

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



**“MOVIMIENTOS OCULARES COMO MARCADORES DE LA  
PERCEPCIÓN DE OBJETOS VISUALES”**

**IVÁN ANTONIO PLAZA ROSALES**

**TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGISTER EN NEUROCIENCIAS**

**DIRECTOR DE TESIS: DR. PEDRO MALDONADO A.**

**2016**

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

**INFORME DE APROBACION TESIS DE MAGISTER**

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

**IVÁN ANTONIO PLAZA ROSALES**

**ha sido aprobada por la Comisión Informante de Tesis como requisito para optar al Grado de Magister en Neurociencias en el Examen de Defensa de Tesis rendido el día 14 de Septiembre 2016**

**Prof. Dr. Pedro Maldonado Arbogast  
Director de Tesis**

**COMISION INFORMANTE DE TESIS**

**Prof. Dr. Rómulo Fuentes**

**Prof. Dr. Paul Délano**

**Prof. Dr. Adrián Ocampo  
Presidente Comisión**

**Dedicada a todos aquellos que han depositado su confianza en mí,  
en el transcurso de este viaje.**

***“Cada trecho recorrido enriquece al peregrino y  
lo acerca un poco más a hacer realidad sus sueños ”***

**Paulo Coelho**

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer a mis padres, Sandra y Hernán  
por hacer todo lo posible e imposible  
para ser los pilares de mi vida.

Quiero agradecer a mis hermanos Rodrigo y Diego  
por siempre entender y apoyar  
cada una de mis decisiones.

Quiero agradecer al profesor Dr. Pedro Maldonado por entregarme  
la oportunidad de conocer la ciencia de una forma diferente,  
desde una perspectiva que atrapa y envuelve  
de la cual espero nunca salir.

Quiero también agradecer a Samuel Madariaga, inicialmente  
un loco simpático y ahora un gran amigo, por todo el  
tiempo dedicado para ayudarme a entender el  
lado más duro de la ciencia, la estadística.

Quiero agradecer a cada una de las personas que han  
formado parte de este proceso, amistades  
del laboratorio, del trabajo y de la vida,  
cada uno tutores y guías de mi  
formación como persona.

Gracias.

## ÍNDICE

<b>1.RESUMEN .....</b>	<b>7</b>
<b>1.1ABSTRACT .....</b>	<b>8</b>
<b>2.INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>9</b>
<b>2.1 Percepción visual .....</b>	<b>9</b>
<b>2.2 Microsacadas .....</b>	<b>10</b>
<b>2.3.Movimientos oculares y objetos visuales .....</b>	<b>12</b>
<b>2.4.Características del objeto .....</b>	<b>17</b>
<b>3.HIPÓTESIS .....</b>	<b>23</b>
<b>4.OBJETIVOS .....</b>	<b>24</b>
<b>4.1General .....</b>	<b>24</b>
<b>4.2 Específicos .....</b>	<b>24</b>
<b>5.MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>25</b>
<b>5.1.Sujetos de estudio y estímulos .....</b>	<b>25</b>
<b>5.2.Procedimiento .....</b>	<b>27</b>
<b>5.3.Análisis de datos .....</b>	<b>29</b>
<b>6.RESULTADOS.....</b>	<b>36</b>
<b>6.1.Descripción del comportamiento visual.....</b>	<b>36</b>
<b>6.2.Distribución de fijaciones .....</b>	<b>38</b>
<b>6.3.Distribución de sacadas y microsacadas .....</b>	<b>40</b>
<b>6.4.Comparación de fijaciones, sacadas y microsacadas con reporte .....</b>	<b>43</b>
<b>6.5.Características de los patrones de microsacadas por tamaño.....</b>	<b>48</b>

<b>6.6.Características de los patrones de microsacadas por forma .....</b>	<b>51</b>
<b>7.DISCUSIÓN .....</b>	<b>62</b>
<b>8.CONCLUSIONES.....</b>	<b>69</b>
<b>9.REFERENCIAS.....</b>	<b>70</b>
<b>10. ANEXOS .....</b>	<b>74</b>

## 1.RESUMEN

Nuestra percepción visual típicamente incluye la segmentación de objetos en una escena visual. Sin embargo, los mecanismos que determinan la construcción de estos objetos visuales son desconocidos. La exploración visual implica varios movimientos oculares tales como fijaciones, sacadas y microsacadas. Proponemos que la percepción visual de un objeto se constituye a través de la agrupación espacial de microsacadas y estas se correlacionan con el informe de los objetos percibidos, independientemente del tamaño y dependiente de la forma de estos objetos. Aquí, se muestra que usando una tarea de exploración libre, la agrupación de patrones de microsacadas se correlaciona de manera efectiva con los objetos percibidos. Contrastado con mapas de saliencia indican que las regiones con una mayor presencia de microsacadas representan la percepción de un objeto y no sólo son zonas que se destacan de la imagen por sus características físicas. La agrupación de microsacadas fue independiente del tamaño de los objetos percibidos, manteniendo el tamaño absoluto de la agrupación al escalar las imágenes de estímulo. Finalmente, encontramos que la disposición espacial de microsacádicos es dependiente de la forma de los objetos reportados, adoptando una forma parcial de acuerdo a la naturaleza de los objetos. Estos resultados pueden contribuir a la caracterización de la percepción de los objetos en una escena y arrojar luz sobre los mecanismos para la segmentación visual.

## 1.1 ABSTRACT

Our visual perception typically includes segmentation of objects in a visual scene. However, the mechanisms that end up building these visual objects are unknown. Visual exploration involves various eye movements such as fixations, saccades and microsaccades. We propose that the visual perception of an object is comprised by spatial clustering of microsaccades and correlates with the report of the perceived objects, independently of the size and dependent on objects shape. Here, we show that using a free viewing task, grouping patterns on microsaccades effectively correlate with perceived objects. Contrast saliency maps indicate that regions with a greater presence of microsaccades represent the perception of an object and not only areas that stand out from the image by its physical characteristics. The microsaccades grouping was independent of the objects perceived, maintaining the absolute size while scaling the stimulus images. Finally, we found that the spatial arrangement of microsaccades is dependent on the shape of the reported objects, adopting a biased shape according to the nature of the objects. These results can contribute to the characterization of the perception of objects in a scene and shed light on the mechanisms for visual segmentation.

## **2.INTRODUCCIÓN**

### **2.1 Percepción visual**

El mundo está constituido por un gran número de objetos que conforman escenas naturales y dan un sentido particular al análisis de cada observador, entendiendo este acto de percepción como el proceso cognitivo inicial por el que se construye conocimiento, que visto desde la neurociencia tradicional necesita contar con un mundo externo distinto al concepto “mente” y físicamente tangible (Munar E.et al., 2007). Si todo proceso cognitivo es entendido como un proceso material debemos reconocer que se dará como un conjunto de funciones sustentadas por redes neuronales que permiten su propio desarrollo. Bajo este contexto la percepción visual se comprende como el funcionamiento de un sistema sensorio-motor que correlacionará actividades sensitivas y motoras en la observación de objetos visuales dentro de una escena natural (Maturana & Varela., 1984).

Para el reconocimiento de un estímulo visual a través de observación libre, sujetos humanos realizan alrededor de 3 a 4 fijaciones por segundo manteniendo los ojos relativamente quietos en los detalles, siendo este el período donde ocurre la adquisición de información visual (Van Diepen & D’Odewalle, 2003). Existe suficiente evidencia para afirmar que los receptores visuales no se encuentran estáticos ante un conjunto de estímulos, esto se ha comprobado en diversos estudios donde al imposibilitar el movimiento ocular en la ejecución de diferentes tareas visuales, lo que se hace más evidente en el reconocimiento de objetos, estos presentan niveles de

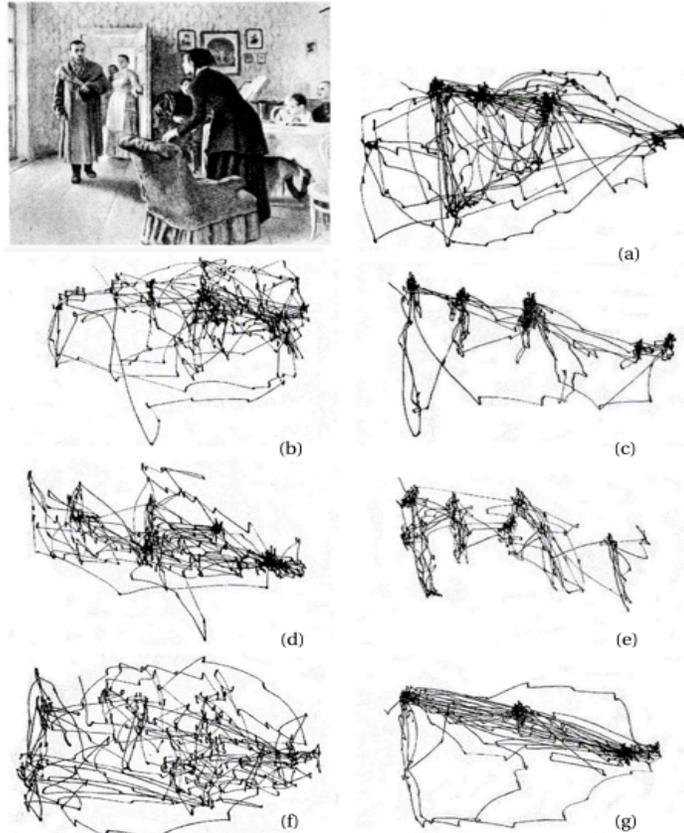
dificultad significativamente mayores llegando en algunos casos incluso a impedir su realización (Yarbus, 1967; Schlingensiepen et al., 1986). Una vez demostrado que estos períodos de fijación no son totalmente estáticos, se han identificado pequeños eventos que pueden acompañar esta fijación denominados sacadas fijacionales, conocidas también como sacadas de pequeña amplitud o “microsacadas” que contribuyen a mantener la visibilidad del estímulo impidiendo la adaptación de las neuronas a esta área de interés (Martínez-Conde et al., 2013).

## **2.2 Microsacadas**

Las microsacadas son definidas operacionalmente como: “Sacadas involuntarias que son generadas mientras se intenta fijar” (Martínez-Conde et al. 2006). Estos movimientos sacádicos son de muy baja amplitud ( $<1^\circ$  de magnitud) y en la observación libre de escenas permiten hacer una clara diferencia entre las sacadas generadas durante la exploración activa y micro movimientos dentro del periodo de fijación (Otero-Millan et al. 2008). Adicionalmente la evidencia experimental sobre la actividad neuronal en el colículo superior (CS) durante la ejecución de sacadas como microsacadas, específicamente el incremento de actividad de su porción foveal antes y durante las microsacadas, muestra una selectividad por la dirección y amplitud de estos movimientos. Además de su inactivación reversible con significativa reducción de tasa de microsacadas sin comprometer la fijación, permite a algunos autores sostener que ambos movimientos oculares serían parte de un continuo microsacadas-sacada. Esta estructura primitiva y altamente compleja del mesencéfalo se ubica un nivel antes del cuerpo geniculado

lateral (CGL) en la vía visual primaria, recibe el 20% de las fibras del nervio óptico (NO) con información visual proveniente de células ganglionares que descargan ante la estimulación luminosa, las cuales se sabe responden específicamente al “donde están los objetos” conformando de esta manera un mapa del espacio visual (Hafed, Z.M. et al. 2009, Martínez-Conde et al., 2004, 2009, 2013).

Pero, ¿Siempre se ejecuta el mismo patrón en la distribución de movimientos oculares?, a finales de la década de los sesenta se demostró que los movimientos oculares siguen patrones según la tarea, es de esta forma que cuando un sujeto observa una imagen realizará una serie de movimientos oculares para explorarla. Por lo tanto la acción tanto de fijaciones como de sacadas no es azarosa, sino que siguen patrones de exploración determinados (Buswell, 1935; Yarbus, 1967). En los trabajos de Yarbus en 1967, se obtuvo el registro de la conducta ocular graficada a través de líneas negras para los movimientos sacádicos y puntos negros para las fijaciones en la pintura “The Unexpected Visitor” que fue presentada, demostrando que existe cierta asociación entre los movimientos oculares y los objetos (Figura 1). Publicaciones posteriores sobre exploración de un área determinada, muestran que observar objetos de pequeño tamaño involucra escanear con pequeñas e infrecuentes sacadas, mientras que si el objeto observado es de mayor tamaño el escaneo es más amplio y frecuente (Otero-Millan et al. 2013).



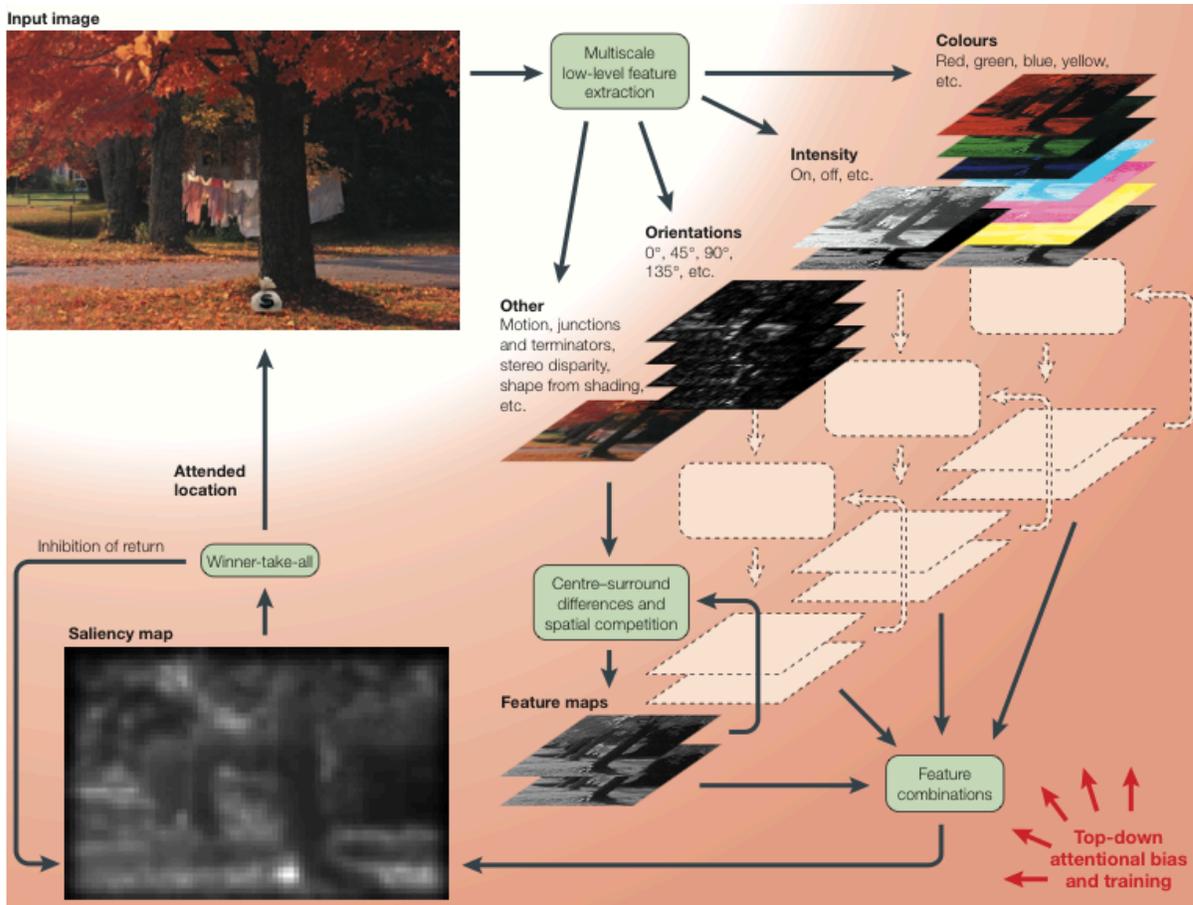
**Figura 1.** Exploración de la imagen (The Unexpected Visitor) frente a diferentes preguntas. Cada registro duró 3 minutos. (A) Exploración libre. (B) Estimar las circunstancias materiales de la familia de la imagen. (C) Dar a las edades de las personas. (D) Conjeturar sobre lo que la familia había estado haciendo antes de la llegada de la "visita inesperada". (E) Recordar las ropas de las personas. (F) Recordar la posición de las personas y los objetos de la habitación. (G) Estimación del tiempo que la visita inesperada había estado lejos de la familia. (Yarbus1967).

### 2.3.Movimientos oculares y objetos visuales

Estudios como los realizados por Berger et al. 2011, hacen referencia a una asociación entre la percepción de objetos visuales con las regiones de fijación, entendidas las fijaciones como aquellos movimientos por los cuales se adquiere la información visual. Las regiones o clúster estudiados corresponden a zonas de importancia dentro de la imagen, denominadas Regiones de Interés (ROI) las cuales

en la mayoría de las ocasiones se correlacionan con la saliencia dentro de una escena natural, solo con la excepción de imágenes que contuvieran caras de humanos o primates reenfocando la atención en ellos. Entonces los resultados obtenidos en primates (género *Cebus*) vienen a confirmar lo que muchos años antes Yarbus (1967) describió en tareas de exploración visual libre en sujetos humanos, desprendiendo además del estudio que estas ROI se encuentran la mayoría de las veces en directa relación con la presencia de objetos en la imagen, así como también con regiones de interés según características físicas de la propia imagen que estarían claramente determinadas por mapas de saliencia (Itti & Koch, 2000).

El funcionamiento de este modelo de saliencia se basa en extraer mapas de características de una imagen en varias escalas de codificación espacial y combinarlos en mapas de visibilidad separados (color, intensidad, orientación, etc.), finalmente cada mapa de visibilidad que codifica la saliencia para cada uno de estos dominios se combinan y se introducen en un mapa de saliencia único (Figura 2). Estos antecedentes son poco claros en decir que es efectivamente lo que representan estas regiones en la imagen, o si es posible en base a esto determinar que el ROI sea un marcador de la percepción de un objeto (Berger et al. 2011)



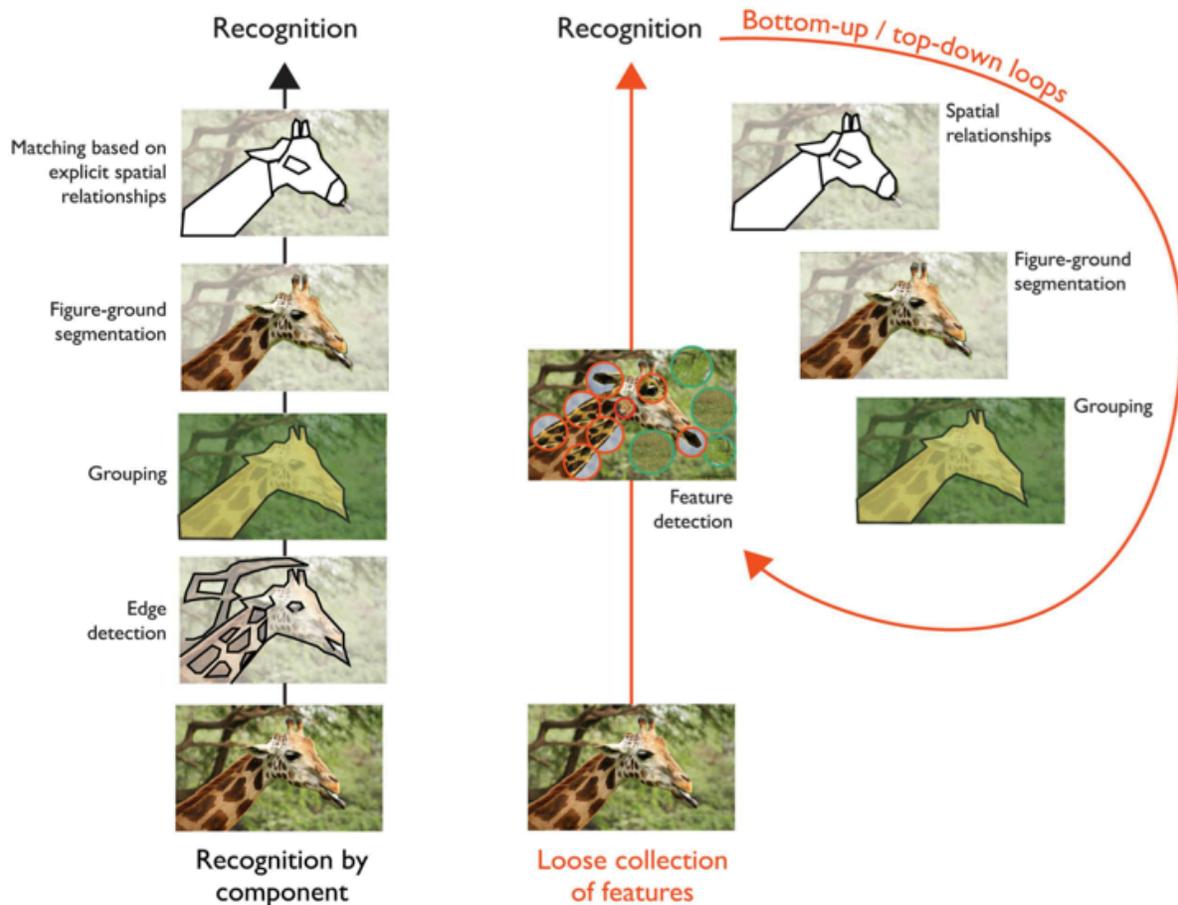
**Figura 2. Ejemplo del funcionamiento del modelo.** Diagrama típico de control de atención *bottom-up*. La imagen de entrada se descompone a través de varios mecanismos de detección en base a características pre-atencionales (sensibles al color, intensidad, orientación, entre otros), que operan en paralelo sobre la totalidad de la escena visual. Las neuronas en los mapas de características a continuación codifican para el contraste espacial en cada uno de esos dominios. Además, las neuronas de cada dominio compiten por la saliencia, a través de conexiones de largo alcance que se extienden más allá del alcance espacial del campo receptivo clásico de cada neurona. Después de esta competencia, los mapas de características se combinan en un único mapa de saliencia, que codifica para la saliencia topográfica independiente del dominio en que los estímulos aparecieron salientes. (Itti & Koch, 2001).

Se ha visto que estas regiones de la escena visual que tienden a presentar mayor cantidad de fijaciones en distintas pruebas de exploración visual libre, ya sea por características físicas como por saliencia de la imagen, tienen mayores valores de contraste espacial, luminancia local y por lo general menor correlación en la constitución pixel a pixel que lo conforma (Krieger et al., 2000).

Por otro lado, además de la región donde se orientan estas fijaciones, se han vistos cambios en su duración lo que se ha planteado como un indicador de estado de procesamiento, es decir, estarían revelando cambios en la estrategia de exploración dependiendo tanto de la tarea como su dificultad (Rayner, et al., 2007). Teniendo en cuenta estos antecedentes no es posible afirmar que los movimientos oculares dependan solo de las características del estímulo visual como la saliencia, más bien encontramos que dependen en gran medida de la participación de distintos mecanismos, poco claros aún para poder definir concretamente en qué momento estamos percibiendo un objeto visual dentro de una escena explorada y que características del objeto podrían ser relevantes a la hora de identificarlos.

A diferencia de los modelos iniciales o clásicos de reconocimiento visual de objetos que entregaban la idea de un análisis lineal, resaltando el papel de la agrupación, segmentación figura-fondo y la información espacial entre las partes, los actuales enfoques que han resultado exitosos se basan en el cálculo de conjunto de características sueltas propias de la imagen ligadas a través de una jerarquía que le permiten subir a etapas de procesamiento más complejas, sin necesidad de segmentación previa o cualquier tipo de codificación explícita de las relaciones

espaciales. Si bien estos modelos aun siguen siendo modelos bastante simplistas de procesamiento visual, sugieren que, la activación *bottom-up* de un conjunto disperso de características de la imagen podría estar apoyando el rápido reconocimiento de las diferentes categorías de objetos naturales y proporcionar de esta forma una representación visual gruesa inicial antes de un procesamiento visual más complejo que involucra varias secuencias de flujo de información *bottom-up / top-down* para dar respuesta a análisis específicos de detección de bordes, agrupación, segmentación figura-fondo y cálculos de relaciones espaciales, además de la activación de mecanismos atencionales (Crouzet SM, Serre T, 2011) (Figura 3).



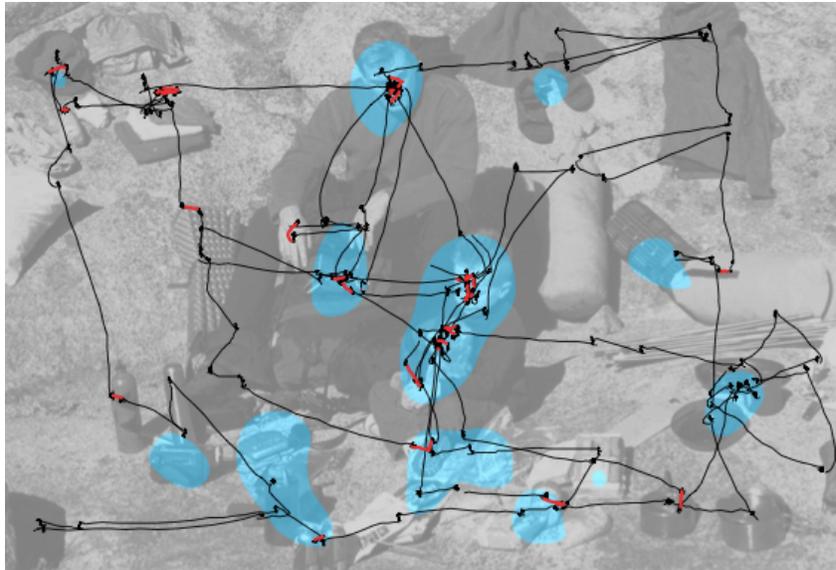
**Figura 3.** Descripción general de los pasos considerados en las teorías clásicas de reconocimiento de objetos (Izquierda). Una visión alternativa es la que resalta la activación *bottom-up* de un conjunto disperso de características de la imagen a través de una jerarquía de etapas de procesamientos que pueden proporcionar una representación visual inicial, incluyendo la detección de contornos, agrupación, y segregación de los objetos, así como el cálculo de las relaciones espaciales entre todas las partes. En términos generales, el análisis y la interpretación de escenas visuales complejas como son las escenas naturales (Crouzet SM, Serre T, 2011).

## 2.4. Características del objeto

Diversos estudios han intentado determinar cuáles son las características de los objetos o de una escena natural que generan concentración de fijaciones de forma más probable, respecto a su información *bottom-up* (Henderson, 2003).

Mackworth & Morandi, con sus estudios daban a entender que el control de los movimientos oculares se desarrollan en conjunto con diversos sistemas cognitivos (Mackworth & Morandi, 1967), actualmente conocidos como mecanismos de exploración *top-down* de la mirada (Henderson 2003). Por esta razón los objetos con características distintivas, ya sea por tamaño, color o forma diferente, se ha visto que a la exploración visual toman menos tiempo en ser reconocidos y analizados (Wolfe & Horowitz, 2004). Existe evidencia que respalda la existencia de ciertas regiones que tienden a ubicarse alrededor de los bordes delimitando los objetos, por lo que las estimaciones de predicción para fijaciones solo basadas en la información arrojada por el estímulo no son capaces de determinar con claridad si la fijación es por saliencia como propondrían los mapas de contraste o porque la fijación se realiza preferencialmente en objetos. Es más, estudios concluyen que los objetos de fijación se mantienen perceptualmente visibles en virtud de un alto contraste respecto de la escena visual (además de una posible alta frecuencia espacial) tanto o más que si este es pequeño o de presentación foveal (Costela et al. 2013).

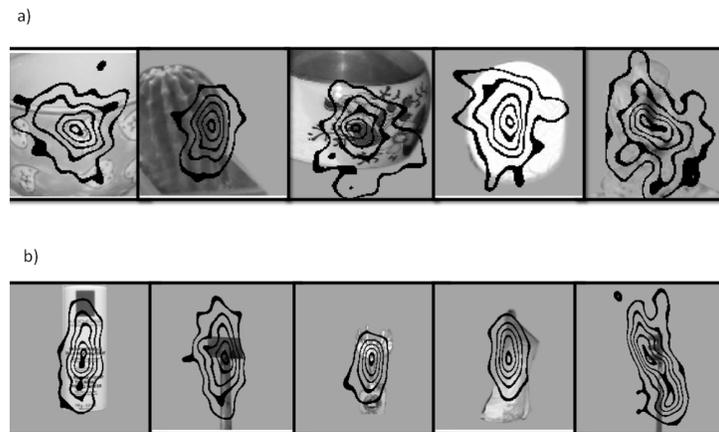
Martínez-Conde et al. (2014), definieron zonas de interés visual como “Regiones informativas” donde no siempre es posible determinar el objeto de percepción, a pesar de que coincidían con un aumento en el número y tiempo de fijación, adjudicándoles un rol en la adquisición de información a las microsacadas (Figura 4).



**Figura 4.** Regiones consistente e inconsistentemente fijadas en una tarea de percepción libre (Martínez-Conde et al., 2014). Se ejemplifica la trayectoria del ojo para un sujeto. Las líneas negras corresponden a la trayectoria de la posición del ojo en función del tiempo, y los puntos rojos denotan microsacadas.

Varios grupos de investigadores se han propuesto analizar la percepción de objetos visuales en base a la exploración libre de escenas naturales, pero olvidando el factor cognitivo que puede hacer la diferencia entre una región saliente por sus características físicas y la percepción efectiva de un objeto, lo cual puede ser corroborado mediante un reporte por parte de los sujetos experimentales. Los últimos estudios realizados en el Laboratorio de Neurosistemas de la Facultad de Medicina, Universidad de Chile por Rocío Loyola (Tesis de Magíster), contemplaban un diseño donde la presentación de objetos era de dos formas, una de ellas con objetos presentados dentro de una escena natural y otra donde su presentación era aislada dentro de un fondo gris. Dado esto, si el patrón de microsacadas de un objeto aislado es estadísticamente similar al objeto en la escena natural, esto sugeriría que ese patrón refleja la segmentación figura-fondo.

Se encontró un patrón de conducta ocular muy regular al realizar pruebas de observación libre de escenas naturales, generando mapas de densidad para las microsacadas que presentan clara tendencia a asumir la forma geométrica para un alto número de objetos analizados (Figura 5), Pero ¿qué ocurre si se modificamos el tamaño de los objetos?, evitando que estos sean inmediatamente vistos por la fovea o ¿se presentan patrones geométricos variados?, con estas nuevas condiciones ¿será posible reconocer más de una estrategia de conducta ocular en la percepción de objetos visuales?



**Figura 5.** Geometría de patrones de estímulos. a) Mapa de nivel de los objetos tienden a un patrón redondeado, b) Mapa de nivel de objetos alargados se asemejan más a un patrón elipsoide (Tesis de Magister Rocío Loyola, 2015)

Se sabe que la capacidad para percibir un objeto por la fovea se puede adaptar a cualquier excentricidad dada una ampliación suficiente del estímulo (muchas veces de forma lineal), donde esta condición es dependiente de la pérdida de sensibilidad. Para que la ampliación se realice con éxito y supere la pérdida de sensibilidad dependiente de la excentricidad, se estimula la visión periférica como

una versión a escala de la visión foveal, es decir, se mantienen los mecanismos disponibles en cada excentricidad para estímulos aislados. Sin embargo, en un contexto real raramente enfrentamos estímulos aislados, por lo que para entender la visión periférica se debe considerar sensibilidad a objetos en presencia de elementos no objetivo. Estos estudios están en la categoría de "*Crowding studies*" o "*estudios de hacinamiento*" (Gurnsey R., Roddy G., Chanab W., 2011). El "*Efecto Crowding*", es un efecto nocivo sobre los estímulos que afecta la identificación de un objetivo. Esto nos hace pensar que si la visión periférica es definida como una versión a escala de la visión foveal, entonces este efecto en la identificación de objetos deberá ser el mismo en cualquier región del campo visual de observación. Pero no es así, es más, cuando estímulos foveales y/o periféricos son presentados en tamaño cercano al umbral de discriminación se encuentran rodeados de halos del mismo tamaño en separaciones proporcionales al tamaño final del objeto (Toet y Levi, 1992).

Se ha visto en general que no es solo un aspecto del estímulo el que debe escalarse (aumentarse) con la excentricidad para obtener un rendimiento equivalente a la fóvea, que cuenta con una máxima capacidad de discriminación. Por otro lado Melmoth et al. (2000) encontraron que tanto el tamaño como el contraste de los estímulos tuvieron que ser reducidos a razón de la excentricidad para eliminar la variabilidad dependiente de sus datos de discriminación de los rostros. En registros de tareas de observación de destinos simultáneos se tiene una clara demostración de que las microsacadas muy tempranas después del inicio del estímulo, están altamente correlacionadas con la lectura de la representación visual instantánea la cual se encontraría la parecer definida por las características de estímulo.

Finalmente sabemos que las microsacadas con soporte espacial por estímulos periféricos pueden ser más difíciles de cancelar o detener que otros movimientos, debido a la presencia de actividad foveal asociada con el objetivo de fijación en mapas espaciales, como los generados por el colículo superior que pueden activar adicionalmente poblaciones en lugares excéntricos a través de ráfagas visuales. Por lo cual un movimiento al ser activado en el momento de ráfagas visuales periféricas en mapas espaciales generará la lectura de los mapas por regulación pre motora y motora *top-down* que serán decodificadas con movimientos de mayor amplitud (Hafed Z. M. et al, 2013).

Mediante esta investigación buscamos determinar si existe más de un patrón de movimiento ocular para la observación de objetos visuales, los cuales serán reportados por los sujetos de estudio, confirmando así una percepción activa para un conjunto de imágenes de escenas naturales. La estrategia de estudio considera condiciones de tamaño y formas geométricas variadas, obligando al sistema a diferenciar objetos del fondo de la escena.

### **3.HIPÓTESIS**

Durante la visión natural la percepción visual de un objeto se constituye en parte, a través de la agrupación espacial de movimientos oculares microsacádicos. Esto se manifiesta como la agrupación espacial de microsacadas sobre los objetos luego de explorar una imagen, fenómeno que ocurre independiente del tamaño pero dependiente de la forma del objeto reportado.

## **4.OBJETIVOS**

### **4.1 General**

Estudiar los patrones de sacadas, microsacadas y fijaciones frente a escenas naturales con objetos de diferentes tamaños y formas, para determinar si los movimientos microsacádicos constituyen en parte los objetos visuales reportados y si existe más de un patrón para realizarlo.

### **4.2 Específicos**

1. Registrar la conducta del movimiento ocular de sujetos humanos al realizar tareas de observación libre en escenas naturales con objetos de diferentes formas y tamaños. Tanto en imágenes originales como aquellas donde se ha seleccionado un 50% de la imagen para resaltar objetos particulares manteniendo su resolución.
2. Determinar en cada una de las imágenes, tanto originales como ampliadas (50% de la imagen), las distribuciones de fijaciones, sacadas y microsacadas producidas en la exploración libre.
3. Comparar las distribuciones de fijaciones, sacadas y microsacadas obtenidas de cada imagen con el auto reporte de los objetos más identificados por los sujetos en estudio.
4. Analizar las características de los patrones de microsacadas considerando el tamaño, forma y relación tamaño-forma de los objetos visuales.

## **5.MATERIALES Y MÉTODOS**

### **5.1.Sujetos de estudio y estímulos**

Se reclutaron un total de 21 sujetos (7 hombres/14 mujeres) todos alumnos pertenecientes a la Facultad de Medicina de la Universidad de Chile (rango de edad entre 19-23 años). Los sujetos poseen visión normal y ninguno contaba con conocimiento previo de la prueba en la que participo. El experimento se realizó bajo la aprobación del Comité de Ética de Investigación en Seres Humanos de la Facultad de Medicina (Anexo 6) y además fue acompañado con el consentimiento informado firmado por cada sujeto (Anexo 7). Los estímulos de prueba utilizados fueron 20 escenas naturales cada una con un total mínimo de 4 objetos. Inicialmente se eligieron 10 imágenes tipo escenas naturales que se presentaron sin modificación (Figura 6) y estas mismas 10 imágenes son utilizadas nuevamente pero seleccionando un 50% de la imagen original (para resaltar objetos particulares modificando su tamaño, pero manteniendo su resolución), y luego ser presentadas de forma aleatoria (Anexo 1). Cada escena natural fue recopilada de bancos de imágenes de acceso libre.



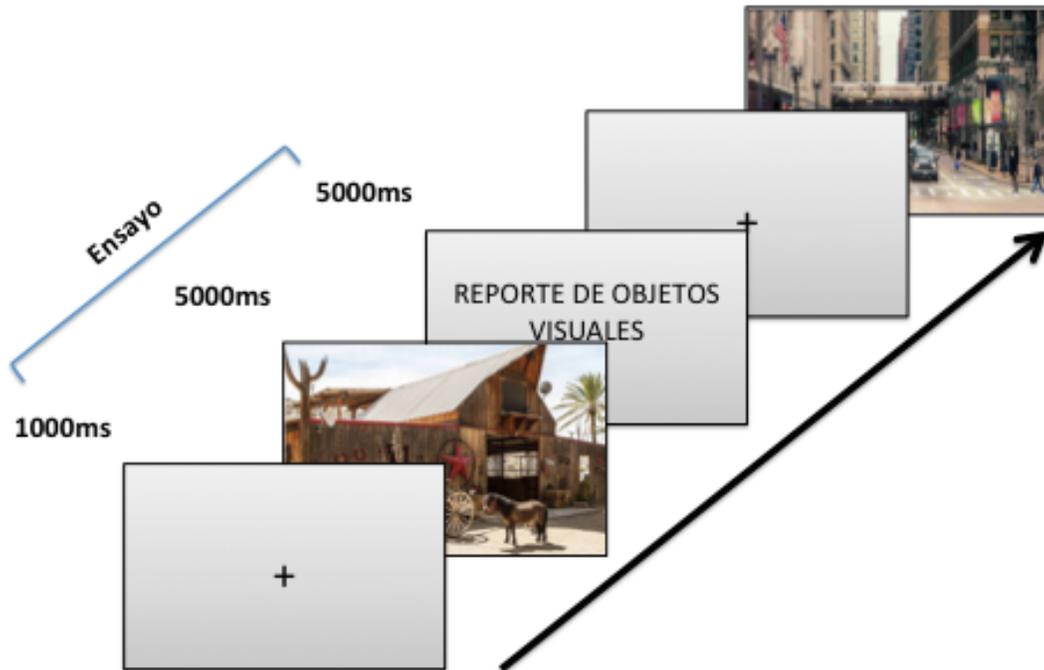
**Figura 6. Estímulos de prueba.** (arriba, imágenes originales) Corresponde al conjunto de imágenes naturales que fueron presentadas, (abajo, imágenes ampliadas) el cuadrado rojo representa el área seleccionada (50% aprox. del área total de la imagen), donde se concentraba la mayor cantidad de objetos reportados.

En este estudio, fue fundamental que la elección de imágenes contemplase objetos visuales de diferente tamaño y distintas formas, para lo cual previamente a la experimentación se realizó su validación presentando un amplio conjunto imágenes que cumplieran con las características previas a un grupo control de sujetos con las mismas características de la muestra a estudiar, a los cuales solo se les pidió que reportarán los objetos vistos por cada escena natural sin realizar el registro de sus movimiento oculares.

## **5.2.Procedimiento**

Los sujetos se ubicaron a 78 cm de distancia del monitor (Viewsonic de resolución 1080p, con un refresh rate de 60Hz) por lo cual las imágenes de escenas naturales observadas abarcaron cerca de los 49° visuales horizontales (48,75°) y 28° visuales verticales (28,16°). Se explicó a los participantes que debían explorar libremente cada una de las imágenes y que el registro de los movimientos oculares sería realizado mediante *Eyetracker* modelo Eyelink 1000 Desktop (SR Research Ltd., Mississauga, Ontario, Canadá), que consta de un sistema de rastreo de alta resolución temporal y espacial con una tasa de muestreo de 500Hz y con un ruido de posición menor a 0.01°, mientras se ejecutaba el experimento con el software Experiment Builder (SR Research versión 1.6.1.).

Experimento: Se presentó a los sujetos de estudio el conjunto de imágenes tipo escenas naturales (con objetos de diferente tamaño y forma) con distribución aleatoria, un primer conjunto de 10 imágenes de escenas naturales y un segundo conjunto correspondiente al 50% de una sección de interés de la imagen original. Se les pidió a los participantes que exploren libremente las imágenes en el monitor. Inicialmente se realizó una calibración por sujeto, la cual entrega un modelo predictivo a través del muestreo sucesivo de 5 puntos de locación conocida dispuestos en la pantalla. Posteriormente, esta información predictiva es evaluada a través de un proceso de validación, donde el sujeto fija nuevamente los 5 puntos de ubicación conocida; entregando un error de calibración o error de predicción, que equivale a la diferencia entre la posición de la mirada predicha y la muestra tomada en la validación. Para cada ensayo se presentó un objeto de fijación durante 1000 ms., luego aparece el estímulo (escena natural) de prueba en la pantalla durante 5000 ms. Los sujetos, posterior a la observación libre, tuvieron 5.000 ms para indicar los objetos percibidos. Para obtener un reporte de buena calidad y al mismo tiempo que los movimientos oculares fueran registrados, se grabó la respuesta de forma verbal de los sujetos sobre los objetos vistos dentro de la escena natural (Figura 7).



**Figura 7. Estructura del ensayo utilizado para la investigación.** Se realizó un total de 20 ensayos (cada ensayo contaba con una imagen distinta, 10 originales y 10 ampliadas un 50%). El tiempo total de un ensayo era de 11s considerando objeto de fijación, observación libre de la imagen y reporte de los objetos visuales

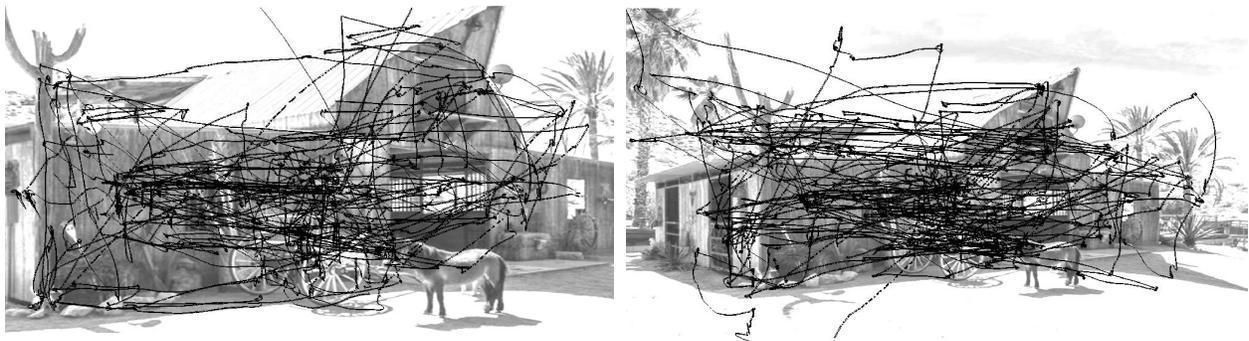
### 5.3. Análisis de datos

Para el análisis fue necesario en una primera instancia considerar el reporte verbal de cada uno de los sujetos, realizar su tabulación en Microsoft Excel y seleccionar los objetos que más fueron vistos por imagen, estos pasos son relevantes por sobre los antecedentes previos, ya que los resultados obtenidos se basan efectivamente en objetos percibidos por los sujetos y no solo predicciones computacionales de percepción (Anexo 2). El comportamiento ocular se registró e identificó por medio del algoritmo diseñado por SR Research, el que considera 3 tipos de eventos: fijaciones, sacadas y parpadeos, mientras que para determinar

ocurrencia de microsacadas se utilizaron los algoritmos de Engbert & Kliegl (2003) y Engbert & Mergenthaler (2006).

Con los datos adquiridos se analizó la distribución espacial de las fijaciones, sacadas y microsacadas con la intención de encontrar patrones específicos de agrupaciones de los movimientos microsacádicos sobre objetos previamente determinados de interés. Para esto se consideraron como objetos visuales todas aquellas regiones donde se encuentran los objetos más reportados para cada una de las imágenes. Con Photoshop CS6 se determinó un centro y se calculó el radio que contuviese todo el objeto, para luego determinar cuál es la región de fijación que comprende y cuál es la presencia de movimientos microsacádicos agrupados en esta área. Este corte se hizo estableciendo los límites manualmente para cada uno de los objetos, respetando la proporción cuando el objeto se encontraba ampliado un 50% (se guardaron las coordenadas en una tabla Microsoft Excel).

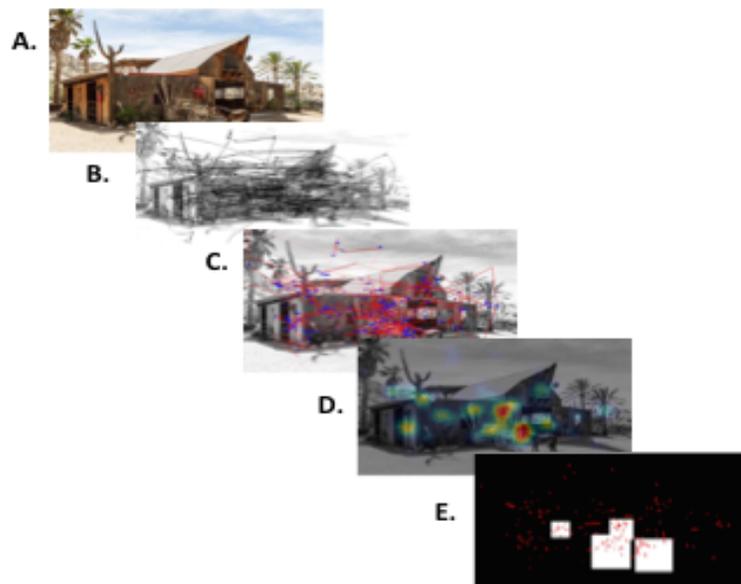
Se construyeron gráficos de imágenes, que fueron presentadas a través de un análisis cualitativo utilizando Yarbus para cada gráfico de imágenes (cada una de las 20 imágenes presentadas corresponde a la composición final de 21 sujetos estudiados), considerando el comportamiento ocular como una sucesión de fijaciones y movimientos sacádicos (Figura 8)



**Figura 8.** (Izquierda): Conducta ocular de 21 sujetos en exploración libre de imagen ampliada, (derecha): Conducta ocular de 21 sujetos en exploración libre de imagen original.

A continuación se analizó la distribución de las sacadas por su longitud tomando la información de las sacadas arrojada por el algoritmo de SR Research, y se consideró además sacadas menores a un grado visual obtenidas a través del algoritmo mencionado (Engbert & Kliegl, 2003 y Engbert & Mergenthaler, 2006). Se creó un histograma, que permitió obtener un límite conductual de los eventos que se consideran como “microsacadas” (sacadas menores a 1° visual, ver en resultados). Para esto fue necesario determinar los píxeles de la imagen en los cuales existía una mayor concentración (n° de eventos) de movimientos oculares; se tomó la imagen de 1920x1080 píxeles como una matriz de 1920x1080 datos (en una relación de 1:1), para conocer la trayectoria del movimiento ocular de modo que cada coordenada (x, y) representaba un punto de la matriz. Por medio de pasos sucesivos y sumatorios se generó una sola matriz que contenía la información de las 21 matrices de 1920x1080 (Ancho (píxeles) x Alto (píxeles)) de cada sujeto, para cada una de las 20 imágenes. Adicionalmente se generó la visualización de resultados para la distribución espacial de la conducta ocular a través de mapas de calor de fijaciones y

microsacadas, para esto las matrices se sometieron a una convolución con otra matriz que representa una gaussiana tridimensional. Es decir, se le aplica un filtro a la imagen de microsacadas para que no sean puntos aislados y se puedan apreciar regiones de agrupación de microsacadas (Figura 9D), encontrando alta relación entre el reporte y la concentración de ambos eventos por imagen, sin diferencias entre las imágenes originales y aquellas ampliadas al 50%. Finalmente a este filtrado gaussiano, se le aplicaron límites o cotas superiores e inferiores para ver zonas específicas (0.8-0.25). De esta forma la gaussiana se aplana tanto superior como inferiormente para delimitar el objeto (Figura 9E).



**Figura 9. Esquema de procesamiento de imagen.** A. Imagen original, donde se define manualmente el objeto, B. Se grafica el comportamiento ocular, C. Análisis de sacadas por longitud, marcando en azul las microsacadas (sacadas  $<1^\circ$ ), D. Mapa de calor para la distribución de microsacadas, E. Al filtro gaussiano aplicado para los mapas de calor se determinan cotas superiores e inferiores para delimitar con precisión los objetos.

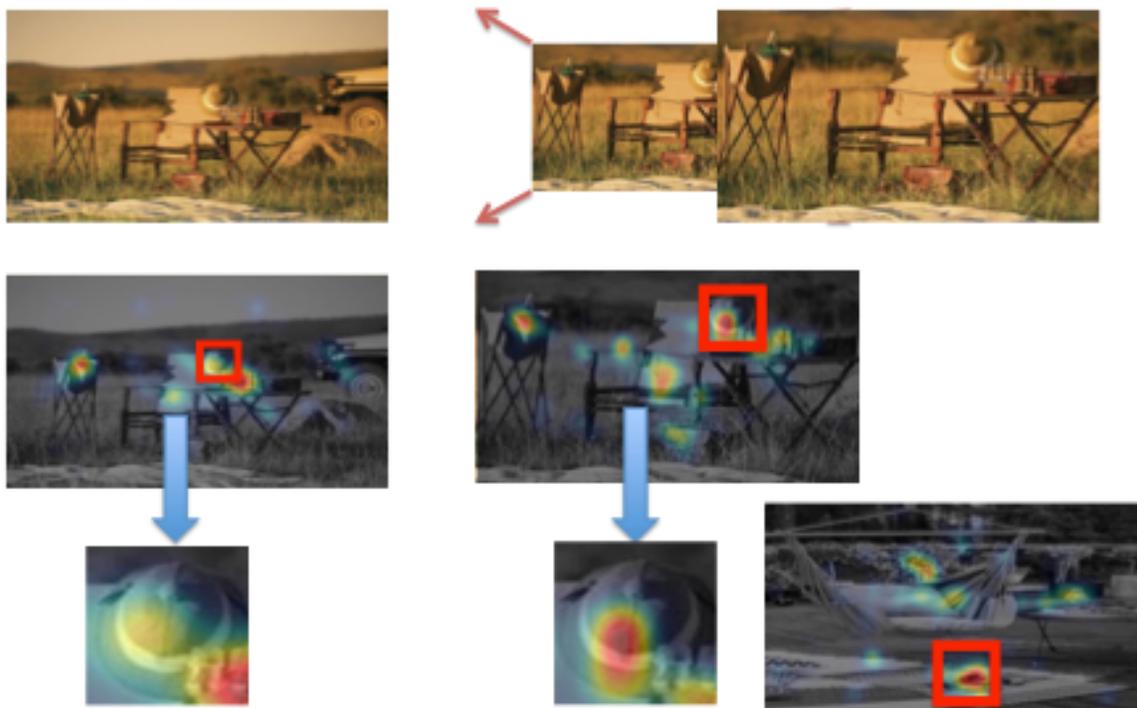
El análisis fue realizado en 3 partes, el primer objetivo fue demostrar que efectivamente existe percepción de objetos visuales de interés (reconocimiento de estos objetos por los sujetos), para mostrar esto lo primero que se hizo fue comparar el número total de microsacadas agrupadas en todas las regiones determinadas como objetos y el resto de la imagen, sin duda esto es solo un análisis general que permite decir simplemente que la imagen no se explora de forma homogénea y que hay ciertas regiones de interés, pero para dar validación a nuestros datos lo que se hizo fue generar y comparar nuestros resultados con el mapa de saliencia de Itti-Koch de la imagen (considera características estadísticas relevantes de la imagen como contraste, dirección, color). De esta forma podemos reconocer que los objetos son efectivamente vistos si encontramos un porcentaje mayor de exploración (microsacadas de cada objeto fijado) por sobre los resultados de los mapas de saliencia (Itti & Koch, 2000).

El análisis propuesto para evidenciar que el tamaño es un factor independiente a la conducta ocular, específicamente el número de microsacadas que contiene el objeto, fue tomar una sección A de la imagen original sin modificaciones y una sección A' de la imagen ampliada un 50% la cual considera el mismo objeto para cada sujeto en estudio, contando de esta forma con N secciones A x N secciones A' (N= número de sujetos) para realizar una prueba T-test, utilizando la función ttest2 de MATLAB, por cada pixel de la imagen y observar si existe diferencia significativa para cada grupo de imagen. La imagen A' se escalará al tamaño de A para generar esta comparación.

Como tercer análisis se buscó mostrar que es lo que ocurre al tener objetos de distinta forma y reconocer una dependencia de este factor en la percepción de los objetos. Fue analizada la direccionalidad de los patrones de agrupación de microsacadas por segmentos determinados de la matriz de cada objeto de la imagen, es decir, un análisis de componentes principales (PCA) buscando reducir la dimensionalidad de los datos y tratar de ordenarlos por importancia, con esto se construyó una transformación lineal en el cual la varianza de mayor tamaño es capturada en el eje principal, mostrando vectorialmente como se agrupan las microsacadas en los objetos según su forma, para luego realizar una prueba T-test por cada pixel de imagen, y observar si existe diferencia significativa para cada grupo. Adicionalmente se comparó la distribución de microsacadas por área de objetos visuales (altamente reportados), esperando encontrar diferencias según su forma, alargados o redondeados.

Debido a la dificultad para hablar de resultados significativos respecto a la contribución de la forma en la agrupación de microsacadas solo considerando el análisis vs el mismo objeto con un aumento de tamaño, sin tomar en cuenta que esto puede corresponder a una conducta ocular azarosa, se utilizó un subrogado con el cual poder contrastar la distribución de microsacadas obtenida para cada objeto analizado contra un objeto de diferente forma u otra región de la imagen donde no necesariamente había un objeto pero si se tenía certeza de que era una región explorada, al contar con registro de la actividad ocular en esa zona (Figura 10).

La creación del subrogado surge de los antecedentes que han demostrado que hay algunos lugares de la imagen explorada donde todos los sujetos van a mirar indistintamente, como el centro de la imagen (Tatler, 2007) o regiones donde es poco probable su exploración, como son las esquinas, siendo el patrón de movimientos oculares dependiente del observador, además de nunca ser explorado de manera uniforme (Yarbus, 1967).

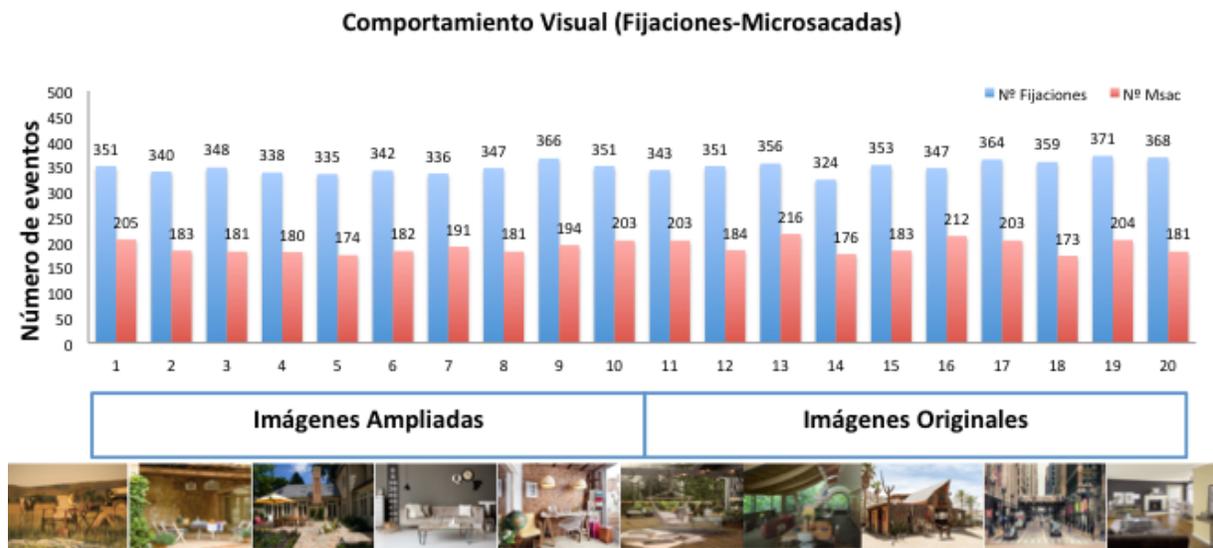


**Figura 10. Generación de subrogado.** Primero dentro de la imagen original se selecciona una región que corresponda a un objeto visual reportado, se busca en la imagen ampliada la misma región y ambas se escalan a un nuevo tamaño que permita la comparación de distribución de las microsacadas que la conforman. Se toman las coordenadas de cada objeto y se selecciona en otra imagen (de las 19 restantes) un parche de las mismas coordenadas para comparar la distribución del comportamiento ocular.

## 6.RESULTADOS

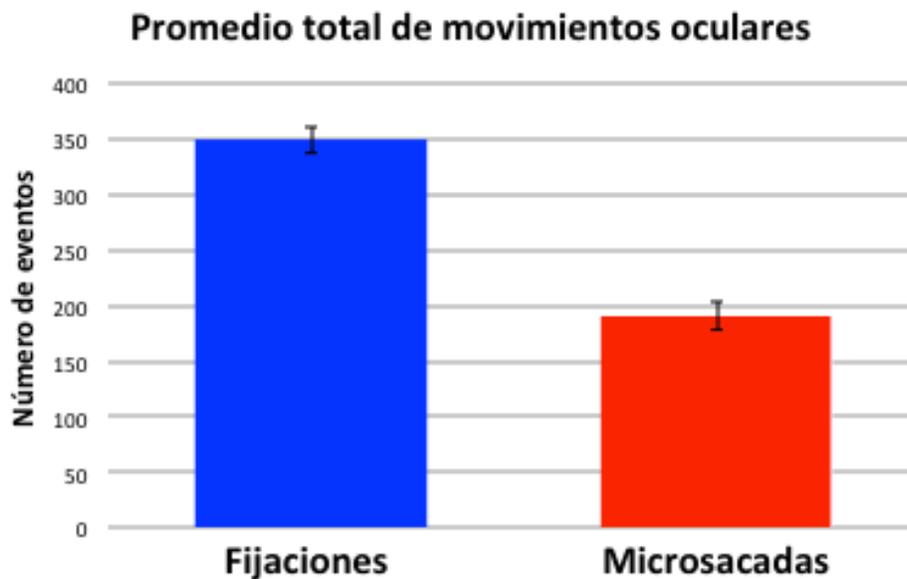
### 6.1.Descripción del comportamiento visual

El modelo utilizado requirió de la selección de escenas naturales de diversos bancos de imágenes, donde fuese posible discriminar al menos 4 objetos visuales, es por esto que para validar las 10 imágenes seleccionadas de un total de 60, inicialmente se realizó un muestreo aleatorio a un grupo control. Para ver como fue la conducta ocular de los 21 sujetos de estudio, se obtuvo el número total de fijaciones y microsacadas para cada una de las 20 imágenes presentadas, es decir, las 10 imágenes originales más las 10 imágenes ampliadas (Figura 11). Encontrándose una tendencia similar de exploración en cuanto a número de eventos en todas las escenas naturales.



**Figura 11. Número total de fijaciones y microsacadas.** El gráfico muestra para cada una de las 20 imágenes presentadas en el experimento, el número total de fijaciones y microsacadas, que dan cuenta de la conducta ocular respecto a exploración de objetos visuales. En la parte inferior se muestra el conjunto de 10 imágenes originales utilizadas en el protocolo.

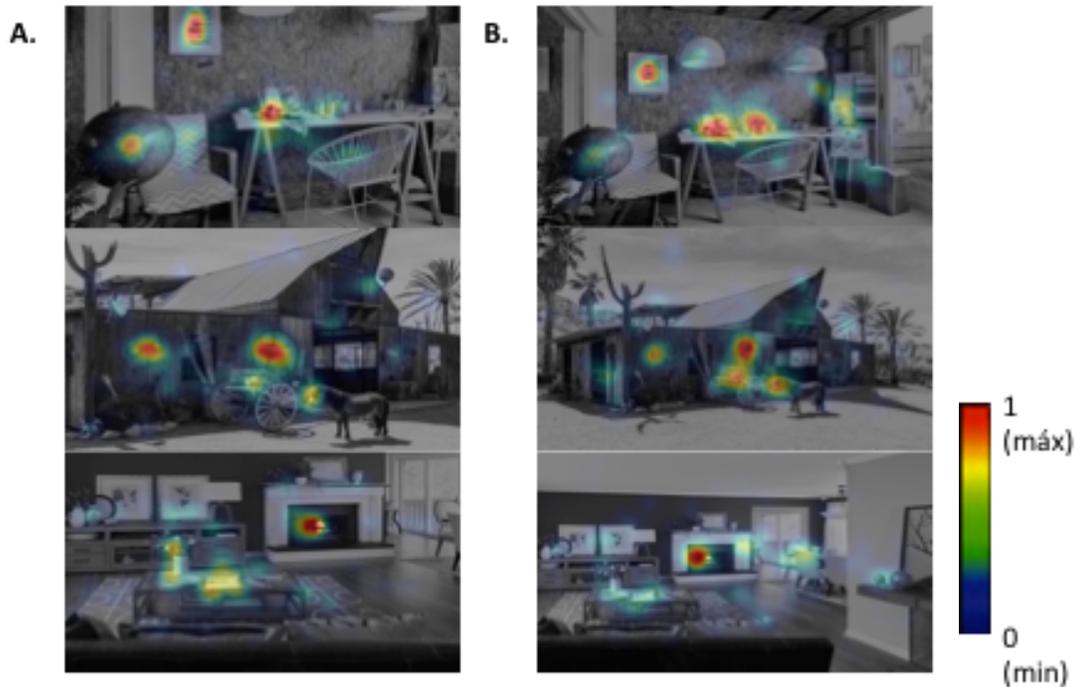
En total los sujetos realizaron 350 fijaciones y 190 microsacadas en promedio en los 5 segundos de exploración libres dados por cada imagen (DS= 12,17 y 13,34; respectivamente) (Figura 12). Con estos resultados podemos ver que ninguna de las imágenes se escapa del patrón de conducta ocular, tanto para la condición original como ampliada y esto nos permite realizar los análisis sin tener que excluir ninguna de ellas.



**Figura 12. Promedio total de movimientos oculares.** Se muestra el promedio de fijaciones y sacadas para los 21 sujetos por imagen, donde se puede apreciar que la exploración de la imagen se realiza en más de un 50% de las fijaciones acompañado de movimientos microsacádicos.

## 6.2. Distribución de fijaciones

Se analizó la conducta de las fijaciones según su distribución para cada imagen de forma separada mediante mapas de calor, observando que las fijaciones se concentran preferentemente en los objetos de interés (en base al reporte verbal de los sujetos estudiados) en las imágenes de escenas naturales presentadas (Figura 13). Estos resultados son esperables según los hallazgos realizados por Berger et al., (2011), donde se demostró la concentración de agrupaciones espaciales de fijaciones en relación a la presencia de objetos y no al fondo de la imagen. Se generó una base de datos considerando una matriz de 1920x1080x21 (píxeles alto x píxeles ancho x sujetos) a la cual se aplicó un filtro “gaussiano” para normalizar en torno a la concentración y duración de fijaciones por imagen, duración que alcanzó un 75% del tiempo total de exploración libre (Anexo 3). De esta forma se pudo identificar áreas de las escenas naturales donde existía mayor cantidad de fijaciones.



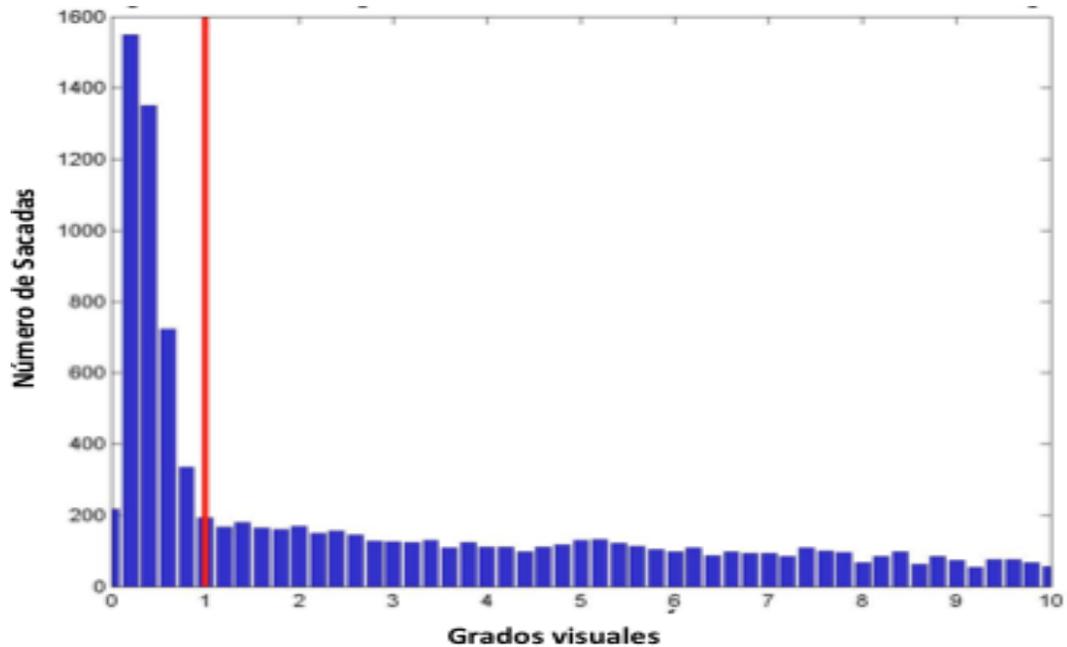
**Figura 13. Ejemplos de la distribución espacial de fijaciones.** Mapas de calor, donde colores más cálidos representan un mayor número de fijaciones. A. Mapa de calor de fijaciones para las imágenes ampliadas, donde se puede observar que las fijaciones se concentran sobre los objetos de interés, B. Mapa de calor de fijaciones para las imágenes originales, se repite el comportamiento privilegiando zonas de la imagen donde se concentran los objetos visuales (reportados) por sobre el fondo o resto de la imagen.

Estos resultados permiten reconocer que dentro de la conducta visual las fijaciones cumplen un papel importante en la orientación y mantenimiento de la mirada sobre las regiones de interés, lo que coincide con los objetos visuales reportados en los mapas de calor tanto de las imágenes originales como ampliadas de las 10 escenas naturales seleccionadas.

### **6.3.Distribución de sacadas y microsacadas**

Dadas las características de las imágenes utilizadas y considerando la tarea de exploración libre a la que fueron sometidos los sujetos de estudio, se decidió estudiar como se comportaba el continuo sacada-microsacadas los cuales se diferencian principalmente por longitud, según resultados obtenidos de Martínez-Conde et al. (2013). Los datos obtenidos reflejan que la longitud de los movimientos oculares se distribuyen y concentran dentro de 1° grado visual (0,1° a 1°) para ambas clases de imágenes (Figura 14), es decir, sin observar diferencias entre imágenes ampliadas y originales. Esta distribución preferente de los movimientos oculares corresponde a lo que se ha denominado en la literatura como microsacadas (Otero-Millan et al. 2008). Se comparó las distribuciones de ambas curvas de imágenes (originales y ampliadas) con el test no paramétrico Mann Whitney para dos muestras que son independientes, y se obtuvo que no son estadísticamente diferentes, con un  $p= 0.12269$ , ( $p<0.05$ ).

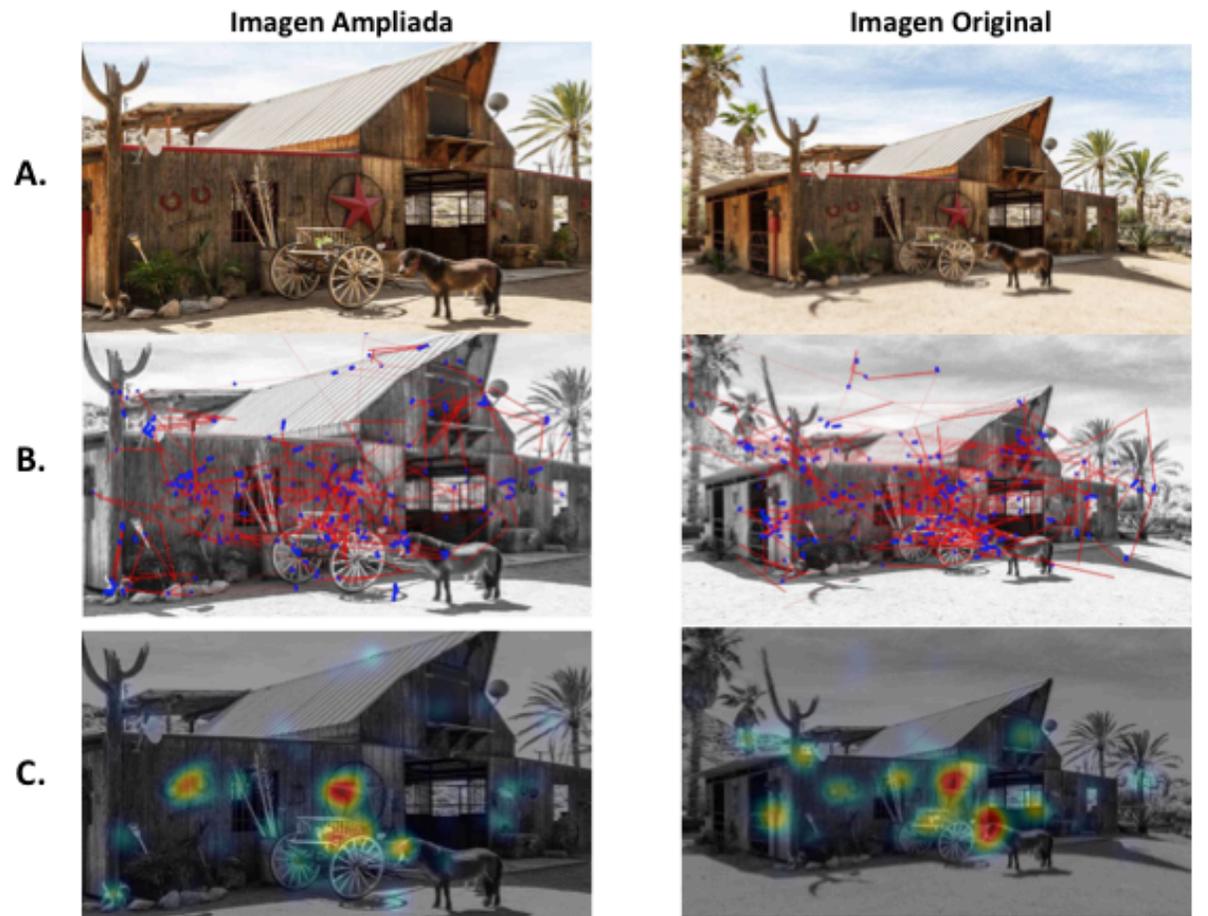
Con estos resultados se pueden analizar los movimientos sacádicos como un continuo de sacadas largas y microsacadas, donde estas últimas son más frecuentes en la exploración de regiones de interés, sin existir diferencias entre imágenes de diferentes proporciones. Esto demuestra que efectivamente hay una relación entre movimiento ocular y percepción de objetos.



**Figura 14. Distribución largo de sacadas,** Histograma del número de sacadas vs longitud (grados visuales), para las 20 imágenes presentadas. Línea roja muestra el límite establecido en relación a mayor concentración de sacadas cercana al 1° visual.

Ya conociendo la distribución de movimientos oculares dentro de las imágenes estudiadas, se analizó la distribución espacial que presentaron tanto sacadas como microsacadas. Se pudo ver que las microsacadas tienden a agruparse sobre los objetos de interés de forma similar a lo visto con las fijaciones, en ambos tipos de imágenes (Figura 15B). Con los resultados encontrados se puede suponer que todo movimiento sacádicos de 1° o menos, cumplen un rol crítico en la exploración visual, como pieza determinante en la percepción de objetos visuales, mientras que los movimientos sacádicos >1° son realizados para pasar de un objeto de interés a otro dentro de la escena natural presentada, siendo definidos operacionalmente para nuestro estudio como objeto visual de interés todos aquellos que presentaron un alto reporte por los sujetos.

Del mismo modo como se realizó para observar las fijaciones, se consideró una matriz (pixel a pixel) de las mismas dimensiones, se aplicaron filtros y se normalizaron los datos para generar mapas de calor en este caso de la distribución de las microsacadas (Figura 15C).

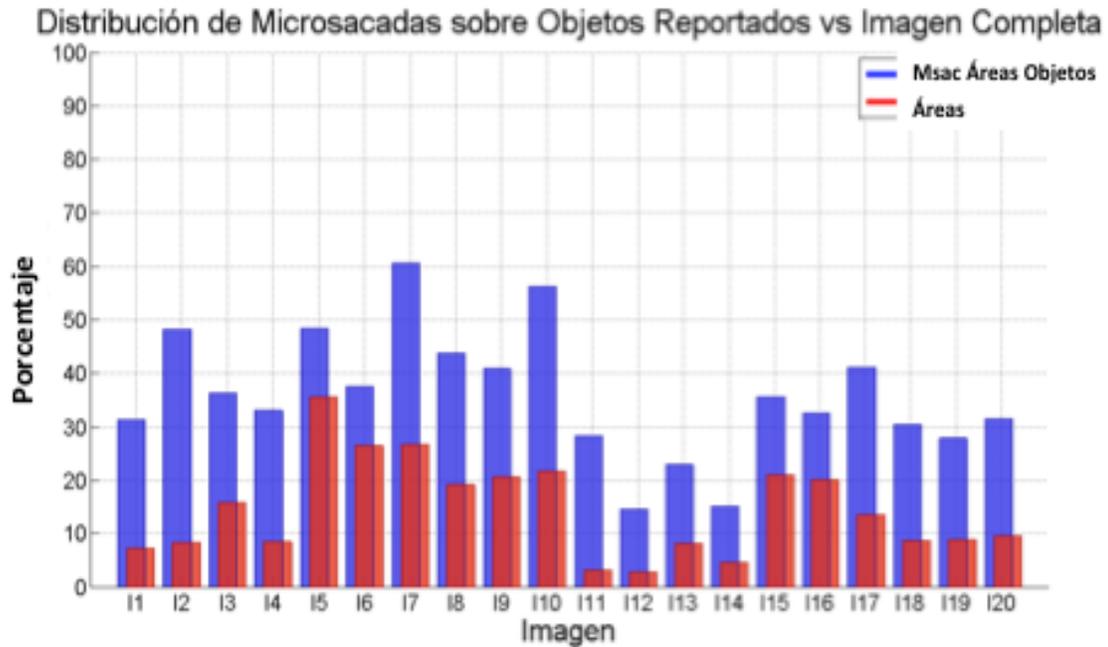


**Figura 15. Ejemplo de distribución espacial de sacadas y microsacadas para una imagen bajo las dos condiciones de presentación. A. Se muestra la imagen original y su región ampliada, B. Corresponden a la distribución de sacadas según su longitud, donde los movimientos sacádicos están marcados en rojo y sacadas de  $1^\circ$  o  $<$  (microsacadas) en azul, las que se encuentran agrupadas en relación a objetos visuales de interés, C. Mapas de calor de microsacadas, donde colores más cálidos representan un mayor número de estos movimientos oculares.**

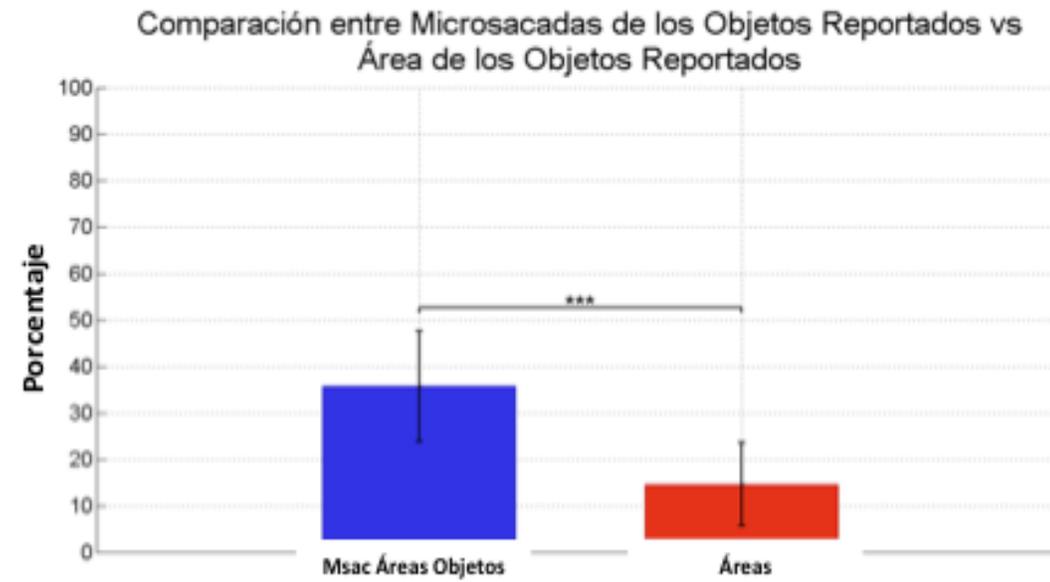
#### **6.4.Comparación de fijaciones, sacadas y microsacadas con reporte**

Para cada imagen según el reporte de los sujetos en estudio se pudo determinar un mínimo de 4 objetos con alto reporte. Se consideraron para el análisis dentro de estos objetos aquellos que además fueran de menor tamaño y que requerían más discriminación dentro de la escena natural tanto en la imagen original como en la imagen ampliada. Esta selección se hizo evitando la superposición de áreas que los delimitan, favoreciendo los posteriores análisis sobre el tamaño y forma de dichos objetos visuales. Una vez seleccionados los 4 objetos por imagen se estudio si efectivamente el reporte realizado por los sujetos representaba una conducta visual diferente sobre el resto de la imagen, calculando para esto el porcentaje de microsacadas que se encuentra en el área comprendida por los 4 objetos visuales más reportados versus el porcentaje de microsacadas en el resto de la escena natural, en todas las imágenes presentadas (Figura 16).

Se realizó un test no paramétrico Mann Whitney y se obtuvo diferencias significativas de observación ( $P=0.000005$ ), siendo estas mucho más abundantes en las regiones de interés previamente definidas como objetos visuales en relación al área de la imagen que representan, como conclusión de estos análisis se puede proponer que los sujetos no están mirando la imagen aleatoriamente y que se están enfocando en los objetos de la imagen (Figura 17).



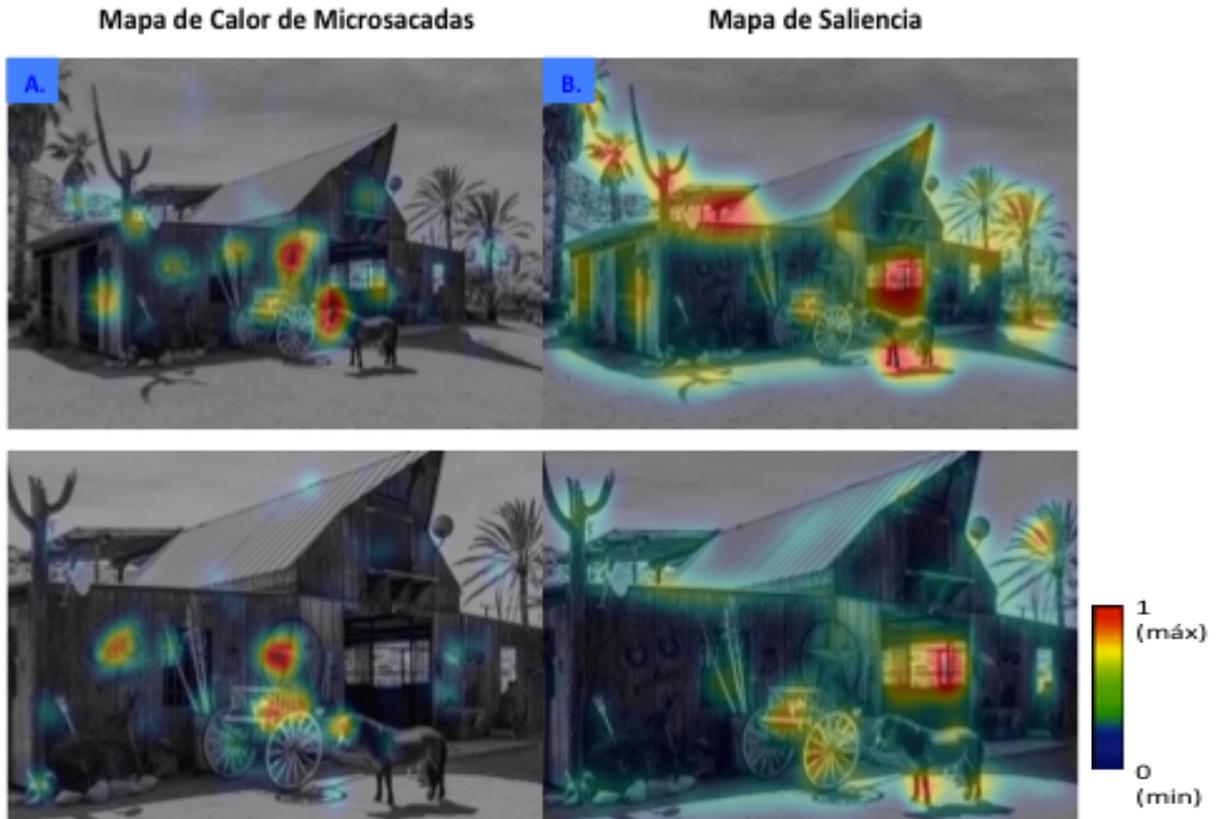
**Figura 16. Distribución de microsacadas en objetos visuales versus el resto de la imagen.** Porcentualmente se obtuvo para cada una de las imágenes presentadas mayor cantidad de microsacadas en los objetos, implicando que efectivamente estas regiones reportadas fueron vistas por los sujetos.



**Figura 17. Comparación de cantidad de microsacadas en objetos visuales reportados versus el área que representan en la imagen.** Los resultados fueron significativos, permitiendo mostrar bajo estos análisis que efectivamente los objetos visuales fueron explorados más que el resto de la imagen, es decir, no hay una conducta ocular aleatoria.

Sin embargo, esta métrica no fue suficiente para comprobar que existía una acción voluntaria de los sujetos que involucrará la percepción del objeto, para lo cual se decidió demostrar que la agrupación espacial de microsacadas no era simplemente un efecto de las características físicas de la imagen, poniendo a prueba nuestro modelo mediante la comparación con los resultados obtenidos en mapas de saliencia, donde se reconocen regiones de la imagen que van a sobresalir del resto por contraste, luminancia, dirección, color, etc., (Itti Koch, 2000) (Anexo 4).

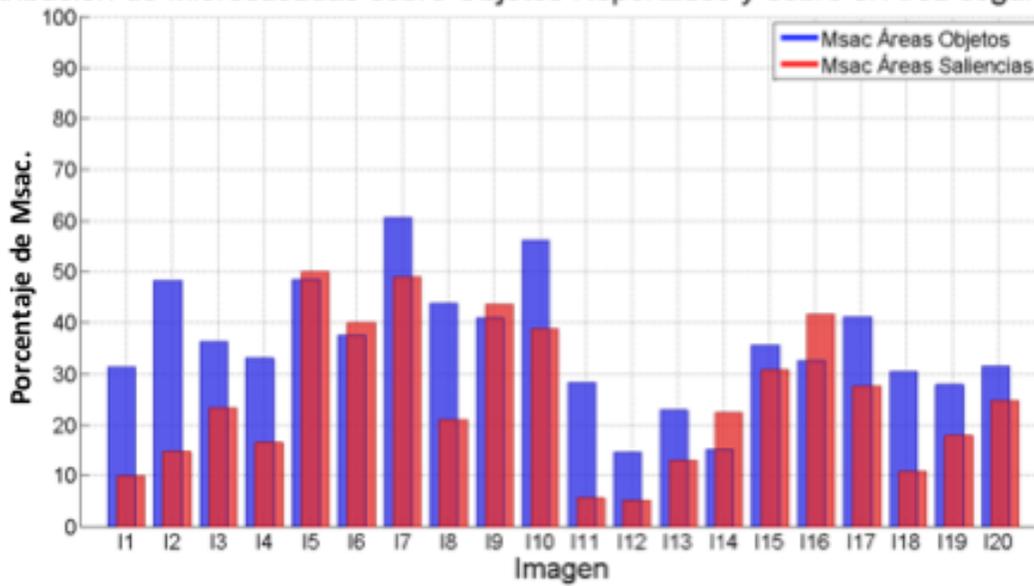
Se crearon mapas de calor para todas las imágenes posterior a un análisis donde se observó la distribución espacial de las regiones salientes en la imagen, para luego ver su concordancia en relación a los mapas de agrupación de microsacadas generados con la conducta ocular de los sujetos. La pregunta que necesitábamos responder con esto, es si encontraríamos la misma distribución porcentual entre las microsacadas de los objetos reportados versus las microsacadas para la misma área que comprenden estos objetos en las regiones más salientes de la imagen (Figura 18)(Anexo 5).



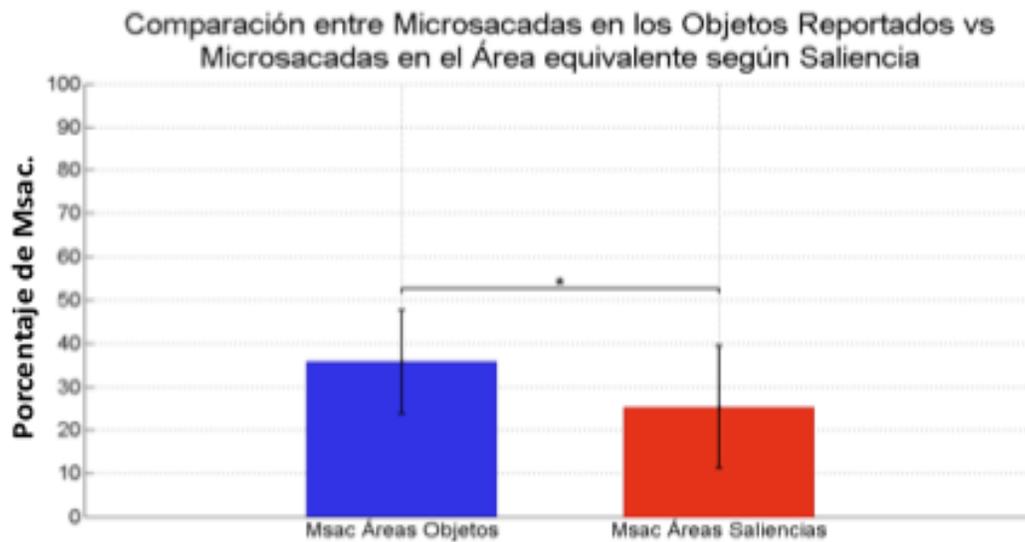
**Figura 18. Mapas de calor de microsacadas y mapas de saliencia.** Para mostrar que las regiones con agrupación de microsacadas eran reportadas como objetos visuales por los sujetos y no eran simplemente regiones de la imagen por sus características físicas se generaron Mapas de Saliencia (Itti Koch, 2000). A. Muestra los resultados del registro de 21 sujetos los cuales observaron la imagen a través de un comportamiento visual que agrupo microsacadas en regiones que reportaron como objetos visuales, B. Mapas de Saliencia de la misma imagen bajo las dos condiciones experimentales considerando sus características físicas.

Nuevamente entonces se consideró la cantidad de microsacadas en objetos visuales más reportados, pero en esta oportunidad se comparó con la cantidad de microsacadas de regiones salientes para igual área en cada imagen (Figura 19). Se realizó un test no paramétrico Mann Whitney, obteniendo diferencias significativas de observación ( $P=0.0025$ ), con una mayor cantidad sobre objetos visuales de interés por sobre la regiones salientes (Figura 20). Resultados que avalan la percepción del objeto como una acción dependiente del sujeto y su procesamiento de la imagen.

Distribución de Microsacadas sobre Objetos Reportados y sobre el Área según Salienc



**Figura 19. Distribución de microsacadas en objetos visuales versus mapa de saliencia.** Se obtuvo para la mayoría de las imágenes presentadas un mayor número de microsacadas en los objetos visuales de interés por sobre regiones de la imagen que resaltan por sus características físicas (contraste, luminancia, etc.).

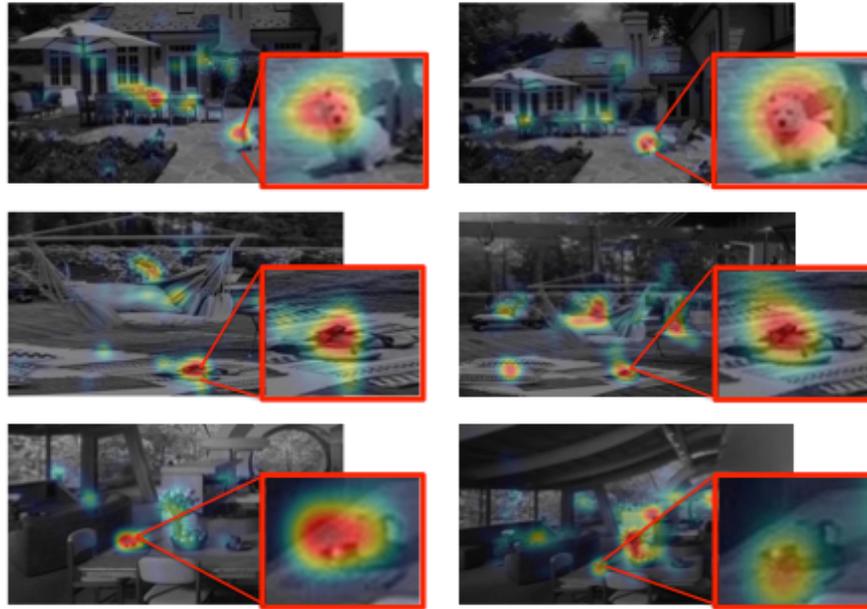


**Figura 20. Comparación de cantidad de microsacadas en objetos visuales reportados versus mapas de saliencia.** Los resultados fueron significativos en para comparación, permitiendo mostrar bajo estos análisis que efectivamente los objetos visuales fueron explorados más incluso que regiones salientes de la imagen.

Con estos resultados se puede establecer que los movimientos oculares microsacádicos, están asociados con la percepción de los objetos visuales y que la saliencia de la imagen no es capaz de explicar esta agrupación de microsacadas a diferencia del reporte de los sujetos que si da cuenta de este fenómeno, de esto se puede inferir por lo tanto, que hay una relación entre el reporte y la agrupación de micromovimientos sacadicos.

### **6.5.Características de los patrones de microsacadas por tamaño**

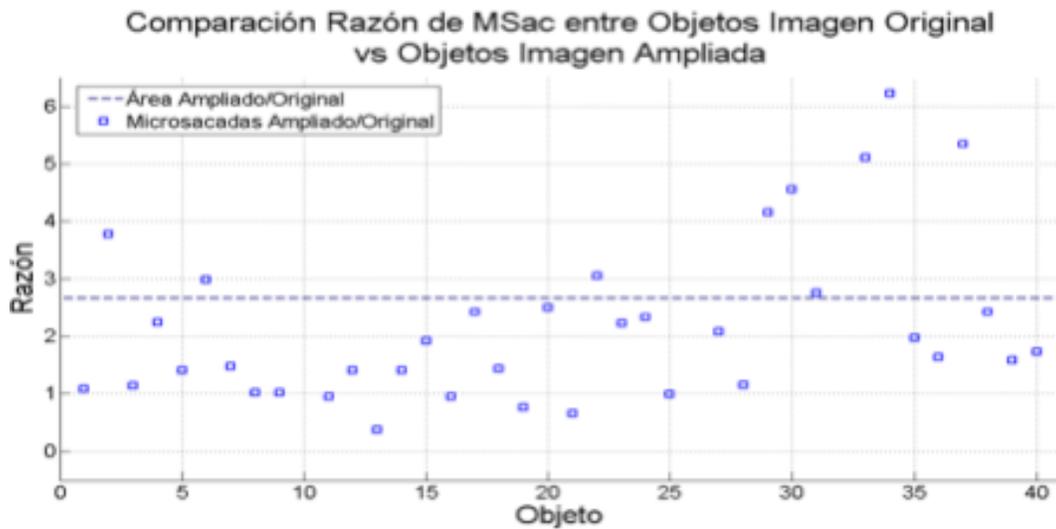
Una vez realizados los análisis anteriores, fue posible estudiar qué ocurría con las dos variables propuestas en la hipótesis, el tamaño y la forma del objeto. Para esto, lo primero que se analizó fue cual era la conducta ocular de los sujetos cuando se presentaba el mismo objeto pero de distinto tamaño, es decir, si con un objeto ahora dos veces más grande que el original si las microsacadas que lo conforman aumentan en tamaño espacial para acomodarse al nuevo tamaño del objeto. Esto se logró considerando la región de la imagen original donde se concentraba el mayor reporte de objetos por los sujetos (con los datos obtenidos de la validación inicial de la imagen) y delimitando un 50% del área total de la escena natural, para tomar esta región de interés y luego ampliarla hasta lograr el tamaño de la imagen original manteniendo sus proporciones y resolución. Se encontró en los mapas de calor de las microsacadas una conducta visual muy similar en todas las imágenes para cada uno de los objetos, cuando estos estaban ampliadas respecto de la condición original (Figura 21).



**Figura 21. Ejemplos de Objetos de distinto tamaño.** Imágenes corresponden a Mapas de calor de microsacadas que muestran una agrupación similar para el mismo objeto de distinto tamaño, en diferentes imágenes.

Para el análisis se consideró la cantidad de microsacadas que se agrupaban entorno al objeto visual de interés, se esperaba que la conducta visual según nuestra propuesta de hipótesis fuese independiente del tamaño, es decir, el número total de microsacadas no debe cambiar en razón del aumento de tamaño. Se generó un calculo a través de la razón de aumento de las imágenes, presentando para la imagen original una razón de  $1920 \times 1080 / 1080 \times 720 = 2.667$  y para la imagen ampliada una razón de  $1080 \times 720 / 1920 \times 1080 = 0.375$ . Se realizó el test estadístico Sing rank para ver igualdad de muestras emparejadas y los resultados fueron significativos, comparando la imagen original (razón Ampliado/Original) versus razón de aumento igual a 2.667  $P < 0.001$  ( $P = 0.0002$ ) e imagen ampliada (razón Original/Ampliado) comparado con 0.375  $P < 0.001$  ( $P = 0.000001$ ) (Figura 22).

Con estos resultados se pudo mostrar que la cantidad de microsacadas que dan forma al objeto visual no dependen de su tamaño o en este caso particular no aumentan en razón del aumento de tamaño del objeto, reforzando nuestra propuesta de hipótesis donde este factor es considerado poco determinante en la distribución de microsacadas (Figura 23).



**Figura 22. Comparación de razón de microsacadas entre objetos de diferente tamaño.** Se puede ver que para la mayoría de los objetos reportados por los sujetos, la razón de microsacadas que los constituye no se escala en razón del aumento de tamaño (en este gráfico solo fue considerada la razón de aumento para la imagen original = 2.667).

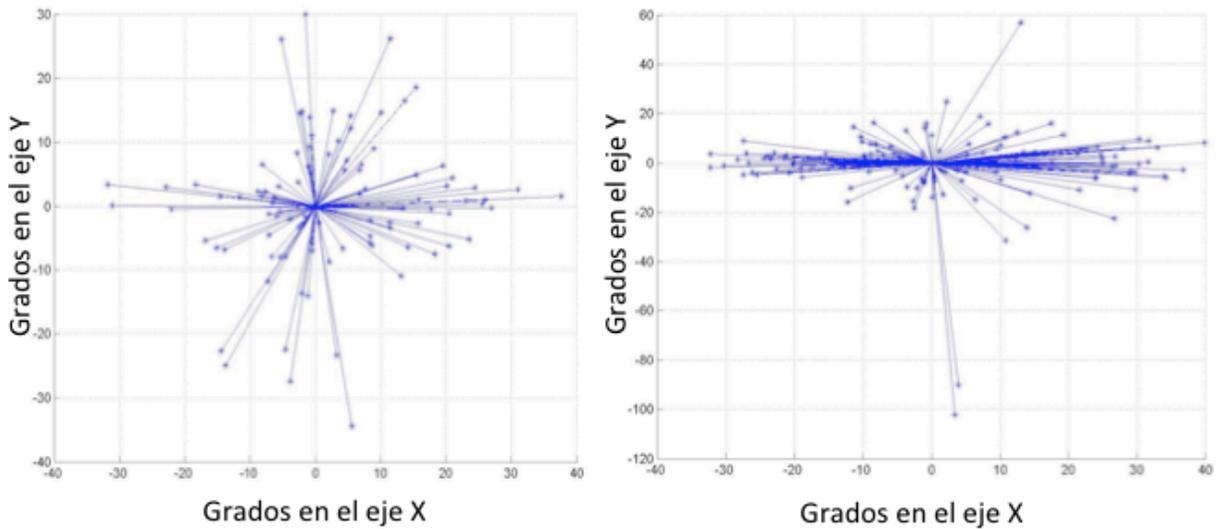


**Figura 23. Histograma de comparación entre razón de microsacadas en objeto original versus objeto ampliado.** La distribución de razones es muy variada, desde razones de 1 hasta 6 en algunas comparaciones, confirmando con esto que el tamaño es un factor poco determinante en la distribución de microsacadas que conforman el objeto.

### 6.6. Características de los patrones de microsacadas por forma

Se observó que ocurría con el comportamiento ocular cuando se consideraban objetos de diferente forma, este análisis fue mucho más complejo ya que las métricas para evaluar esta característica no tienen modelos previos satisfactorios. Lo primero que se planteó fue considerar ángulo y dirección de las microsacadas buscando realizar análisis entorno a la componente principal vectorial que puedan dar respuesta a una orientación específica sobre la forma. Se tomó todas las microsacadas agrupadas sobre un objeto y se centraron en un plano cartesiano para observar cual era su tendencia principal en un único mapa que agrupaba la misma imagen para todos los sujetos, para cada una de la imágenes (Figura 24).

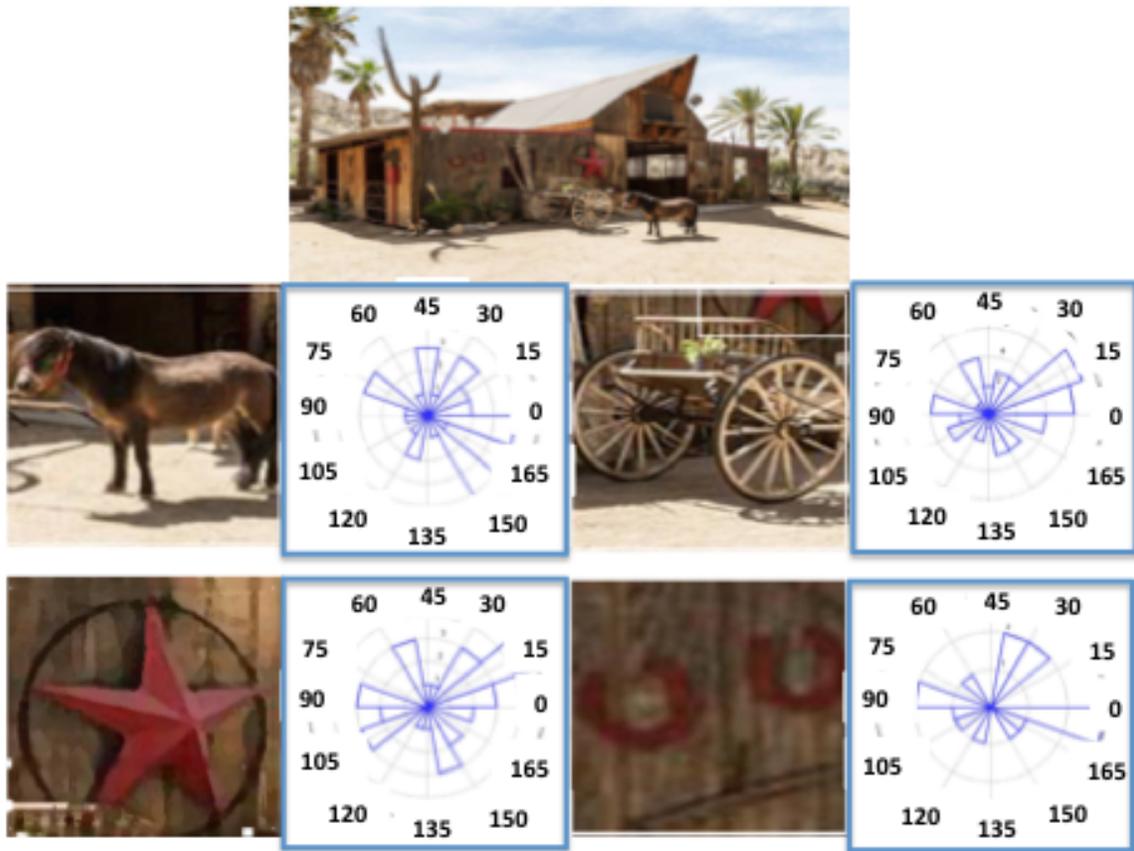
### Distribución en el plano cartesiano de los movimientos microsacádicos



**Figura 24. Ejemplos de agrupación de microsacadas según forma.** Se tomaron todas las microsacadas agrupadas sobre un objeto y se centraron en un plano cartesiano obteniendo dos patrones diferenciales de agrupación, a la derecha un patrón circular y a la izquierda se observa una distribución alargada.

Se consideraron estos datos y se construyeron histogramas en roseta para graficar de forma angular el comportamiento según la forma de los objetos visuales, el histograma consideraba datos que inicialmente fueron llevados en su totalidad a un plano horizontal superior, ya que todos los datos de  $180^\circ$  a  $360^\circ$  tenían su representación en cuanto a su dirección entre los  $0^\circ$  a  $180^\circ$  y una vez organizados en este plano se extendieron para generar un histograma circular de  $180^\circ$ . Se realizó un test no paramétrico Mann Whitney y no se obtuvieron diferencias significativas de observación respecto a la forma según ángulo y dirección ( $P < 0.005$ ), considerando la comparación de distribución de microsacadas sobre los objetos, en relación a su componente vectorial principal (Figura 25).

Estos resultados nos indican que la forma del objeto no es posible diferenciarla solo con ángulo y dirección de las microsacadas que lo componen, permitiendo suponer que existen otros componentes involucrados en su identificación.

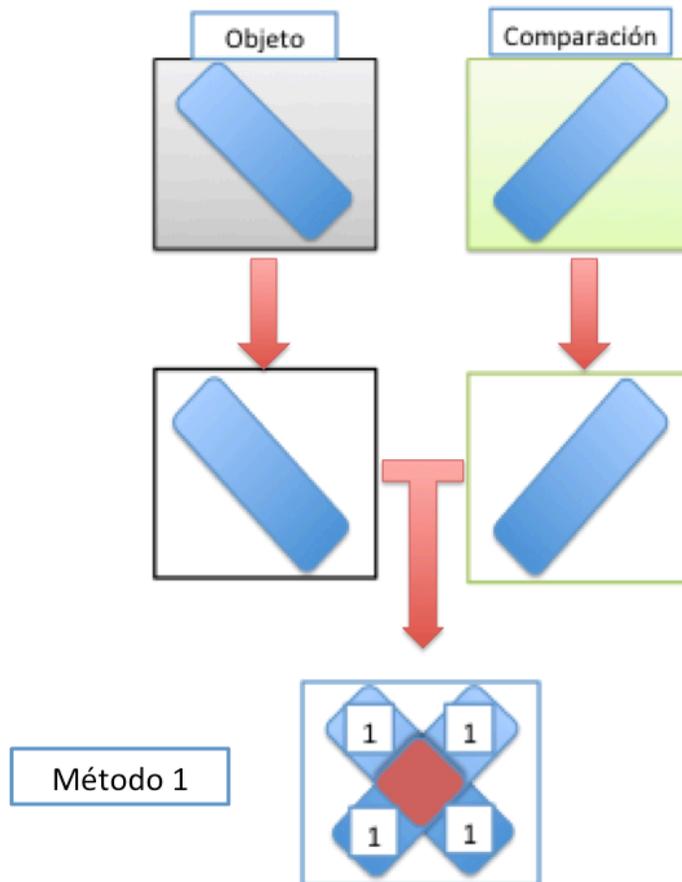


**Figura 25. Ejemplos de Histograma en Roseta.** Se muestran los 4 objetos más reportados para una imagen en particular y se grafica su histograma según la distribución de microsacadas que lo conforman, considerando su dirección y ángulo.

Se realizó un nuevo análisis ahora considerando el área de distribución de las microsacadas, para lo cual se generaron dos métodos de estudio que recorren tanto el objeto obtenido de la imagen original como ampliada pixel por pixel, para luego sacar el cálculo de cuanto se parecen en su conducta ocular para cada pixel comparado. El método 1 de comparación considera las diferencias de conducta ocular respecto a su distribución sobre el objeto, por lo que dos objetos serán exactamente iguales si la resta por pixel da cero, por tanto mientras más cerca de cero más semejantes serán los objetos y más dependiente de la forma será su agrupación de microsacadas (Figura 26). De este análisis resulto la generación de un índice de diferencia, el cual consiste en:

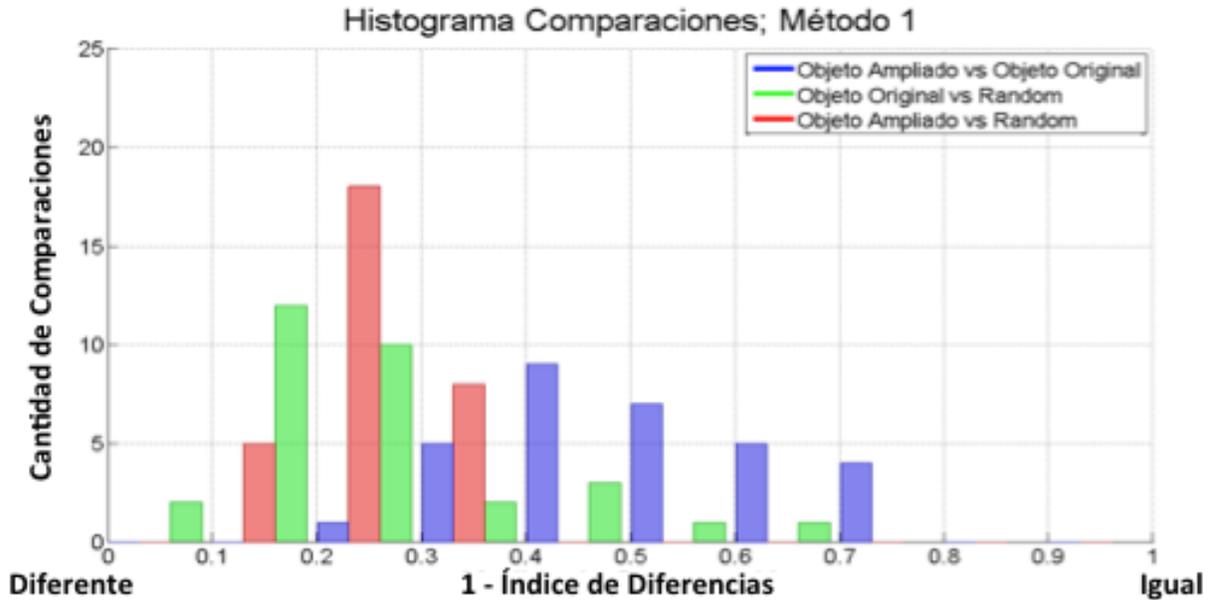
$$\frac{\sum_n^N |p_1(n) - p_2(n)|}{N} \quad \forall n \in N, p_1(n) > 0 \text{ y } p_2(n) > 0$$

Siendo  $N$  el conjunto de todos los pixeles donde si existió registro de la conducta ocular. El numerador es la resta de la conducta ocular visual de los pixeles  $p_1(n)$  y  $p_2(n)$ . Esto se cumple para todo  $n$  que pertenezca a  $N$ , tal que la conducta en estos pixeles sea mayor a cero.



**Figura 26. Esquema de análisis para el método 1.** Con este método se evidencian las diferencias que existen al comparar la conducta ocular respecto a su distribución de microsacadas sobre dos objetos distintos.

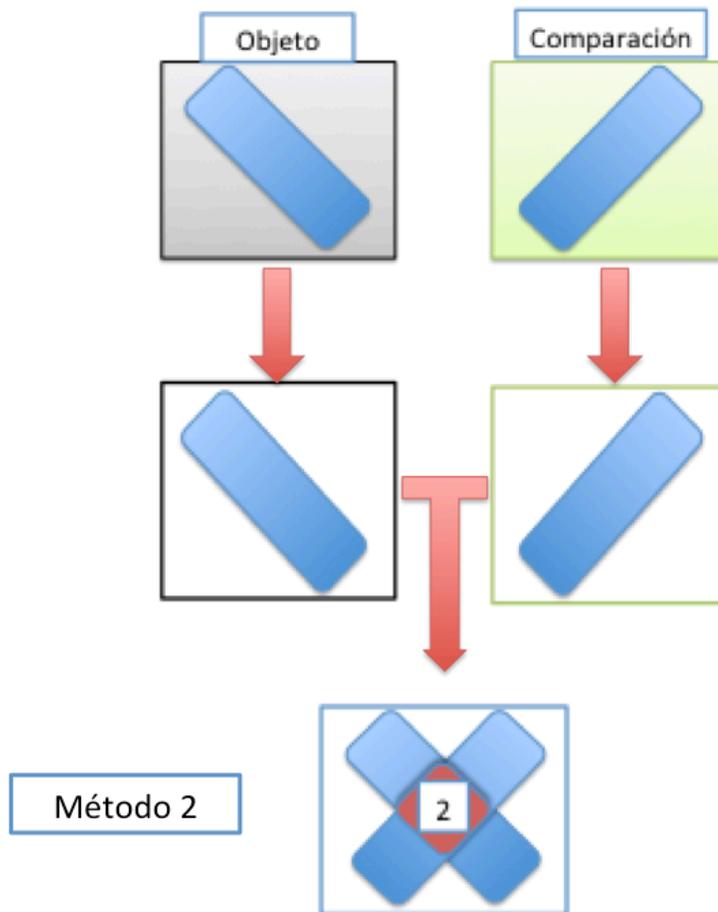
Se obtuvo un valor de resta que fue normalizado por la cantidad total de pixeles evaluados por objeto, debido a que la resta solo consideró aquellos puntos de la imagen donde al menos uno de las dos áreas (imagen original o ampliada) presentaba actividad ocular. Este gráfico contempla la resta de los valores, y es presentado como (1-parecido) por lo tanto lo que está más cercano a uno es lo que se parece más (Figura 27).



**Figura 27. Método 1 de comparación.** Se muestra mayor semejanza para el mismo objeto de imágenes originales y ampliadas vs una comparación random (donde se tenía certeza de actividad ocular) para cada uno de los objetos respecto al área de distribución de las microsacadas.

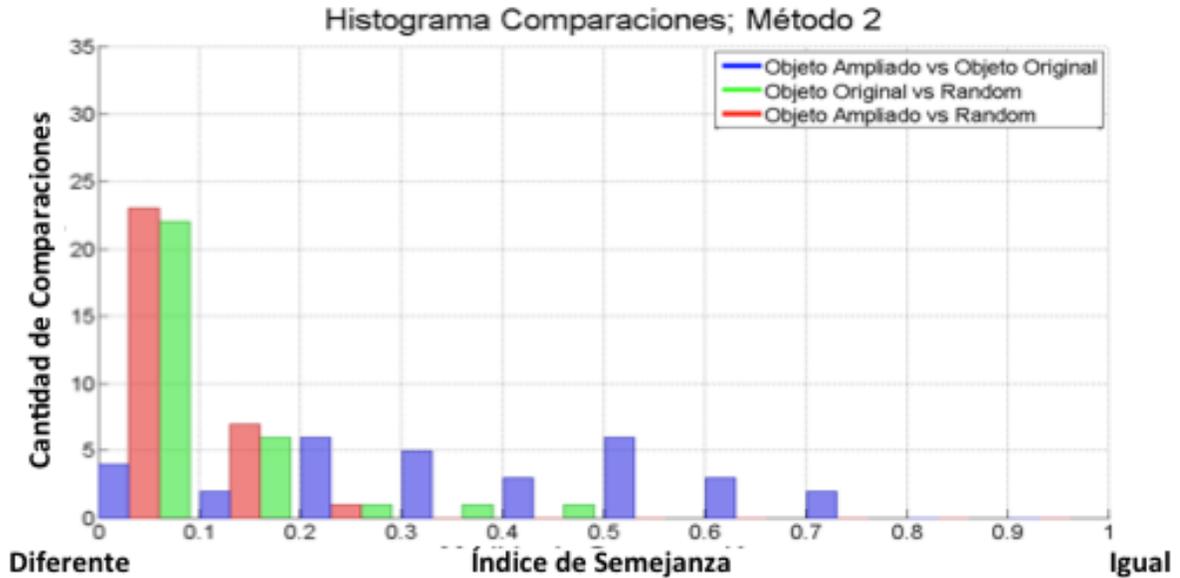
Otra forma de analizar los datos fue aplicar un Método 2 de comparación para ver las semejanzas entre las distribuciones de microsacadas, en el cual lo que se realizó fue sumar todos los puntos donde coincidían ambos objetos o áreas de interés (pixel a pixel) y dividirlos por la cantidad máxima de puntos de la imagen donde había actividad ocular registrada (Figura 28). Con esto se generó un segundo índice en este caso de semejanza, representado por:

$$\frac{\sum_n^N \min(p_1(n), p_2(n))}{\sum_n^N \max(p_1(n), p_2(n))} \quad \forall n \in N$$



**Figura 28. Esquema de análisis para el método 2.** Con este método se evidencian las semejanzas que existen al comparar la conducta ocular respecto a su distribución de microsacadas sobre dos objetos distintos.

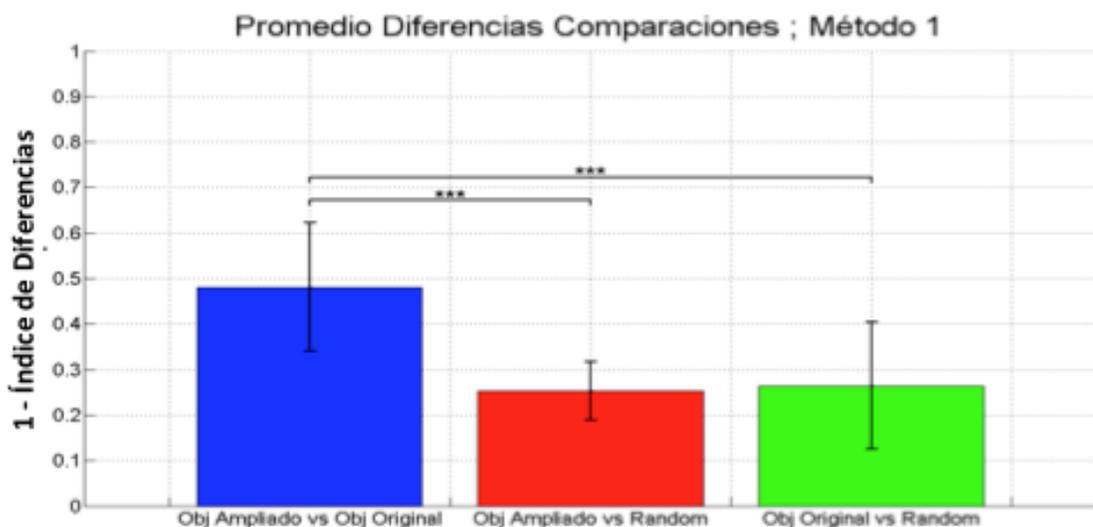
A diferencia del método anterior de análisis, con este modelo de comparación el resultado según la forma del objeto estará indicando que mientras más cercano a 1 el valor ponderado final, más se parece la distribución por área de microsacadas del objeto (Figura 29).



**Figura 29. Método 2 de comparación.** Histograma muestra mayor semejanza entre el mismo objeto para imágenes originales y ampliadas vs una comparación random (donde se tenía certeza de actividad ocular) para cada uno de los objetos respecto al área de distribución de las microsacadas.

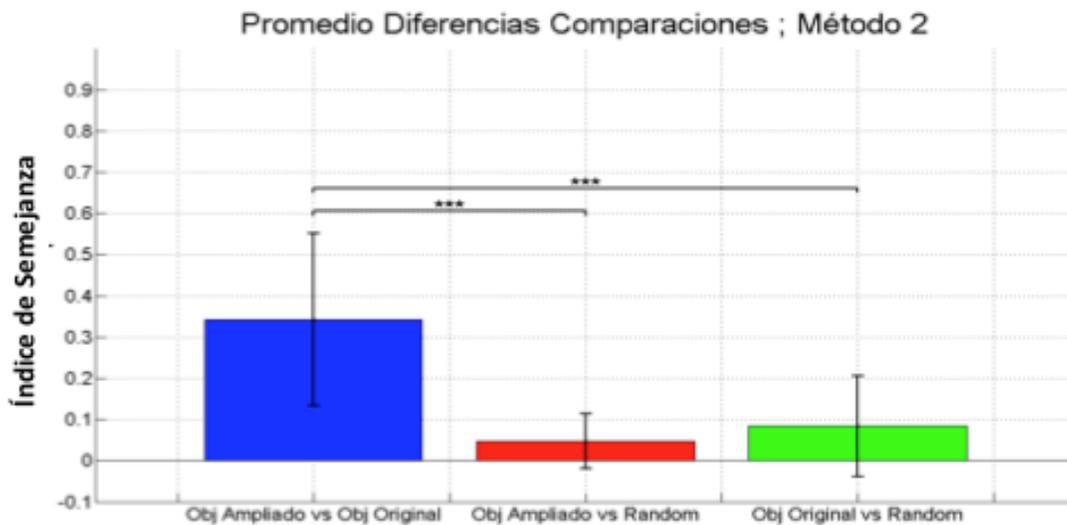
Se aplicó para ambos métodos dos test estadísticos para saber si los datos presentaban una distribución normal. Los resultados para el test Shapiro Wilk del método 1 fueron O-A ( $p=0.5872$ ), O-R ( $p=0.4850$ ), A-R ( $p=0.0250$ ) y método 2 fueron O-A (0.0182), O-R (0.0000048), A-R (0.00000089), donde los grupos random resultaron no ser normales para ambos métodos. Ahora según el test Kolmogorov-Smirnov se obtuvo para el método 1 O-A ( $p=0.8972$ ), O-R ( $p=0.9105$ ), A-R ( $p=0.1921$ ) y método 2 O-A (0.5567), O-R (0.0082), A-R (0.0087), donde solo los grupos random del método 2 resultaron no tener distribución normal (N= Objeto imagen original, A= objeto imagen ampliada y R= área random de la imagen, la cual se obtuvo por subrogado).

Como los resultados que se obtuvieron indicaron que la distribución de los datos no era normal, se aplicó un test no paramétrico Mann Whitney para ver si existían diferencias significativas respecto a la forma de los objetos. Esto se hizo considerando el subrogado con lo cual se buscaba encontrar diferencias respecto al área de distribución de microsacadas entre O-A versus O-R y/o A-R. Para el Método de comparación 1 se obtuvo como resultado de las comparaciones O-A vs O-R y O-A vs A-R diferencias significativas (\*\*\*=  $p < 0.001$ ). Esto indica que al aplicar este método las menores diferencias respecto a la agrupación se encuentran entre los objetos originales y ampliados respecto a la comparación de ambas condiciones con el random. De esto se puede concluir que la forma es un factor relevante en la constitución del patrón de movimientos microsacádicos, ya que las diferencias de agrupación son significativamente mayores cuando se comparan dos objetos distintos o un objeto con un área que es posiblemente fijada. (Figura 30).



**Figura 30. Promedio de diferencias para comparaciones Método 1.** Existen diferencias significativas cuando se evalúa la similitud de los objetos por forma al ser comparados con los dos modelos random.

Los análisis estadísticos para el Método de comparación 2, igualmente dieron para las comparaciones O-A vs O-R y O-A vs A-R diferencias significativas (\*\*\*)= $p < 0.001$ ) (Figura 31)



**Figura 31. Promedio de diferencias para comparaciones Método 2.** Existen diferencias significativas cuando se evalúa la similitud de los objetos por forma al ser comparados con los dos modelos random.

Estos últimos resultados permiten suponer que la agrupación de microsacadas es dependiente de la forma de los objetos visuales, ya que se confirman los resultados del método 1 ahora evaluando la similitud de cada punto que conforma el objeto, encontrando que esta igualdad de píxeles comparados por agrupación de microsacadas en la imagen es mucho más alta y significativamente distinta entre el mismo objeto original y ampliado versus su comparación con una región random de la imagen donde se sabe que los sujetos miran, jugando esta variable un rol importante en su discriminación.

Nuestros Resultados se pueden resumir en 5 puntos que dan cuenta de las diferentes metodologías de análisis utilizadas para dar respuesta a la hipótesis, estos son:

- Se obtuvo diferencias significativas ( $P=0.000005$ ) al comparar el [%] microsacadas en los 4 objetos visuales reportados por área de imagen v/s [%] microsacadas del resto de la escena natural.
- Se obtuvo diferencias significativas de observación ( $P=0.0025$ ) al comparar la cantidad de microsacadas por área de la imagen que representan los 4 objetos reportados v/s la cantidad de microsacadas de regiones salientes en la imagen de igual área.
- En igualdad de muestras emparejadas los resultados fueron significativos, para Ampliado/Original comparado con 2.667  $P<0.001$  ( $P=0.0002$ ) y Original/Ampliado comparado con 0.375  $P<0.001$  ( $P=0.000001$ ).
- No se obtuvieron diferencias significativas de observación respecto a la forma según ángulo y dirección de las microsacadas, analizadas a través de su componente vectorial principal ( $P>0.005$ ).
- Para las comparaciones O-A vs O-R y O-A vs A-R encontramos diferencias significativas de observación (\*\*\*) ( $p<0.001$ ), siendo más similares cuando se compara el mismo objeto bajo diferentes condiciones de presentación.

## 7.DISCUSIÓN

Hasta ahora solo existe evidencia descriptiva del rol que cumplen las diferentes características físicas de la imagen, pero muy poco de cuál sería su importancia en la generación de patrones de movimientos oculares a modo de obtener una mayor comprensión respecto a los distintos mecanismos utilizados por el sistema visual. El presente estudio plantea los movimientos oculares como marcadores de la percepción de objetos visuales a través de la agrupación en patrones de microsacadas durante la exploración libre de imágenes tipo escenas naturales.

Hay antecedentes de una serie de estudios clásicos, Biederman (1972) y (1973) donde se demostró que un objeto se puede detectar más rápido dentro de una escena en un contexto coherente, lo que sugiere que la estructura global de la escena también afecta el procesamiento del objeto (Biederman, 1972 y Biederman, Glass & Stacey, 1973). Bastante evidencia soporta la idea que la exploración visual de una imagen no es homogénea, existiendo regiones que tienden a ser mucho más observadas que otras por los sujetos, encontrando además que esta conducta ocular es muy dependiente de la tarea asignada (Yabus, 1967), por otro lado, en investigaciones más recientes se ha visto que aquellas zonas con mayor exploración tienden a ser objetos visuales o al menos ubicarse en una región de interés asociada a un objeto (Berger et al., 2011).

Otros estudios han profundizado en estas regiones de interés reconociendo que esta asociación con los objetos visuales de la escena no solo depende de la fijación de la imagen, no obstante, se puede reconocer que también estarían presentes pequeños movimientos sacádicos que serían en concreto los responsables de la percepción del objeto (Martínez-Conde et al., 2014). Nuestros resultados son concordantes con todos estos antecedentes mencionados, evidenciando en ambas condiciones de imágenes presentadas (originales y ampliadas) una gran presencia de fijaciones sobre los objetos reportados por los sujetos, además de una alta presencia en estas regiones fijadas de sacadas pequeñas asociadas, cercano a un 52% (ver resultados, Figura 12). Esta distribución preferente de los movimientos oculares corresponde a lo que podemos encontrar en la literatura denominado como microsacadas (Otero-Millan et al. 2008).

A diferencia de los antecedentes previos, para asegurar que los análisis eran realizados efectivamente sobre objetos vistos en la imagen, se pidió el reporte a los sujetos, con lo cual las fijaciones y agrupaciones de microsacadas descritas pueden ser definidas como los constituyentes de su percepción. Para demostrar este punto, lo primero que se hizo fue contrastar el número total de microsacadas en la región de interés con el resto de la imagen. Los resultados fueron muy categóricos, obteniendo diferencias significativas de observación ( $P=0.000005$ ), reforzando lo que ya se conocía a través de los estudios de Berger et al. (2011), siendo estas mucho más abundantes en las regiones de interés previamente definidas como objetos visuales, reafirmando que el área con mayor cantidad de microsacadas y reportada por los sujetos estaría siendo percibida como un objeto. Esta clara diferencia, sin embargo,

no puede por sí sola dar respuesta al acto de percepción ya que estas áreas de interés podrían estar en directa relación con regiones de la imagen cuyas características físicas sean más salientes en términos de intensidad, color y orientación (Foulsham & Underwood, 2008) y solo por ese hecho concentrar una mayor cantidad de microsacadas.

La mayoría de los modelos de exploración visual utilizados, ya sean de movimientos oculares con los ojos abiertos o aquellos que estudian cambios encubiertos de atención, se basan en este concepto de mapa de saliencia, que identifica la prominencia o visibilidad relativa de cada uno de los objetos respecto a su entorno visual (Itti & Koch, 2000), por lo cual el siguiente paso para confirmar que los sujetos reportaron los objetos visuales, fue el comparar la cantidad de microsacadas sobre los objetos versus los mapas de saliencia, obteniendo como resultado diferencias significativas de observación ( $P=0.0025$ ), encontrando una mayor cantidad de microsacadas en los objetos visuales de interés por sobre la regiones salientes.

Una vez demostrado que los sujetos logran percibir los objetos visuales en la imagen tipo escena natural, no enfocamos a responder si esta agrupación de microsacadas que da cuenta de este acto, tiene un patrón diferente bajo condiciones de tamaño y forma particulares. Las investigaciones previas en este tema no son muchas y a la vez son poco claras, una de ellas realizando estudios de potenciales evocados visuales en humanos estudiando el papel y dinámica de cuatro señales: dos dimensiones contorno como la forma y textura, además de la luminancia y el

color, entregó resultados que sugieren que los mecanismos que subyacen a una detección más rápida del animal en escenarios naturales utiliza la forma como una señal discriminativa de carácter directo (Elder & Velisavljević, 2009). De estudios anteriores, encontramos un papel muy pequeño para las señales de luminancia y color a lo largo del tiempo de procesamiento visual. También se ha visto que los objetos con características distintivas, ya sea por tamaño, color o forma diferente, presentan a la exploración visual un menor tiempo en ser reconocidos y analizados (Wolfe & Horowitz, 2004).

La mayoría de los estudios previos abordan como impactan en la percepción las características de la imagen pero no se refieren al mecanismo por el cual lo hacen, es de esta forma como se consideraron en particular dos características de los objetos para definir este patrón de microsacadas que constituyen su percepción. El primero es el tamaño del objeto, los datos sugieren que la percepción del objeto a través de la conducta ocular es independiente del tamaño, esto se obtuvo generando una imagen ampliada de cada una de las 10 imágenes finalmente seleccionadas, que presentaron al menos 4 objetos claramente reportados por los sujetos, con este modelo se consideró la presentación de ambas imágenes y se realizó un conteo de las microsacadas contenidas en los objetos visuales.

Se calculó para la imagen original una razón de aumento en tamaño de  $1920 \times 1080 / 1080 \times 720 = 2.667$ , es decir, la imagen original se amplió un total de 2,6 veces aproximadamente, mientras que para la imagen ampliada la razón fue de  $1080 \times 720 / 1920 \times 1080 = 0.375$ . Si efectivamente existía una dependencia del tamaño

en la agrupación de microsacadas era razonable esperar que la cantidad se escalará al aumento que sufre el objeto al ser ampliado, al realizar un test estadístico para ver igualdad de muestras se obtuvo valores estadísticamente significativos, indicando que para percibir el objeto visual no es necesario aumentar el número de microsacadas al aumentar el tamaño, confirmando la independencia de este factor.

La segunda característica del objeto que fue evaluada es la forma, la cual por los antecedentes previos se considera un factor relevante en la identificación de objetos dentro de una imagen, específicamente animales con gran rapidez y precisión (Elder & Velisavljević, 2009), pero sin embargo, no se había estudiado como participaban en la conformación de las agrupaciones de microsacadas en regiones de interés hasta los recientes estudios en el Laboratorio de Neurosistemas por Rocío Loyola (2015), quién en los resultados de su investigación logró identificar que existe una agrupación tipo para los objetos visuales (la mayoría de los casos con distribución circular), sin poder llegar a describir con claridad tal conducta. De esta manera es como se planteó la idea de que el patrón de movimientos oculares microsacádicos es dependiente de la forma del objeto, para dar respuesta lo primero que se realizó fue la descripción del objeto respecto a su direccionalidad y ángulo de orientación, para luego tomar todas las microsacadas agrupadas sobre un objeto y centrarlas en un plano cartesiano para observar cual era su tendencia principal.

Este análisis surgió de reportes previos donde se planteaba que el direccionamiento de las microsacadas se encuentra influido por la mecanismos de atención encubierta, y que este direccionamiento tiende a favorecerse de la dirección

de pistas encontradas en la región de visión periférica (Hafed & Clark, 2002; Engbert & Kliegl, 2003), demostrando estos resultados que las microsacadas no corresponden a comportamientos azaroso del sistema visual, sino más bien, pueden ser modulados por mecanismos *top-down* como la atención, lo que da paso a pensar que pueden generar patrones particulares dependiendo de la forma del objeto visto. Los resultados para estos análisis no entregaron diferencias significativas de observación, por lo cual se replanteó su estudio considerando en esta oportunidad la forma como la distribución de microsacadas por área del objeto visual reportado.

En congruencia con esta línea de estudio fue necesario plantear la creación de un subrogado, el cual consistió en tomar de la imagen original una región que corresponda a un objeto visual reportado, luego separar de la imagen ampliada la misma región y ambas escalarlas a un nuevo tamaño que permita la comparación de distribución de las microsacadas que la conforman. Posteriormente tomar las coordenadas de cada objeto y seleccionar en otra imagen (de las 19 restantes) un parche de iguales coordenadas para comparar la distribución del comportamiento ocular. Esto ya que hay ciertos lugares de la imagen explorada donde todos los sujetos van a mirar indistintamente como el centro de la imagen, mientras que otras regiones nunca serán fijadas como ocurre en las esquinas (Tatler, 2007).

Con esta métrica de comparación como segundo paso fue necesario crear un método de análisis para obtener resultados respecto a la forma, el cual consideró que dos objetos eran exactamente iguales si la resta por pixel entre ellos daba cero, por lo tanto mientras más cerca de cero más semejantes serían los objetos y más

dependiente de la forma su agrupación de microsacadas. Para este método (denominado método 1) se obtuvo un valor de resta que fue normalizado por la cantidad total de píxeles evaluados por objeto, debido a que la resta solo consideró aquellos puntos de la imagen donde al menos uno de las dos áreas (imagen original o ampliada) presentaba actividad ocular. Un método 2 de comparación alternativo, consideró la suma de todos los puntos donde coincidían ambos objetos u áreas de interés (pixel a pixel) y los dividió por la cantidad máxima de puntos de la imagen donde había actividad ocular registrada. De esta forma los objetos comparados que fueron más cercanos a 1 se parecían más (ver gráfico8 y 9). Para ambos métodos las comparaciones O-A vs O-R y O-A vs A-R entregaron diferencias significativas (\*\*\*) al ser aplicado un test no paramétrico Mann Whitney (N= Objeto imagen original, A= objeto imagen ampliada y R= área random de la imagen, la cual se obtuvo por subrogado).

## 8.CONCLUSIONES

- Se muestra con nuestros resultados que usando una tarea de exploración libre, la distribución de microsacadas se correlaciona de manera efectiva con los objetos percibidos, confirmados a través del reporte de los sujetos.
- Contrastado con mapas de Saliencia vemos que regiones con una mayor presencia de microsacadas representan la percepción de un objeto y no sólo son zonas que destacan por sus características físicas.
- La agrupación de estas microsacadas fue independiente del tamaño de los objetos percibidos, manteniendo el tamaño absoluto de la agrupación al escalar las imágenes de estímulo.
- Encontramos que la forma de objetos reportados influye en la disposición espacial de microsacadas. Con lo cual se puede decir si dos objetos tienen forma distinta, pero no basta para determinar la forma a través de los datos del registro.
- Finalmente, estos resultados pueden contribuir a la caracterización de la percepción de los objetos en una escena y arrojar luz sobre los mecanismos para la segmentación visual.

## 9.REFERENCIAS

Berger, D., Paziienti, A., Flores, F., Nawrot, M., Maldonado, P., Grün, S. Viewing strategy of Cebus monkeys during free exploration of natural images *Brain Research* 1434, 34-46, 2011.

Biederman, I. Perceiving real-world scenes. *Science*, 177, 77–80, 1972.

Biederman, I., Glass, A. L., & Stacey, E. W., Jr. Searching for objects in real-world scenes. *Journal of Experimental Psychology*, 97, 22–27, 1973.

Buswell, G.T. *How People Look at Pictures*. Chicago: Univ. Chicago Press. 1935.

Costela F.M., McCamy M.B., Macknik S.L., Otero-Millan J., Martinez-Conde. Microsaccades restore the visibility of minute foveal targets. *PeerJ* 1:e 119, 2013.

Crouzet S.M., Serre T. What are the visual features underlying rapid object recognition? *Frontier Psychology* 2:326. doi: 10.3389/fpsyg.2011.00326, 2011.

Elder, J. H., & Velisavljević, L. Cue dynamics underlying rapid detection of animals in natural scenes. *Journal of Vision*, 9(7):7, 1–20, <http://journalofvision.org/9/7/7/>, doi:10.1167/9.7.7, 2009.

Engbert, R., & Kliegl, R. Microsaccades uncover the orientation of covert attention, *Vision Research* 43 (9): 1035-1045, 2003.

Foulsham, T., Underwood, G. What can saliency models predict about eye movements? Spatial and sequential aspects of fixations during encoding and recognition. *Journal of Vision*, 8(2):6, 1–17, <http://journalofvision.org/8/2/6/>, doi:10.1167/8.2.6, 2008.

Gurnsey, R., Roddy, G., & Chanab, W. Crowding is size and eccentricity dependent. *Journal of Vision*, 11(7):15, 1–17, 2011.

Hafed, Z.M., & Clark, J.J. Microsaccades as an overt measure of covert attention shifts. *Vision Research*, 42(22): 2533–2545, 2002.

Hafed, Z.M. et al. A neural mechanism for microsaccade generation in the primate superior colliculus. *Science* 323, 940–943, 2009.

Hafed Z.M., Ignashchenkova A. On the dissociation between Microsaccade Rate and Direction after Peripheral Cues: Microsaccade Inhibition Revisited. *Journal of Neuroscience*, 33(41): 16220-16235, 2013.

Henderson, J. Human gaze control during real-world scene perception. *TRENDS in Cognitive Sciences* 7(11): 498-504, 2003.

Itti, L., & Koch, C. A saliency-based search mechanism for overt and covert shifts of visual attention *Vision Research* 40 (10): 1489-1506, 2000.

Itti, L., & Koch, C. Computational modelling of visual attention. *Nature reviews Neuroscience*. 194-203, 2001.

Krieger G., Rentschler I., Hauske G., Schill K., Zetsche C. Objects and scene analysis by saccadic eye-movements: an investigation with higher order-statistics. *Spatial Vision* 13(2,3): 201-214, 2000.

Loyola, R. ¿Qué miramos cuando miramos? La relación entre la conducta ocular y la percepción de objetos visuales. Tesis Magister, 2015.

Mackworth, N. & Morandi, A. The gaze selects informative details within pictures. *Perception & Psychophysics* 2(11): 547-552, 1967.

Martínez-Conde, S., Macknik, S., Hubel, D. The role of fixational eye movements in visual perception. *Nature Reviews Neuroscience*. 5(3): 229-240, 2004.

Martinez-Conde, S. Fixational eye movements in normal and pathological vision. *Progress in Brain Research*, 154, 151–176, 2006.

Martínez-Conde, S., Macknik, S., Troncoso, X., Hubel, D. Microsaccades: a neurophysiological analysis. *Trends in Neuroscience*. 32(9): 463-475, 2009.

Martínez-Conde S., Otero-Millan, J., Macknik, S. The impact of microsaccades on vision: towards an unified theory of saccadic function. *Nature Reviews Neurosciences* 14(2): 83-96, 2013.

Martínez-Conde S., McCamy M., Otero-Millan, J., Di Stasi, L., Macknik, S. Highly informative natural scene regions increase microsaccade production during visual scanning. *The Journal of Neuroscience* 34(8): 2956, 2014.

Maturana H, Varela F. *El árbol del conocimiento*. Santiago: Editorial Universitaria, 1984.

Munar E. et al. Modelos teóricos y Neurociencia cognitiva de la percepción. *Manual de Neuropsicología* (3), 57-75, 2007.

Otero-Millan J, Troncoso XG, Macknik SL, Serrano-Pedraza I, Martinez-Conde S. Saccades and microsaccades during visual fixation, exploration and search: foundations for a common saccadic generator. *Journal of Vision* 8:14 –21, 2008.

Otero-Millan J., S.L. Macknik, R.J. Leigh & S. Martinez-Conde. An oculomotor continuum from exploration to fixation. *Pans*, vol. 110(15): 6175-6180, 2013.

Rayner, K., Li, X., Williams, C., Cave, K., Well, A. Eye movements during information processing tasks: individual differences and cultural effects. *Vision Research* 47(21): 2714-2726, 2007.

Schlingensiepen, K., Campbell, F., Legge, E., Walker, T. The Importance Of Eye Movements In The Analysis Of Simple Patterns. *Vision Research*. 26 (7): 1111-1117, 1986.

Tatler, B. The central fixation bias in scene viewing: Selecting an optimal viewing position independently of motor biases and image feature distributions. *Journal of Vision* 7(14): 1-17, 2007.

Toet, A., & Levi, D. M. The two-dimensional shape of spatial interaction zones in the parafovea. *Vision Research*, 32, 1349–1357, 1992.

Van Diepen, P. & D'Odewalle, G. Early peripheral and foveal processing in fixations during scene perception. *Visual Cognition*. 10(1): 79-100, 2003.

Wolfe, J.M., Horowitz, T. What attributes guide the deployment of visual attention and how do they do it? *Nature Reviews Neuroscience*. 5, 1-7, 2004.

Yarbus, A.L. *Eye Movements and Vision*, Plenum Press, 1967.

## 10. ANEXOS

**Anexo 1.** Se muestran como ejemplo 3 imágenes utilizadas en el estudio en ambas condiciones de presentación. Para lograr la imagen ampliada, en la imagen original se seleccionó el área donde se encontraron la mayor cantidad de objetos visuales reportados y se delimitó una región que comprendía el 50% del área de la imagen, la cual luego se escaló al tamaño de la imagen original manteniendo su resolución.

**Imagen Original**



**Imagen Ampliada**

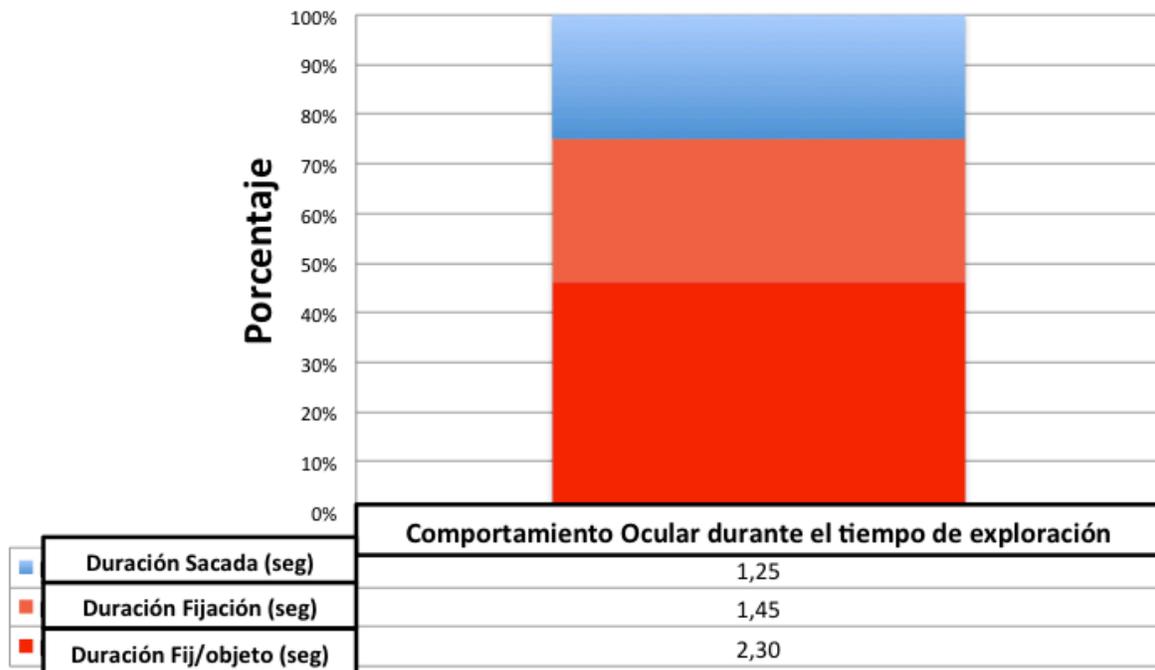


**Anexo 2.** Se muestra la tabla con el resultado de los objetos más reportados por los sujetos, dicho reporte se obtuvo inmediatamente después de la presentación de cada imagen. La imágenes de la número 1-10 corresponden a las imágenes ampliadas, mientras las imágenes de la número 11-20 son las originales, respectivamente.

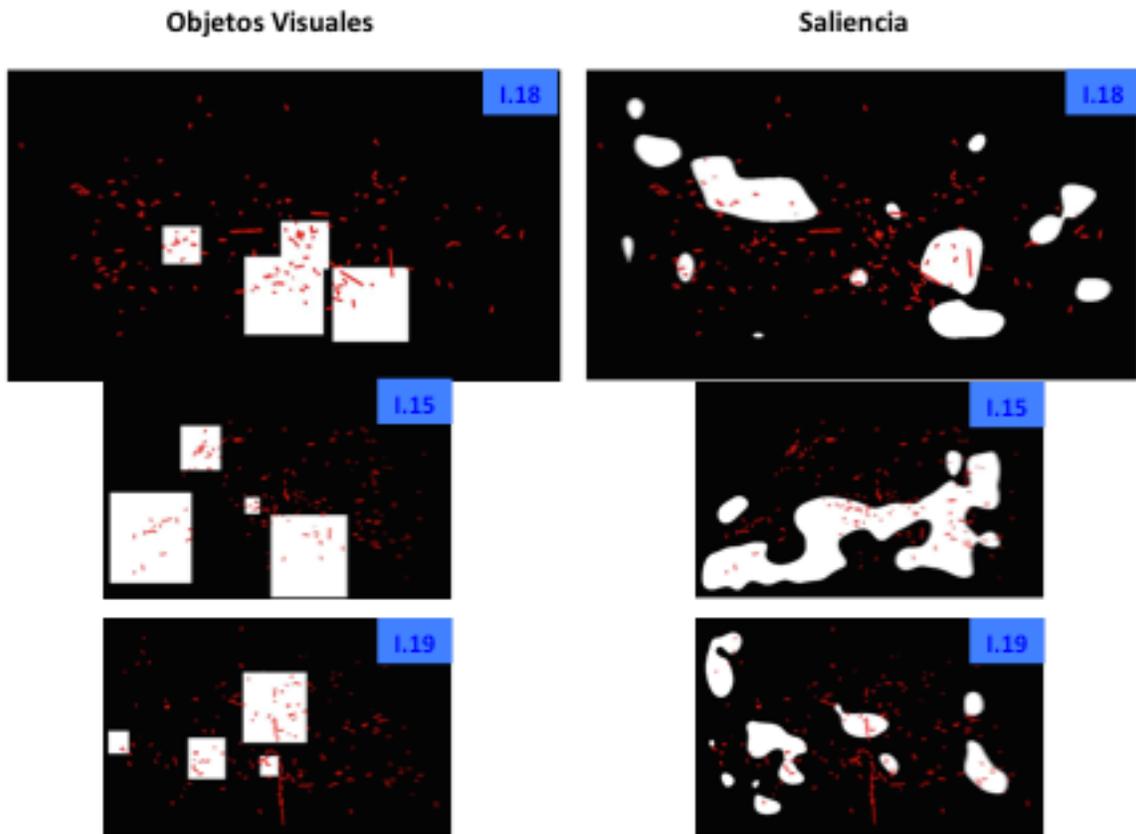
TABLA DE RESULTADOS MAS REPORTADOS					
Imagen Ampliada	Objetos	Nº	Imagen Original	Objetos	Nº
1	silla	20	11	silla	19
	sombrero	18		sombrero	13
	copa	16		copa	8
	botella	11		botella	10
2	mesa	16	12	mesa	16
	garrafa	16		garrafa	6
	mantel	11		mantel	4
	silla	9		silla	17
3	perro	19	13	perro	19
	silla	19		silla	18
	mesa	15		mesa	9
	quitasol	14		quitasol	7
4	sillon	17	14	sillon	15
	reloj	14		reloj	14
	letras	11		letras	14
	mesa	11		mesa	8
5	mapa	20	15	mapa	7
	silla	18		silla	14
	escritorio	13		escritorio	13
	cuadro	7		cuadro	10
6	sandalias	17	16	sandalias	14
	hamaca	16		hamaca	17
	mesa	15		mesa	11
	alfombra	11		alfombra	10
7	mesa	19	17	mesa	17
	manzanas	16		manzanas	10
	florero	15		florero	10
	silla	13		silla	13
8	burro	21	18	burro	21
	carreta	16		carreta	12
	estrella	15		estrella	10
	palmera	2		palmera	13
9	metro	15	19	metro	11
	persona	12		persona	14
	auto	10		auto	19
	letrero	9		letrero	8
10	chimenea	19	20	chimenea	15
	mesa	11		mesa	9
	florero	11		florero	7
	sillon	10		sillon	12

**Anexo 3.** Al estudiar la conducta ocular se pudo obtener que de los 5 segundos de exploración libre, en promedio los sujetos de estudio utilizaron 3,79 segundos (75%) del tiempo en promedio realizar fijaciones sobre la imagen, contemplando dentro de este tiempo un total de 2,17 segundos en la observación de todos los objetos visuales de interés (objetos reportados), lo que corresponde al 57,86% del tiempo total de fijación promedio. El tiempo restante (25%), fue destinado a buscar un nuevo objeto de interés a través de movimientos sacádicos (> a 1 grado visual).

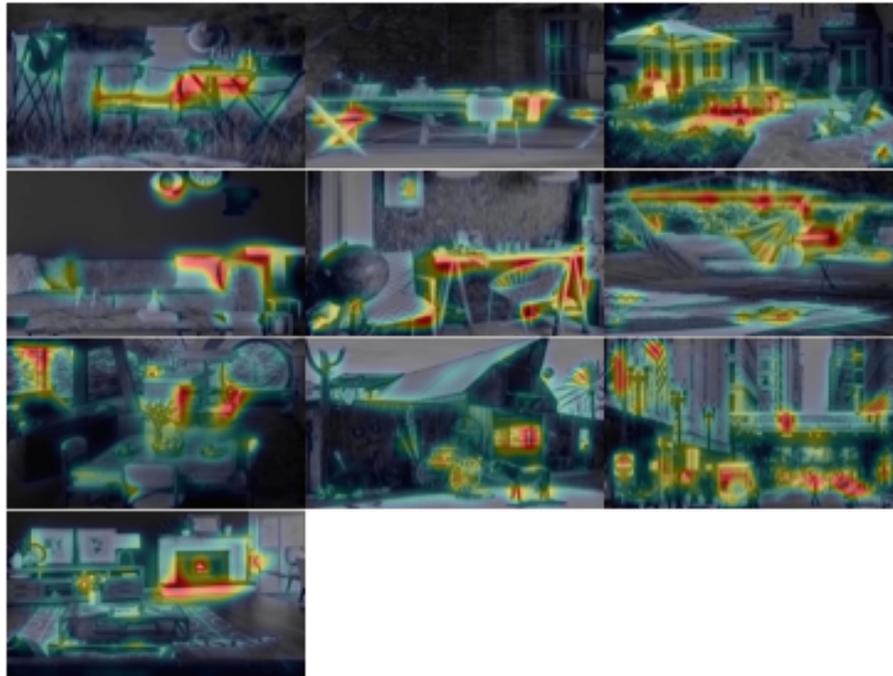
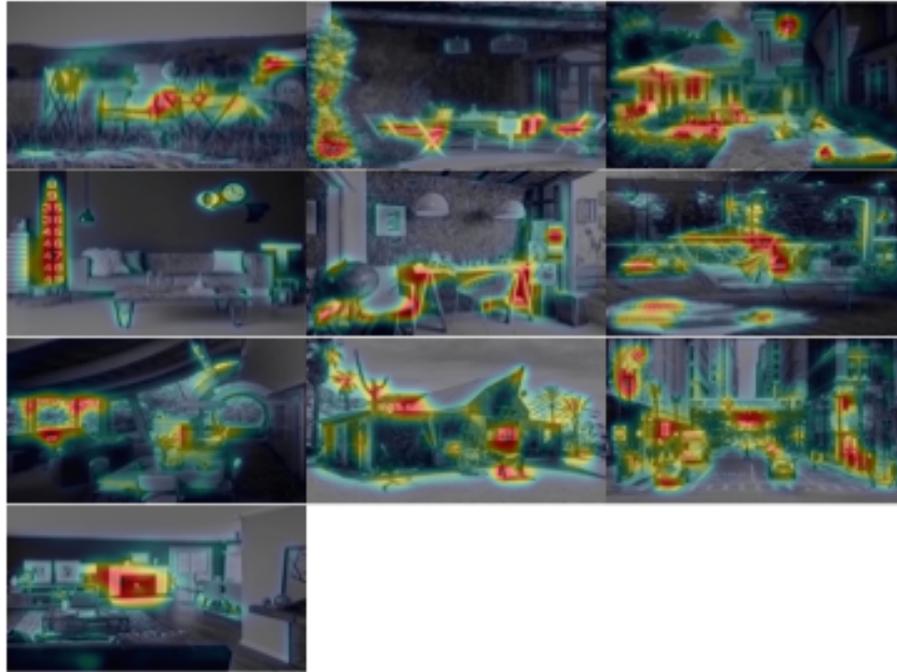
### Conducta Ocular en exploración libre



**Anexo 4.** Métrica de estudio para poder mostrar que los objetos de la imagen efectivamente fueron percibidos por los sujetos, para lo cual se comparó la cantidad de microsacadas sobre los objetos reportados versus la cantidad de microsacadas que se distribuyen sobre regiones con características físicas salientes en la imagen. Los objetos visuales reportados como se muestra en la figura se encuentran dentro de una región de interés, por lo que al análisis de la cantidad de microsacadas que los conforman se diferencian por secciones cuadradas de la imagen. Por otro lado, el análisis de saliencia utiliza las características físicas de la imagen como color, contraste y orientación, generando regiones curvas dentro de la escena analizada.



**Anexo 5. Mapas de saliencia.** Se muestra el resultado al realizar mapas de calor sobre los análisis de saliencia (Mapas de Saliencia, Itti, L., & Koch, C. (2000)) de las imágenes utilizadas en el experimento. (Arriba) se presentan los resultados para las imágenes originales, (abajo) imágenes ampliadas.



Anexo 6. Acta de aprobación de proyecto por el comité de Ética de Investigación en Seres Humanos.



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

1/2



24 NOV. 2015

## ACTA DE APROBACIÓN DE PROYECTO

FECHA: 24 de noviembre de 2015.

**PROYECTO: MOVIMIENTOS OCULARES COMO MARCADORES DE LA PERCEPCIÓN DE OBJETOS VISUALES**

**INVESTIGADOR RESPONSABLE: SR. IVAN PLAZA ROSALES,**

**INSTITUCIÓN: PROYECTO DE TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN NEUROCIENCIAS. DIRECTOR DE TESIS: PROF. DR. PEDRO MALDONADO ARBOGAST. LABORATORIO DE NEUROSISTEMAS, FACULTAD DE MEDICINA, UNIVERSIDAD DE CHILE.**

Con fecha 24 de noviembre de 2015, 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.

Este comité también analizó y aprobó el correspondiente documento de Consentimiento Informado en su versión modificada de fecha 14 de octubre de 2015.

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

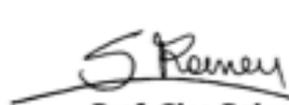


24 NOV. 2015

**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	Presidente	Sí
Dr. Hugo Amigo	Miembro	Sí
Dra. Lucía Cifuentes	Miembro	Sí
Dra. María Eugenia Pinto	Miembro	Sí
Sra. Claudia Marshall	Miembro	Sí
Dra. Grisel Orellana	Miembro	Sí

Santiago, 24 de noviembre de 2015.

  
**Prof. Gina Raineri B.**  
**Secretaria Ejecutiva CEISH**

GRB/lom.  
c.c.: - ivan\_plaza\_010@hotmail.com  
- Proyecto N° 129-2015  
- Archivo ACTA AP-148

## Anexo 7. Consentimiento Informado



24 NOV. 2015

### CONSENTIMIENTO INFORMADO

#### **"Movimientos oculares como marcadores de la Percepción de objetos visuales"**

Nombre del Investigador principal: Dr. Pedro Maldonado A.

Nombre del segundo Investigador: TM Iván Plaza R.

Institución: Programa de Fisiología y Biofísica, ICBM, Facultad de Medicina, Universidad de Chile.

Teléfono: 9786035

**Invitación a participar:** Tenemos el agrado de invitarlo a participar en el proyecto de investigación "Movimientos oculares como marcadores de la Percepción de objetos visuales". Si luego de finalizada la lectura de este documento algo no le ha quedado completamente claro, no dude en consultar al investigador responsable.

**Objetivos:** Esta investigación tiene por objetivo evaluar la búsqueda de un patrón de movimiento ocular durante la exploración libre de objetos visuales de distinta forma y tamaño, insertos dentro de escenas naturales, a modo de obtener una mayor comprensión respecto a los mecanismos utilizados por el sistema visual. En este estudio se incluirá un total de 25 sujetos, los cuales serán reclutados directamente por el grupo investigador, siendo en su mayoría miembros del alumnado de la Facultad de Medicina, Universidad de Chile.

**Procedimientos:** Si Ud. acepta participar será conducido al laboratorio de neurosistemas de la facultad para realizar el procedimiento experimental. Se instalará un dispositivo con cámaras para registrar los movimientos oculares, el cual consta de un sistema de seguimiento que permite reconocer todos los movimientos realizados y poder diferenciarlos de periodos en los cuales los ojos se fijan en algún objeto. Se presentará al sujeto de estudio el set de imágenes de escenas naturales con objetos de diferente tamaño y forma. Se les pedirá a los participantes que exploren libremente las imágenes en la pantalla, los cuales permanecerán durante 6000 msg. Al inicio de cada test se presentará una pantalla gris con una cruz negra central durante 1000 ms; luego aparecerá el estímulo (escena natural) de prueba en la pantalla durante 6000 ms. El sujeto luego de la observación libre de la imagen tendrá 5.000 msg para reportar de forma verbal los objetos vistos dentro de la escena natural. Dada las características de la investigación, solo necesitamos un día de registro en un horario a consensuar mutuamente, lo cual no tardará más de 25 minutos considerando tanto la calibración del equipo como la prueba misma. Los datos serán analizados a través de mapas de densidad de movimientos oculares (sacadas y microsacadas) y periodos de fijación para cada imagen, para la comparación de cada uno de los objetos de interés se aplicarán pruebas paramétricas de análisis como t-test.

**Riesgos:** El registro del seguimiento ocular no ha mostrado efectos adversos para los sujetos en estudios previos. Por otro lado, la estimulación visual por medio de un monitor no ha evidenciado efectos nocivos y no produce efectos diferentes a los que se obtienen al trabajar por el mismo periodo en un computador. Por lo anterior no esperamos tener ningún riesgo para el sujeto en



24 NOV. 2015

estudio, siendo la única condición posible que el periodo de registro pudiera llegar a producir cansancio.

**Costos:** Los procedimientos realizados en este proyecto no tendrán ningún costo para Ud.

**Beneficios:** Un beneficio directo de este estudio es el contribuir a implementar una nueva línea de investigación en nuestro país, además de constituir un aporte a la comprensión de los mecanismos de movimiento ocular v/s percepción visual y sus modelos teóricos.

**Alternativas:** Si Ud. decide no participar en esta investigación, solo tiene que informarlo a los investigadores. Esto no significará ningún perjuicio para Ud.

**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 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 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 considera que esa decisión va en su beneficio del proyecto.

**Complicaciones:** En el improbable caso de que Ud. presente complicaciones directamente dependientes de la aplicación de las técnicas utilizadas en este estudio, 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.

**Derechos del participante:** Si Ud. requiere cualquier información sobre su participación llamar a:

Investigador: Iván Antonio Plaza Rosales, fono: 56292529

Autoridad de la Institución: Dr. Pedro Maldonado A. fono: 9786035



24 NOV. 2015

**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](mailto: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 como marcadores de la Percepción de objetos visuales"

..... Nombre del sujeto	..... Firma	..... Fecha
..... Nombre del informante	..... Firma	..... Fecha
..... Nombre del investigador	..... Firma	..... Fecha