidad Binocular.....	9
Supresión de Flash Continuo.....	11
1.3 GENERALIDADES SOBRE INTERACCIONES MULTIMODALES E INTEGRACIÓN MULTISENSORIAL.....	13
Interacciones multimodales.....	13
Hipótesis de la modalidad apropiada.....	15
Integración multisensorial.....	15
2. EXPERIMENTO DE MODULACIÓN DE LA DOMINANCIA OCULAR CON ESTIMULACIÓN AUDITIVA.....	17
2.1 MÉTODO.....	17
Participantes.....	17
Material.....	18
Características de los estímulos visuales.....	19
Características de los estímulos auditivos.....	21
Procedimiento.....	22
2.2 RESULTADOS.....	23
2.3 DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	32
3. REFERENCIAS.....	39
4. ANEXO: FISIOLÓGÍA DEL SISTEMA VISUAL EN EL HUMANO.....	45

1. INTRODUCCIÓN

En el reino animal, particularmente en la escala de los vertebrados, se reconoce la existencia de siete sistemas sensoriales que permiten a los organismos extraer información física y química del medio ambiente que les rodea. El sistema nervioso integra la información obtenida a través de los distintos sentidos (i.e., integración multisensorial o multimodal) permitiéndole al organismo generar un percepto unificado del mundo y ejecutar conductas coherentes y dirigidas en el entorno percibido en el que se desenvuelve.

No obstante la importancia que tiene el proceso de integración multisensorial, en contraposición con el vasto conocimiento que poseemos sobre el procesamiento de información unimodal, poco sabemos sobre las consecuencias perceptuales de la interacción de información proveniente de varias modalidades sensoriales, así como de los procesos celulares y moleculares subyacentes. En particular, se sabe muy poco respecto a si la información presentada de manera simultánea en dos modalidades es capaz de modificar la asimetría perceptual (por ejemplo, en el caso de la dominancia ocular) de estímulos unimodales.

Respecto a esto último, sabemos que al menos los mamíferos generan una imagen unificada de la escena visual a partir de la información obtenida del ambiente mediante los fotorreceptores localizados en la retina de los ojos. Si bien la imagen parecería estar creada con contribuciones “informáticas” equivalentes de cada ojo, al menos en primates, esto parece no ser así ya que distintos individuos muestran preferencia por el uso de un ojo sobre el otro. Esta propiedad conocida como dominancia ocular (derecha o izquierda), nos puede permitir evaluar si la entrada de información sensorial visual primaria adquirida asimétricamente es modulada por información derivada de los procesos de integración multisensorial. Que esto pudiese ser posible,

es apoyado por el hecho de que la información unimodal generada por las cortezas sensoriales primarias modifica la entrada de información a nivel subcortical en las vías neurales correspondientes, a través de un fenómeno conocido como regulación “arriba-abajo”, proceso que permite adecuar la introducción de nueva información sensorial al percepto previamente elaborado (i.e., actualización y re-edición de perceptos unimodales).

Para llegar al presente estudio, en este trabajo se revisan, en primer lugar, los principios generales de operación de los sistemas sensoriales (Capítulo 1). Posteriormente, en el Capítulo 2, se explora el sistema visual como ejemplo para conocer el procesamiento de información sensorial unimodal, pasando por los fenómenos y particularidades del sistema más relevantes para el estudio. En el tercer Capítulo, se hace una revisión de la literatura existente sobre las generalidades de las interacciones multimodales y la integración multisensorial, cuyas posibles implicaciones dan lugar al estudio experimental sobre modulación de la dominancia ocular con estímulos auditivos, el cual se describe en el Capítulo 4.

De manera particular, el objetivo general de esta tesis fue evaluar si la información auditiva, presentada de manera simultánea con la visual, puede modificar el balance de la dominancia ocular en una prueba psicofísica de supresión de flash continuo basada en el fenómeno de rivalidad binocular.

Nuestros resultados sugieren que, la sincronización de un estímulo auditivo con la secuencia de estimulación visual tiene un efecto de reducción de la dominancia ocular. Por consiguiente concluimos que, a pesar de desconocer los mecanismos a través de los cuales pueda suceder este fenómeno, la información audio-visual simultánea tiene un efecto sobre la entrada unisensorial visual.

1.1 LOS SISTEMAS SENSORIALES: PRINCIPIOS GENERALES DE OPERACIÓN

Los sistemas sensoriales evolucionaron de manera tal que permiten a los organismos captar distintos tipos de energía y transformarlos en información útil, haciéndoles posible generar conductas acordes con su entorno (Wolfe et al., 2006). En la escala de los vertebrados se ha documentado la existencia de siete sistemas sensoriales: visión, audición, somatosensación, olfacción, gusto, electrocepción y magnetocepción (Raven & Johnson, 2001).

Cada sistema sensorial responde a diferentes propiedades de los estímulos físicos y químicos del ambiente. Estas propiedades pueden ser cualitativas (e.g., sabor, color, timbre, dirección), cuantitativas (i.e., intensidad), temporales (e.g., frecuencia y duración), o relativas a la posición espacial de los mismos. Los distintos sistemas sensoriales procesan información de manera paralela a lo largo de vías independientes constituidas por relevos neurales jerárquicamente organizados, en las que los relevos finales contienen neuronas que responden a estimulación más compleja a partir de campos receptivos más amplios (Blake & Sekuler, 2006).

Los sistemas sensoriales constan de receptores en el órgano sensorial que corresponda (e.g., ojo), fibras nerviosas y estructuras subcorticales y corticales cuyas operaciones proveen de la información necesaria para que otras áreas denominadas 'superiores' generen las percepciones (Wolfe et al., 2006). El procesamiento de información sensorial comienza cuando la energía (e.g., luz) llega al órgano sensorial a través del cual es transmitida hasta llegar a las células receptoras en la superficie sensorial (e.g., retina). Las células receptoras convierten la energía física en energía electroquímica en forma de potenciales de acción, proceso al cual se le denomina transducción sensorial (Blake & Sekuler, 2006).

La información sensorial llega al cerebro por medio de fibras nerviosas. La mayoría de ella pasa por el tálamo, una estructura en el diencefalo que sirve no sólo como relevo entre áreas subcorticales y corticales, sino también como estación intermedia de procesamiento de la información sensorial. Al llegar a las cortezas sensoriales primarias (un área para cada modalidad sensorial), secundarias y de asociación, la información es procesada e interpretada.

Las distintas propiedades de los estímulos sensoriales, por ejemplo, la luminancia y la orientación, son integradas para generar la percepción unificada de un objeto (Wolfe et al, 2006). No obstante, entender el proceso de integración neural de las propiedades de los estímulos dentro de una misma modalidad sensorial es insuficiente para generar la percepción de un entorno unificado, ya que en el mundo constantemente ocurren eventos correlacionados espacial y temporalmente que son captados por las distintas modalidades sensoriales. En otras palabras, el cerebro integra la información proveniente de distintas modalidades sensoriales permitiendo así la percepción unificada del medio (Yang & Yeh, 2014), misma que permite la ejecución de conductas dirigidas coherentes con el entorno percibido, por parte de los organismos.

1.2 PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN SENSORIAL UNIMODAL: LA VISIÓN COMO EJEMPLO

La gran mayoría de investigación en percepción se ha realizado utilizando la modalidad visual como modelo de trabajo experimental. Actualmente poseemos un vasto conocimiento acerca de los complejos procesos fisiológicos interconectados que suceden en el ojo y en numerosas estructuras del sistema nervioso que en conjunto dan lugar a la percepción visual.

El amplio interés en visión en parte se debe a que los primates, incluyendo al humano, poseen un sistema visual altamente desarrollado mediante el cual extraen la mayor parte de su conocimiento del exterior (Zeki, 1994; Shams & Kim, 2010). Correspondientemente, más de la mitad de la corteza cerebral del humano está alta o exclusivamente involucrada en procesamiento visual (Knierim & Van Essen, 1992; Sereno & Allman, 1991).

En términos generales, el sistema visual está organizado en módulos que analizan propiedades individuales de la información visual a partir de un procesamiento paralelo y fundamentalmente jerárquico de la información (Lennie, 1998). Es decir, conforme el procesamiento visual avanza de etapas tempranas (bajo nivel) a etapas tardías (alto nivel), las neuronas pasan de responder a características visuales generales en pequeños segmentos del campo visual (los campos receptivos de las células, tienden a ser pequeños en estas etapas), a responder a objetos específicos, integrados por distintas dimensiones visuales en campos receptivos que ocupan regiones más amplias del campo visual y que tienden a ser más complejos (Carlson, 2007; Wolfe et al., 2006).

El objetivo del presente trabajo no es describir el complejo funcionamiento del sistema visual por lo que únicamente se expondrán los aspectos más relevantes para nuestro estudio¹.

Visión binocular y disparidad

La gran mayoría de las especies del reino animal cuenta con dos ojos que proveen ventajas al organismo para extraer información del ambiente. En el caso de los mamíferos, ambos ojos están posicionados al frente de la cabeza, por lo que el campo visual de uno se traslapa en gran parte con el del otro. Sin embargo, existe una separación lateral entre los ojos

¹ Para una explicación un poco más amplia de las bases del funcionamiento del sistema visual ver el material del Anexo.

responsable de que cada ojo vea los objetos desde una posición ligeramente distinta, lo cual resulta en imágenes retinianas ligeramente diferentes (Kandel, 2000). A esta propiedad se le conoce como disparidad binocular (Kandel, 2000) o disparidad retiniana (Blake & Sekuler, 2006).

A pesar de que cada ojo produce una imagen diferente de la escena visual, la experiencia visual es la de un percepto unificado y coherente, el cual resulta gracias a dos procesos: la integración de la información binocular y la inhibición interocular (Su, He, Ooi, 2009).

Integración de la información binocular y estereopsis

Para que la información de los dos ojos sea integrada en un percepto unificado, se ha propuesto que es necesario que el cerebro resuelva un problema de correspondencia, es decir, qué partes de la imagen del ojo derecho y de la del ojo izquierdo se corresponden (Blake & Sekuler, 2006). Posteriormente, se computa la magnitud y dirección de la disparidad retiniana (Blake & Sekuler, 2006). Además de resultar en un percepto unificado, la integración de información binocular permite una discriminación de profundidad relativa denominada estereopsis (Blake & Sekuler, 2006) ².

En la corteza cerebral visual primaria (V1 o corteza estriada), el inicio del procesamiento visual es realizado por neuronas monoculares que reciben información de uno u otro ojo, manteniéndola separada. No es sino hasta que la información, proveniente del núcleo geniculado lateral (NGL), alcanza la cuarta capa de corteza estriada cuando las células que procesan información de cada ojo, agrupadas en columnas separadas, se reúnen. Las proyecciones de la

² Cabe aclarar que solamente este tipo específico de discriminación de profundidad requiere de visión binocular. La estereopsis no es una condición necesaria para la percepción de profundidad, que se da a partir de señales monoculares (Wolfe et al., 2006).

cuarta capa hacia las capas II y III suprayacentes en la V1 dan lugar a la integración binocular (Blake & Sekuler, 2006) por medio de células inervadas por ambos ojos: células binoculares³. Cada una de estas células tiene dos campos receptivos, uno asociado al ojo derecho y otro al izquierdo, en regiones equivalentes de los ojos, es decir, en regiones equivalentes del campo visual. Los campos receptivos de una célula binocular normalmente son del mismo tipo (simples o complejos) y tienen la misma preferencia en cuanto al atributo (e.g. cierta inclinación, determinada dirección de movimiento; Blake & Sekuler, 2006).

Se ha propuesto que las neuronas binoculares, gracias a que en general responden más vigorosamente cuando los dos ojos ven el mismo estímulo, están implicadas en la resolución del problema de correspondencia de ambas imágenes retinianas. Sin embargo este mecanismo aún permanece enigmático (Howe & Livingstone, 2005).

Asimismo, existen neuronas selectivas a “disparidad binocular”, es decir, que responden cuando la característica visual es proyectada en áreas no correspondientes en los dos ojos. La magnitud de la disparidad para la que dan mayor respuesta varía de célula a célula por lo que partir de la respuesta de estas células el cerebro puede computar la profundidad estereoscópica. Finalmente, cabe recordar que, además de las neuronas binoculares, la coordinación de movimientos oculares por parte de los músculos extraoculares es esencial para la percepción binocular (Blake & Sekuler, 2006).

Dominancia ocular

La dominancia ocular se define como la actividad preferencial de uno de los ojos sobre el otro (Porac & Coren, 1975) y describe la contribución de cada ojo en visión binocular

³ La gran mayoría de células en V1, excepto las de la cuarta capa y algunas otras excepciones, son binoculares (Blake & Sekuler, 2006).

(Chadnova, Reynaud, Clavagnier, Baillet & Hess, 2015). Dentro de la literatura existen diversos criterios para definir ‘dominancia ocular’. Los más comunes hacen referencia a la dominancia en cuanto a agudeza visual, dominancia al presentar estímulos en rivalidad binocular y dominancia ocular motora (de los músculos extraoculares) (Shneor & Hochstein, 2008). Al respecto, los primeros estudios realizados sugieren discrepancias entre las diferentes pruebas y entre criterios de dominancia ocular. Sin embargo, existe cada vez más evidencia que indica una correlación positiva entre los tres criterios (Handa et al., 2004; Shneor & Hochstein, 2008). En este estudio se hará referencia únicamente a la dominancia ocular motora, considerada el criterio más fiable (Ehrenstein, Arnold-Schulz-Gahmen, Jaschinski, 2005) y consistente (Porac & Coren, 1975) en cuanto a dominancia ocular.

En la corteza visual existen tiras de neuronas binoculares agrupadas en columnas que responden preferentemente a la estimulación de uno de los ojos; éstas son denominadas columnas de dominancia ocular (Blake & Sekuler, 2006). En general, el porcentaje de columnas de dominancia es mayor para uno de los dos ojos: el dominante. Se ha demostrado que dicho ojo presenta mayor sensibilidad así como un procesamiento y respuestas más rápidos, dando así lugar a la experiencia de un percepto más saliente (Shneor & Hochstein, 2006).

La dominancia ocular se establece en una etapa temprana del desarrollo visual después del nacimiento. Se ha planteado que el desarrollo de dichas columnas depende de la competencia entre fibras que van del NGL en el tálamo a V1. A pesar de que no se sabe con certeza, parece tener que ver con que las aferencias de uno de los ojos sean inicialmente, por azar, más numerosas en subregiones de la corteza V1. Además, la actividad cooperativa de otros axones provenientes del mismo ojo promueve la ramificación y por ende conexiones sinápticas en la región blanco de V1, lo que a su vez impide el crecimiento de entradas provenientes del ojo

contrario. Asimismo, se ha planteado que la formación de columnas de dominancia ocular requiere actividad eléctrica diferencial en las vías de los dos ojos (Kandel, 2001).

A pesar de que la dominancia visual se establece durante etapas tempranas del desarrollo y permanece estable en la adultez (Shneor & Hochstein, 2006), se trata de un fenómeno plástico (Xu, He & Ooi, 2011), por lo que en ciertas situaciones la dominancia ocular puede disminuir o cambiar de un ojo al otro (Shneor & Hochstein, 2006).

Inhibición interocular y Rivalidad Binocular

Se ha sugerido que la mera presencia de dominancia ocular en personas con visión normal implica cierto tipo de interacciones inhibitorias entre los dos ojos, en las que la imagen del ojo dominante inhibe la del no-dominante durante visión binocular (Vedamurthy, Suttle, Alexander & Asper, 2007). De esta manera, gracias a los procesos de inhibición interocular y de integración binocular antes mencionados, es posible percibir una imagen unificada y coherente de los objetos, a pesar de tener entradas sensoriales en cada ojo.

La mayor parte de lo que hoy sabemos acerca del proceso de inhibición interocular proviene de estudios de rivalidad binocular (Su, et al., 2009), un intrigante fenómeno perceptual caracterizado por supresión interocular extrema y evidente.

En general, en el ambiente natural, la visión binocular opera al observar dos imágenes ligeramente desplazadas de un mismo objeto o escena visual. Sin embargo, si se presenta una imagen totalmente diferente en regiones correspondientes de cada ojo ocurre rivalidad binocular (RB). Al no lograr establecer correspondencias entre las imágenes de ambos ojos para fusionarlas en un percepto coherente (los ojos mandan señales al cerebro de que dos objetos

diferentes existen en la misma locación espacial al mismo tiempo; Blake, 2001), el cerebro opta por ocuparse de la información proveniente de uno de los ojos a la vez, suprimiendo las partes correspondientes de la otra retina (Blake & Sekuler, 2006). Como resultado, la imposible cooperación binocular da lugar a una competencia perceptual entre las imágenes presentadas a cada ojo (Clifford, 2009; ver Figura 1). En ocasiones la percepción fluctúa entre la visión entera de uno y del otro ojo. Sin embargo, generalmente la fluctuación perceptual ocurre entre porciones de la visión del ojo izquierdo entremezcladas con porciones de la visión del derecho (Blake, O'shea & Mueller, 1992). Así, se observa un percepto inestable y variable, parecido a un mosaico que va cambiando en el tiempo (Blake & Sekuler, 2006).

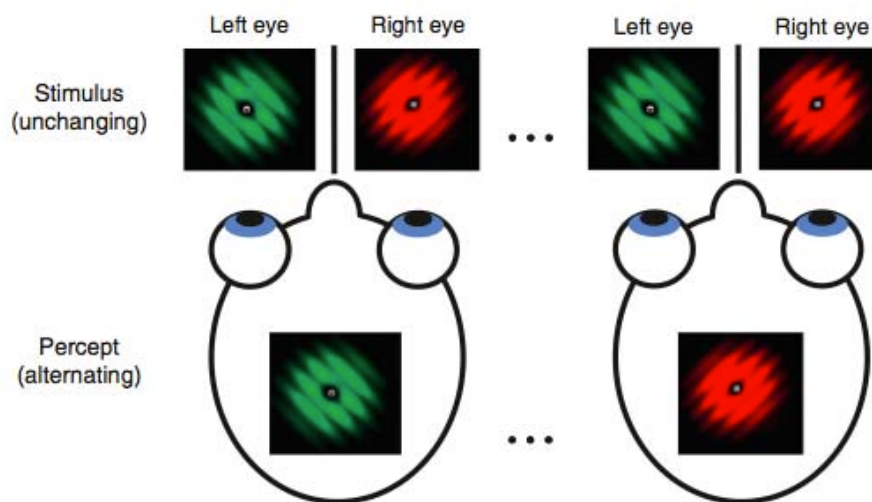


Figura 1. Representación del fenómeno de Rivalidad Binocular. Nótese que la estimulación dicóptica⁴ es constante a diferencia de la percepción que va fluctuando entre la visión de ambos ojos. Tomado de Clifford, C. (2009) Binocular rivalry. *Current Biology*, 19, R1022.

La RB puede evaluarse a través de un aparato óptico denominado estereoscopio, el cual hace posible presentar una imagen diferente en cada ojo (Wolfe et al., 2006). El estereoscopio

⁴ Estimulación dicóptica se refiere a la presentación simultánea de una imagen diferente en cada ojo (Yang, Brascamp, Kang & Blake, 2014).

contiene espejos que hacen que las imágenes converjan en el punto de fijación (Blake & Sekuler, 2006) donde se percibe la alternancia perceptual.

Algunos factores influyen en la alternancia de la dominancia perceptual en RB. Uno de ellos tiene que ver con las características del estímulo; mientras más saliente sea alguna característica del estímulo (i.e. alto contraste vs bajo, alta luminancia vs baja, en movimiento vs estático, etc.), éste tendrá mayor dominancia perceptual (Levelt, 1968; Wolfe et al., 2006). Es importante notar que la dominancia ocular también tiene un efecto en la dominancia perceptual durante RB, privilegiándose la percepción del estímulo presentado al ojo dominante⁵ (Porac & Coren, 1978; Handa et al., 2004).

Supresión de Flash Continuo

A pesar de que es posible influir en la dinámica de alternancias durante RB manipulando factores como las características del estímulo y el ojo al que se presenta cada imagen, ésta es muy variable (Clifford, 2009), por lo que resulta difícil tener cierto control sobre la percepción del participante. Por esta razón, en el estudio se utilizó un procedimiento distinto de presentación de estímulos visuales desarrollado a partir del fenómeno de RB. Conocido como Supresión de flash continuo (SFC), el procedimiento permite suprimir perceptualmente un estímulo visual, de manera altamente efectiva (Yang et al., 2014). Durante SFC se presentan dos imágenes distintas en regiones correspondientes de ambos ojos (Moors, Wagemans, de-Wit, 2014). Uno de los ojos, en general el dominante, ve una secuencia compuesta por distintos patrones de ruido visual dinámico de alto contraste (Costello, Jiang, Baartman, McGlennen, & He, 2009). Dichos

⁵ Como se mencionó en el apartado de Dominancia ocular, varios estudios han encontrado una correlación positiva de la dominancia ocular motora y la dominancia ocular al presentar estímulos en RB (Shneur & Hochstein, 2008).

patrones, conocidos como Mondrian, causan largos periodos de inhibición del estímulo presentado al ojo contrario (Yang et al., 2014), que en general suele tratarse del ojo no-dominante. La alta efectividad de SFC para suprimir un estímulo visual se atribuye a la alta saliencia de los estímulos supresores (ver Figura 2, segunda y tercera columnas), a la reducción de adaptación neural dada la constante actualización del input en el ojo que ve el Mondrian (Moors, et al., 2014), y a que el estímulo supresor es presentado en el ojo dominante, que como se mencionó anteriormente, hace más prevalente su percepción en este tipo de tareas.

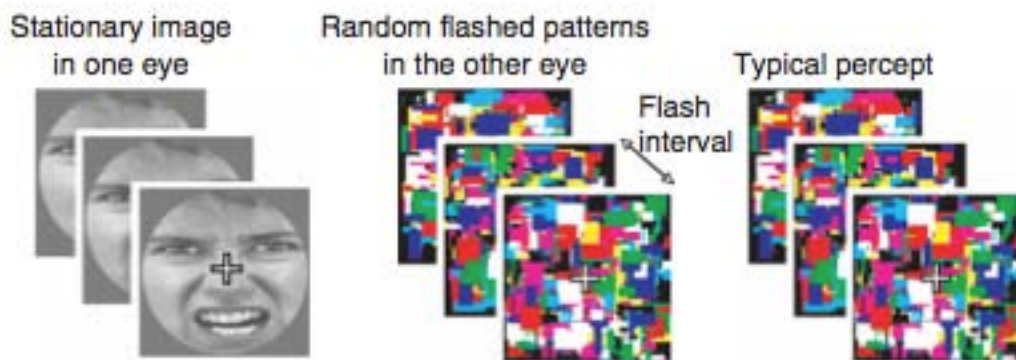


Figura 2. Representación de un estudio típico que utiliza la técnica de Supresión de flash continuo. Nótese que a pesar de que uno de los ojos está siendo estimulado con la imagen del rostro, ésta es suprimida por la altamente saliente imagen del Mondrian de colores, la cual conforma el percepto del participante. Tomado de Tsuchiya, N. & Koch, C. (2005). Continuous flash suppression reduces negative afterimages. *Nature Neuroscience*, 8, 1096-1101.

Los procesos de integración y supresión interocular sugieren que la imagen visual que observamos con ambos ojos no está ni en el ojo izquierdo ni en el derecho; existe como diferencia entre ambas imágenes, por lo que la imagen visual es el resultado de las contribuciones de los dos ojos (Blake & Sekuler, 2006). Sin embargo, al menos en primates, dichas contribuciones parecen ser equivalentes (Xu, et al., 2011) ya que la mayoría de los individuos muestra preferencia por el uso de un ojo sobre el otro.

1.3 GENERALIDADES SOBRE INTERACCIONES MULTIMODALES E INTEGRACIÓN MULTISENSORIAL

A pesar de que existen afirmaciones muy antiguas que aseveran el funcionamiento en conjunto de los sistemas sensoriales, no fue hasta hace aproximadamente dos décadas que emergió de forma definitiva una disciplina interesada en el procesamiento de información multisensorial (Stein, 2012). En pocos años el área ha tenido un crecimiento dramático que se ve reflejado en gran cantidad de información acerca del procesamiento multisensorial. Actualmente, en la literatura se encuentran inconsistencias en torno a muchos temas y no hay modelos teóricos sólidos definitivos acerca de cómo ocurre el fenómeno (Stein, 2012). No obstante ello, los estudios en conjunto sugieren que las interacciones multisensoriales son la regla más que la excepción en el procesamiento perceptual, desafiando así la visión modular unisensorial que ha imperado en el estudio de la percepción.

Los objetos y eventos del medio ambiente estimulan más de una modalidad sensorial a la vez. Al parecer, de manera adaptativa, el sistema nervioso combina las distintas fuentes de información (diferentes modalidades sensoriales) para dar un ‘mejor’ estimado del evento externo. Con respecto a lo anterior, se han planteado dos principales fenómenos de percepción multisensorial: efectos de interacción multimodal, por un lado y la integración multisensorial, por otro.

Interacciones multimodales

Además de ser el sentido dominante en el humano, la visión puede influir vigorosamente en otras modalidades sensoriales (Shimojo & Shams, 2001; Spence, 2012). Por ejemplo, Shimojo

& Shams (2001), en un artículo de opinión, citan una ilusión conocida como “efecto ventrilocuo” en la cual la localización espacial de una fuente de sonido se desvía hacia la ubicación de un estímulo visual. Este efecto se experimenta cotidianamente en el cine o al ver televisión, donde los sonidos parecen originarse de la pantalla a pesar de la clara discrepancia entre la ubicación de la fuente de sonido (bocinas) y la de la fuente visual. En otro ejemplo sobre la percepción del habla (generalmente considerada una función auditiva), la observación de movimientos articulatorios de los labios altera la percepción auditiva del fonema (McGurk & MacDonald, 1976). Éste se conoce como el efecto McGurk.

Este tipo de fenómenos no ocurre exclusivamente entre la visión y la audición, ya que se ha reportado que estímulos visuales alteran también la percepción del tacto y el gusto (Driver & Spence, 2000). De manera similar, existen ejemplos en los que las otras modalidades sensoriales alteran la percepción visual; por ejemplo, la percepción de la duración de un estímulo visual puede ser influida por señales auditivas (Walker & Scott, 1981). La percepción de la intensidad de un estímulo visual puede aumentar en presencia de un sonido (Stein, London, Wilkinson & Price, 1996). Asimismo, la presencia de un sonido puede alterar la interpretación visual de estímulos dinámicos ambiguos (Sekuler, Sekuler & Lau, 1997) y de estímulos no ambiguos; así, en el efecto ilusorio de flash, por ejemplo, si un único flash (visual) es acompañado por varios tonos cortos, se percibe como varios flashes (Shams, Kamitani, & Shimojo, 2000).

Además de los efectos auditivos sobre la percepción visual también se ha reportado que estímulos táctiles y propioceptivos modulan la percepción visual (Salomon, Lim, Herbelin, Hesselmann, & Blanke, 2013).

Hipótesis de la modalidad apropiada

A pesar de que aún no se ha llegado a un acuerdo para explicar cómo es que las modalidades sensoriales interactúan entre sí, se ha propuesto que la dominancia de una modalidad sobre otra depende de cuál es la más apropiada o confiable en una situación determinada. Dicho de otra manera, la modalidad que provee información más útil para realizar cierta tarea será la que domine (Spence, 2012). Así, como se describió anteriormente, en general se observa que la visión tiene mayor resolución espacial y por ende domina en tareas espaciales, mientras que la audición tiene una mayor agudeza temporal, dominando en tareas temporales (Shimojo & Shams, 2001).

Se ha propuesto que el sistema nervioso discrimina entre casos en los que distintas modalidades sensoriales proveen información sobre un mismo evento externo y casos en los que la estimulación a distintas modalidades sensoriales no está relacionada (Driver & Spence, 2000; Shams & Kim, 2010). En el primer caso, la información se integra resultando en facilitación perceptual y en el segundo, la información se mantiene separada, resultando en depresión multisensorial (Stein, 2014).

Integración multisensorial

Originalmente, el término fue utilizado por neurofisiólogos para describir la actividad, a nivel celular, al presentar estímulos en distintas modalidades a animales anestesiados (Spence, Senkowski & Roder, 2009). Mediante el proceso de integración multisensorial, la información proveniente de múltiples canales sensoriales se combina permitiendo al organismo percibir un único objeto o evento.

A partir de estudios en el colículo superior de gatos, Stein & Meredith (1993) propusieron tres principios que guían la integración multisensorial: el temporal, el espacial y el de efectividad inversa. En breve, la máxima integración multisensorial ocurre cuando los estímulos de distintas modalidades son presentados al mismo tiempo (principio temporal) y desde la misma localización (regla espacial). En cuanto al principio de efectividad inversa, se plantea que cuando al menos uno de los estímulos es débil en producir una respuesta, los efectos de integración multimodal son mayores (Spence, 2012).

A pesar de que el término fue acuñado en relación a la actividad neuronal, en los últimos años se ha intentado demostrar efectos de integración multisensorial a nivel conductual con animales humanos y no humanos (Spence, et al., 2009). Actualmente existe controversia acerca de las interpretaciones de los efectos de integración multisensorial e incluso hay mucha discusión al momento de designar si un resultado corresponde o no a un proceso de integración (Spence et al., 2009), por lo que hoy en día el término ‘integración multisensorial’ en general se utiliza para describir situaciones en las que estímulos en distintas modalidades, presentados de manera simultánea (o casi simultánea), son combinados. A menudo se discute también, por ejemplo, si el efecto en un estudio conductual refleja interacción multimodal ó integración multisensorial (Spence et al., 2009). Las interacciones multimodales no necesariamente implican integración multisensorial (Schmiedchen, Freigang, Nitsche, Rubsamen, 2012); sin embargo, ambos fenómenos tienen mucho en común y los criterios de definición aún no son muy claros.

A pesar del notable crecimiento dentro del área de procesamiento multisensorial, existen todavía numerosas preguntas sobre sus impactos en la percepción y comportamiento de los organismos, así como sobre los mecanismos neuronales subyacentes. Una de las preguntas más

generales es si el proceso de integración multimodal afecta la presentación de fenómenos perceptuales unimodales, tales como el balance de la dominancia ocular.

2. EXPERIMENTO DE MODULACIÓN DE LA DOMINANCIA OCULAR CON ESTIMULACIÓN AUDITIVA

Con base en lo ya expuesto, en el presente trabajo nos planteamos como objetivo general evaluar los efectos sobre la dominancia ocular al aplicar de manera simultánea un estímulo auditivo a la presentación de estímulos visuales.

Se planteó como hipótesis que la aplicación simultánea (sincrónica) de un estímulo auditivo con el conjunto visual contribuirá al balance de la dominancia ocular en mayor medida que una presentación audio-visual asincrónica.

A continuación se describe la metodología del estudio así como los resultados obtenidos

MÉTODO

Participantes

Los participantes en este estudio (13 mujeres y 7 hombres, entre 19 y 27 años de edad) fueron estudiantes de la Facultad de Psicología de la Universidad Nacional Autónoma de México, a quienes se dio un pequeño beneficio en su calificación en un curso como recompensa por su participación. Los participantes desconocieron en todo momento el propósito del estudio, si bien firmaron una carta de consentimiento informado antes de dar inicio al mismo. Ningún participante mostró ni reportó la pre-existencia de enfermedades neurológicas o psiquiátricas, y todos tuvieron una agudeza visual normal o corregida cercana a la norma y estereopsis normal.

Para determinar la dominancia ocular de los participantes, estos fueron sujetos a la prueba del agujero en la tarjeta (Durand & Gould, 1910) valorada como la más confiable conductualmente (Shneur & Hoshstein, 2008). En ésta, el participante sostiene, al nivel de sus ojos y con ambos brazos extendidos hacia el frente, una tarjeta con un agujero de 3 cm de diámetro, a través del cual observa con ambos ojos algún objeto en la pared, ubicado a tres metros de distancia. El participante cierra entonces alternadamente los ojos y sin mover los brazos reporta con cuál de ellos observa el objeto a través del agujero. El ojo con el que se observa la imagen es el dominante.

Material

El experimento fue programado con el software Presentation® (Versión 0.70, www.neurobs.com) bajo Windows XP. Se utilizó un monitor CRT a color (Apple Studio Display de 17 pulgadas) con una resolución de 1600 x 1200 píxeles y una tasa de actualización de 60 Hz, conectado a un teclado (Dell Quietkey) y a dos bocinas (Dell AX210) ubicadas aproximadamente a 50 cm del participante, una de cada lado. Se instaló un estereoscopio de espejos ajustables, visor en 3D a 62 cm, frente al monitor a una altura que permitiera acomodar los ojos en los orificios y la barbilla en el descanso. Se cubrió con material negro todo el espacio entre el monitor y el estereoscopio para impedir la entrada de luz de fuentes diferentes al monitor (ver Figura 3).

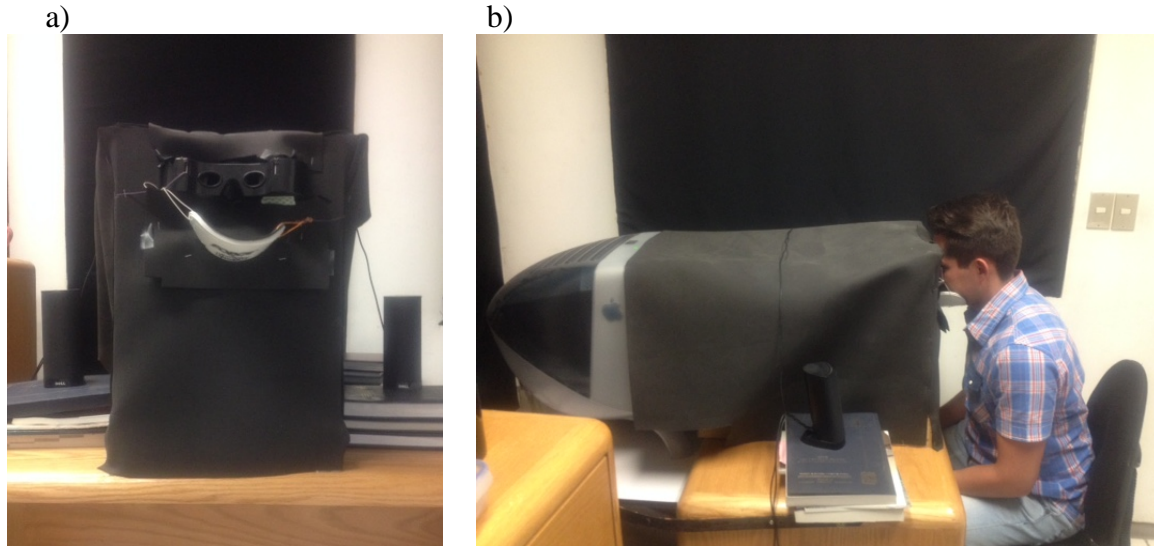


Figura 3. Vista frontal (a) y lateral (b) del material utilizado para la realización de la tarea. Se pueden apreciar el monitor, las bocinas, el estereoscopio y el descanso para la barbilla.

Características de los estímulos visuales

Ambos estímulos visuales estaban enmarcados por un rectángulo gris con puntos rojos (9 x 13 y 1.7 cm) el cual permite promover la estabilidad de la fusión binocular de las dos secuencias de estímulos (Tsuchiya & Koch, 2005). El estímulo presentado al ojo no-dominante (OND), “Movimiento aparente rotatorio”, constó de una secuencia de cuatro cuadros (frames) formados por una imagen de 5.6 x 9.4 cm (ángulo visual: 5.16° x 8.62°) que, como se muestra en la Figura 4, contenía cuatro círculos sólidos pequeños (8 mm de diámetro) de color blanco, posicionados a 90° uno de otro, todos colocados sobre una circunferencia (4 cm de diámetro) cuyo trazo era blanco y delgado. En el centro había una diana blanca y el fondo era negro. En cada uno de los cuatro cuadros variaba la posición de los círculos pequeños.

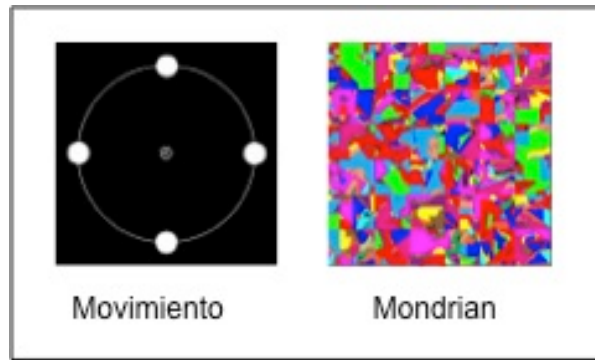


Figura 4. Estímulos que compusieron las secuencias presentadas durante la tarea.

La secuencia se repetía una y otra vez, logrando el efecto de movimiento aparente rotatorio en el cual los círculos pequeños se desplazaban 22.5° hacia la derecha a una frecuencia de 6.66 Hz (cada 150 ms); (ver Figura 5).

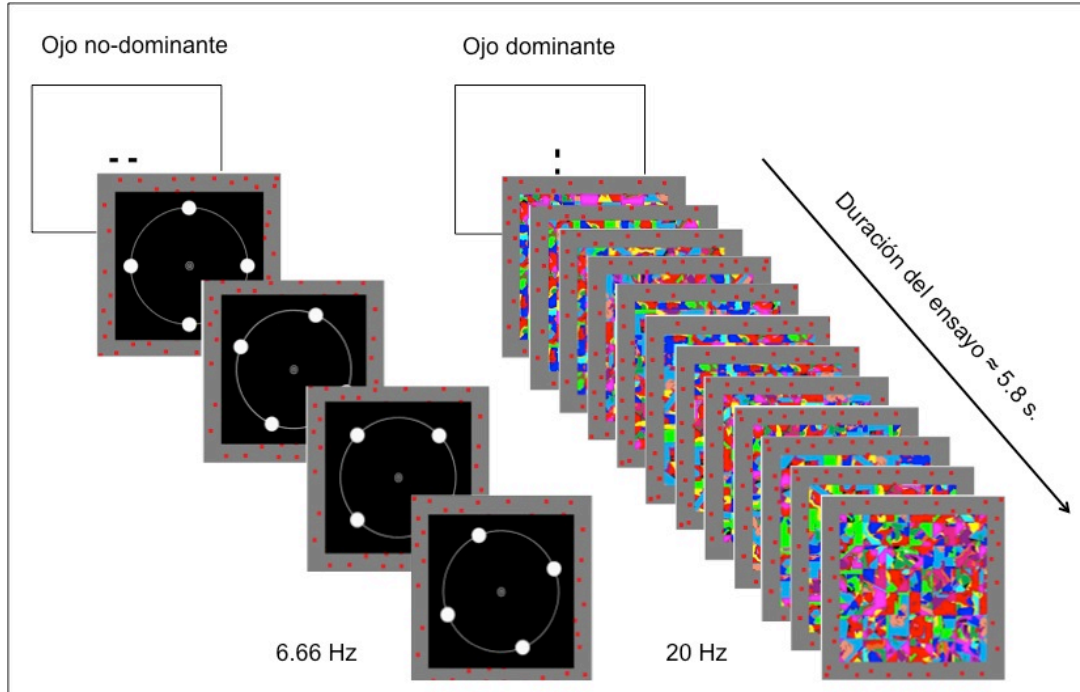


Figura 5. Punto de fijación y secuencias de estímulos presentados en el ojo dominante y en el no-dominante con sus tasas de presentación correspondientes.

Por otro lado, el estímulo presentado al ojo dominante (OD) constó de una secuencia compuesta por distintos patrones de ruido dinámico de alto contraste conocidos como “Mondrian” (ver Figura 4; Costello et al., 2009), de 5.6 x 9.4 cm (ángulo visual: 5.16° x 8.62°); el Mondrian fue presentado durante 50 milisegundos a una tasa de 20 Hz. Esta frecuencia permitió presentar el estímulo Mondrian tres veces por cada cuadro de la secuencia de movimiento aparente rotatorio (ver Figura 5).

Características de los estímulos auditivos

El estímulo auditivo fue un “clic” presentado bilateralmente con una intensidad de 59 ± 2 dB, con una duración de 10 milisegundos. Como se muestra en la figura 6, se presentó una secuencia de “clics” con una frecuencia de 6.66 Hz (cada 150 ms) cuya fase cambiaba en función de las condiciones utilizadas: sincrónico = en fase, simultáneo con el estímulo visual, y asincrónico = en desfase, el sonido aparece entre dos estímulos visuales.

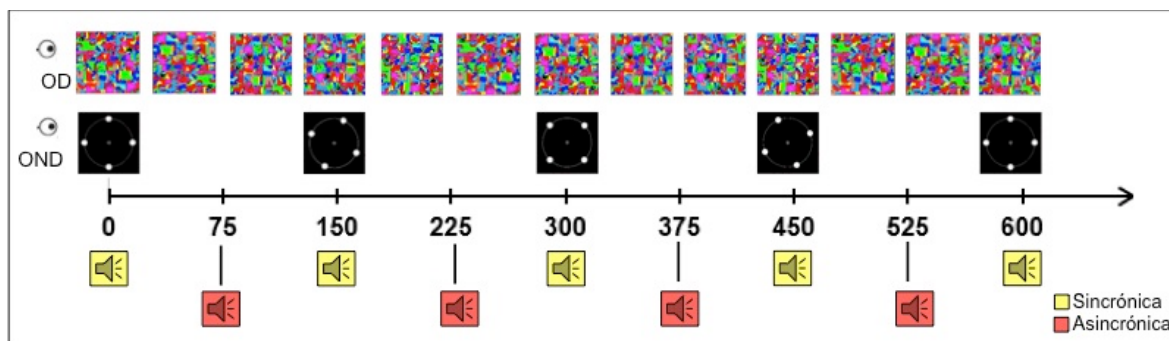


Figura 6. Representación multimodal. Los cuadros de las secuencias visuales mostradas a cada ojo y la presentación del sonido (de 10 milisegundos de duración) en cada condición con respecto al tiempo (en milisegundos) representado en un eje horizontal. El cambio de cuadro de la secuencia de movimiento coherente ocurre cada 150 ms coincidiendo con la entrada del tono en ensayos sincrónicos. En contraste, en ensayos asincrónicos el tono no coincide con el cambio de cuadro. OD: ojo dominante; OND: ojo no dominante.

Procedimiento

La sesión experimental constó de 40 ensayos (50% sincrónicos y 50% asincrónicos) aleatorizados y distribuidos en un solo bloque. Entre cada ensayo se presentó un punto de fijación (pantalla en blanco con una cruz negra en el centro). La duración de cada ensayo fue de aproximadamente 5.8 segundos. Esto, aunado al tiempo para iniciar cada ensayo y los posibles ajustes del punto de fijación resultaba en una sesión de duración aproximada de entre 8 y 10 minutos.

Con el objeto de evaluar si la dominancia ocular es afectada por el proceso de integración de información visual y auditiva, cada participante fue sujeto a una prueba de supresión de flash continuo. Para ello, antes de comenzar, los participantes leyeron las instrucciones en las que se les pedía que acomodaran el rostro sobre un estereoscopio y una mano sobre el teclado para posteriormente ajustar, girando la perilla del estereoscopio, el punto de fijación hasta formar una cruz (éste se podía reajustar en cualquier momento si se percibía que se había movido).

La tarea consistió en que el participante diera un reporte continuo de su percepción (Clifford, 2009) mediante la presión sostenida de dos teclas, con cada una de las cuales se indicaba la predominancia de los dos posibles perceptos: a) ruido visual de colores (Mondrian) ó b) movimiento rotatorio de círculos sobre un eje, como se indicó en las instrucciones. El criterio de predominancia se definió como “más del 50% de lo que se ve en pantalla”. Se indicó a los participantes no presionar ninguna tecla si se percibía 50% de cada estímulo a la vez o si no se estaba seguro de cuál predominaba (Moutoussis, Keliris, Kourtzi, Logothetis, 2005). El participante alternaba entre las teclas conforme fluctuara su percepción durante la sesión por lo que no había límite en el número de alternancias entre teclas. Para iniciar cada ensayo debían presionar la barra espaciadora.

Se enfatizó en mantener la cabeza y vista lo más fijo que fuera posible para asegurar la proyección de los estímulos en ubicaciones correspondientes de los ojos (Tsuchiya & Koch, 2005), además de evitar presionar dos teclas a la vez. Se permitieron cinco ensayos de prueba a cada participante para familiarizarse con la tarea, aparte de resolver cualquier duda que tuvieran. El experimentador permanecía en el cuarto en silencio.

En la condición Sincrónica, el click auditivo se presentaba al iniciar cada cuadro de la secuencia visual de movimiento, es decir el sonido estaba sincronizado con cada cambio de cuadro (cambio de posición de los círculos) del estímulo presentado en el OND y con uno de cada tres Mondrian (ver Figura 6).

En la condición Asincrónica se la entrada del sonido ocurría a la mitad (pasados 75 milisegundos) de la duración de cada cuadro de la secuencia visual de movimiento aparente, por lo que no había coincidencia del tono con la tasa rotatoria del estímulo. En otras palabras, no hubo coincidencia entre el tono y el cambio de posición de los elementos del estímulo de movimiento ni con el cambio de Mondrian.

RESULTADOS

Previo al análisis de datos se revisaron las respuestas emitidas por los participantes para verificar si la tarea fue ejecutada de acuerdo a las instrucciones. Aquellos segmentos de los ensayos que contuvieron respuestas simultáneas para ambos estímulos (presionaron dos teclas a la vez) se consideraron ensayos inválidos y fueron excluidos del análisis final. Se analizaron los datos de aquellos participantes que utilizaron ambas teclas durante la sesión y que contaban por lo menos con el 75% de ensayos válidos por condición. Se excluyeron del análisis 10 participantes que contaban con menos del 75% de ensayos válidos.

Para ambas condiciones se estimaron y registraron las duraciones de respuesta en cada tecla y se calculó una sumatoria de éstas durante toda la sesión. Para el análisis de datos se trabajó con estas duraciones (en segundos) y, de manera repetida, se hará referencia a estas como "*reporte de predominancia perceptual*", es decir, el tiempo en que más del 50% de lo que el participante ve en pantalla corresponde al estímulo presentado en el OD (Mondrian) o al presentado en el OND (movimiento).

Dominancia ocular de los participantes

El 70% del total de los participantes mostró dominancia ocular derecha. Sin embargo, se encontraron diferencias de dominancia por género: 76.92% de las mujeres versus 57.14% de los hombres mostraron dominancia ocular derecha (ver Figura 7).

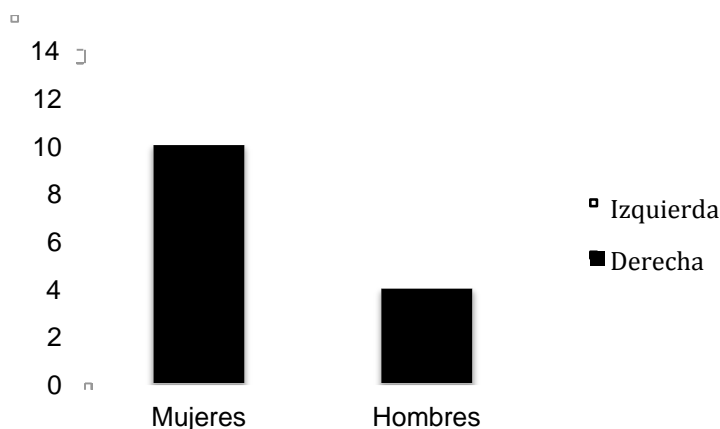


Figura 7. Composición de la muestra (N=20) por género y dominancia ocular. Nótese que participaron 13 mujeres de las cuales 10 tuvieron dominancia ocular derecha y 3 izquierda, así como 7 hombres (4 con dominancia ocular derecha y 3 con izquierda).

A falta de una condición sin sonido en el experimento, las comparaciones que se hicieron fueron entre las condiciones Sincrónica y Asincrónica. Asimismo, después de haber realizado varias pruebas estadísticas que, debido a muchas fuentes de error en el trabajo, resultaron no-

significativas, se decidió, en lugar de hacer un amplio reporte de la no-significancia estadística de los resultados en el estudio, explorar los datos utilizando distintas herramientas para analizarlos y observar aspectos interesantes y relevantes en la presente tesis.

Predominancia perceptual en el ojo dominante vs el ojo no-dominante

Se compararon los promedios del tiempo de predominancia perceptual del OD contra los del OND de acuerdo a cada condición (Sincrónica o Asincrónica).

Predominancia perceptual en la muestra completa

Al observar la muestra completa, el tiempo reportando predominancia del OD fue mayor (Asinc: $M=40.37$; Sinc: $M=38.01$) que el tiempo del OND (Asinc: $M=20.78$; Sinc: $M=22.39$), independientemente de la condición (ver Tabla 1, últimas filas).

Tabla 1. Duración del reporte de dominancia en la muestra completa

	Lateralidad	N	Asincrónica		Sincrónica	
			OD	OND	OD	OND
Mujeres + Hombres	a. Derechos	14	$M=41.04$	$M=23.42$	$M=37.90$	$M=24.71$
			$DS=21.26$	$DS=11.66$	$DS=19.97$	$DS=10.68$
	b. Izquierdos	6	$M=38.82$	$M=14.62$	$M=38.27$	$M=16.99$
			$DS=27.55$	$DS=10.00$	$DS=28.14$	$DS=10.86$
	c. Derechos + Izquierdos	20	$M=40.37$	$M=20.78$	$M=38.01$	$M=22.39$
			$DS=23.35$	$DS=11.89$	$DS=22.73$	$DS=11.30$

En la figura 8 se presentan estos datos, observándose un cruce de las líneas que representan cada condición; en las duraciones reportadas para el OND, a pesar de tratarse de diferencias pequeñas, se observa un aumento de la condición Asíncrona a la Sincrónica, mientras que para el OD sucede lo contrario, observándose una disminución de la condición Asíncrona a la Sincrónica.

Las pendientes de las rectas muestran en qué grado predomina la percepción de un ojo sobre el otro. Así, una pendiente de cero indicaría un balance perfecto entre la predominancia perceptual de ambos ojos y por ende, ausencia de dominancia ocular; en otras palabras: entre mayor sea la pendiente, mayor es el grado de dominancia ocular.



Figura 8. Promedio de predominancia perceptual reportada para cada ojo de acuerdo a las condiciones Sincrónica y Asíncrona. Se muestran los resultados de la muestra completa.

Predominancia perceptual por género

Dado que hombres y mujeres suelen mostrar distinto grado de lateralización (Porac & Coren, 1975; Kovalev, Kruggel & von Cramon, 2003), se dividió a los participantes de acuerdo al género para observar si existían diferencias entre los grupos. Como se puede observar en la Tabla 2, tanto en el grupo de mujeres como en el de hombres, el tiempo reportando predominancia del OD, en ambas condiciones, es mayor que el tiempo del OND, de manera similar a lo que se observó en los datos agrupados.

Tabla 2. Duración del reporte de dominancia por género

Género	Lateralidad	N	Asincrónica		Sincrónica	
			OD	OND	OD	OND
Mujeres	a. Derechos	10	<i>M</i> =42.77	<i>M</i> =21.09	<i>M</i> =39.52	<i>M</i> =23.12
			<i>DS</i> =20.92	<i>DS</i> =7.63	<i>DS</i> =18.95	<i>DS</i> =7.17
	b. Izquierdos	3	<i>M</i> =33.02	<i>M</i> =16.51	<i>M</i> =33.61	<i>M</i> =18.78
			<i>DS</i> =22.99	<i>DS</i> =8.95	<i>DS</i> =24.82	<i>DS</i> =10.13
	c. Derechos + Izquierdos	13	<i>M</i> =40.52	<i>M</i> =20.03	<i>M</i> =38.16	<i>M</i> =22.12
			<i>DS</i> =21.81	<i>DS</i> =8.19	<i>DS</i> =20.61	<i>DS</i> =8.16
Hombres	a. Derechos	4	<i>M</i> =36.70	<i>M</i> =29.25	<i>M</i> =33.84	<i>M</i> =28.68
			<i>DS</i> =21.47	<i>DS</i> =16.81	<i>DS</i> =21.77	<i>DS</i> =15.76
	b. Izquierdos	3	<i>M</i> =44.62	<i>M</i> =12.73	<i>M</i> =42.93	<i>M</i> =15.20
			<i>DS</i> =30.36	<i>DS</i> =10.61	<i>DS</i> =30.39	<i>DS</i> =11.26
	c. Derechos + Izquierdos	7	<i>M</i> =40.09	<i>M</i> =22.17	<i>M</i> =37.73	<i>M</i> =22.90
			<i>DS</i> =25.96	<i>DS</i> =16.63	<i>DS</i> =26.21	<i>DS</i> =15.51

Como se puede ver en la figura 9a, en el grupo de mujeres, el cruce de las líneas es muy similar al observado en la muestra completa, aumentando de la condición Asincrónica a la Sincrónica en el OND y disminuyendo de la condición Asincrónica a la Sincrónica en el OD.

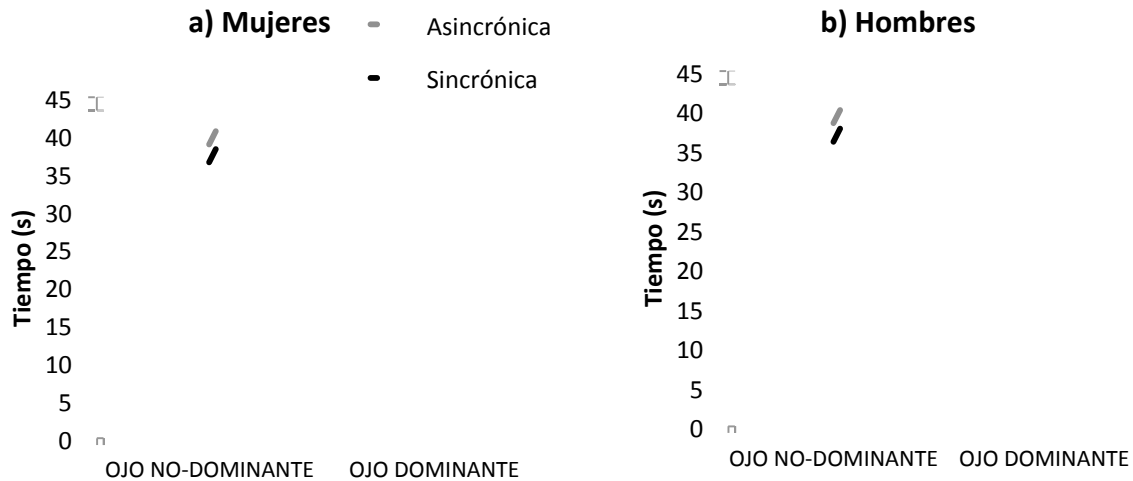


Figura 9. Promedio de predominancia perceptual reportada para cada ojo de acuerdo a las condiciones Sincrónica y Asincrónica. Se muestran los resultados del grupo de mujeres y el de hombres.

En cuanto al grupo de hombres, se observan cambios en la misma dirección que en los grupos ya descritos, sin embargo, el aumento de duración de la condición Asincrónica a la Sincrónica en el OND, parece ser más pequeño que el observado en el grupo de Mujeres.

Predominancia perceptual por lateralidad

Se ha demostrado que la lateralización es distinta en individuos derechos e izquierdos (Porac & Coren, 1975) por lo que se realizó una comparación de las duraciones entre participantes de dominancia ocular izquierda con aquellos de dominancia derecha. Como se

muestra en la figura 10, para derechos e izquierdos el tiempo reportando predominancia en el OD es mayor que el del OND, tanto en la condición Sincrónica como en la Asincrónica.

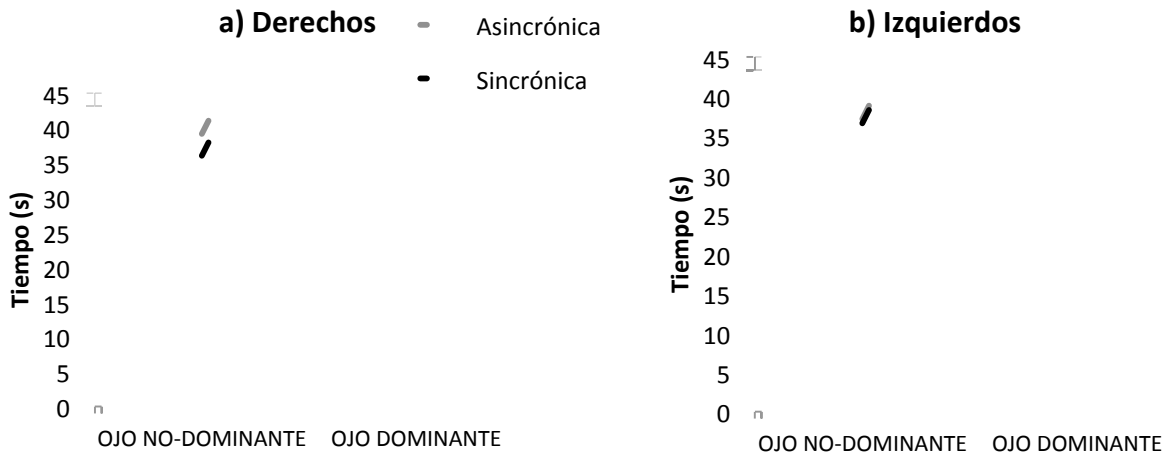


Figura 10. Promedio de predominancia perceptual reportada para cada ojo de acuerdo a las condiciones Sincrónica y Asincrónica. Se muestran los resultados del grupo de individuos de dominancia derecha y aquellos de dominancia izquierda.

De nuevo, en el grupo de derechos se observa un cruce de las líneas en la misma dirección con un aumento en la predominancia del OND de la condición Asincrónica a la Sincrónica y una disminución en el OD de la condición Asincrónica a la Sincrónica. La disminución en el OD es más pronunciada que el aumento en el OND.

En cuanto a los izquierdos, las líneas se cruzan de manera similar a pesar de que la magnitud del aumento en el OND y la disminución en el OD de la condición Asincrónica a la Sincrónica difieren con respecto al grupo de derechos, siendo mayor el aumento en el OND que la disminución en el OD.

Índice de dominancia ocular: porcentaje de dominancia del OD

Los resultados muestran, de manera general, mayor predominancia perceptual del OD independientemente de la condición. De manera más relevante, se observa consistentemente un aumento en la duración de predominancia perceptual en el OND en la condición Sincrónica con respecto a la Asincrónica y una disminución de la misma en el OD.

Como se puede ver claramente en las gráficas anteriores, estos cambios se ven reflejados en una menor pendiente de la recta correspondiente a la condición Sincrónica en comparación con la pendiente de la Asincrónica.

Como se mencionó anteriormente, las pendientes muestran el grado de predominancia perceptual de un ojo sobre el otro. La pendiente de cada línea es por lo tanto, un índice de dominancia ocular. En la tabla 3, columnas "Asincrónica" y "Sincrónica", se presentan las pendientes calculadas como un cambio porcentual: la diferencia entre las duraciones reportadas en cada ojo en la condición respectiva (i.e., Duración OD_a - Duración OND_a) en relación a la duración reportada en el OD (Duración OD_a); es decir, en qué medida domina el OD en cada condición. Por ejemplo, el índice de dominancia para la condición Asincrónica con los datos de la muestra completa, sería de 48.53% = $[40.37 - 20.78] \div 40.37 * 100$ (ver Figura 8 y Tabla 1, últimas filas, columna 'Asincrónica').

Tabla 3. Porcentaje de dominancia del OD por condición y reducción porcentual de la dominancia ocular por sincronía audio-visual.

	Asincrónica	Sincrónica	Diferencia	Reducción Porcentual
MUESTRA COMPLETA	48.53%	41.09%	7.44%	15.32%
MUJERES	50.56%	42.04%	8.52%	16.84%
HOMBRES	44.71%	39.30%	5.41%	12.10%
DERECHOS	42.93%	34.81%	8.12%	18.91%
IZQUIERDOS	62.34%	55.61%	6.74%	10.80%

Como se puede ver, los valores de la condición Asincrónica son mayores que los valores respectivos en la condición Sincrónica. Dicho de otro modo: los valores en la condición Sincrónica están más cerca de cero (valor que indicaría un balance perfecto entre ambos ojos) que los de la Asincrónica. Esto quiere decir que al presentar un estímulo auditivo en sincronía con el conjunto visual, se observa un efecto de disminución del grado de dominancia del OD con respecto a la condición de asincronía, tanto en la muestra completa como en los grupos de participantes por género y por lateralidad.

Índices de Reducción de la dominancia ocular: Diferencia entre condiciones y Reducción porcentual

El cambio en las pendientes al pasar de una condición a otra nos permite tener una estimación del efecto de la manipulación. Específicamente, la diferencia entre los índices de dominancia del OD en cada condición (i.e., asincrónica - sincrónica) aparece en la tercera columna de la tabla 3, señalando el efecto de reducción de dominancia ocular al presentar sincronía audio-visual en el OND en lugar de asincronía audio-visual. Los valores de reducción de la dominancia van de 5.41% hasta 8.52%, observándose el mayor efecto en el grupo de mujeres (8.52%) y el menor en el grupo de hombres (5.41%). Toda vez que cada grupo de participantes tiene un punto inicial o línea base de dominancia (i.e., % de dominancia del OD en la condición Asincrónica) diferente, cada valor de la columna “Diferencia” se dividió entre su valor respectivo de la columna “Asincrónica” para comparar de manera adecuada las reducciones entre grupos. Los cambios porcentuales en dominancia ocular se muestran en la última columna de la tabla 3 y de manera gráfica en la figura 11.



Figura 11. Reducción porcentual de dominancia por sincronía audio-visual.

En la muestra completa hubo una reducción de dominancia ocular del 15.32%. En cuanto a los grupos por género se observa una mayor reducción de dominancia ocular en el grupo de mujeres (16.84%) que en el de hombres (12.10%). Por último, las mayores diferencias en el efecto de reducción se observan al comparar a los derechos contra izquierdos, siendo el grupo de derechos el que muestra mayor reducción de dominancia ocular (18.91% vs 10.80% en los izquierdos).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los seres humanos, como otras especies de mamíferos, requieren generar una percepción integrada del entorno para interactuar con él de forma provechosa. Esto se logra a través de promover la integración de la información proveniente de las distintas vías sensoriales. En años recientes, grandes avances se han hecho para entender los mecanismos que operan para que la integración multisensorial tenga lugar. En este trabajo, utilizamos un protocolo que nos permitió

evaluar el efecto de la presentación bimodal simultánea sobre el fenómeno de formación de imágenes. A pesar de que se considera probable que la información audio-visual en este estudio haya pasado por un proceso de integración multisensorial, dadas las condiciones en que fueron presentados los estímulos, en el experimento no se contó con las herramientas para confirmar que esto haya sido así, por lo que en vez de hacer referencia a “información audio-visual integrada” se menciona “información audio-visual presentada de manera simultánea”.

En general se concibe que una imagen se forma con base en contribuciones equivalentes de la información producida por ambos ojos. Sin embargo, esto no es así. La imagen se forma con la información proveniente predominantemente del OD (Xu et al., 2011). Esta situación experimental permitió evaluar si la información sensorial audio-visual, probablemente multi-integrada modifica la adquisición de información en una modalidad sensorial, pues aquella podría contrabalancear o exagerar la dominancia ocular.

Nuestros resultados mostraron que el tiempo reportando predominancia perceptual en el OD es mayor que aquel en el OND tanto en la condición Sincrónica como en la Asincrónica. Este resultado no es sorprendente dado el método utilizado (SFC). La saliencia del Mondrian es mucho mayor que la del estímulo en movimiento, además de que fue el OD al que se presentó con dicho estímulo. En esta situación, era de esperar que la predominancia perceptual del OND fuera inferior. Por esta razón, es también de esperar que en ningún resultado el tiempo del OND se equipare con el del OD. A pesar de esto, las pendientes (porcentajes de dominancia del OD) de las rectas de la condición Sincrónica se acercan más a cero que aquellas de la condición Asincrónica en todos los grupos de participantes. Esto sugiere que durante la condición de sincronía hay un mayor equilibrio entre la dominancia de ambos ojos, resultando en una percepción extendida del estímulo de movimiento, en comparación con el mismo indicador

observado en la condición Asíncrona, en la cual se observa un mayor porcentaje de dominancia del OD .

En la Tabla 3 se puede observar que hubo un mayor efecto de reducción de la dominancia ocular en el grupo de derechos (reducción porcentual de 18.91%) y un menor efecto en el grupo de izquierdos (10.80%). En cuanto a los grupos de acuerdo al género, el efecto de reducción en el grupo de mujeres es mayor (16.84%) que en el de hombres (12.10%). Estos resultados pueden relacionarse con el grado de lateralización de las funciones cerebrales entre ambos sexos (Kovalev, Kruggel & von Cramon, 2003) y entre individuos derechos e izquierdos (Porac & Coren, 1975).

No es sencillo argumentar si los índices obtenidos en los resultados (porcentajes de dominancia ocular, las diferencias entre los mismos y el índice de reducción de la dominancia) son o no significativos dado que no se tienen parámetros o referencias con las cuales compararlos. La pregunta que surge es si el porcentaje de reducción de la dominancia ocular del OD es grande o pequeño, relevante o no. La respuesta más mesurada es: depende con qué se compare. Por poner un ejemplo, al hablar de estatura, un cambio del 10% en la estatura esperada de una persona de 1.60 m significaría medir 16 cm más (o menos); sin duda un 10% es muy significativo. Y si se comparara con las diferencias apenas perceptibles de los sentidos, ¿10% sería mucho o poco? Como punto de comparación podemos considerar la fracción de Weber para detectar un cambio en luminosidad, que es de aproximadamente $1/60$ y que equivale a un cambio menor al 2%.

Asimismo, es importante recordar el contexto en el que se dieron las reducciones en dominancia: todas las condiciones favorecían la predominancia del percepto en el OD: su misma condición de dominancia que se refleja en preferencia perceptual, además de la altísima saliencia

del Mondrian (ésta es tal, que usualmente en estudios de SFC, el percepto del Mondrian prevalece durante largo tiempo suprimiendo por completo el estímulo presentado en el ojo contrario). Aun dentro de dicho contexto, los resultados del presente estudio indican una reducción de esta dominancia del OD. Así, a pesar de no contar con parámetros con los cuales comparar los índices que fueron calculados, éstos sugieren que los resultados obtenidos pueden ser de importancia en la reducción de la dominancia ocular al presentar un estímulo auditivo de manera sincrónica con un conjunto visual.

Estudios previos sugieren que la probabilidad de que ocurra un proceso de integración multisensorial es mayor cuando los estímulos de distintas modalidades son presentados al mismo tiempo (principio temporal) y desde la misma localización (principio espacial; Stein et al., 1993). A pesar de que se encuentran diferencias entre las condiciones al observar los índices calculados, sugiriendo un efecto de la sincronización audio-visual sobre la dominancia ocular, es posible que los estímulos presentados como asincrónicos en realidad hayan sido procesados por el cerebro como sincrónicos, permitiendo así la integración audio-visual. Los estímulos de diferentes modalidades sensoriales tienen distintos tiempos de llegada al sistema nervioso central debido a diferencias físicas y neurales en el tiempo de transmisión (King, 2005; Vroomen & Keetels, 2010). Por una parte, el sonido viaja en el aire mucho más lento que la luz, llegando más tarde al órgano sensorial. Por otra parte, la transducción y el procesamiento neural de la información visual toma más tiempo que en la modalidad auditiva. Lo anterior resulta en una diferencia de latencias de respuesta de neuronas auditivas y visuales que normalmente no somos capaces de discriminar. Numerosos estudios han medido el rango de las diferencias en el tiempo de entrada que el cerebro tolera para tratar ambas fuentes de información como pertenecientes al mismo

evento (i.e., ventana temporal de integración multisensorial; Vroomen & Keetels, 2010). El tamaño de dicha ventana depende, entre otras cosas, de las características de los estímulos presentados, de diferencias individuales y de la modalidad o locación a la que se dirija la atención (Vroomen & Keetels, 2010). Para estímulos multimodales simples como bips y flashes se han encontrado ventanas de aproximadamente 25-50 ms (Vroomen & Keetels, 2010). En nuestro estudio, la entrada del estímulo auditivo en la condición Asincrónica estuvo desfasada 75 ms con respecto al cambio de posición del estímulo visual de movimiento. Es posible que, para los estímulos particulares utilizados, la ventana temporal de integración abarcara este valor por lo que dicho desfase temporal no haya sido suficiente para que el conjunto audio-visual fuera procesado como asincrónico. En estudios futuros sería interesante obtener el punto de simultaneidad subjetiva (no sólo el punto de simultaneidad física) para estos estímulos particulares así como observar los efectos de distintos valores de asincronía audio-visual sobre la dominancia ocular de los participantes.

En este último respecto, es importante considerar las características de la condición Asincrónica. Como se describió en el apartado del método, la entrada del estímulo auditivo en esta condición ocurría justo a la mitad, entre cada cuadro de la secuencia de movimiento rotatorio. De esta manera, no coincidía con el cambio de posición de los elementos, a diferencia de lo que ocurría en la condición Sincrónica. Sin embargo, la tasa de presentación del conjunto visual de movimiento y las tasas de presentación del estímulo auditivo en ambas condiciones eran las mismas (6.66 Hz). La diferencia entre condiciones fue el desfase en la entrada del tono. Una posible consecuencia de lo anterior es que en la condición Asincrónica haya ocurrido integración multisensorial al sincronizarse la ausencia del sonido y el cambio de cuadro del conjunto visual o lo que es lo mismo, del sonido y la ausencia de movimiento. Es decir, lo

contrario que en la condición Sincrónica. Si pudiéramos confirmar esta posibilidad, se implicaría que las diferencias entre condiciones de los efectos de reducción de dominancia ocular se ven oscurecidas porque en ambas condiciones estaría ocurriendo integración multisensorial. Asimismo, es interesante reflexionar que a pesar de que ocurriera integración en ambas condiciones, se observa un mayor efecto de reducción en la condición Sincrónica en todas las comparaciones realizadas.

Una interpretación alternativa de los resultados es que la influencia que tiene la información multi-integrada sobre la rivalidad binocular no siga las reglas utilizadas por los procesos de integración multimodal. De hecho existe la postura de que el principio de efectividad inversa podría no ser generalizable a todos los procesos de integración multimodal (Stein 2014). En apoyo a ambos conceptos, es de notar que en ambos casos experimentales, los estímulos auditivos fueron presentados por encima del umbral, lo que contraviene el principio de efectividad inversa de la integración multisensorial, el cual plantea que cuando al menos uno de los estímulos es sub-umbral, los efectos de integración multimodal son mayores (Stein et al., 1993).

Si bien nuestro estudio sugiere que la información audio-visual integrada puede en verdad modificar la integración de la imagen, pensamos que estos resultados son aún preliminares pues además de que no se obtuvieron resultados estadísticamente significativos, durante la ejecución de la tarea observamos que la realización de la misma fue difícil. Notamos, por ejemplo, que un número considerable de participantes cometió errores en el uso de las teclas, lo que condujo a la anulación del registro de sus respuestas. Pensamos que esto puede tener relación con las condiciones en las que se realizaron los ensayos bajo obscuridad y con la indicación de

permanecer con la vista fija en la pantalla. Idealmente se usaría un dispositivo con sólo las teclas necesarias (dos, en este caso) para disminuir este tipo de error. Asimismo, se propone enfatizar aún más la instrucción de tener cuidado en mantener los dedos en las teclas durante toda la sesión.

Otro elemento que permite deducir que la dificultad de la prueba pudo haber influido en los resultados reportados es el hecho de que muchos participantes, a pesar de haber entendido las instrucciones, presionaron dos teclas a la vez lo que condujo nuevamente a la anulación del registro de sus respuestas. Una posible causa de dichas respuestas es que los cambios rápidos de percepto y la observación de ‘perceptos de dominancia mixta’ (a los que se hará referencia a continuación) hayan influido sobre el tiempo de reacción para cambiar de tecla. Una alternativa para reducir el ruido de las respuestas simultáneas es limitar a usar un solo dedo para responder en ambas teclas.

Finalmente, muchos participantes permanecieron durante un alto porcentaje de tiempo (en varios casos mayor al 50% de la sesión) sin presionar tecla alguna. De acuerdo con las instrucciones, este tiempo de no-respuesta indica los periodos en los que no era claro cuál de los estímulos predominaba. Lo anterior sugiere que los participantes experimentaron largos periodos con perceptos de dominancia mixta o fragmentada en los que se percibía cerca del 50% de cada estímulo, dificultando al participante decidir cuál predominaba. Es probable que la alta variabilidad de tiempo sin responder se deba a diferencias individuales en el criterio de predominancia del percepto, siendo más laxos aquellos participantes con altos porcentajes y más estrictos aquellos con bajos porcentajes de respuesta durante la sesión. Sería interesante tomar en cuenta este aspecto en próximos estudios. En cuanto a la alta proporción de perceptos de dominancia fragmentada observada en el estudio, investigaciones recientes (Ludwig &

Hesselmann, 2015; Moors et al., 2014) reportan que los estímulos en movimiento son especialmente difíciles de suprimir incluso bajo SFC por lo que comúnmente los participantes experimentan largos periodos de percepción de dominancia mixta al trabajar con este tipo de estímulos. En estudios en los que, sin embargo, se ha logrado suprimir estímulos en movimiento los participantes reportan que permanece un percepto del movimiento (Polonsky, Blake, Braun & Heeger, 2000). Una alternativa a considerar en estudios futuros para lograr la supresión de estímulos dinámicos es la “Moving Mondrian Mask” propuesta por Moors et al. (2014).

En conclusión, la presente tesis sugiere que la presentación sincrónica de un estímulo auditivo con la secuencia de estimulación visual tiene un efecto de reducción de la dominancia ocular. A pesar de que los resultados se toman con cautela ya que no se cuenta con parámetros con los cuales comparar para determinar si dicho efecto es significativo o no, los resultados, así como la referencia que se tiene de los índices en estudios de psicofísica clásica, sugieren que el efecto obtenido puede ser de importancia en la modulación de la dominancia ocular —fenómeno del procesamiento unimodal visual— causada por algún efecto de procesamiento multisensorial (probablemente una interacción multimodal o integración multisensorial). A pesar de desconocer los mecanismos por los cuales sucede este fenómeno, los resultados sugieren que la información audio-visual simultánea tiene un efecto sobre la entrada unisensorial visual.

3. REFERENCIAS

Blake, R. (2001) A primer on binocular rivalry, including current controversies. *Brain & Mind*, 2, 5-38.

Blake, R. & Sekuler, R. (2006) *Perception* (5th edition). New York: McGraw-Hill.

- Blake, R., O'shea, R. P & Mueller, T. J. (1992) Spatial zones of binocular rivalry in central and peripheral vision. *Visual Neuroscience*, 8, 469-478.
- Carlson, N. (2007) Fisiología de la conducta (8ª edición). España: Pearson.
- Chadnova, E., Reynaud, A., Clavagnier, S., Baillet, S. & Hess, R. (2015) Short-term ocular dominance changes in human V1. *Journal of Vision*, 15, 378.
- Clifford, C. (2009) Binocular rivalry. *Current Biology*, 19, R1022.
- Costello, P., Jiang, Y., Baartman, B., McGlennen, K., He, S. (2009). Semantic and subword priming during binocular suppression. *Consciousness and Cognition*, 18, 375-382.
- Driver, J. & Spence, C. (2000) Multisensory perception: Beyond modularity and convergence. *Current Biology*, 10, R731-R735.
- Durand, A. C., Gould G. M. (1910) A method of determining ocular dominance. *Journal of the American Medical Association*, 55, 369-370.
- Ehrenstein, W. H., Arnold-Schulz-Gahmen, B. E. & Jaschinski, W. (2005) Eye preference within the context of binocular functions. *Graefe's Archive of Clinical and Experimental Ophthalmology*, 243, 926-932.
- Handa, T., Mukuno, K., Hiroshi, U., Niida, T., Shoji, N. & Shimizu, K. (2004) Effects of dominant and nondominant eyes in binocular rivalry. *Optometry and Vision Science*, 81, 377-382.
- Howe, P. D. & Livingstone, M. S. (2005). Binocular vision and the correspondence problem. *Journal of Vision*, 5, 800.
- Hubel, D. H. & Wiesel, T. N. (1977) Ferrier Lecture: Functional architecture of macaque monkey visual cortex. *Proceedings of the Royal Society of London*, 198, 1-59.
- Kandel, E. R. (2000) Principles of neural science (4th edition). United States: McGraw-Hill.

- King, A. J. (2005) Multisensory integration: Strategies for synchronization. *Current Biology*, 15, R339-41.
- Knierim, J. J. & Van Essen, D. C. (1992) Visual cortex: cartography, connectivity, and concurrent processing. *Current Opinion in Neurobiology*, 2, 150-155.
- Kovalev, V. A., Kruggel, F., & von Cramon, D.Y. (2003) Gender and age effects in structural brain asymmetry as measured by MRI, *Neuroimage*, 19, 895-905.
- Lennie, P. (1998). Single units and visual cortical organization. *Perception*, 27, 889-935.
- Levelt, W. J. (1968) On Binocular Rivalry. (Minor series 2. Psychological studies). The Hague: Mouton.
- Ludwig, K. & Hesselmann, G. (2015) Weighing the evidence for a dorsal processing bias under continuous flash suppression. *Consciousness and Cognition*, 35, 251-259.
- McGurk, H. & MacDonald, J. (1976) Hearing lips and seeing voices. *Nature*, 264, 746-748.
- Moors P., Wagemans J., de-Wit L. (2014) Moving stimuli are less effectively masked using traditional Continuous Flash Suppression (CFS) compared to a Moving Mondrian Mask (MMM): A test case for feature-selective suppression and retinotopic adaptation. *PLoS One*, 9, 1932-6203.
- Moutoussis, K., Keliris, G., Kourtzi, Z. & Logothetis, N. (2005) A binocular rivalry study of motion perception in the human brain. *Vision research*, 45, 2231-2243.
- Polonsky, A., Blake, R., Braun, J. & Heeger, D. J. (2000). Neuronal activity in human primary visual cortex correlates with perception during binocular rivalry, *Nature Neuroscience*, 3, 1153-1159.
- Porac, C. & Coren, S. (1975) Is eye dominance a part of generalized laterality? *Perceptual and Motor Skills*, 40, 763-769.

- Porac, C. & Coren, S. (1978) Sighting dominance and binocular rivalry. *American Journal of Optometry and Physiological Optics*, 55, 208-213.
- Raven, P. H. & Johnson, G. B. (2001) *Biology* (6th edition) Boston, MA: McGraw-Hill.
- Salomon, R., Lim, M., Herbelin, B., Hesselmann, G & Blanke, O. (2013) Posing for awareness: Proprioception modulates access to visual consciousness in a continuous flash suppression task. *Journal of Vision*, 13, 1-8.
- Schmiedchen, K., Freigang, C., Nitsche, I. & Rubsamen, R. (2012) Crossmodal interactions and multisensory integration in the perception of audio-visual motion –A free-field study. *Brain Research*, 1466, 99-111.
- Sekuler, R., Sekuler, A.B. & Lau, R. (1997) Sound alters visual motion perception. *Nature*, 385, 308.
- Sereno, M. I. & Allman, J.M. (1991). Cortical visual areas in mammals. In A. G. Leventhal (ed.), *The neural basis of visual function*. London: Macmillan, 160-172
- Shams, L., Kamitani, Y., & Shimojo, S. (2000). What you see is what you hear. *Nature*, 408, pp.788.
- Shams, L. & Kim, R. (2010) Crossmodal influences on visual perception. *Physics of Life Reviews*, 7, 269-284.
- Shimojo, S. & Shams, L. (2001) Sensory modalities are not separate modalities: plasticity and interactions. *Current Opinion in Neurobiology*, 11, 505-509.
- Shneur, E. & Hochstein, S. (2006). Eye dominance effects in feature search. *Vision Research*, 46, 4258-69.
- Shneur, E. & Hochstein, S. (2008) Eye dominance effects in conjunction search. *Vision Research*, 48, 1592-1602.

- Spence, C., Senkowski, D. & Roder, B. (2009) Crossmodal processing [Editorial Introductory]. *Experimental Brain Research*, 198, 107–111.
- Spence, C. (2012) Multisensory perception, cognition and behavior: Evaluating the factors modulating sensory integration. In Stein, B. E. (Ed.), *The new handbook of multisensory processing* (pp.241-264). Cambridge MA: The MIT Press.
- Stein, B. E. (2012) Introduction. In Stein, B. E. (Ed.), *The new handbook of multisensory processing* (pp.241-264). Cambridge MA: The MIT Press.
- Stein, B. E. & Meredith, M. A. (1993) *The Merging of the Senses*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Stein, B. E., London, N., Wilkinson, L. K., & Price, D. D. (1996). Enhancement of perceived visual intensity by auditory stimuli: A psychophysical analysis. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 8, 497–506.
- Stein, B. E., Stanford, T. R. & Rowland, B. A. (2014) Development of multisensory integration from the perspective of the individual neuron. *Nature Reviews Neuroscience*, 15, 520-535.
- Su, P., He, Z. J. & Ooi, T. L. (2009). Coexistence of binocular integration and suppression determined by surface border information. *Proceedings of National Academy of Sciences*, 106, 15990-95.
- Tsuchiya, N. & Koch, C. (2005). Continuous flash suppression reduces negative afterimages. *Nature Neuroscience*, 8, 1096-1101.
- Vedamurthy, I., Suttle, C. M., Alexander, J. & Asper, L. J. (2007) Interocular interactions during acuity measurement in children and adults, and in adults with amblyopia. *Vision Research*, 47, 179-188.

- Vroomen, J. & Keetels, M. (2010) Perception of intersensory synchrony: A tutorial review. *Attention, Perception & Psychophysics*, 4, 871-884.
- Walker, J.T. & Scott, K.J. (1981) Auditory-visual conflicts in the perceived duration of lights, tones, and gaps. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 7, 1327-1339.
- Wolfe, J., Kluender, K., Levi, D., Bartoshuk, L., Herz, R., Klatzky, R. & Lederman, S. (2006) *Sensation and Perception*. Sunderland, MA: Sinauer Associates, Inc.
- Xu, J. P., He, Z. J. & Ooi, T. L. (2011) A binocular perimetry study of the causes and implications of eye dominance. *Vision Research*, 51, 2386-97.
- Yang, E., Brascamp, J., Kang, M. & Blake, R. (2014) On the use of continuous flash suppression for the study of visual processing outside of awareness. *Frontiers in psychology*, 5, 1-17.
- Yang, Y.H. & Yeh, S.L. (2014) Unmasking the Dichoptic Mask by Sound: Spatial Congruency Matters. *Experimental Brain Research*, 232, 1109-16
- Zeki, S. (1994) *A vision of the brain*. Oxford: Blackwell scientific publications.

4. ANEXO: FISIOLÓGÍA DEL SISTEMA VISUAL EN EL HUMANO

La energía luminosa de un objeto pasa del fondo del ojo (retina) al encéfalo por medio del nervio óptico, constituido por los axones de las neuronas ganglionares. Existen dos vías por cada ojo, cada una proveniente de cada mitad de la retina (hemirretina nasal y hemirretina temporal). Al llegar al quiasma óptico (un espacio en forma de “X”) la mitad de la información (de las hemirretinas nasales) se cruza y continúa sobre el tracto óptico hasta llegar al núcleo geniculado lateral (NGL) del tálamo contralateral, mientras que la otra mitad (de las hemirretinas temporales) se mantiene en el mismo lado del encéfalo haciendo sinapsis con neuronas del NGL ipsilateral (Blake & Sekuler, 2006). En otras palabras, al mirar al frente, cada uno de los hemisferios recibe información de una parte del campo visual ipsilateral y de una parte del contralateral.

En el NGL se mapea el campo visual de manera altamente organizada proveyendo una importante base neural para la ubicación espacial (Wolfe et al., 2006). En general el NGL parece servir como una estructura en la que la retroalimentación de otras áreas del cerebro modula los inputs provenientes de los ojos (Wolfe et al., 2006) antes de llegar a corteza, sin embargo se le considera una estructura relativamente simple al servir como una “estación de una sinapsis” (Hubel & Wiesel, 1977).

A través de las radiaciones ópticas, la información pasa del NGL a la corteza visual primaria (también conocida como corteza estriada o área V1) localizada rodeando la cisura calcarina en el lóbulo occipital posterior (Carlson, 2007). Al igual que el NGL, la corteza estriada tiene un mapeo topográfico del campo visual (Zeki, 1994).

Esencialmente, en el área V1 se extraen las características básicas o dimensiones primarias de la información visual: luminancia, textura, color, disparidad binocular, frecuencia

espacial, orientación y movimiento (Carlson, 2007; Lennie,1998), en módulos formados por neuronas que responden a propiedades individuales en una pequeña porción del campo visual (Carlson, 2007).

Posteriormente, la mayor parte de información viaja a la corteza extraestriada o corteza de asociación, igualmente dividida en regiones especializadas en dimensiones visuales particulares y con mapas topográficos del campo visual. En esta fase la información se integra y organiza permitiendo la percepción de los objetos y de la escena visual (Carlson, 2007).

De la corteza extraestriada la información diverge en dos corrientes principales: la ventral que va hacia el lóbulo temporal, involucrada en la identificación del objeto; y la dorsal que va hacia el lóbulo parietal, implicada en el análisis de movimiento y ubicación espacial del objeto (Carlson, 2007; Lennie, 1998).