

8

APLICACIONES DEL EYE TRACKING

En este apartado se presentarán los principales campos en los que se han aplicado los diferentes tipos de eye tracking. Se expondrán algunas investigaciones que se han desarrollado en cada campo, con el fin de fundamentar la importancia del estudio del comportamiento visual para la comprensión de procesos cognoscitivos y emocionales, así como para aportar aproximaciones históricas, conceptuales y teóricas.

Dado que existe una amplia variedad de tecnologías de rastreo ocular, con el propósito de que el lector profundice en las investigaciones en las que se ha utilizado el eye tracker Mobile eye XG. en los últimos años, se presenta en el Anexo 2 una lista con las referencias de algunas publicaciones recientes.

El eye tracking ha sido utilizado en múltiples campos de estudio, aunque el más conocido es el del neuromercadeo (Dos Santos, De Oliveira, Rocha y Giraldi, 2015). No obstante, sorprende la variedad de usos que tiene esta herramienta, los cuales incluyen investigaciones sobre procesos de lectoescritura (Wade, 2010), trastornos del espectro autista (Boraston y Blakemore, 2007), emociones (De Lemos, Sadeghnia, Ólafsdóttir y Jensen, 2008) y comportamiento social (Gobel, Kim, y Richardson 2015), entre otros.

Chamorro (2012), señala que:

La utilización del rastreo del movimiento ocular como paradigma de estudio, ha cobrado fuerza en los últimos años, puesto que es un método no invasivo que permite evaluar diversos aspectos del procesamiento de la información visual y hacer inferencias sobre las características del funcionamiento cerebral (p. 7).

La misma autora sostiene que los estudios de los movimientos sacádicos han sido empleados como marcadores biológicos de enfermedades neurológicas y psiquiátricas (Chamorro, 2012).

Como antecedentes históricos, en 1935, Buswell publicó un libro titulado *How People Look at Pictures: A Study of The Psychology of Perception in Art*. Buswell fue el primero en grabar y analizar los movimientos oculares de personas que observaban escenas complejas (Babcock, Lipps y Pelz, 2002).

Más adelante, en 1967, Alfred Yarbus utilizó un dispositivo de seguimiento ocular (Figura 18) y le pidió a un grupo de personas que observara una escena de una familia (Figura 19) durante tres minutos, mientras le formulaba diversas preguntas encaminadas a describir las claves en la escena que permitían al participante dar las respuestas (Catani y Sandrone, 2015; Liversedge, Gilchrist y Everling, 2011).

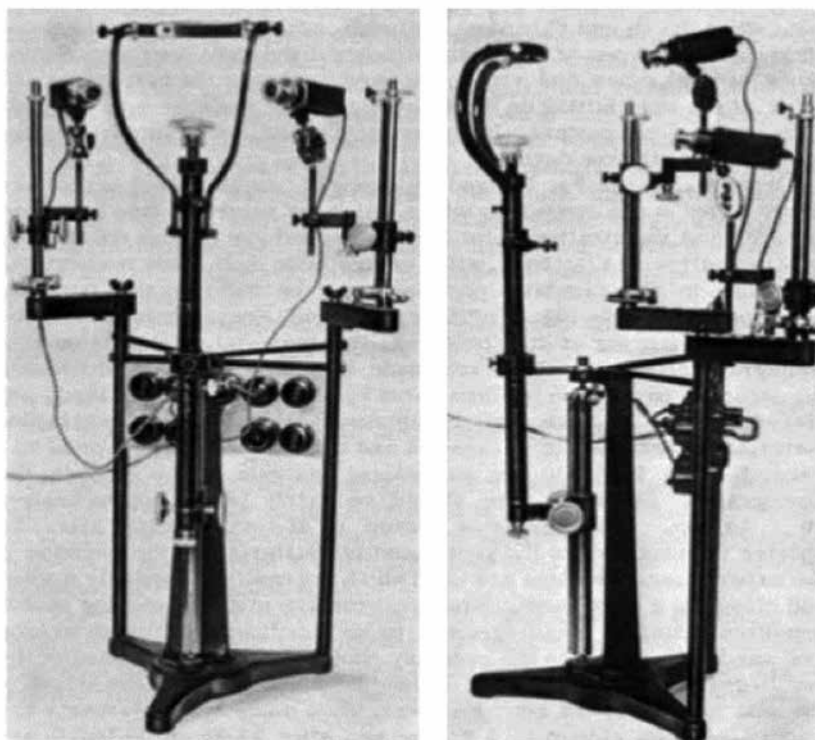


Figura 18. Experimento de Yarbus. Fuente: Yarbus, A. L. (1967). *Movimientos oculares y visión*. Recuperado de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Yarbus_eye_tracker.jpg

Al participante se le impedía pestañear, pegando el párpado con cinta. Luego se le pedía que explorara la escena y, mientras esto ocurría, una luz reflejada por el ojo era grabada sobre un tipo de papel fotográfico (Catani y Sandrone, 2015). Yarbus concluyó que la motivación y el objetivo que se establecía antes de que los participantes hicieran el proceso de observación determinaban la estrategia (Figura 19).

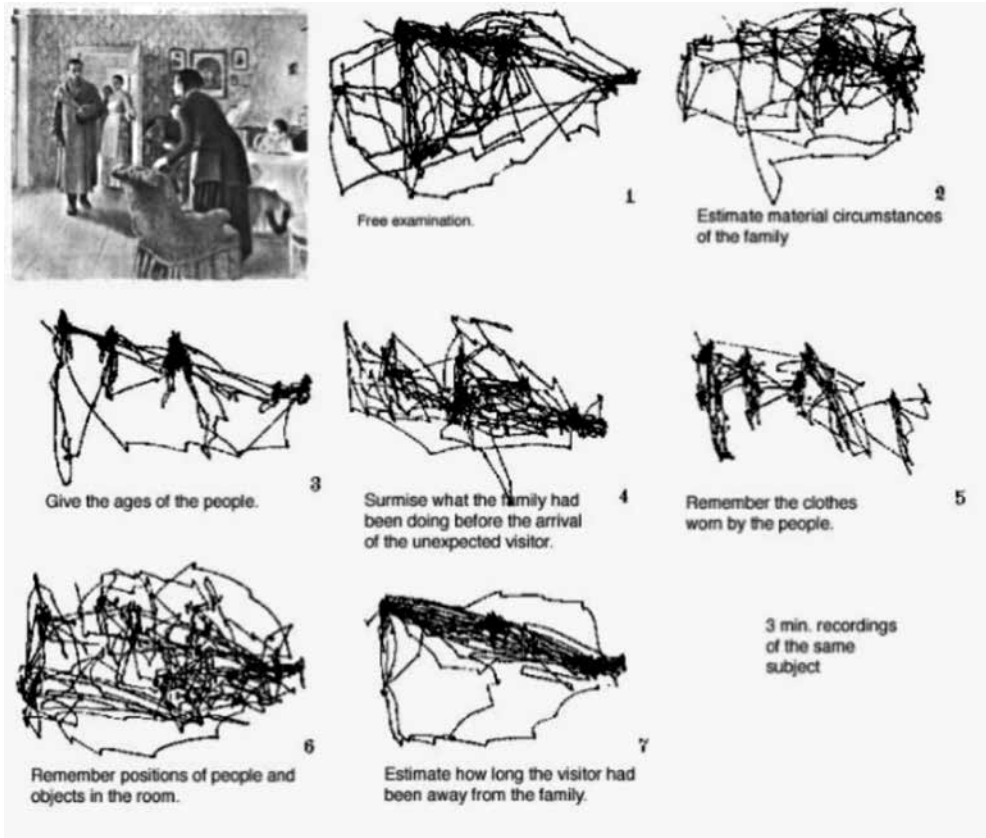


Figura 19. Dispositivo utilizado por Yarbus para registrar los movimientos oculares. Fuente: Creative Commons (2007). *This Data from Yarbus (1967) is often Referred to when Arguing that the Task Given to a Person has a Strong Influence on his or her Eye Movements.* Recuperado de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Yarbus_The_Visitor.jpg

Asimismo, Yarbus (1967) advirtió que, cuando se les permitía el rastreo libre de una escena con objetos y personas, los participantes fijaban su atención en primer lugar sobre las personas, en especial en los ojos y la boca. Catani y Sandrone (2015) explican que los seres humanos se interesan en aquellos objetos clave de una escena a partir de los cuales pueden construir una narrativa y entender el significado de lo que ocurre a su alrededor y por eso suelen centrarse en los rostros de otras personas y luego extraen información de la postura corporal y de su posición en el espacio, lo que en conjunto ofrece datos sobre los aspectos emocionales y el estado mental, con el fin de hacer predicciones (Figura 20).

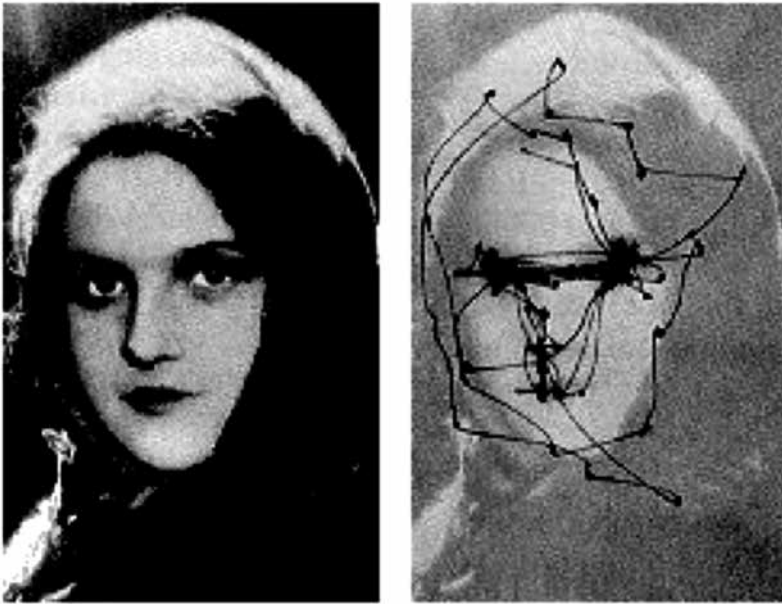


Figura 20. Imagen del experimento utilizado por Yarbus en 1967. Fuente: Wikimedia commons. (2014). *Saccades and Microsaccades*. Recuperado de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Saccades_and_Microsaccades.jpg

Los hallazgos de estas investigaciones y de otras similares significaron tres grandes desafíos frente a los estudios de los movimientos oculares: a) el desarrollo de tecnologías no invasivas para grabar y observar los movimientos oculares; b) el diseño de *software* para grabar, procesar y analizar la cantidad de información que se obtenía a partir de estos estudios, y c) la aplicación de los aportes de la psicología cognitiva en el estudio de los movimientos oculares.

Más adelante, Henderson y Hollingworth (1999) propusieron tres áreas de investigación para la visión humana: a) la visión de bajo nivel o temprana, que hace referencia a la extracción de propiedades físicas como profundidad, color y textura de una imagen, así como la generación de representaciones de superficies y bordes; b) la visión de nivel intermedio, que alude a la extracción de formas y relaciones espaciales que se determinan sin tener en cuenta el significado, pero típicamente requieren un proceso selectivo o en serie, y c) la visión de alto nivel, que se refiere a la asignación de un significado a las representaciones visuales, incluidos el estudio de procesos y representaciones relacionados con la interacción entre cognición y percepción visual, la adquisición activa de información, la memoria visual a corto plazo y la identificación de objetos y escenas.

Para esta misma época, Henderson, Weeks y Hollingworth (1999) propusieron un modelo de control de movimiento ocular en la visualización de escenas. Este esquema resalta el papel del procesamiento semántico de estímulos localizados fuera de la fijación foveal y da cuenta del lugar y de la duración de la fijación. Los autores afirman que, en principio, los movimientos oculares y la colocación de la fijación están determinados por las características visuales de bajo nivel; luego, los ojos se centran en una región y la cantidad de tiempo que permanece fija la mirada en ese lugar se explica tanto por el análisis perceptivo como cognoscitivo. Más adelante se hace un análisis semántico que involucra la informatividad y la consistencia, entre otros elementos. El cambio de atención a una nueva región será controlado nuevamente por factores perceptivos. Si el procesamiento de una escena no se completa por factores como su complejidad, la atención cambiará a otra región o se harán nuevas refijaciones, de modo que el análisis de una escena alterna procesos perceptivos y cognoscitivos, controlados por factores visuales.

Algunos de estos antecedentes y otros que no han sido mencionados en este apartado motivaron el desarrollo de una línea de investigación sobre el procesamiento de información visual que ha sido aplicada en varios campos. A continuación se mencionarán algunos de ellos.

Aplicación del eye tracking en procesos de lectoescritura

Los estudios con el eye tracking dirigidos a investigar el procesamiento visual en textos escritos son, junto con los procesos atencionales, de los de mayor interés en esta línea.

En el campo de la lectoescritura, buena parte de investigaciones y publicaciones se hizo entre las décadas del setenta y del noventa, y estuvo centrada en los movimientos sacádicos y las fijaciones, al considerar que estos eventos revelaban con mayor precisión la ocurrencia de procesos cognoscitivos (Forster, 2017).

La lectura es quizás una de las tareas más complejas, porque involucra la coordinación y la ejecución de varios subprocesos como el acceso léxico, el acceso semántico, la codificación de las palabras, el reconocimiento de letras y el análisis sintáctico de las palabras, entre otros, que hacen posible que las personas operen de manera intencional y reflexiva sobre el lenguaje escrito (Montealegre y Forero, 2006).

Las investigaciones con las técnicas de seguimiento ocular centradas en procesos de lectura y escritura se han estructurado en torno a tres tópicos, al menos: comprensión de palabras u oraciones individuales; lectura y comprensión de un texto completo; lectura y procesamiento de varios textos (Jarodzka y Brand-Gruwel, 2017).

Estos estudios han permitido comprender la forma como las personas reconocen las palabras y procesan unidades de lenguaje escrito. Los resultados coinciden en establecer que la identificación del significado de una palabra sucede gracias a que ella está presente en la fovea, pero aun si está presente en la parafovea, pese a que la agudeza visual es más reducida, también es posible otorgar significado a lo que se lee —aunque a un ritmo más lento— e identificar características de las palabras como su extensión y forma. Ello no ocurre si la palabra aparece en la periferia, donde es imposible algún reconocimiento (Carreiras y Gutiérrez-Calvo, 1991; Rayner, Inhoff, Morrison, Slowiaczek y Bertera, 1981).

Los estudios en este campo fueron iniciados por Louis Emile Javal entre 1839 y 1909, un oftalmólogo francés cuyo mayor reconocimiento se debió a sus trabajos sobre el estrabismo. Notó que, cuando las personas leían, no lo hacían en una línea constante, sino que se alternaban al menos dos tipos de movimientos: los sacádicos y los microsacádicos o de fijación (Wade, 2010).

Tversky (1974) encontró que un mayor número de fijaciones sobre palabras estaba asociado con mejor recuerdo verbal, lo que no ocurría, por ejemplo, cuando se trataba de recordar imágenes. Rayner, McConkie y Zola (1980) habían observado que era más fácil recordar palabras presentes en el campo de visión parafoveal que aquellas presentadas en el campo de visión foveal en una fijación subsecuente si ambas palabras comenzaban con la misma letra, aunque en general se extrajera mayor significado de la información que se presentaba en la fovea.

Just y Carpenter (1980) afirmaron que la información procesada tras la lectura era diferente a la que se procesaba tras estímulos auditivos. Estos autores señalaron que en la lectura ocurrían varias situaciones: en primer lugar, el lector tenía la capacidad para regular la cantidad de información de entrada; en segundo lugar, podía saltarse varias porciones de un texto y aun así comprender su significado y, en tercer lugar, podía fijar la atención en ciertas palabras o partes del escrito. De aquí que el estudio de los procesos de lectura permite entender, entre otras cosas, cómo son los procesos de comprensión lectora, lo que a la vez orienta acerca de los procesos de aprendizaje.

Just y Carpenter (1980) mostraron que cuando a un grupo de lectores se les daba a leer un texto bien fuera científico o literario, apropiado para su edad, sucedían varios eventos: en promedio veían de una a dos palabras por fijación; las palabras sobre las que generalmente no había fijación eran cortas (a, el, los, la, de); el número de palabras por fijación era menor si el texto era difícil o si el lector tenía un nivel educativo bajo. Por el contrario, si eran jóvenes o adultos y se les entregaba un cuento infantil no ocurría lo mismo: por ejemplo, el número de palabras por fijación incrementaba.

Además, las palabras que se encontraban en la periferia no tenían significado para el lector y el número de miradas variaba de una palabra a otra.

Aplicación del eye tracking para la evaluación y estimulación de procesos cognoscitivos

Las técnicas de eye tracking se usan para recopilar e interpretar datos acerca de cómo las personas procesan información y para estudiar procesos cognoscitivos como la atención y la memoria. Los resultados de las investigaciones interesadas en el abordaje de estos procesos mediante eye tracking son útiles para el diseño de estrategias de aprendizaje y para la elaboración de materiales multirrepresentacionales (por ejemplo, el uso de realidad virtual combinada con animación digital), de modo que este tipo de pedagogías se alinee con los recursos cognoscitivos de los estudiantes (Scheiter y Van Gog, 2009; Ainsworth, 2006).

A continuación se presentarán algunas de las investigaciones que han hecho uso de las tecnologías eye tracking para el estudio de procesos cognoscitivos.

a. Atención. La atención es el proceso por el cual se filtra y selecciona la información que proviene tanto del entorno como de la propia persona (Portellano y García, 2014).

Desde los inicios de los estudios que utilizaban alguna herramienta para seguir y analizar los movimientos oculares, una de las áreas de interés de mayor desarrollo ha sido la atención visual. Ya se había mencionado que los estudios de Yarus y de Buswell demostraron que en una escena se prestaba atención a aquello que guardaba relación con la motivación y la meta que se tenía durante el proceso de observación. Por ejemplo, alguien que espera ganar en un casino en un juego de dados estaría más atento a los movimientos de los dados que al juego de cartas de una mesa contigua. La motivación y el objetivo que se pretende alcanzar tienen un impacto sobre la inhibición de la atención sobre estímulos que compiten (Miyake y Friedman, 2012).

Loftus y Mackworth (1978) y Stirk y Underwood (2007) han encontrado que los objetos inconsistentes (violaciones semánticas) se hallan más rápido y con mayor precisión que las coherencias, lo que puede ser resultado del procesamiento de información parafoveal o periférica.

Estudios enfocados en el control de la atención visual en condiciones naturales, bien sea para inspeccionar una escena o para hacer seguimiento a una tarea, han demostrado que la percepción de objetos y la atención que se les preste dependen de factores como sus características físicas (color, tamaño y forma), así como de su significado y las relaciones semánticas que existen entre ellas.

De esto se han desprendido diversas líneas de investigación, entre las cuales se analiza la probabilidad de que un observador identifique algo en una escena que no es coherente con lo que se esperaría encontrar en ella (violación semántica), como podría ser un perro volando. Asimismo, se examina la identificación de objetos semánticamente consistentes con la escena, pero ubicados en lugares inesperados o en una posición inusual (violaciones sintácticas) (Shinoda, Hayhoe y Shrivastava, 2001; Hwang et al., 2011).

Por su parte, Trevarthen (1968) propuso dos modalidades de atención visual durante el procesamiento de información de una escena: ambiental y focal. La primera, vinculada con la observación de objetos en una escena, se caracteriza por fijaciones cortas y una mayor amplitud en los movimientos sacádicos. A la segunda, asociada con una observación más detallada de los objetos durante la fase de inspección posterior a la observación general, corresponden fijaciones de mayor duración y movimientos sacádicos de menor amplitud.

Helo, Rämä, Pannasch y Meary (2016) sugieren que ambos tipos de atención visual son esenciales para la supervivencia. Estos autores investigaron los rasgos de los movimientos oculares durante la visualización de escenas mediante la tecnología eye tracking en bebés entre los 3 y 12 meses de edad. Además, determinaron dónde y cuándo los bebés exhibían modalidades ambientales y focales. Frente al primer objetivo, los resultados arrojaron que la duración de las fijaciones disminuía con el crecimiento, mientras la amplitud de los movimientos sacádicos era similar en niños y en adultos. Concluyeron que el procesamiento de información visual se hace más fácil hacia el primer año de vida y se mantiene estable hasta la vida adulta. Para el segundo objetivo hallaron que la transición entre modalidades ambientales y focales durante el tiempo de visualización de una escena aparece hacia el primer año de vida. Sus resultados coincidieron con los hallazgos de Trevarthen (1968) en cuanto a que la amplitud de los movimientos sacádicos era mayor durante el tiempo de visualización en comparación con el final de ese tiempo.

Hwang y otros autores (2011) estudiaron el movimiento de los ojos en escenas del mundo real bajo la guía semántica, es decir, utilizaron escenas que guardaban cierta similitud semántica para observar cómo se desplazaban los ojos en escenarios con características afines. Suponían que los objetos del mundo visual no solo se percibían a partir de las características visuales de baja complejidad como la forma y el color, sino también por las de alta complejidad como el significado y las relaciones semánticas entre ellos. Seleccionaron escenas de la base de datos de objetos LabelMe y aplicaron un análisis semántico latente (LSA), a partir del cual etiquetaron objetos de la escena y generaron mapas de prominencia semántica. Los resultados revelaron

una preferencia por las transiciones a objetos que eran semánticamente similares. Por otro lado, hallaron que los movimientos oculares de los sujetos fueron guiados progresivamente hacia objetos semánticamente similares al objetivo de búsqueda.

Grüner y Ansorge (2017) revisaron las publicaciones resultantes de investigación sobre movimientos oculares con las tecnologías de rastreo ocular durante la conducción nocturna en condiciones no experimentales, con el fin de determinar la influencia de los movimientos oculares en el rendimiento general de la conducción. Esto debido a que en el acto de conducir un vehículo debe procesarse una gran cantidad de estímulos como las señales de tránsito, la presencia de otros vehículos, los cambios ambientales y de condiciones de luz, los carteles publicitarios y la aparición inesperada de personas o animales que buscan atravesar una vía, entre otras. La motivación para adelantar esta investigación fue el alto número de muertes por accidentes de tráfico en carretera durante la noche, cifra que superaba las ocurridas en el día. Los resultados mostraron que las condiciones que facilitaban o dificultaban la conducción segura y exitosa estaban asociadas, en parte, con los procesos subyacentes al comportamiento de conducción que incluyen, entre otros, la memoria, el control atencional sobre acciones, los cambios atencionales y la toma de decisiones. En el desarrollo de estas actividades, todos los tipos de atención deben ponerse en marcha, aunque el cerebro automatiza algunos pasos con el fin de ejecutar varias operaciones a la vez: en primer lugar se requiere atención sostenida, pues conducir es una tarea rutinaria que exige que la persona que está al volante permanezca alerta y se esfuerce constantemente por evitar que la fatiga o la somnolencia, en especial en trayectos largos, tengan un impacto sobre la atención. Debido a la limitada capacidad humana para atender diversos estímulos, la atención selectiva desempeña un papel crucial en esta labor, ya que es la encargada de elegir la información a la que se debe prestar atención y optar por la respuesta más conveniente frente al estímulo que se presente (por ejemplo, frenar cuando el semáforo cambia de color). Tan importante como la atención selectiva es la atención dividida, que implica que el conductor preste atención a varios estímulos a la vez.

b. Memoria. La memoria es un complejo proceso por el cual se codifica, almacena y recupera la información ecoica (sonidos) e icónica (imágenes) que proviene de diversos medios (Atkinson y Shiffrin, 1968). Mediante el uso de las tecnologías de eye tracking se ha abordado el estudio de la memoria icónica.

Bahrick y Boucher (1968) hicieron un estudio con ochenta estudiantes a los que se les pidió que observaran dibujos con objetos comunes. Luego se les dio una prueba verbal de memoria para los nombres de dichos objetos, seguida de una prueba de reconocimiento visual para reflejar la exactitud de la retención visual. Se midió el

efecto del grado de entrenamiento, el intervalo de retención y las instrucciones para verbalizar durante el entrenamiento. Los autores encontraron que la probabilidad de recuperación de nombres de objetos no se correlacionaba con el reconocimiento visual. Dos semanas después se midió el recuerdo verbal y se encontraron pérdidas de almacenamiento visual de ambos aspectos.

Loftus (1972) hizo tres experimentos para observar el grado en el que la memoria de reconocimiento de las imágenes podía predecirse por los patrones de movimiento ocular en la imagen en el momento del estudio. En cada experimento se presentaban a los participantes 180 imágenes a color sobre la naturaleza en un formato de 35 mm, seguidas de una prueba de reconocimiento de sí-no para todas las imágenes y se registraron los movimientos oculares. El primer experimento buscaba estudiar la estructura de la recompensa. Se encontró que las imágenes de mayor valor recibieron un mayor número de fijaciones y fueron recordadas mejor que las imágenes de bajo valor; no obstante, cuando el número de fijaciones era constante, el rendimiento de la memoria era independiente del valor. En el segundo experimento se evidenció que cuando las imágenes se visualizaban por un tiempo fijo, el rendimiento de memoria era una función positiva del número de fijaciones en la imagen; del mismo modo se halló que cuando el número de fijaciones se mantenía constante, el rendimiento era independiente del tiempo de exposición y que no había recuerdo para las imágenes que fueron vistas originalmente de forma periférica. En el tercer experimento se pretendía conocer el papel que desempeñaba una tarea de distracción sobre la codificación. Se pidió a los participantes que vieran una imagen en una de cuatro condiciones: observación normal por 2 segundos (condición 2N); observación normal por 3 segundos (condición 3N); observación de una imagen mientras se ejecutaba una tarea de distracción durante 3 segundos (condición 3C) y observación de una imagen mientras se ejecutaba una tarea de distracción durante 5 segundos (condición 5C). Se observó que la tarea de distracción reducía el número de fijaciones y que el rendimiento era mejor para las imágenes vistas normalmente que para las observadas mientras se realizaba una tarea de distracción, lo que sugiere que este tipo de tarea dificulta la codificación.

Pezdek y otros autores (1988) desarrollaron un estudio en el que a un grupo de personas se le presentaba imágenes simples y complejas y luego una prueba de reconocimiento con una forma simple o compleja; el recuerdo era mejor para las imágenes simples que complejas.

Christianson y otros autores (1991) encontraron que cuando las personas observaban una secuencia de imágenes con contenido emocional, neutro o inusual, la memoria sobre un detalle central era mejor para la de contenido emocional. Asimismo,

hallaron que cuando los participantes habían dedicado el mismo número de fijaciones, la memoria para los detalles centrales de la diapositiva emocional era mejor. Por lo tanto, concluyeron que la mejoría en la información detallada del almacenamiento de un evento emocional no ocurría únicamente porque se dedicara más atención a la información emocional.

Hills, Marquardt, Young y Goodenough (2017) investigaron si las personas en estado afectivo de tristeza tenían una ventaja sobre las personas con estado afectivo de felicidad para el recuerdo de caras. A partir de los estudios de Hills y otros autores (2011), quienes ya habían probado esta hipótesis, expusieron a un grupo de personas con los dos estados afectivos a cuatro experimentos en los que se les pedía que observaran una serie de fotos con rostros de personas que luego debían reconocer. Mientras observaban las fotografías, con el eye tracker se evaluaban los movimientos oculares de los participantes. Los hallazgos mostraron que el estado afectivo tenía un efecto en los movimientos oculares: los participantes con estados afectivos deprimidos o ansiosos evitaban mirar los ojos de las personas que estaba en las fotografías y se fijaban en otras características, lo cual facilitaba una mejor codificación de los rostros y una mayor exactitud en su reconocimiento.

Vig y Johansson (2018) buscaron explorar el papel funcional de los movimientos oculares en la memoria visoespacial episódica en un entorno del mundo real. Se pidió a los participantes que observaran libremente alrededor de una sala durante las fases de codificación y recuperación de una tarea de memoria. Se grabó su comportamiento visual mediante la tecnología eye tracking. A los participantes se les presentaban dos condiciones: una congruente —en la que las señales de recuperación estaban en el mismo lugar que los objetos codificados— y una incongruente —en la que las claves de recuperación se reorganizaron—. Su hipótesis era que la congruencia entre las propiedades espaciales de los elementos codificados y las propiedades espaciales de las claves de recuperación contribuirían a que los participantes elaboraran una representación mental más precisa de la situación de codificación. Los resultados mostraron que hubo un aumento significativo en el rendimiento de la memoria para las características del objeto en la condición congruente, aunque en ambas condiciones se observaron movimientos oculares similares. Las diferencias sugerían que el comportamiento de la mirada difería en ciertos aspectos cuando se observaban escenas con elementos congruentes e incongruentes. Los autores concluyeron que la superposición en las posiciones espaciales resultaba en una similitud en el comportamiento de la mirada, lo que facilitaba el recuerdo.

c. Toma de decisiones. La toma de decisiones se entiende como un proceso interno en el que se presentan todas las acciones disponibles y luego se selecciona la acción más deseable, para producir un comportamiento que se manifiesta con respuestas motoras (Glimcher, 2003; Glimcher y Dorris, 2004).

Los estudios sobre el proceso de toma de decisiones son de los más complejos, como consecuencia de, al menos, tres situaciones: en primer lugar, la gran cantidad de subprocesos que involucra (atención, control atencional, lenguaje, aprendizaje, procesamiento serial frente a paralelo y memoria de trabajo); en segundo lugar, el hecho de que para cada situación, tarea y persona la ruta que sigue y la forma en la que se valora la información puede variar continuamente según las preferencias y los objetivos; en tercer lugar, los resultados de las investigaciones difieren cuando el estudio se realiza en condiciones de laboratorio o naturales (Gidlöf, Wallin, Dewhurst y Holmqvist, 2013; McSorley y Findlay, 2003), cuando se ejecuta una tarea novedosa o una frente a la cual ya se tiene experiencia (Reina, Moreno y Sanz, 2007) y cuando hay condiciones guiadas o de libre elección (Glimcher y Dorris, 2004).

Las anteriores circunstancias pueden provocar una única respuesta que conduce a una recompensa o pueden llevar a que se analicen las probabilidades y la magnitud de una recompensa asociada con diferentes tipos de acción, de forma que se elija la mejor solución (Glimcher, 2003; Glimcher y Dorris, 2004).

Debido a que buena parte de las tareas que desempeñan tanto los primates humanos como los no humanos frente a las cuales deben tomar una decisión dependen de la adquisición de información visual y a que en ocasiones los movimientos sacádicos están en función de la toma de decisiones (Ludwig, 2011), se ha venido desarrollando una línea de investigación con los equipos de eye tracking, cuyos objetivos son identificar los patrones de movimientos oculares, comprender cómo se adquiere e integra la información, identificar los comportamientos relevantes que se llevan a cabo y cuantificar los tiempos de reacción en la toma de decisiones (Foulsham y Kingstone, 2011; Gidlöf et al., 2013; Narbutasa, Lin, Kristanc y Heinke, 2017). Este tipo de decisiones son llamadas perceptivas y ocurren cuando un estímulo sensorial de entrada se convierte en una variable categorial discreta y determina el curso de acción (Sterzer, 2016; Summerfield y Blangero, 2016).

Las tareas sobre las que se han llevado a cabo la mayoría de investigaciones en esta línea se relacionan con la conducción de automóviles (Shinoda, Hayhoe y Hrivastava, 2001); la tarea cotidiana de preparar una taza de té (Land, Mennie y Rusted, 1999); la práctica de deportes como el tenis (García-González, Araújo, Carvalho y Del Villar, 2011; Hernández, F. J. M., Romero, Vaíllo y Del Campo, 2006), el taekwondo (Ruiz, Peñaloza, Rioja y Navia, 2013), el atletismo (Ghasemi, Momeni, Jafarzadehpur,

Rezaee y Taheri, 2011), el cricket (Henderson, 2017; Land y McLeod, 2000), el voleibol (Vila-Maldonado, Sáez-Gallego, Abellán y García-López, 2014) y la caminata (Jovanevic-Misic y Hayhoe, 2009; Wiener, Hölscher, Büchner y Konieczny, 2012).

Las preguntas que orientan las investigaciones incluyen, por ejemplo, ¿qué inhibe un movimiento sacádico?, ¿qué inicia un movimiento sacádico?, ¿qué determina un movimiento sacádico? y ¿qué orienta un movimiento sacádico?

Los estudios sobre toma de decisiones determinadas por los movimientos oculares sacádicos son de los más frecuentes para desarrollar modelos teóricos de toma de decisiones eficientes y para describir los procesos que el cerebro lleva a cabo cuando debe conectar la sensación, la percepción y la acción, en tanto los mecanismos sensoriales y perceptivos reúnen información proveniente del mundo exterior y los mecanismos de toma de decisiones seleccionan el comportamiento apropiado basado en esa información sensorial para ejecutar una acción (Glimcher, 2003; Ludwig, 2011).

d. Cognición social y emociones. La cognición social hace referencia a las capacidades de las personas para interactuar con otros en situaciones sociales. Abarca un conjunto de subdominios como la teoría de la mente, el procesamiento emocional, la empatía, el conocimiento social, la percepción social, los estilos atribucionales y los juicios morales, mediante los cuales se procesan, interpretan, almacenan y aplican claves verbales y no verbales (Gutiérrez de Piñeres, Avendaño, Mejía, Morales y García, 2017) para que los individuos formen parte de un grupo social (Firth, 2008).

El sistema visual humano desempeña un papel fundamental en la cognición social (Itier y Batty, 2009). Es una fuente necesaria para la adquisición y transmisión de información durante la interacción humana, ya que está capacitado para comunicar información no verbal y percibir las intenciones por medio de la mirada de los otros sin la necesidad de contacto físico, lo que se conoce como la doble función de la mirada social (Gobel et al., 2015; Pfeiffer, Vogeley y Schilbach, 2013).

Lo anterior es posible gracias a que en el ojo humano la esclerótica es proporcionalmente mayor al tamaño de la retina y está más expuesta que en otras especies (Kobayashi y Kohshima, 2001). Este rasgo posibilita observar el movimiento de los ojos y la dirección de la mirada (Emery, 2000) y usar esta información para dirigir la atención de otra persona hacia un objeto; para tener acceso a características físicas como el sexo, la raza, la edad, la identidad y a estados mentales; para anticipar el comportamiento mediante la detección de la dirección de la mirada y para sincronizar el habla durante el diálogo (George y Conty, 2008; Jessen y Grossmann, 2014; Grossmann, 2017; Tomasello, 2010). Quizá por estas razones Shepherd (2010) ha denominado a la mirada como una “ventana hacia la cognición social” (p. 5).

Uno de los aspectos más importantes de la cognición social que se ha estudiado con la tecnología de rastreo ocular es el contacto visual durante la interacción social (George y Conty, 2008). Se ha descrito la alternancia de dos tipos de contacto visual: el directo o mirada compartida y la deíctica. Ambos pueden verse afectados por condiciones como los trastornos del espectro autista (Billeci et al., 2017), la sordera y la ceguera (Navab, Gillespie-Lynch, Johnson, Sigman y Hutman, 2012).

La mirada directa es una señal social que se produce gracias al contacto visual en los encuentros cara a cara y parece estar regulada por mecanismos automáticos mediados por sistemas subcorticales (Hamilton, 2016). La mirada directa tiene un efecto claro sobre los comportamientos sociales y no sociales (Yokoyama et al., 2014) y se prefiere sobre la mirada evitativa (Dubey, Ropar y Hamilton, 2015). Conduce tanto la excitación como la atención y las acciones de los otros y su interpretación depende del contexto (Hamilton, 2016).

Por otro lado, la mirada deíctica, también denominada mirada compartida, consiste en la acción por la cual los movimientos oculares de una persona hacen que otros dirijan su mirada hacia el mismo punto. En otras palabras, se produce cuando dos o más personas dirigen la vista al mismo tiempo hacia el mismo punto. Esta mirada facilita el desarrollo de acciones de cooperación (Jarick y Kingstone, 2015; Tomasello, 2010) y parece ser vital para el desarrollo de habilidades sociales y de la teoría de la mente (Abreu, Cardoso-Martins y Barbosa, 2014; Shaw, Bryant, Malle, Povinelli y Pruett, 2017), en tanto habilidad para seguir y compartir la mirada, para identificar la intención, para facilitar la interacción social y obtener información sobre el entorno y es una base para establecer referencias y desarrollar diversos aspectos del lenguaje.

Con el uso del eye tracking también se ha profundizado en el estudio del reconocimiento emocional y de estados emocionales en las expresiones faciales (Shepherd, 2010). Los resultados de estas investigaciones han sido utilizados tanto para interpretar las acciones humanas como para introducir factores humanos en sistemas artificiales, como ocurre en el desarrollo de aplicaciones que incluyen símbolos que representan estados emocionales (Brom, Stárková, Lukavský, Javora y Bromová, 2016).

Calvo y Nummenmaa (2007), Calvo y Lang (2005) y Lang, Bradley y Cuthbert (1999) han investigado con rastreadores oculares cómo el procesamiento emocional representa una ventaja evolutiva. Los estímulos visuales emocionales procedentes de un evento, una persona, un objeto o un animal, relacionados con el bienestar, el placer, el peligro o el dolor, que brindan claves para la supervivencia y la adaptación, se procesan de forma automática y preatencional y facilitan conductas de aversión, alejamiento, aceptación o aproximación.

e. Aplicación del eye tracking en el diagnóstico de condiciones neurológicas y psiquiátricas. Algunas condiciones neurológicas y psiquiátricas son de difícil diagnóstico mediante entrevistas y test psicológicos, debido a las limitaciones del lenguaje de las personas evaluadas. Este obstáculo ha propiciado investigaciones que incluyen el uso de eye trackers para apoyar el diagnóstico de condiciones como los trastornos del espectro autista, el síndrome de Williams, la esquizofrenia y demencias como el alzhéimer, entre otras, dado que las exploraciones recientes sugieren que los parámetros de exploración visual aportan marcadores objetivos de apoyo a diagnósticos más precisos y que los sistemas neuronales responsables de los movimientos oculares pueden verse afectados por diversos procesos neurológicos (Gila et al., 2009).

f. Aplicación del eye tracking para el estudio de la interacción persona-máquina (usability). El estudio de los movimientos oculares se ha usado para investigar cómo interactúan las personas con las tecnologías, lo que ha recibido el nombre de usabilidad (usability). En el análisis de usabilidad, los movimientos oculares del usuario se registran durante el uso de tecnologías como celulares, computadores y televisores, entre otros; luego se analizan los datos retrospectivamente. La aplicación del seguimiento del ojo en la interacción persona-tecnología es muy útil en el diseño de *software* y páginas web, lo que puede conducir a una disminución en las barreras tecnológicas.

Un ejemplo de lo anterior es expuesto por Romano, Olmsted-Hawala y Jans (2013), quienes desarrollaron un estudio sobre la influencia de la edad en la exploración de páginas web. Mostraron que los participantes adultos mayores tenían menos precisión y se tomaban más tiempo en completar una tarea que se les pedía llevar a cabo mientras navegaban. Miraban la parte central de la pantalla con mayor frecuencia que los participantes jóvenes y veían la parte periférica izquierda con frecuencia. Los resultados sugieren tener en cuenta la edad y se discutieron en términos de su utilidad al diseñar sitios web, en especial cuando van dirigidos a toda clase de público.

Un estudio similar hicieron Inthiran y Macredie (2018). Consistía en pedirle a un grupo de adultos mayores que navegaran por páginas de salud. Para el análisis de datos se usaron mapas de calor y listas de verificación. Los resultados preliminares arrojaron un patrón de visión constante al ver una página percibida como favorable. Si la página era percibida como desfavorable, los adultos mayores tendían a ignorar gran parte de las secciones.

Koester, Brøsted, Jakobsen, Malmros y Andreasen (2017) adelantaron un trabajo en colaboración con un fabricante de equipos médicos. Su objetivo fue investigar si la tecnología eye tracking podía contribuir a la recopilación de datos para el desarrollo y uso de un nuevo producto. Los hallazgos dejan ver que combinar el eye tracking

Aplicaciones del eye tracking

con los procedimientos tradicionales facilitaba identificar mayor información sobre el uso del producto y la interacción del posible usuario con este. Como limitaciones señalaron que el uso del eye tracking requería tiempo adicional, recursos y habilidades técnicas como las condiciones de luz.

En el Anexo 2 de este libro se ofrece una tabla con investigaciones en las que se ha empleado el eye tracker Mobile eye XG en los últimos quince años.