

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ
FACULTAD DE CIENCIAS SOCIALES Y JURÍDICAS DE ORIHUELA
TRABAJO FIN DE GRADO EN ADMINISTRACIÓN Y
DIRECCIÓN DE EMPRESAS



CURSO ACADÉMICO 2019 - 2020

Título del T.F.G.: Aplicaciones del Eye-tracking en la Investigación Comercial

Autor: Ferrández Fructuoso, Beatriz

Tutor: Sarabia Sánchez, Francisco José

Área: Comercialización e Investigación de Mercados

Índice.

2. Resumen	2
Abstract.....	3
3. Introducción	4
4. La Técnica del Eye-Tracking	5
4.1. Definición y ubicación temática de la técnica del <i>Eye-Tracking</i> . Sus fundamentos técnicos y científicos.	5
4.1.1. Definición de <i>Eye-Tracking</i>	5
4.1.2. Origen y Fundamentos Técnicos y Científicos	7
4.1.3. Ubicación temática de la técnica del Eye-Tracking	14
4.2. Descripción en profundidad de la técnica del Eye-Tracking.	16
4.2.1 ¿Qué es un Eye-tracker?	16
4.2.2 Calibración del Eye-Tracker.....	19
4.2.3 Los movimientos oculares	20
4.2.4 El Método de Investigación del Eye-Tracking.	24
4.2.5 Procedimientos del Eye-Tracking	33
4.3. Ventajas e inconvenientes de su aplicación. Limitaciones según el tipo de persona. La importancia de seleccionar adecuadamente las personas que formarán parte de un análisis de eye-tracking.	47
4.3.1 Inconvenientes y limitaciones de la técnica del Eye-tracking	47
4.3.2 Ventajas de la técnica del Eye-tracking.....	50
4.3.3 Limitaciones según el tipo de persona.....	52
4.4. Tendencias en el uso del Eye tracking.	54
4.4.1 Aplicaciones para el Eye-Tracking	54
4.4.2 Tendencias Futuras en el Eye-Tracking	62
5. Casos prácticos de uso	63
5.1. Eye-tracking y el Merchandising.	63
5.2. Estudio de usabilidad Web con Eye-tracking	67
5.3. Visionado de publicidad digital en estaciones de metro con Eye-tracking.	70
5.4. Eye-tracking y las mejoras en rendimientos de equipos de NASCAR.....	72
6. Conclusión	75
7. Referencias	76

2. Resumen.

Han surgido numerosas investigaciones a lo largo de los años que demuestran que la técnica de *eye-tracking* no es ninguna novedad, pero esto no significa que ya sea una tecnología desarrollada, al contrario, se encuentra en estado incipiente. Tanto como método de registro y análisis de información, como fuente de aplicación en diversos campos de la rama académica, científica y comercial. Por lo que, el desarrollo de este trabajo se centra en conocer en profundidad esta tecnología, en qué ámbitos se aplica y entender la técnica con estudios reales.

Comprender el procesamiento de la información visual es uno de los objetivos clave muy perseguidos por los investigadores, sobre todo en estudios de la “interacción persona-ordenador”. Saber dónde mira el individuo en cada momento y conocer la secuencia que traza su mirada mediante la medición de los movimientos oculares, hace que el *eye-tracking* sea una técnica muy requerida para numerosas investigaciones. Además de ser una herramienta fundamental para las personas con discapacidad, ya que los movimientos oculares se pueden usar como señales de control permitiendo interactuar, sin ningún tipo de periférico, directamente con las interfaces.

Para realizar esta técnica es necesario el uso de *eye-trackers*, son dispositivos de hardware que miden la posición y el movimiento de los ojos al mirar a un objeto, a una pantalla de ordenador o a nuestro propio entorno. Se destacan dos tipos de rastreadores, uno adaptado a unas gafas que se utiliza para entornos físicos y otro modelo que se coloca en el monitor del ordenador frente a la persona, muy utilizado para la usabilidad web.

La compañía tecnológica Tobii destaca como líder mundial en la técnica del *eye-tracking*. Sus *eye-trackers* han sido muy utilizados para numerosos estudios que han ayudado a resolver los problemas de muchas empresas. Entre los casos reales se encuentra un estudio realizado sobre el *merchandising* con el objetivo de saber en qué forma o posición deben ser colocados ciertos productos para ser captados por los clientes. Otro estudio sobre la usabilidad web, que perseguía el objetivo de aumentar las ventas para la compañía dentro de un sector muy competitivo. Otra investigación fue en una estación de metro para saber si los carteles publicitarios captaban la atención de los transeúntes que pasaban día a día por sus pasillos. Y, por último, el uso del *eye-tracking* por un equipo de NASCAR para mejorar el rendimiento de todos sus miembros.

Abstract.

Over the years, numerous investigations have emerged that show that the eye-tracking technique is not new, but this does not mean that it is already a developed technology; on the contrary, it is in a nascent state. Both as a method of recording and analyzing information, and as a source of application in various fields of the academic, scientific and commercial branches. Therefore, the development of this work is focused on knowing in depth this technology, in which fields it is applied and in understanding the technique with real studies.

The understanding of visual information processing is one of the main objectives pursued by researchers, especially in studies of "human-computer interaction". Knowing where the individual is looking at a given time and knowing the sequence that his gaze traces by measuring the movements of the eyes, makes eye-tracking a very required technique for many investigations. In addition to being a fundamental tool for people with disabilities, since eye movements can be used as control signals that allow interaction, without any type of peripheral, directly with the interfaces.

To perform this technique it is necessary to use eye-trackers, which are hardware devices that measure the position and movement of the eyes when looking at an object, a computer screen or our own environment. Two types of trackers stand out, one adapted to glasses that is used for physical environments and another model that is placed on the computer monitor in front of the person, which is widely used for web usability.

The Tobii technology company stands out as a world leader in eye-tracking technology. Its eye-trackers have been widely used for numerous studies that have helped solve the problems of many companies. Among the real cases is a study on merchandising with the objective of knowing in what form or position certain products should be placed in order to be captured by customers. Another study on web usability, whose objective was to increase the company's sales within a very competitive sector. Another investigation was carried out in a metro station to find out if the advertising posters captured the attention of the passers-by who passed through its corridors every day. And finally, the use of eye-tracking by a NASCAR team to improve the performance of all its members.

3. Introducción.

El *eye-tracking* es una herramienta fundamental en el entorno actual ya que permite medir y registrar los movimientos oculares de una persona al recopilar un estímulo en un ambiente moderado o real. Lo que nos permite ver las áreas en las que fija su atención, el tiempo que tarda en cambiar la fijación y qué trayecto sigue con su mirada. La importancia de analizar los movimientos oculares nos indica por medio de su mirada el pensamiento actual en sus procesos cognitivos, es decir, registra un trazado dinámico de su atención en un campo visual determinado.

Ha generado un gran interés en el campo de la experiencia de usuario a lo largo de estos últimos años porque ha ayudado a evaluar y mejorar diseños de páginas webs o de *packagings* en diferentes etapas del producto. Es uno de los métodos que, independientemente de los objetivos, se ha utilizado en cualquier investigación para mejorar la comprensión del estudio. La tecnología de *eye-tracking* ha sido empleada para una gran variedad de doctrinas y campos de investigación debido a los recientes avances tecnológicos en hardware y software. Se ha usado para la recopilación y análisis de la información en aplicaciones online, publicidad, en la interacción del usuario y su comportamiento en entornos webs. Además de ser utilizada para investigar en el ámbito científico, comercial, psicológico, en áreas de medicina y ser una herramienta de interacción fundamental en la comunicación para personas con necesidades especiales o movilidad reducida.

Por tanto, este trabajo ha surgido con el interés de dar a conocer la tecnología de *eye-tracking*, qué tipo de herramienta es, cómo surgió y en que ámbitos se aplica. Es un tema que no se especifica durante el curso y resulta bastante interesante saber todo sobre esta tecnología.

De esta manera, se han enfocado varias partes a lo largo de este trabajo que se consideran una gran base de conocimiento para entender cómo funciona el *eye-tracking*. En el comienzo del trabajo se define la herramienta, se dan a conocer sus orígenes y sus fundamentos técnicos y científicos. En su desarrollo, se describe en profundidad la técnica del *eye-tracking*, donde también conoceremos los distintos tipos de *eye-trackers*, las ventajas e inconvenientes y las distintas aplicaciones que se le dan a esta técnica. Y finalmente se describen casos reales de estudios realizados con *eye-tracking*, además de la conclusión final.

4. La Técnica del Eye-Tracking

En este epígrafe vamos a conocer en profundidad todo lo relevante a la técnica del *eye-tracking*, su hardware, su software, cómo surgió, su ubicación temática. También vamos a conocer los distintos tipos de *eye-trackers* que se encuentran en el mercado, las ventajas y sus inconvenientes y las tendencias en el uso de esta técnica.

4.1. Definición y ubicación temática de la técnica del *Eye-Tracking*. Sus fundamentos técnicos y científicos.

4.1.1. Definición de *Eye-Tracking*

El concepto de *eye-tracking* o seguimiento ocular, se refiere a un conjunto de tecnologías que permiten medir y registrar los movimientos oculares de un individuo ante el muestreo de un estímulo en ambiente real o controlado, determinando de este modo, en qué áreas fija su atención (volumen generado de fijaciones visuales), por cuanto tiempo y qué orden sigue en su exploración visual (existencia de patrones eventuales de comportamiento visual).

El seguimiento ocular es una técnica mediante la cual se registra el movimiento ocular mientras el usuario observa un estímulo. Los ojos nunca descansan en una posición por mucho tiempo; se mueven varias veces por segundo, con **micro-movimientos** tan pequeños que solo abarcan unos pocos píxeles.

Para comprender mejor la definición de *eye-tracking* es conveniente explicar los siguientes conceptos. Una **fijación** es un momento donde el ojo está relativamente inmóvil, y un **movimiento sacádico** es “un cambio brusco o repentino de fijación”¹ o un movimiento rápido que desplaza la fijación de un punto a otro. Tanto las fijaciones como los movimientos sacádicos se pueden determinar mediante un software de *eye-tracking* a partir de los datos recogidos por el rastreador ocular. Se puede usar un *Gaze-plot* (representaciones estáticas del camino o de ruta sacádica) para mostrar la sucesión de fijaciones y movimientos sacádicos en una pantalla o página web del usuario a nivel individual, mientras que los mapas de calor (*Heat Maps*) muestran cuánto tiempo fija la visión el usuario en cada parte de una página web. También se usan los mapas de zonas ciegas que, al contrario del mapa de calor, muestra de una manera muy clara las zonas que han sido visualmente menos atendidas por el usuario. Estas y otras técnicas de

¹ “Fundamentos de Visión Binocular” Álvaro M. Pons Moreno, Francisco M. Martínez Verdú, pag. 19.

visualización de los datos de *eye-tracking* son interpretadas por los profesionales para identificar confusión por parte del usuario, lectura o escaneo de comportamientos, o también, áreas donde los usuarios no están mirando.

La pertinencia de estudiar los movimientos oculares tiene como base la hipótesis "*strong eye-mind*", según la cual lo que una persona visualiza es asumido como indicador del pensamiento actual, prevalente en los procesos cognitivos (Just, Carpenter, 1976a y 1976b). Esto significa que la grabación de los movimientos oculares proporciona un trazado dinámico donde está dirigida la atención en un determinado campo visual. La medición de otros aspectos asociados a los movimientos oculares, como las fijaciones (momentos en que los ojos son relativamente fijos, asimilando o "codificando" las informaciones), podrá también revelar la cantidad de procesamientos aplicados a objetos visualizados.

Dos aspectos importantes del *eye-tracking* son **la calibración del sistema para participantes específicos y la gestión de la desviación ocular, a través de la corrección del desvío**. La calibración normalmente involucra a los participantes que miran una imagen (por ejemplo, un punto o una cruz de fijación) en una ubicación conocida. El sistema de seguimiento ocular compara la ubicación verdadera de la imagen con la que detecta la mirada del participante en la pantalla y aplica una corrección adecuada para futuras fijaciones. La corrección del desvío mide cuánto difiere la disparidad entre la mirada de un participante y un punto central en un corto período de tiempo. La desviación puede ocurrir debido a factores tales como fatiga y cambios en la posición del cuerpo (cabeza). Además, cuanto más larga es la sesión de visualización, hay más desviación y, por lo tanto, menos precisa es la grabación de la mirada.

La duración de la fijación, la frecuencia, la ubicación y la secuencia son las medidas principales del comportamiento visual utilizado para estudiar el procesamiento facial. La duración de la fijación proporciona un índice de la velocidad con la que se procesa la información. El aumento de la duración de la fijación se asocia con tareas que requieren un análisis visual más detallado (p. Ej., Xiaohua, C. y Liren, 2007). La frecuencia de las fijaciones a menudo sirve como una medida de la cantidad de muestreo. La ubicación de la fijación y la secuencia proporcionan información con respecto a las regiones de la cara a las que asisten los participantes y la información sobre el orden en que se muestrean las propiedades del estímulo.

Eye-tracking es una técnica mediante la cual se miden los movimientos oculares de un individuo para que el investigador sepa dónde está mirando cada persona en un momento dado y la secuencia en la que sus ojos están cambiando de un lugar a otro. El seguimiento de los movimientos oculares de las personas puede ayudar a los investigadores de HCI (*Human-Computer Interaction*) a comprender el procesamiento de la información visual y basada en la visualización y los factores que pueden afectar la usabilidad de la conexión física y funcional del sistema. De esta forma, las grabaciones de los movimientos oculares pueden proporcionar una fuente objetiva de información para evaluar las interfaces y proporcionar mejoras en el diseño. Los movimientos oculares también se pueden capturar y usar como señales de control para permitir a las personas interactuar directamente con las interfaces sin la necesidad de utilizar el ratón o el teclado, lo que puede ser una gran ventaja para ciertas poblaciones de usuarios, como las personas discapacitadas.

Los movimientos oculares, por lo tanto, son fundamentales para el funcionamiento del sistema visual. Sin embargo, la investigación del *eye-tracking* se relaciona con un mosaico de campos más diversos que el estudio de los sistemas perceptuales. Debido a su estrecha relación con los mecanismos de atención, los movimientos sacádicos pueden proporcionar una idea de los procesos cognitivos, como la comprensión del lenguaje, la memoria, las imágenes mentales y la toma de decisiones. **La investigación del *eye-tracking* es de gran interés en el estudio de la neurociencia y la psiquiatría, así como en la ergonomía, la publicidad y el diseño.** Dado que los movimientos oculares pueden controlarse de forma voluntaria, hasta cierto punto, y ser rastreados por la tecnología moderna con gran velocidad y precisión, ahora se pueden usar como un poderoso dispositivo de entrada, y tienen muchas aplicaciones prácticas en las “interacciones persona-ordenador”.

4.1.2. Origen y Fundamentos Técnicos y Científicos

- Origen de los estudios con tecnología *Eye-Tracking*

Para conocer mejor la técnica del *eye-tracking* nos centraremos en sus orígenes y como fue surgiendo esta técnica a lo largo de los años.

El inicio de la investigación del *eye-tracking* se confunde frecuentemente con la fecha en la que esta técnica comenzó a ser aplicada.

Hace más de un siglo, a finales del siglo XIX, se dieron los primeros estudios sobre el movimiento ocular por observación directa. Louis Émile Javal, un oftalmólogo francés, fue el primero en describir los movimientos del ojo durante un acto de lectura, concluyendo que se hacen pausas cortas, denominadas fijaciones, y movimientos sacádicos y no un barrido liso como se imaginaba.

Además de la mera observación visual, los métodos iniciales para rastrear la ubicación de las fijaciones oculares fueron bastante invasivos, involucrando un contacto mecánico directo con la córnea. En 1901, Dodge y Cline desarrollaron la primera técnica de *eye-tracking* precisa y no invasiva, aplicando luz reflejada en la córnea. Su sistema sólo registraba la posición horizontal del ojo en una placa fotográfica y requería que la cabeza del participante estuviera inmóvil. Poco después de esto, en 1905, Judd, McAllister y Steel aplicaron la fotografía en movimiento para registrar los aspectos temporales de los movimientos oculares en dos dimensiones. Registraron el movimiento de una pequeña mancha blanca de material insertado en los ojos de los participantes en lugar de la luz reflejada directamente desde la córnea. Durante la mitad del siglo XX, muchos investigadores interesados en los movimientos oculares lograron diversos avances en el sistema de *eye-tracking* mediante la combinación de distintas maneras de las técnicas de luz reflejada en la córnea y de fotografía en movimiento.

- **Fundamentos Técnicos y Científicos**

A lo largo de todo el siglo XX, han surgido diversos principios y teorías que han sido un gran soporte para la técnica del *eye-tracking* que hasta ahora conocemos.

El estudio de los movimientos oculares es uno de los pilares fundamentales del *eye-tracking* y está estrechamente relacionado con los procesos cognitivos. Ya que éstos permiten que procesemos la información que nos llega a través de la visión, para registrar y decodificar información fisiológica sobre la atención y aportar información vinculada a emociones, al mismo tiempo que memorizamos.

Muchos investigadores han perseguido mejoras en la usabilidad y en la interacción persona-ordenador, dando lugar a los fundamentos técnicos y científicos en los que se basa el *eye-tracking*:

- **Miles Tinker y sus socios** en 1930, aplicaron técnicas fotográficas para estudiar los movimientos oculares en la lectura, variando tipografía, tamaño de impresión,

diseño de página y estudiaron los efectos resultantes sobre la velocidad de lectura y los patrones de movimientos oculares.

- **Fitts, Jones y Milton**, en 1947, su estudio consistió en utilizar cámaras de cine para analizar los movimientos de los ojos de los pilotos mientras usaban controles de cabina e instrumentos para aterrizar un avión.² Este estudio representa la primera aplicación del *eye-tracking* a lo que ahora se conoce como *ingeniería de usabilidad*; el estudio sistemático de los usuarios que interactúan con los productos para mejorar el diseño de los mismos.
- **Hartridge y Thompson**, en 1948, inventaron el primer *eye-tracking* montado en la cabeza. Esta innovación sirvió como punto de partida para liberar a los participantes del estudio de *eye-tracking* de las estrictas restricciones sobre el movimiento de la cabeza.
- En la década de los 60, **Shackel, Mackworth y Thomas** promovieron el concepto de sistemas de *eye-tracking* montados en la cabeza, haciéndolos algo menos molestos y reduciendo aún más las restricciones al movimiento de la cabeza de los participantes.
- En otro avance significativo, relevante para la aplicación del *eye-tracking* a la interacción persona-ordenador, **Mackworth y sus socios** idearon un sistema para registrar los movimientos oculares superpuestos sobre la escena visual cambiante vista por el participante.
- **La electro-oculografía:** Es un método de registro del movimiento ocular que se basa en la medición de las diferencias de potencial eléctrico de la piel, de los electrodos colocados alrededor del ojo. Fue uno de los más utilizados hace unos 40 años, aún que hoy en día se sigue utilizando. Esta técnica mide los movimientos de los ojos en relación con la posición de la cabeza, por lo que generalmente no es adecuada para mediciones del punto de observación a menos que también se mida la posición de la cabeza. Se puede observar en la siguiente figura 4.1, donde se muestra a un sujeto que lleva puesto el aparato EOG. (Duchowski, 2003)

² Paul M. Fitts, Richard E. Jones, and John L. Milton, "The Movements of Aircraft Pilots During Instrument-Landing Approaches," *Aeronautical Engineering Review* 9, n° 2 (1950): pág. 24–29.



Figura 4.1: Ejemplo de medición del movimiento ocular por electro-oculografía (EOG). (Duchowski, 2003)

- **Lentes de contacto escleral y bobina de búsqueda:** Esta técnica comenzó sus primeros registros con un anillo de yeso de París adherido directamente a la córnea y a través de conexiones mecánicas con lápices registradores (Young y Sheena, 1975). Este método fue evolucionando y se convirtió en uno de los más precisos en la medición del movimiento ocular. El continuo avance en esta técnica dio lugar al uso de grandes lentes de contacto que cubrían la córnea (la membrana transparente que cubre el frente del ojo) y la esclerótica (el blanco del ojo que se ve desde el exterior), con una bobina metálica incrustada alrededor del borde del cristalino; los movimientos del ojo se medían entonces por las fluctuaciones en un campo electromagnético cuando la bobina metálica se movía junto con los ojos. Se muestra un ejemplo en la figura 4.2.a) de una bobina de búsqueda incrustada en una lente de contacto escleral y un marco del campo electromagnético. Mientras que en la figura 4.2.b), se puede observar cómo se inserta la lente de contacto al individuo en cuestión. Aunque el método de la bobina escleral es más preciso para medir el movimiento ocular, es la técnica más intrusiva ya que la inserción de la lente requiere de cuidado y práctica y el uso de la lente causa incomodidad. También mide la posición del ojo en relación con la cabeza, por lo que no es generalmente adecuado para la medición del punto de observación. (Duchowski, 2003).

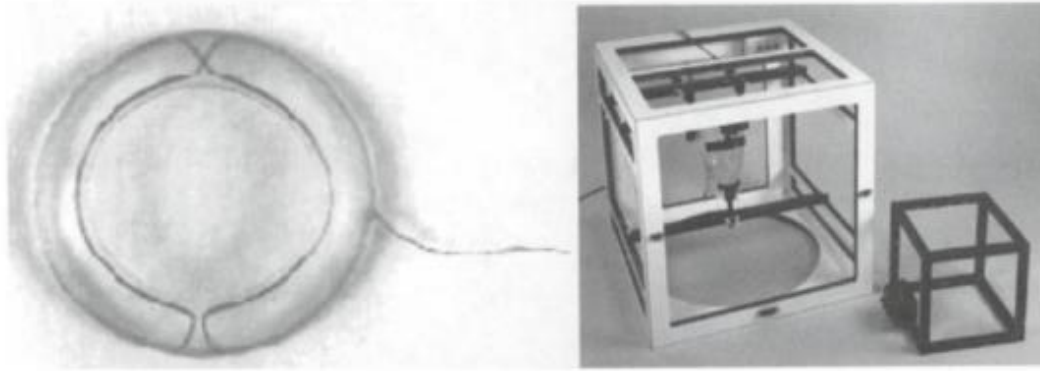


Figura 4.2.a): Ejemplo de lente de contacto con bobina de búsqueda incrustada y marcos de campo electromagnético para la medición del movimiento ocular. (Duchowski, 2003)

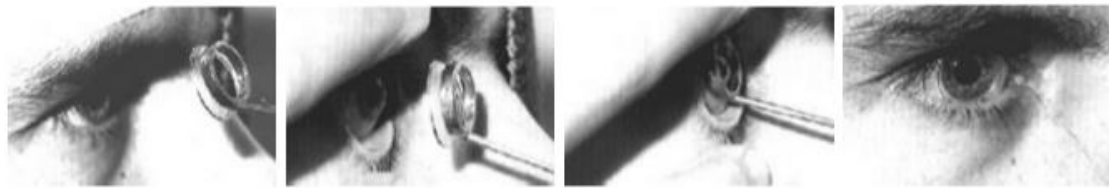


Figura 4.2.b): Ejemplo de la inserción del anillo de succión escleral para la técnica de medición de bobina de búsqueda del movimiento ocular. (Duchowski, 2003)

Varios estudios han sido desarrollados en todo el mundo y han contribuido al conocimiento sobre el movimiento ocular y su relación con los procesos cognitivos, en los que se fundamenta el *eye-tracking*:

- **“La Ley de Fitts” en 1954:** Fitts desarrolló un modelo de movimiento humano basado en el movimiento rápido y objetivo, convirtiéndose en uno de los modelos matemáticos más exitosos y estudiados del movimiento humano. Algunas de las conclusiones presentadas por Fitts y sus socios siguen siendo válidas hoy en día, como la frecuencia de fijación que puede utilizarse como medida de la importancia del objeto en foco; la duración de la fijación, como medida de la dificultad de extraer información e interpretación; y el patrón de fijación de las transiciones entre objetos, como indicador de la eficacia de la disposición de los elementos de visualización individuales.
- **Método de observación de la fijación con cámara en 1960:** Kenneth A. Mason, un profesor e investigador estadounidense, formalizó el método de investigación a través del centro de la pupila y la reflexión corneal como un procedimiento para observar la fijación ocular por medio de una cámara, midiendo la ubicación de

esos dos elementos. Kenneth A. Mason, junto con John Merchant, también profesor e investigador estadounidense, en un trabajo subvencionado por la NASA y preparado por el Honeywell Radiation Center ("*Design of a Breadboard Remote Oculometer*" o "Diseño de un *Eye-Tracker* remoto con placa de pruebas"), fue responsable de la construcción de un sistema electro-óptico basado en una cámara de vídeo para observar la dirección y fijación del ojo humano.

- **"Eye Movement and Vision" en 1965 (Moscú):** El psicólogo ruso Alfred L. Yarbus demuestra en su libro "*Eye Movement and Vision*", considerado uno de los libros más referenciados de la historia sobre el tema, que la tarea que se le asigna a un individuo tiene una influencia significativa en sus movimientos oculares, e incluso que existe una relación entre las fijaciones visuales y el nivel de interés.
- **Monty y Senders en la década de 1970:** Consiguieron grandes avances en la tecnología de *eye-tracking* y la teoría psicológica para vincular los datos de *eye-tracking* a los procesos cognitivos. La investigación se centró en psicología y fisiología, explorando la funcionalidad del ojo humano y qué revela acerca de los procesos perceptuales y cognitivos.
- **Sistema de *eye-tracking* remoto en la década de 1970:** Dos equipos militares/industriales (US Airforce/Honeywell Corporation y US Army/EG&G Corporation) desarrollaron cada uno un sistema de *eye-tracking* remoto que redujo drásticamente la molestia del rastreador y sus limitaciones para el participante. Este sistema lo desarrollaron gracias al descubrimiento de Cornsweet y Crane en 1973, que estudió que los reflejos múltiples del ojo podrían utilizarse para disociar las rotaciones de los ojos del movimiento de la cabeza, y esto hizo que aumentara la precisión de seguimiento y preparara el terreno para desarrollos que resultaron en una mayor libertad de movimiento de los participantes. (Lambert, Monty & Hall, 1974; Monty, 1975; Merchant et al., 1974).
- **"Strong Eye-Mind" en 1980:** Marcel A. Just (investigador y profesor - Centro de Imágenes Cerebrales Cognitivas de la *Carnegie Mellon University*) y Patricia A. Carpenter (investigadora y profesora - Departamento de Psicología de la *Carnegie*

Mellon University) formuló la hipótesis de "*strong eye-mind*". Según esta teoría, "*no hay un retraso apreciable entre lo que se fija y lo que se procesa*". Es decir, la visualización de una palabra u objeto tiende a ir acompañada de un proceso cognitivo.

- **El primer sistema de *eye-tracking* basado en ordenador (PC) en 1988:** Fue introducido en el mercado por la empresa LC Technologies (EE.UU.), permitiendo la integración con otros equipos y dispositivos. Cabe destacar el trabajo de Dixon Cleveland (co-fundador y vicepresidente de LC Technologies) y el equipo que lideró el desarrollo de algoritmos avanzados de procesamiento de imágenes para localizar la pupila y la reflexión corneal con mayor precisión y consistencia, así como el método de enfoque automático que permite la calibración de la fijación ocular, tolerando los movimientos de la cabeza durante una sesión de prueba. (Margarida, 2012)
- Los **primeros estudios de *eye-tracking*** sobre el comportamiento visual en la lectura de los **medios de comunicación escrita** tuvieron lugar en 1990, realizados por el Instituto Poynter: "*Eyetrack I Eyes on the News*". En 1999/2000, este instituto, en colaboración con la Universidad de Stanford, amplió su campo de análisis a los medios de **comunicación online** - "*Eyetrack II*", que se celebró de nuevo en una tercera edición en 2003/2004 - "*Eyetrack III*", esta vez en colaboración con la Universidad de Denver y la consultora Eyetools. En 2007 tuvo lugar el último estudio del Instituto Poynter "*Eyetracking the News - A Study of Print & Online Reading*", que tuvo la particularidad de ser el primero en comparar los estudios anteriores en relación a los dos formatos (versión escrita y versión Web), contando para ello con un panel de más de 600 participantes. (Margarida, 2012)
- **En la actualidad**, el método de investigación basado en la tecnología de *eye-tracking* sigue despertando el interés de los profesionales del sector empresarial y académico, motivado, en parte, por la proliferación de soluciones comerciales a precios relativamente asequibles (Li, Babcock y Parkhurst, 2006) y la considerable mejora técnica. La tecnología ha progresado significativamente desde entonces, de modo que ahora hay sistemas disponibles que no requieren

casco o ningún accesorio físico para ser usado por el participante (por ejemplo, los *eye-trackers* de la compañía tecnológica Tobii).

4.1.3. Ubicación temática de la técnica del Eye-Tracking

La tecnología *eye-tracking* contiene un gran potencial de aplicación en una amplia variedad de disciplinas y áreas de estudio, desde el punto de vista de la recopilación y análisis de información y de la interacción. André Zeferino, socio director de "*Work Value Intelligence*" promotor e investigador de la tecnología de *eye-tracking* para empresas portuguesas y españolas, comenta sobre esta tecnología que:

"Como herramienta de análisis puede ser utilizada en la investigación y estudio de los ámbitos científico, académico y comercial, en áreas de investigación tan diversas como la lingüística cognitiva, la psicología, la medicina, la usabilidad, el marketing, entre otras. Como herramienta de interacción (o *eye controler*, ya que en este contexto el propósito de su uso no es la medición del movimiento ocular, sino el uso de equipos como herramienta de interacción), permite el uso de dispositivos de comunicación específicos basados en la mirada, dirigidos a personas con movilidad limitada o con necesidades especiales" (DIAS, 2009, p.79).

- **En las ciencias de la comunicación.**

En este campo, el *eye-tracking* ha demostrado ser muy versátil y se ha utilizado en diversos contextos como en páginas Webs, en la televisión, la prensa, los medios de comunicación en medios exteriores; como vallas publicitarias, *merchandising*, decoración de puntos de venta. Esta técnica también se puede aplicar en los videojuegos, los dispositivos móviles, en eventos y sesiones públicas, ya sean institucionales o comerciales. (Margarida, 2012)

- **En el ámbito comercial.**

Las aplicaciones comerciales han sido uno de los temas por excelencia en el uso de esta tecnología, grandes empresas como Pepsi, Ptizer, P&G, Unilever la utilizan en cientos de proyectos anualmente (Wedel y Pieters, 2008). Pero es el análisis de la eficacia de las campañas de comunicación lo que ha prevalecido, permitiendo a las organizaciones no sólo comprender el comportamiento visual del individuo en relación con el estímulo, sino también dirigir o reajustar sus estrategias, en función de los resultados obtenidos.

Se está mostrando un mayor uso del *eye-tracking* en áreas de investigación de mercados, por ejemplo, para determinar qué diseños publicitarios atraen mayor atención (Lohse, 1997) y para determinar si los usuarios de Internet miran la publicidad en los banners de los sitios web (Albert, 2002).

- **En la psicología.**

La investigación psicológica general se ha beneficiado del estudio de los movimientos oculares, ya que pueden proporcionar una visión de la resolución de problemas, el razonamiento, las imágenes mentales y las estrategias de búsqueda (por ejemplo, Ball, Lucas, Miles y Gale, 2003; Just & Carpenter, 1976; Yoon & Narayanan, 2004, Zelinsky & Sheinberg, 1995).

- **En la usabilidad.**

Los movimientos oculares brindan una ventana a muchos aspectos de la cognición, por lo que hay grandes oportunidades para la aplicación del análisis del movimiento ocular como herramienta de investigación de la usabilidad en HCI y disciplinas relacionadas, como los factores humanos y la ergonomía cognitiva. Aunque el análisis del movimiento ocular aún se está desarrollando dentro de la investigación de HCI y usabilidad, los problemas que se estudian cada vez más incluyen la naturaleza y la eficacia de las estrategias de búsqueda de información en interfaces basadas en menús (por ejemplo, Altonen, Hyrskykari y Rähä, 1998; Byrne, Anderson, Douglas y Matessa, 1999; Hendrickson, 1989), y las características de los sitios web que se correlacionan con la usabilidad efectiva (por ejemplo, Cowen, Ball y Delin, 2002; Goldberg, Stimson, Lewenstein, Scott y Wichansky, 2002; Poole, Ball, y Philips, 2004).

- **En el estudio de factores humanos.**

Los *eye trackers* se han utilizado más ampliamente en la investigación de factores humanos aplicados para medir la situación de la conciencia en la capacidad de control de tráfico aéreo (Hauland, 2003), evaluar el diseño de los controles de la cabina para reducir el error del piloto (Hanson, 2004), y para investigar y mejorar el desempeño de los médicos en procedimientos facultativos (Law, Atkins, Kirkpatrick, & Lomax, 2004; Mello-Thoms, Nodine, & Kundel, 2002).

4.2. Descripción en profundidad de la técnica del Eye-Tracking.

La técnica del *eye-tracking* es usada por muchos investigadores para medir los movimientos oculares y las características del propio ojo. Para llevar a cabo esta técnica es necesario el uso de un *eye-tracker*, una pieza de hardware que registra los movimientos de los ojos al mirar la pantalla de un ordenador, un objeto físico o incluso el entorno que nos rodea.

Hay dos tipos de *eye-trackers*, el rastreador adaptado a unas gafas o colocado en un casco especial para la cabeza; o el modelo que se sitúa frente al individuo y se conecta a los monitores de los ordenadores. El *eye-tracker* emite una luz infrarroja hacia la cara del individuo, para registrar el centro de la pupila con ayuda del reflejo de la luz infrarroja de la retina y también registra el reflejo de la luz infrarroja de la córnea, llamado reflejo corneal.

4.2.1 ¿Qué es un Eye-tracker?

Para conocer en profundidad como funciona un *eye-tracker*, debemos saber primero cuales son las diferentes partes que forman nuestro ojo y dónde se sitúan cada una de ellas.

Como se puede observar en la figura 4.3, la retina es un tejido sensible a la luz en la parte posterior del ojo, mientras que la pupila es una abertura de aspecto negro que permite que la luz entre en la retina. La córnea es la parte delantera transparente del ojo.

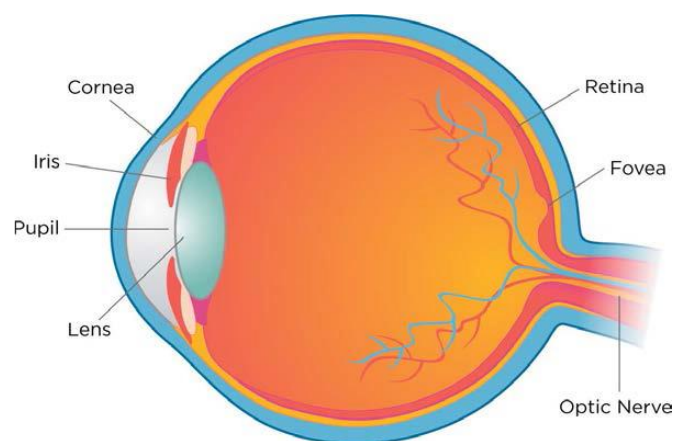


Figura 4.3: El ojo humano. (Bojko, 2013)

Si nos encontramos en una habitación iluminada, podemos observar el reflejo corneal de la luz en cada uno de nuestros ojos. Siguiendo con este ejemplo, si comenzamos a mirar de izquierda a derecha, arriba y abajo, manteniendo la cabeza inmóvil, el reflejo corneal no se desplaza mientras que la pupila si lo hace. Por lo que la relación entre el centro de la pupila y el reflejo corneal cambia (ver Figura 4.4).



Figura 4.4: La posición relativa de la pupila y la córnea cambia cuando el ojo gira, pero la cabeza permanece inmóvil. (Bojko, 2013)

Para averiguar el punto en el que se fija la mirada, se determina a partir de la ubicación del centro de la pupila en relación con el reflejo de la córnea.

Sin embargo, si realizamos movimientos ligeros con la cabeza mientras miramos un mismo punto, la relación entre el centro de la pupila y el reflejo de la córnea sigue siendo la misma (ver Figura 4.5).



Figura 4.5: La posición relativa de la pupila y el reflejo corneal no cambia cuando la cabeza se mueve, pero la persona está mirando en el mismo lugar. (Bojko, 2013)

La mayoría de los sistemas comerciales de *eye-tracking* disponibles hoy en día miden el punto de observación por el método de “reflejo corneal/centro pupilar” (Goldberg & Wichansky, 2003). Los *eye-trackers* actuales disponen de dos elementos principales, una fuente de luz infrarroja que crea el reflejo en el ojo. Y una cámara de vídeo sensible a la luz infrarroja con un software de procesamiento de imágenes para localizar e identificar las características del ojo utilizado para el rastreo. Durante el funcionamiento, la luz infrarroja de un LED incrustado en la cámara infrarroja se dirige primero hacia el ojo para crear fuertes reflejos en las características del ojo objetivo para facilitar su seguimiento. La luz entra en la retina y una gran parte de ella se refleja hacia atrás, haciendo que la

pupila aparezca como un disco brillante y bien definido (conocido como el efecto “pupila brillante”). El reflejo corneal también es generado por la luz infrarroja, que aparece como un pequeño pero agudo destello (ver Figura 4.6).

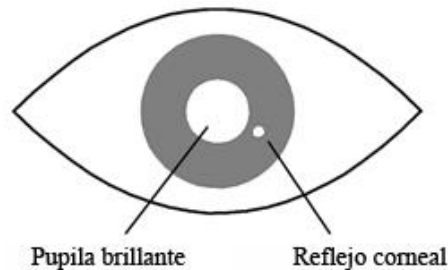


Figura 4.6: Reflejo corneal y pupila brillante como se ve en la imagen de la cámara infrarroja. (Pool & Ball)

Se utiliza una luz infrarroja, y no una luz normal, para obtener una longitud de onda que sea invisible a las personas pero que se refleje en el ojo, sin distraer al usuario. La exposición de la luz infrarroja del *eye-tracker* no llega a ser perjudicial, ya que es sólo una pequeña fracción de la exposición máxima permitida por las pautas de seguridad. A pesar de que cualquier longitud de onda de luz (ultravioleta, visible e infrarroja) puede ser dañina en altas intensidades, la exposición del rastreador no sería peligrosa si ésta fuera durante horas.

Una vez que el software de procesamiento de imágenes ha identificado el centro de la pupila y la ubicación del reflejo corneal, se mide el vector entre ellos y, con cálculos trigonométricos adicionales, se puede encontrar el punto de observación. Aunque es posible determinar el punto de observación aproximado por el reflejo corneal solamente (como se muestra en la Figura 4.7), al rastrear ambas características los movimientos oculares pueden, críticamente, ser disociados de los movimientos de la cabeza (Duchowski, 2003, Jacob & Karn, 2003).



Figura 4.7: La posición del reflejo corneal cambia según el punto de observación. (cf. Redline & Lankford, 2001)

4.2.2 Calibración del Eye-Tracker

Los *eye-trackers* necesitan ajustarse a las particularidades de los movimientos oculares de cada persona mediante un proceso de "calibración". Esta calibración funciona mostrando un punto en la pantalla, y si el ojo se mantiene fijo durante más de un tiempo determinado y dentro de un área específica, el sistema registra esa relación "reflejo corneal/centro pupilar" como correspondiente a una coordenada x,y específica en la pantalla. Esto se repite en un patrón de cuadrícula de 9 a 13 puntos para obtener una calibración precisa en toda la pantalla (Goldberg & Wichansky, 2003).

En una sesión de estudio de *eye-tracking*, para calibrar la mirada del usuario con el rastreador de sobremesa se utiliza un punto azul que aparece en el monitor, que se mueve y se hace más grande o más pequeño, por todos los ángulos de la pantalla (ver figura 4.8.a).



Figura 4.8.a): El usuario observa el punto azul mientras se mueve por la pantalla. (Pernice & Nielsen, 2009)

Para poder hacer posible una adecuada calibración en un estudio de *eye-tracking*, generalmente el participante ideal debe de cumplir los siguientes requisitos:

- No tener gafas.
- No usar sombreros o gorras.
- No haber objetos físicos que puedan atravesar el ojo o el *eye-tracker*.
- Sentarse derecho en la silla.
- No moverse demasiado.
- Permanecer aproximadamente 20 a 23 pulgadas del monitor en todo momento (dependiendo del tipo de tecnología que se esté usando).
- Permanecer posicionado en el medio del monitor en todo momento.

Para un usuario este tipo de condiciones podrían parecer exageradas, como se muestra en la figura 4.8.b), pero realmente se puede llevar a cabo y no resultar incómodo, siempre y cuando las sesiones de prueba se limiten a menos de dos horas y tengas una silla cómoda para el participante. (Pernice & Nielsen, 2009)



Figura 4.8.b): El usuario está en una buena posición para el eye-tracker. (Pernice & Nielsen, 2009)

4.2.3 Los movimientos oculares

Es importante conocer por qué los ojos se mueven y cómo lo hacen para entender mejor el funcionamiento de un eye-tracker.

Los ojos humanos, sin girar, cubren un campo visual de unos 180 grados horizontalmente (90 grados a la izquierda y 90 grados a la derecha) y 90 grados verticalmente como se muestra en la figura 4.9.a).

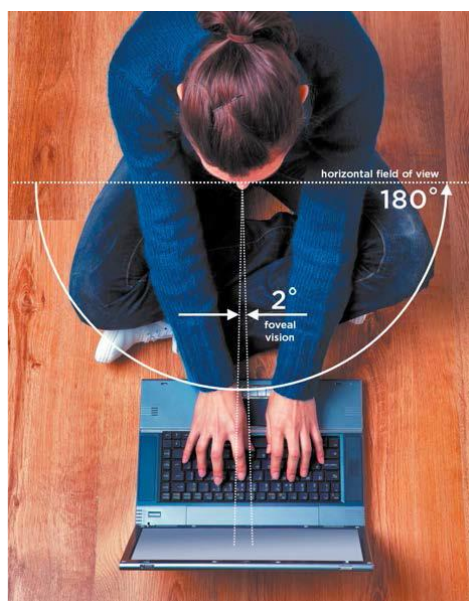


Figura 4.9.a): Cuando miramos hacia adelante, las personas tenemos una visión visual de unos 180 grados, pero solo 2 grados pertenecen a la visión foveal. (Bojko, 2013)

Cada vez que abrimos los ojos, la imagen de lo que vemos se proyecta sobre la retina. Las células de la retina convierten esa imagen en señales, que luego se transmiten al cerebro. Las células responsables de la alta agudeza visual se agrupan en el centro de la retina, lo que se denomina fovea. Cuando miramos algo directamente, su imagen cae sobre nuestra fovea, y por lo tanto es mucho más nítida y colorida que las imágenes que caen fuera de ella.

El área foveal es bastante pequeña, se extiende solo dos grados, lo que a menudo se compara con el tamaño de una uña del pulgar con el brazo extendido. Aunque normalmente no nos damos cuenta, la imagen se vuelve borrosa justo fuera de la fovea en el área llamada parafovea (2-5 grados) y aún más borrosa en la periferia como se muestra en la figura 4.9.b). Los movimientos oculares son necesarios para enfocar los objetos, ya que es un importante mecanismo de filtrado de información porque nuestro cerebro se sobrecargaría si todo se enfocara al mismo tiempo.



Figura 4.9.b): En la foto de la izquierda, el área que está enfocada representa nuestra visión foveal; cuanto más lejos de la fovea, menos detallada es la imagen. En la derecha, los movimientos oculares le permiten enfocarse en múltiples áreas, dando la impresión de que puede ver todo con claridad. (Bojko, 2013)

- ¿Cómo se mueven nuestros ojos?

Los ojos saltan de un lugar a otro varias veces por segundo, concretamente tres o cuatro veces de media. Estos movimientos rápidos, llamados movimientos sacádicos o sácadas, son los movimientos más rápidos producidos por una parte externa del cuerpo humano. Para prevenir la visión borrosa, la mayoría de las veces se suprime la visión durante las sacudidas. La información visual sólo se extrae durante las fijaciones, que es cuando los ojos están relativamente inmóviles y enfocados en algo, como podemos ver en la figura

5. Las fijaciones tienden a durar entre un décimo y medio segundo, después de lo cual el ojo se mueve, con una sácada, a la siguiente parte del campo visual. Aunque existen algunos otros tipos de movimientos oculares, los movimientos oculares sacádicos que consistentes en sácadras y fijaciones, son los más comunes y de mayor interés para la investigación de la UX (Experiencia de Usuario).

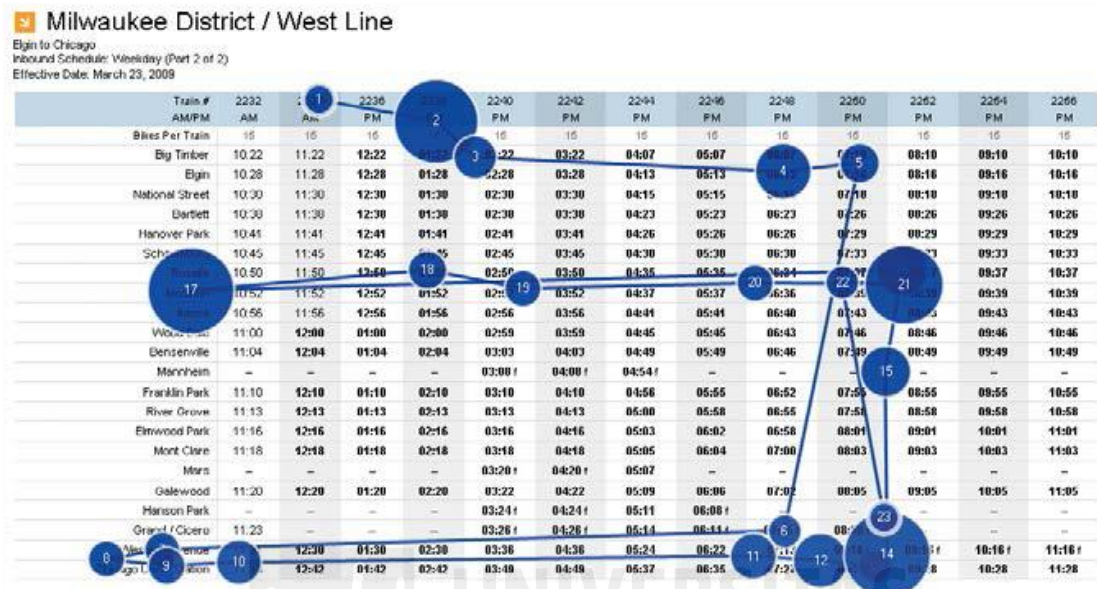


Figura 5: Gaze-plot, o representación de ruta sacádica, muestra los movimientos oculares de una persona que busca las horas del tren en una tabla de horarios. Las fijaciones se representan como puntos y los movimientos sacádicos se muestran como líneas que conectan los puntos. El tamaño del punto es proporcional a la duración de la fijación. (Bojko, 2013)

- La observación de las personas como interés principal del Eye-Tracking.

Muchas investigaciones apuntan que el lugar donde se coloca la mirada está típicamente asociado con lo que se presta atención y se piensa,³ especialmente cuando se mira algo con un objetivo en mente. Esto se le conoce como “hipótesis ojo-mente”. Ciertamente podrías dirigir tu atención a la periferia de tu campo visual. Pero si quisieras ver de qué color es el suéter que alguien lleva puesto, lo mirarías directamente por dos razones: (1) puedes ver las cosas mucho más claramente cuando las miras directamente; y (2) prestar atención a algo y tratar de no mirarlo directamente no es natural y requiere un esfuerzo consciente. Las personas prefieren mover sus ojos cuando cambian la atención visual, enfocándose en lo que están tratando de ver. Sin embargo, cuando la gente no mira algo

³ James E. Hoffman, "Visual Attention and Eye Movements" en atención, ed. Harold Pashler (London: University College London Press, 1998), 119-154.

directamente, no se puede decir con seguridad que no lo ha visto. El *eye-tracking* sólo capta la visión foveal, sin proporcionar información sobre lo que se observa periféricamente, siendo una de las limitaciones de esta técnica.

Una falta de fijación no siempre significa una falta de atención, y la fijación no siempre indica atención, pero la fijación y la atención coinciden mucho. En realidad, la atención va un poco por delante de los ojos porque planifica su próximo destino. Una vez que los ojos se mueven hacia allí, la atención ayuda a asignar los recursos de procesamiento a lo que se está observando. Saber hacia dónde se dirige la atención de los usuarios ayuda al investigador a evaluar y mejorar los productos.

El comportamiento visual está influenciado por cualquier cosa que nos haga mirar (atención ascendente), así como nuestra intención voluntaria de mirar algo (atención descendente). La atención ascendente está impulsada por los estímulos. Esta atención se desplaza involuntariamente a objetos que contrastan con nuestro entorno de alguna manera. Por ejemplo, los colores brillantes o el movimiento pueden llamarnos la atención y hacemos mirar para ver de qué se tratan. Las cosas que son nuevas e inesperadas en un ambiente familiar también pueden llamarnos la atención.

La atención descendente está basada en el conocimiento y depende de nuestra experiencia previa y expectativas, es decir, elegimos intencionalmente mirar la información que consideramos relevante para nuestro objetivo. Los movimientos oculares dependen del objetivo que hayamos escogido a la hora de mirar cualquier objeto, es decir, la misma persona mirará el mismo objeto de manera distinta con objetivos totalmente diferentes. Por ejemplo, en la figura 5.1 se observa cómo alguien que está mirando el embalaje de un teléfono móvil está generando un patrón de mirada cuando intenta averiguar la marca del teléfono, mientras que cuando intenta averiguar si el teléfono le permite navegar por Internet genera un patrón de mirada totalmente distinto.

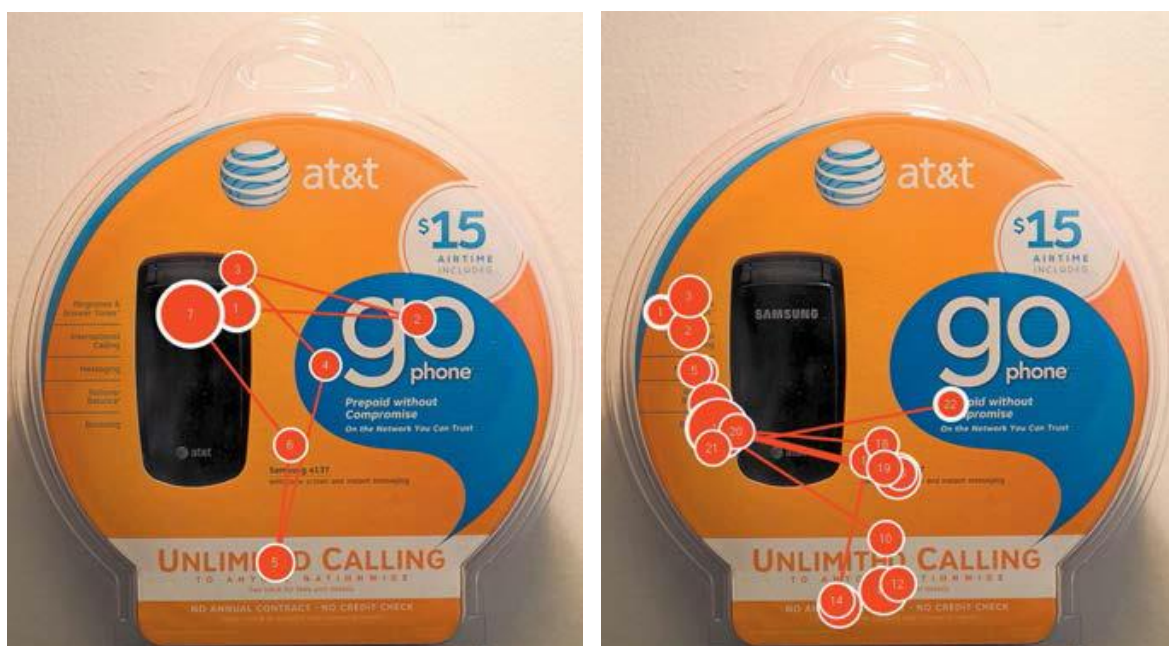


Figura 5.1: A la izquierda se observa un gaze-plot de una persona que busca la marca del teléfono. A la derecha, la mirada de la misma persona trata de averiguar si el teléfono ofrece acceso a Internet. Se observa cómo la misma persona con el mismo producto, pero con una actividad diferente, produce diferentes patrones de fijación. (Bojko, 2013)

4.2.4 El Método de Investigación del Eye-Tracking.

- Tecnología

La tecnología del *eye-tracking* es aplicada tanto en espacios públicos o privados, en interiores o exteriores, de forma dinámica y/o estática:

- **Dinámica:** Esta aplicación colecciona imágenes en movimiento como, por ejemplo, analizar el comportamiento visual de un individuo mientras camina por un espacio público o capta su atención durante la observación de un programa de televisión.
- **Estática:** Recopila imágenes en un contexto más restrictivo como, por ejemplo, visualizar una página web, un anuncio de prensa, prototipos de *packaging*, marcas, entre otros, a través de la proyección por medio de un monitor o pantalla. (DIAS, 2009, p.80)

Actualmente, existen diferentes sistemas capaces de medir el movimiento ocular, recogidos en 3 clases según sus características:

- **Sistemas mecánicos:** Su aplicación trata de dispositivos similares a una lente de contacto especial con espejo integrado (o sensor magnético). Por ejemplo, el rodillo magnético o bobina escleral⁴. Estos registros proporcionan información significativa del movimiento ocular con la medición a través de este tipo de lente y, por lo tanto, es un método que se utiliza regularmente en la investigación relacionada con el estudio de la fisiología del ojo. Aunque tienen el inconveniente de que estos sistemas son muy incómodos para los participantes de la prueba.
- **Sistemas electrónicos:** Su utilización consta de potenciales eléctricos, medidos a partir de electrodos de contacto, colocados cerca del ojo. Por ejemplo, el Electro-Oculograma EOG (Electro-Oculografía EOG). El más común es el Electro-Oculograma (EOG) basado en el potencial eléctrico constante del ojo, donde la córnea es favorable con respecto a la retina. Los sistemas EOG son más adecuados para medir los movimientos oculares rápidos e involuntarios y su método de investigación es utilizado en estudios relacionados con el sueño.

Un ejemplo de los dispositivos electrónicos es el sistema EagleEyes de Gips y Olivieri. Este sistema se basaba en la medición de la Electro-Oculografía y requería que se colocara cinco electrodos en la cabeza alrededor del ojo del usuario. El usuario controla el cursor a través del movimiento de los ojos y funciona como una aplicación de fondo, capturando las coordenadas de la mirada cada 1/60 de segundo. Estas coordenadas se tratan como si fueran coordenadas del ratón y no coordenadas de la mirada. Mide las diferencias en el potencial eléctrico a fin de detectar los movimientos oculares. Tiene el inconveniente de ser un método invasivo, ya que los usuarios no se hacen a la idea de tener electrodos colocados en la cara y hace difícil su uso en entornos dinámicos (ver figura 5.2). (Gips & Olivieri, 1996)

⁴ Bobina escleral: Bobinas que generan campos magnéticos. Para medir los movimientos oculares se forman dos bobinas metálicas incluidas en un anillo de silicona, a modo de lente, que se coloca sobre la superficie escleral de manera que la pupila y el iris quedan descubiertos. (Carriel C. & Rojas M. 2013)



Figura 5.2: Aplicación de EagleEyes en EEUU. (Gips & Olivieri, 1996)

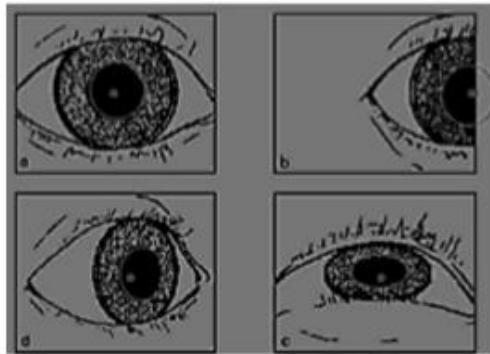
- **Sistemas de video:** Son utilizados en estudios de observación de la mirada fija porque no son intrusivos a la hora de realizar pruebas. En este tipo de sistemas, la información se analiza a partir de los cambios registrados en los reflejos oculares, basándose en la proyección de una luz infrarroja en el ojo y la captura de sus movimientos mediante una cámara de vídeo (o mediante otro tipo de sensor óptico).

➤ Video-Oculografía (VOG) o Foto-Oculografía.

Entre los sistemas de video tenemos Video-Oculografía (VOG) o Foto-Oculografía que agrupan una amplia variedad de técnicas de registro del movimiento ocular que incluyen la medición de los rasgos distinguibles de los ojos bajo rotación/traslación, por ejemplo, la forma aparente de la pupila, la posición del limbo esclerocorneal (o unión esclerocorneal) y los reflejos de la córnea de una fuente de luz muy cercana, siendo normalmente una luz infrarroja. En la figura 5.3 se agrupan ejemplos de dispositivos e imágenes tomadas del ojo que se utilizan en la Foto-Oculografía o en la Video-Oculografía y/o en el rastreo del limbo esclerocorneal. La medición de las características oculares que proporcionan estas técnicas puede o no realizarse automáticamente, y además puede implicar la supervisión visual de los movimientos oculares registrados, normalmente grabados en cinta de vídeo.

La evaluación visual realizada manualmente (por ejemplo, pasando por una cinta de vídeo fotograma a fotograma), puede ser extremadamente tediosa y propensa a errores, y limitada a la frecuencia de muestreo temporal del dispositivo de vídeo.

El rastreo automático del limbo esclerocorneal a menudo implica el uso de fotodiodos instalados en monturas de gafas, como se muestra en la figura 5.3.b) y c), y casi siempre implica el uso de iluminación infrarroja (ver Figura 5.3d)). Varios de estos métodos requieren que la cabeza esté fijada, por ejemplo, ya sea usando un soporte para la cabeza o la barbilla (*Young & Sheena, 1975*) (*Duchowski, 2003*).



(a) Ejemplo de tamaño aparente de la pupila.

(b) Ejemplo de aparato de rastreo de limbo esclerocorneal por infrarrojos.



(c) Otro ejemplo de rastreo de limbo esclerocorneal por infrarrojos, tal y como lo lleva el sujeto.

(d) Ejemplo de "pupila brillante", y reflejo corneal, iluminada por luz infrarroja.

Figura 5.3: Ejemplos de mediciones del movimiento ocular de la pupila, el limbo esclerocorneal y el reflejo corneal por infrarrojos. (*Duchowski, 2003*)

- Técnica PCCR - Pupil Centre/Corneal Reflection (reflejo corneal y centro de la pupila).

Otro de los sistemas de videos importantes es la técnica de video que utiliza como medición la pupila y el reflejo corneal para conocer el punto de observación del sujeto (o “point-of-regard”, es decir, el punto en el espacio donde la persona está mirando, revelando hacia dónde se dirige la atención visual). Para ello, se miden ciertas características oculares para desambiguar el movimiento de la cabeza de la rotación del ojo. Las características de medición son el reflejo corneal de una fuente de luz, generalmente infrarroja, y el centro de la pupila.

Los dispositivos basados en video utilizan cámaras de calidad y hardware de procesamiento de imágenes para computar el punto de observación en tiempo real. Hay dos tipos de aparatos dentro de esta técnica, aquellos dispositivos totalmente no intrusivos que registran el movimiento ocular a distancia montados sobre una mesa integrados en el monitor, como se muestra en la figura 5.4, o aquellos en los que el participante necesita llevar su propio dispositivo colocándose en la cabeza, como aparece en la figura 5.5. El eye-tracker situado en la cabeza, por medio de gafas en la mayoría de los casos, es adecuado para actividades en las que el participante debe tener total libertad de movimiento, mientras que el de sobremesa es mucho menos intrusivo, generando menos interferencias en los procesos de evaluación. Las ópticas de ambos son esencialmente idénticas, con la excepción del tamaño. Estos dispositivos son cada vez más disponibles y adecuados para uso en sistemas interactivos.



(a) Operador.



(b) Sujeto.

Figura 5.4: Ejemplo de eye-tracker de sobremesa. (Duchowski, 2003)



Figura 5.5: Ejemplo de eye-tracker de video montado en la cabeza. (Duchowski, 2003)

➤ *Tobii* y los avances en los *eye-trackers*.

Actualmente, la tecnología *eye-tracking* ha avanzado considerablemente y entre las empresas dedicadas a este sector, destaca la compañía líder mundial y número uno en este campo, *Tobii Technology AB*.

Los *eye-trackers Tobii* son una versión mejorada y ligera de la tecnología tradicional del *eye-tracking* remoto usando la misma técnica del reflejo corneal y el centro de la pupila.

La iluminación infrarroja cercana se utiliza para crear los patrones de reflejo en la córnea y la pupila del ojo del sujeto y los sensores de imagen se utilizan para capturar imágenes de los ojos y los patrones de los reflejos. Se utilizan algoritmos avanzados de procesamiento de imágenes y un modelo fisiológico en 3D del ojo para estimar la posición del ojo en el espacio y el punto de mira con gran precisión.

Los *eye-trackers Tobii* de sobremesa están colocados en la pantalla, como se observa en el *eye-tracker Tobii Pro Spectrum* de la figura 5.6. Y están compuestos por iluminadores, cámaras y una unidad de procesamiento que contiene la detección de imágenes, un modelo de ojo 3D y los algoritmos de mapeo de la mirada (o *gaze mapping*), como se muestra en la figura 5.7.



Figura 5.6: Eye-tracker de sobremesa Tobii Pro Spectrum. (Tobiipro.com)

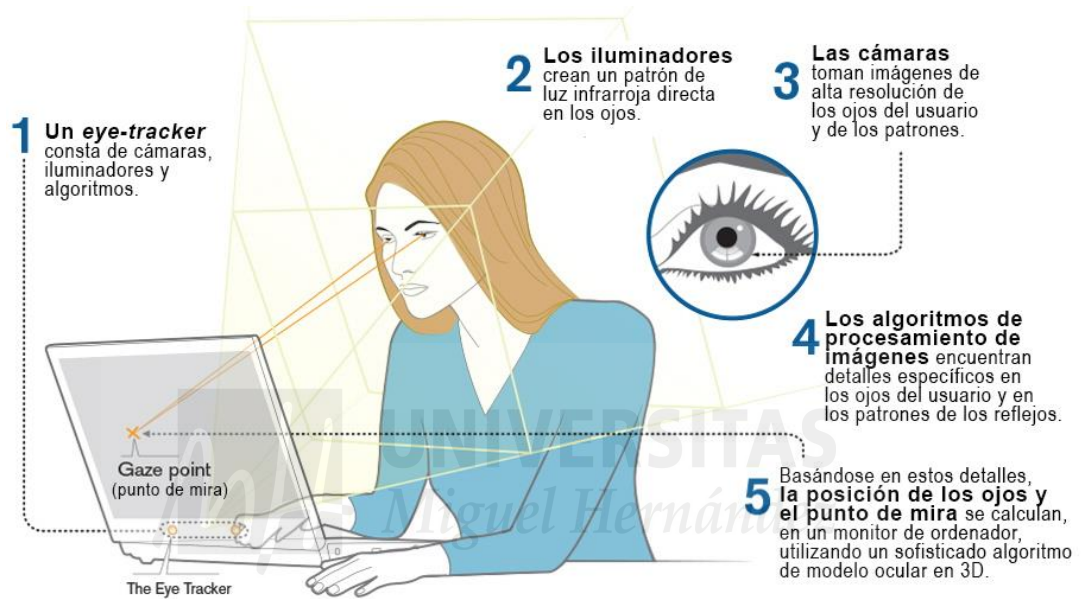


Figura 5.7: Funcionamiento de un eye-tracker Tobii de sobremesa. (Tobiipro.com)

Los eye-trackers portátiles de Tobii son mucho más ligeros que los tradicionales como, por ejemplo, el eye-tracker Tobii Pro Glasses 2 que aparece en la figura 5.8. Y tienen los mismos componentes básicos que los de sobremesa, como son: iluminadores, cámaras y la unidad de procesamiento que contiene la detección de imágenes, el modelo ocular en 3D y los algoritmos de mapeo de la mirada, donde se puede ver más detalladamente en la figura 5.9.



Figura 5.8: Eye-tracker portátil Tobii Pro Glasses 2. (Tobiipro.com)

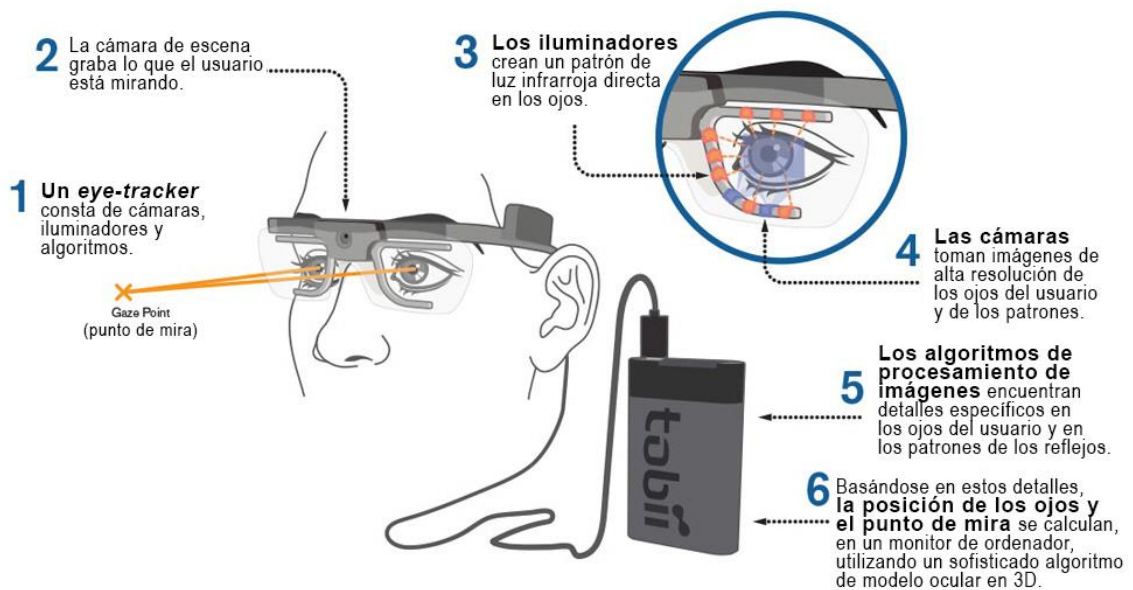


Figura 5.9: Funcionamiento de eye-tracker portátil Tobii. (Tobiipro.com)

- *Eye-tracker Dual-Purkinje.*

El sistema Purkinje se basa en la medición del reflejo corneal en relación con la ubicación del centro de la pupila. Estos reflejos de la córnea son conocidos como los reflejos Purkinje o imágenes de Purkinje (Crane,1994). Debido a la estructura del ojo, se forman cuatro reflejos Purkinje y los *eye-trackers* basados en vídeo suelen localizar la primera imagen de Purkinje. Con los procedimientos de calibración apropiados, estos *eye-trackers* son capaces de medir el punto de observación de un sujeto en una superficie posicionada adecuadamente (perpendicularmente plana) en la que se muestran los puntos de calibración. (Duchowski, 2003)

Es necesario utilizar dos puntos de referencia en el ojo para separar los movimientos oculares de los movimientos de la cabeza. La diferencia de posición entre el centro de la pupila y el reflejo corneal cambia con la rotación del ojo, pero permanece relativamente constante con movimientos mínimos de la cabeza. Las posiciones relativas aproximadas de la pupila y de los primeros reflejos de la córnea se muestran gráficamente en la figura 6, mientras el ojo izquierdo gira para fijar nueve puntos de calibración colocados correspondientemente. El reflejo Purkinje se muestra como un pequeño círculo blanco muy cerca de la pupila, representado por un círculo negro. Debido a que la fuente de luz infrarroja se coloca generalmente

en alguna posición relativa al ojo, la imagen de Purkinje es relativamente estable, mientras que el globo ocular, y por lo tanto la pupila, rota en su órbita.

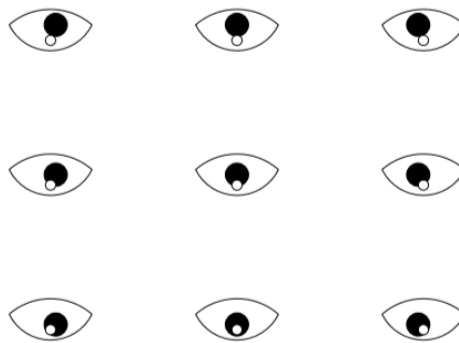


Figura 6: Posiciones relativas de la pupila y las primeras Imágenes de Purkinje vistas por la cámara del oculista. (Duchowski, 2003)

Los llamados *eye-trackers* de la generación V también miden la cuarta imagen de Purkinje (Crane & Steele, 1985). Al medir el primer y cuarto reflejo Purkinje, estos rastreadores de imágenes del sistema Dual Purkinje (DPI) separan los movimientos oculares de traslación y de rotación. Ambos reflejos se mueven juntos a través de exactamente la misma distancia al trasladar los ojos, pero las imágenes se mueven a través de diferentes distancias al girar los ojos. Este dispositivo se muestra en la figura 6.1. Desafortunadamente, aunque el rastreador ocular del DPI es bastante preciso, puede ser necesaria la estabilización de la cabeza. (Duchowski, 2003)

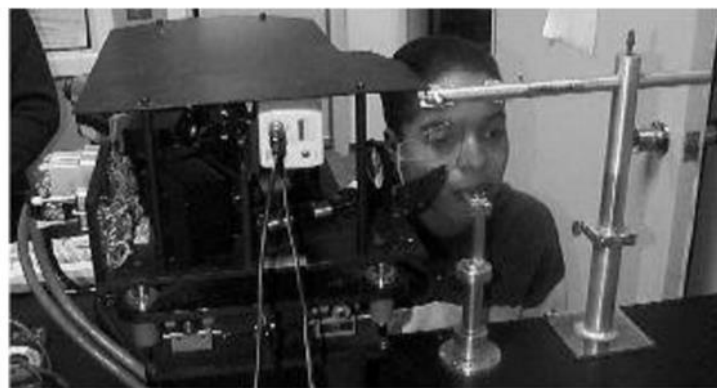


Figura 6.1: Eye-tracker Dual-Purkinje. (Duchowski, 2003)

En este proceso se puede utilizar una de dos técnicas: pupila brillante y pupila oscura. Su diferencia se basa en la posición de la fuente de luz con respecto a la óptica. Si la iluminación es coaxial con la trayectoria óptica, entonces los ojos actúan como un retrorreflector, creando un efecto de pupila brillante similar al del

ojo rojo. Si la fuente de luz está más compensada por la trayectoria óptica, entonces la pupila se oscurece.

En consecuencia, la elección de cada una de estas técnicas se realiza en función de las condiciones de iluminación y del lugar donde se realizan las pruebas de observación. La técnica de la pupila brillante se utiliza más comúnmente en condiciones de luz artificial extrema (en interiores que pueden variar de la más oscura a la más brillante) y la técnica de la pupila oscura se recomienda en ambientes al aire libre. (Margarida Barreto, 2012)

4.2.5 Procedimientos del Eye-Tracking

Para realizar un estudio habitual de *eye-tracking* intervienen tres procesos distintos:

1) Proceso de Preparación: el tiempo medio transcurrido es de una semana.

- Definición del *briefing* o sesión informativa.
- Definición del perfil de los participantes (género, edad, profesión, etc.).
- Selección y reclutamiento de los participantes.

2) Proceso de Ejecución: el tiempo medio transcurrido es de una semana.

- Calibración.
- Observación en el entorno de *eye-tracking*. (Goldberg & Wichansky, 2003)
- Encuesta final de los participantes ("*think aloud*" retrospectivo o "pensamiento en voz alta retrospectivo"). Este método consiste en solicitar, una vez finalizada la prueba, a cada participante que describa verbalmente en qué estaba pensando, qué dudas tenía, por qué llevaba a cabo una acción o exploraba visualmente un área de interés u otro. ((Cooke & Cuddihy, 2005)

3) Presentación de informes: el tiempo medio transcurrido es de una a dos semanas.

- Análisis y conclusiones.
- Elaboración de recomendaciones.

Es importante tener en cuenta a la hora de seleccionar las características de la prueba, como el número y el perfil de los participantes ya que pueden condicionar el grado de complejidad de la misma. (Margarida Barreto, 2012)

- **Selección de muestras.**

La selección y determinación del número de participantes que componen una muestra suele ser una de las mayores dificultades a las que se enfrentan los investigadores, sea cual sea la naturaleza de su investigación.

Con respecto a los estudios que utilizan tecnología de *eye-tracking*, algunos consideran que sólo se necesitan cinco participantes. Este número proviene de la distribución binomial (del campo de probabilidades), que estima que 5 es el número de usuarios necesarios para detectar aproximadamente el 85% de los problemas en una interfaz, dado que la probabilidad de que un usuario se encuentre con un problema es de alrededor del 31% (Lewis, 1982; Nielsen, Landauer, 1995). Es comprensible que esta teoría no se aplique a todas las situaciones, como la comparación de dos productos, la obtención de una medida precisa de los tiempos de las tareas o las tasas de finalización, sino sólo para descubrir problemas con una interfaz.

Por otro lado, en la Tabla 1 nos muestra el número recomendado de participantes de pruebas para incluir en cada estudio de los principales métodos de investigación de usuarios. Hay que tener en cuenta que los números de participantes para los dos métodos de *eye-tracking* tienen dicha asignación ya que las grabaciones de *eye-tracking* son de muy baja calidad debido a las limitaciones de la tecnología actual. Si contáramos con una tecnología perfecta en el estudio del *eye-tracking*, entonces solo serían necesarios 30 usuarios para los mapas de calor y 5 usuarios para una revisión cualitativa de las repeticiones de miradas, sin embargo, los números en la tabla son la recomendación actual. (Pernice & Nielsen, 2009)

Método de Investigación	Usuarios	Referencias
Pruebas de usuario cualitativas (<i>thinking aloud</i>)	5	Por qué solo necesitas probar con 5 usuarios (Nielsen, 2000)
Clasificación de tarjetas	15	Clasificación de tarjetas: Cuántos usuarios evaluar (Nielsen, 2004)
Pruebas cuantitativas de usuarios (punto de referencia de medición)	20	Estudios cuantitativos: ¿Cuántos usuarios evaluar? (Nielsen, 2006)

Eye-tracking destinado a generar mapas de calor	39	<i>Eyetracking Methodology</i> , (Kara Pernice y Jakob Nielsen, 2009)
Eye-tracking cualitativo (viendo repeticiones de miradas)	6	<i>Eyetracking Methodology</i> , (Kara Pernice y Jakob Nielsen, 2009)

Tabla 1. Número recomendado de usuarios para cada método de investigación. (Pernice & Nielsen, 2009)

En cuanto a la comunicación entre los investigadores participantes, además de los datos típicos que deben comunicarse a cualquier participante potencial durante el cribado (por ejemplo "Esto no será una prueba de sus habilidades, sino una prueba de..."), cabe señalar que el ojo será objeto de seguimiento durante la sesión por diversas razones, incluidas las éticas. En una investigación no debe ocultarse al participante lo que se está haciendo con él o ella, especialmente cuando la experiencia o el momento es inusual. Además, el aviso previo prepara al usuario para que cuando llegue al laboratorio no tenga sorpresas y pueda continuar cómodamente con la sesión. Finalmente, las personas querrán saber por qué se hacen tantas preguntas sobre sus ojos en las preguntas subsiguientes de la evaluación, y si no se les explica, la razón puede causar incomodidad al participante o incluso desconfianza. (Pernice & Nielsen, 2009)

Por otra parte, se debe tener en cuenta que hablar sobre el *eye-tracking* a los participantes potenciales es un tema bastante delicado. Las explicaciones excesivas pueden ser perjudiciales por dos razones. En primer lugar, pueden hacer que los participantes sean excesivamente conscientes de los movimientos de sus ojos, con el riesgo de influir voluntaria o involuntariamente en su propio comportamiento visual. En segundo lugar, pueden asustar a los participantes potenciales hasta el punto de que ya no quieran participar.

- **Recopilación de Datos - Métricas de los Movimientos Oculares.**

En una investigación de recopilación de información con tecnología de *eye-tracking*, una de las primeras tareas puede ser la definición del "áreas de interés", tanto para el evaluador y el equipo, de cada interfaz y averiguar si son visibles para los participantes. Estas áreas deben identificar elementos o series de elementos perceptibles como una unidad o grupo, y se recomienda basarlas en las leyes de percepción de la Gestalt (ley de segregación, unidad, proximidad, similitud, continuidad, embarazo y clausura) para su definición.

Por ello, como ya hemos podido ver, las principales medidas utilizadas en la investigación del *eye-tracking* son las fijaciones y los movimientos sacádicos. Pero hay una multitud de métricas derivadas que se obtienen de estas medidas básicas, incluyendo las mediciones de "gaze" (mirada) y "scanpath" (ruta de exploración). También se estudian el tamaño de la pupila y la frecuencia de parpadeo.

- Fijaciones: Las fijaciones pueden ser interpretadas de manera muy diferente dependiendo del contexto. En la Tabla 2 vemos diversos estudios con diferentes significados de fijaciones de algunos investigadores a lo largo de los años.

Formas de Fijación	Resultado	Referencia
Número amplio de fijaciones	Las fijaciones más generales indican una búsqueda menos eficiente (tal vez debido a la disposición subóptima de la interfaz).	Goldberg & Kotval (1999)
Fijaciones por área de interés	Más fijaciones en un área en particular indican que es más notable, o más importante, para el espectador que otras áreas.	Poole et al. (2004)
Fijaciones por área de interés y ajustado para la longitud del texto	Si las áreas de interés están compuestas sólo por texto, el número medio de fijaciones por área de interés debe dividirse por el número medio de palabras del texto. Esto es necesario para separar; un mayor número de fijaciones simplemente porque hay más palabras para leer, a partir de; un mayor número de fijaciones porque un artículo es realmente más difícil de reconocer.	Poole et al. (2004)
Duración de la fijación	Una duración de fijación más larga indica dificultad para extraer información, o significa que el objeto es más atractivo de alguna manera.	Just & Carpenter (1976)
<i>Gaze</i> o mirada	<i>Gaze</i> o mirada generalmente es la suma de todas las duraciones de fijación dentro de un área prescrita. Se usa mejor para comparar la atención distribuida entre los objetivos. También se puede usar como una medida de anticipación en el conocimiento de la situación si las miradas más largas caen en un área de interés antes de que cambie.	Mello-Thoms et Al. (2004); Hauland (2003)
Densidad espacial de la fijación	Las reparaciones concentradas en un área pequeña indican una búsqueda enfocada y eficiente. Las fijaciones uniformemente extendidas reflejan búsquedas generalizadas e ineficientes.	Cowen et al. (2002)
Fijaciones de repetición (también llamadas	Un mayor número de fijaciones fuera del objetivo después de que el objetivo haya sido fijado indica que carece de significado o visibilidad.	Goldberg & Kotval (1999)

"fijaciones post-objetivo")		
Tiempo para la primera fijación en el objetivo	Los tiempos más rápidos para la primera fijación de un objeto o área significan que tiene mejores propiedades para llamar la atención.	Byrne et al. (1999)
Porcentaje de participantes que fijan un área de interés	Si una proporción baja de participantes está fijando un área que es importante para la actividad, puede ser necesario resaltarla o moverla.	Albert (2002)
En el objetivo (todas las fijaciones de destino)	Las fijaciones en el objetivo se dividen por el número total de fijaciones. Una relación más baja indica una menor eficiencia de búsqueda.	Goldberg & Kotval (1999)

Tabla 2. Métricas derivadas de la fijación y cómo pueden interpretarse en el contexto del diseño de interfaces y la evaluación de la usabilidad. Se dan referencias a ejemplos de estudios que han utilizado cada métrica (Poole & Ball, 2006).

- **Sácadas o movimientos sacádicos:** No hay codificación durante las sacadas, por lo que no pueden informar nada sobre la complejidad o la importancia de un objeto en la interfaz. Sin embargo, las sacadas regresivas (es decir, los movimientos sacádicos de retroceso) pueden actuar como una medida de la dificultad de procesamiento durante la codificación (Rayner & Pollatsek, 1989). Aunque la mayoría de las sacadas regresivas o "regresiones" son muy pequeñas, en estudios de lectura, sólo retroceden dos o tres letras, pero las regresiones mucho más grandes en la longitud de las frases, pueden representar una confusión elevada en el procesamiento del texto (Rayner & Pollatsek, 1989). En la Tabla 3 se recogen diversas métricas derivadas de las sacadas, que describen diferentes relaciones entre los movimientos sacádicos que realiza el usuario con la actividad que está realizando.

Formas de sacadas	Resultado	Referencia
Número de movimientos sacádicos	Más movimientos sacádicos indican más búsqueda.	Goldberg & Kotval (1999)
Amplitud de la sacada	Los movimientos sacádicos más grandes indican señales más significativas, ya que la atención se dibuja desde la distancia.	Goldberg et al. (2002)

Sácdas regresivas (regresiones)	Las regresiones indican la presencia de señales menos significativas.	Sibert et al. (2000)
Sácdas que revelan importantes cambios de dirección	Cualquier sácada mayor a 90 grados desde la sácada que lo precedió muestra un cambio rápido de dirección. Esto podría significar que los objetivos del usuario han cambiado o que el diseño de la interfaz no se ajusta con las expectativas del usuario.	Cowen et al. (2002)

Tabla 3. Métricas derivadas de sácdas y cómo pueden ser interpretadas en el contexto del diseño de la interfaz y la evaluación de la usabilidad. Se dan referencias a ejemplos de estudios que han utilizado cada métrica (Poole & Ball, 2006).

- *Scanpaths*: Una secuencia de fijaciones describe una ruta completa de **sácada-fijación-sácada**. En una tarea de búsqueda de un usuario, una trayectoria de escaneo óptima se ve como una línea recta hacia un objetivo deseado, con una duración de fijación relativamente corta en el objetivo (Goldberg & Kotval, 1999). En otras palabras, indica la transición entre las áreas de interés y la eficiencia o no de la disposición de los elementos. Los *scanpaths* pueden analizarse cuantitativamente con las medidas derivadas descritas en la Tabla 4.

Formas de <i>Scanpaths</i> o secuencia de fijaciones	Resultado	Referencia
Duración del <i>Scanpath</i>	Una secuencia de fijaciones más duradera indica un escaneo menos eficiente.	Goldberg & Kotval (1999)
Longitud del <i>Scanpath</i>	Una ruta de exploración más larga indica una búsqueda menos eficiente (tal vez debido a un diseño subóptimo).	Goldberg et al. (2002)
Densidad espacial	Una densidad espacial más pequeña indica una búsqueda más directa.	Goldberg & Kotval (1999)
Matriz de transición	La matriz de transición revela el orden de búsqueda en términos de transiciones de un área a otra. Los <i>scanpaths</i> con una densidad espacial idéntica y	Goldberg & Kotval (1999);
	una superficie de envoltura convexa ⁵ pueden tener valores de transición completamente diferentes: uno es eficiente y directo, mientras que el otro va y viene entre áreas, lo que indica incertidumbre.	Hendrickson, (1989)

⁵ Envoltura convexa (*Convex Hull*): Teniendo un conjunto de puntos en el plano, la envoltura convexa (o casco convexo) está definida por el polígono convexo de área mínima que cubre todos los puntos (esto es, todos los puntos están dentro del polígono). Guillen Hernández, P. P. (2011)

Regularidad de <i>Scanpath</i>	Una vez que se define el "comportamiento cíclico del <i>scanpath</i> ", la desviación de una ruta de exploración "normal" puede indicar problemas de búsqueda debido a la falta de formación del usuario o a un mal diseño de la interfaz.	Goldberg & Kotval (1999)
Cobertura espacial calculada con superficie de envoltura convexa	La longitud del <i>scanpath</i> más la superficie de envoltura convexa definen el escaneo en un área localizada o más grande.	Goldberg & Kotval (1999)
Dirección del <i>Scanpath</i>	Esto puede determinar la estrategia de búsqueda de un participante con menús, listas y otros elementos de la interfaz (por ejemplo, rutas de exploración descendentes o ascendentes). "Barrido" denota una ruta de exploración que avanza en la misma dirección.	Altonen et al. (1998)
Relación sacádica/fijación	Esto compara el tiempo de búsqueda (movimientos sacádicos) con el tiempo de procesamiento (fijación). Una relación más alta indica más procesamiento o menos búsqueda.	Goldberg & Kotval (1999)

Tabla 4. Métricas derivadas de *Scanpath* y cómo pueden ser interpretadas en el contexto del diseño de la interfaz y la evaluación de la usabilidad. Se dan referencias a ejemplos de estudios que utilizaron cada métrica (Poole & Ball, 2006).

- Frecuencia de parpadeo y tamaño de la pupila: La frecuencia de parpadeo y el tamaño de la pupila pueden utilizarse como índice de carga cognitiva. Se considera que una tasa de parpadeo más baja indica un esfuerzo de trabajo mayor, mientras que una tasa de parpadeo más alta puede indicar fatiga (Bruneau, Sasse y McCarthy, 2002; Brookings, Wilson y Swain, 1996).

Las pupilas más dilatadas también pueden indicar un mayor esfuerzo cognitivo (Marshall, 2000; Pomplun y Sunkara, 2003). Sin embargo, el tamaño de la pupila y la frecuencia de parpadeo pueden estar determinados por muchos otros factores, como los niveles de luz ambiental, por lo que están expuestos a elementos externos (Goldberg y Wichansky, 2003). Por estas razones, el tamaño de la pupila y la frecuencia de parpadeo se usan con menos frecuencia en la investigación del *eye-tracking*.

- **Procesamiento/Representación de datos**

Las diferentes métricas del *eye-tracking* examinadas, son utilizadas por los investigadores para determinar una gran cantidad de información y los datos resultantes pueden ser analizados estadísticamente para demostrar evidencias de patrones visuales específicos.

El investigador usa paquetes de software capaces de crear animaciones y representaciones que resumen gráficamente el comportamiento visual de un usuario o grupo de usuarios para complementar sus estudios. Todas estas representaciones gráficas son ilustrativas y capaces de comunicar los resultados, no sólo al equipo de investigación, sino también, por ejemplo, al cliente final, ya que demuestran a través de una sola imagen la forma en que el usuario explora la interfaz.

Son varias las técnicas de visualización de información más comunes y utilizadas con características distintas dependiendo del objetivo de investigación del *eye-tracking*, que se encuentran resumidas en el trabajo desarrollado por *Fry y Behrens (Behrens, 2008; Fry, 2004)*:

- *Gaze plot* o gráfico de miradas: La función principal es descubrir la secuencia de la duración de la mirada, es decir, dónde se mira y cuándo se ha mirado. Es una representación estática del trayecto sacádico en la exploración visual, donde se muestra la secuencia de movimientos correspondiente a las fijaciones visuales (trayecto visual), el orden y duración de la fijación representado por el diámetro de un círculo, ya que cuanto más larga sea la fijación, más grande será el círculo. (*Hassan & Herrero, 2007*)

En la página web de *Tobiiipro.com* podemos ver un claro ejemplo de *gaze plot* donde un participante en un estudio de *eye-tracking* mira con un ojo solo, una caja de galletas de *Goldfish* de *Pepperidge Farms* (ver figura 6.2.a)). El círculo con el número 1 corresponde a la primera fijación en esta imagen por parte del usuario. Las sucesivas fijaciones con los números del 2 al 10 representan el trayecto visual y el orden de las siguientes 9 fijaciones.



(a) Un individuo mirando con un solo ojo.

(b) 30 participantes.

Figura 6.2: Representación de un *gaze plot* o gráfico de miradas. (*Tobiiipro.com*)

Mientras que en la figura 6.2.b), se puede observar como el *gaze plot* muestra un patrón de fijaciones donde varios participantes ubicaban su mirada en el logotipo de la marca desde el principio. El trayecto visual de estos usuarios consistía en mirar el logotipo, el nombre del producto y el gráfico principal en ese orden. Además, sus fijaciones iniciales son significativamente más largas, lo que indica un mayor compromiso y relevancia. De hecho, los participantes que tuvieron esta secuencia demandaron mayores niveles de positividad e intención de compra en comparación con aquellos que miraban el tamaño del paquete y la cantidad de cereales que incluía. Por lo que, los datos de esta secuencia de duración de la mirada que comienza con el logotipo y los elementos de la marca se traducen en un aumento en el compromiso y en las ventas.

- *Gaze replay* o “repeticiones de la mirada”: Este tipo de informes visuales son muy similares a los *gaze plot* y tienden a ser representaciones animadas de un punto sobre la interfaz, que, en ocasiones, se exportan como video. Se pueden incluir a muchos participantes para indicar dónde fijan su atención en cada momento, con un pequeño trayecto lineal visualizando los movimientos sacádicos. Combinar los diferentes trayectos visuales supone revelar diversos patrones que pueden predecir resultados de rendimientos, como la tasa de finalización de tareas. Podemos ver un ejemplo de ello en un artículo realizado por *Kate Moran de Nielsen Norman Group* sobre la “Configuración de un estudio de *eye-tracking*” ⁶. (*Hassan & Herrero, 2007*)

- *Heatmaps*: Los mapas de calor son recomendados para realizar tareas de *eye-tracking* con numerosos participantes, ya que a diferencia del *gaze plot* no se centra en el orden de las miradas con un *heatmap* estático ni en las fijaciones individuales. Son representaciones estáticas y dinámicas, adecuadas para análisis aglomerados de los patrones de explotación visual de los grupos de usuarios y muestran cómo se dispersa la mirada sobre el estímulo visual. Es importante construir e interpretar correctamente los mapas de calor porque pueden distraer o engañar en la información recogida a la hora de la toma de decisiones.

Como se ha de tener en cuenta el objetivo del estudio y el propósito que se debe hacer con la visualización, hay que conocer bien cómo funcionan estas representaciones. Están divididas por áreas coloreadas las cuales indican dónde miran los usuarios. Las áreas “calientes” o de color rojo señalan los lugares donde los usuarios han fijado su atención

⁶ <https://media.nngroup.com/media/editor/2019/08/15/gazereplay-p22.mp4>

con mayor frecuencia, es decir, ha generado un mayor número de fijaciones visuales en los lugares con elementos más atractivos. Las siguientes áreas a tener en cuenta son de color amarillo y verde, respectivamente. (Hassan & Herrero, 2007)

Un ejemplo de *heatmap* sería el siguiente estudio de una página web realizado por *Tobiipro.com* que implica cambiar la descripción de un producto para mejorar la comprensión y aumentar la tasa de respuesta de la “llamada a la acción”.

Para esta investigación se utiliza la duración de la fijación como medida de *eye-tracking*, ya que el estudio implica una manipulación que afecte el proceso cognitivo, el esfuerzo visual en este caso. Para ello, los mapas de calor son adecuados para centrarse en la duración de los diseños actuales y en los propuestos donde se muestra un calor reducido en el modelo del rediseño.

En la figura 6.3 de heatmaps se puede ver el comportamiento visual en una página web con la descripción del producto actual y la propuesta. Se utilizó la base de duraciones de fijación absolutas y ambos mapas de calor se escalan a un máximo de 2,2 segundos correspondientes al color rojo intenso. Las áreas amarillas sobre la copia propuesta sugieren una carga cognitiva reducida, una mayor comprensión y una actividad más profunda en la copia.



Figura 6.3: Representación de un estudio con heatmaps. Izquierda: descripción del producto actual. Derecha: descripción propuesta. (Tobiipro.com)

También se da el caso de una mayor escala de inteligibilidad y una menor calificación de confusión. Estos hallazgos permiten afirmar que la copia propuesta logra el objetivo de

aumentar la comprensibilidad y la inteligibilidad con el efecto asociado de aumentar el clic para registrarse en el servicio de la página web.

- Mapas de zonas sombreadas o zonas ciegas: Estos recursos visuales permiten ver en detalle las zonas con mayor concentración de fijaciones visuales, es decir, destacan lo que el usuario ve en lugar de lo que no ve. Además, dejan a observación un potencial de visión periférica en las zonas sombreadas siendo más comprensible su análisis (ver figura 6.4). (Hassan & Herrero, 2007)

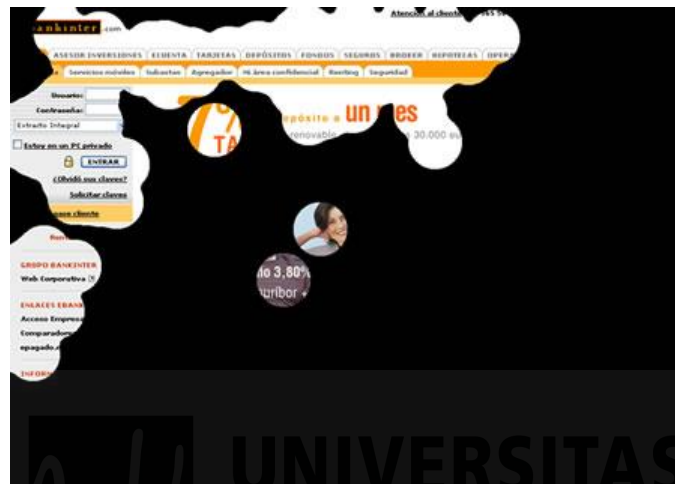


Figura 6.4: Representación de un mapa de zonas ciegas. (Hassan & Herrero, 2007)

- Cluster: Revelan las áreas con mayor concentración de puntos de fijación durante una sesión, distribuidas en porcentajes entre los participantes que mostraron interés en ellas. En la figura 6.5 se puede ver un ejemplo de este tipo de técnica.



Figura 6.5: Representación de un informe visual Cluster (Meallha. et al., 2012)

- Bee Swarm: En estos informes se producen en modo vídeo y muestra simultáneamente todo el conjunto de fijaciones visuales de los participantes, en forma de puntos a lo largo del muestreo del estímulo visual, como se muestra en la figura 6.6.

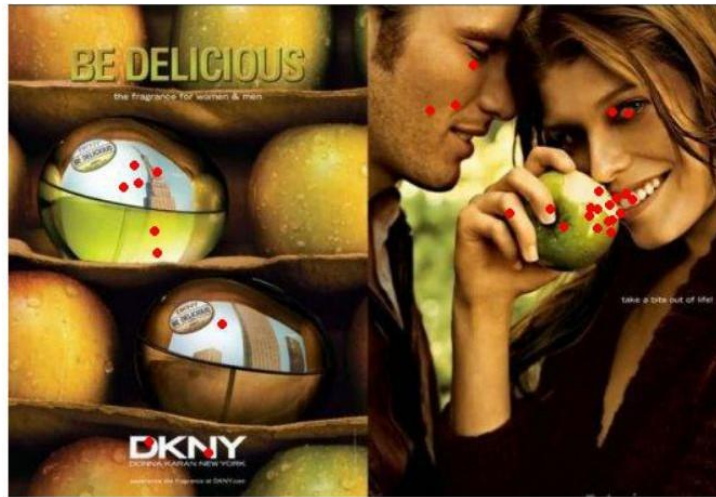


Figura 6.6: Representación de un informe visual Bee Swarm. (Meallha. et al., 2012)

- Áreas de Interés (AOI): Esta representación de datos se utiliza cuando los investigadores están interesados en analizar movimientos oculares en determinadas regiones de una página web o una pantalla, ya sean anuncios, descripciones, imágenes o áreas de principal contenido. Las áreas de interés permiten generar datos estadísticos sobre el comportamiento de los participantes en cualquier área de estímulo, relacionando la fijación visual con un conjunto de métricas de *eye-tracking* basadas en las variables tiempo y volumen, como el número de fijaciones, la duración de la fijación o incluso la dilatación de la pupila. (Hassan & Herrero, 2007)

En la figura 6.7 podemos observar las áreas de interés definidas en una página web para evaluar su interfaz de usuario. En estas áreas se identifican un grupo o unidad de elementos perceptibles para analizar y obtener información más fácil de interpretar, como una serie consecutiva de miradas fijas sobre una misma área o la secuencia de cada una de las áreas exploradas visualmente.



Figura 6.7: Representación de una página web con áreas de interés (AOI). (Pan et al.; 2004)

- Interpretación y Análisis de los Datos

Dentro del análisis de datos en un estudio de *eye-tracking* se distinguen:

- Análisis cualitativo.

Los profesionales de la industria y los investigadores de la experiencia del usuario desarrollan enfoques cualitativos en el uso del *eye-tracking* para las evaluaciones diarias de productos de plataforma web. (Granka & Rodden, 2006). En este tipo de industrias, es útil simplemente ver el patrón y la ruta que toma un usuario al interactuar con un nuevo producto o diseño. Para los estudios de usabilidad, Granka y Rodden discutieron los beneficios de usar el *eye-tracker*, no necesariamente para el análisis en profundidad de los datos, sino por el inmenso valor de permitir a los equipos de productos ver la proyección en tiempo real de la mirada del usuario durante la realización de tareas en un estudio de usabilidad.

El análisis cualitativo en el *eye-tracking* contrasta con el diseño experimental estrictamente controlado, en el que se debe tener mucho cuidado de llevar a cabo análisis estadísticos apropiados. Debido a que los datos de *eye-tracking* son tan complejos y de varios niveles, para tener plenamente en cuenta todos los efectos aleatorios y fijos en la mayoría de los experimentos de *eye-tracking* (por ejemplo, evaluar cómo el tipo de tarea y la duración de la fijación por impacto de género y la

dilatación de la pupila), y para generar estimaciones apropiadas de error basadas en la estructura de los datos anidados, los modelos lineales mixtos de tres y cuatro niveles son a menudo la solución ideal para analizar los datos con precisión, en particular si al investigador le interesan las diferencias entre las condiciones, los tipos de tarea y otras métricas relacionadas con ellos (*McCulloch & Searle, 2001*).

- Análisis cuantitativo.

Para el análisis cuantitativo de *eye-tracking*, *Goldberg y Kotval* resumen los métodos para analizar los datos de sus estudios de usabilidad realizados por ordenador, observando específicamente el uso de menús y barras de herramientas. Muchos de sus análisis sugeridos, como la evaluación de la longitud de una secuencia de fijaciones o *scanpath*, la determinación de la densidad de fijación en una región y la comparación de las duraciones de fijación, son ahora métricas que se utilizan regularmente en una gran cantidad de trabajos recientes de *eye-tracking* en plataforma web. Estas métricas numéricas (números, duraciones y longitudes de fijaciones y sacadas) se analizan utilizando métodos estadísticos estándar.

Otro tipo de análisis de datos que *Goldberg y Kotval* discuten es la agrupación de la fijación. La agrupación de fijación es particularmente importante para identificar la división de la atención entre los diferentes segmentos de una página web (*Goldberg & Kotval, 1999*). Este análisis puede realizarse visualmente con un mapa de fijación (*Wooding, 2002*), pero también analíticamente utilizando algoritmos de agrupación espacial (*Santella & DeCarlo, 2004*).

Para comenzar la fase de análisis de datos hay que distinguir entre fijaciones y movimientos sacádicos. Se utilizan varios *eye-trackers*, por parte del investigador, que vienen con un software de análisis que permite la extracción rápida de fijaciones y sacadas del conjunto de datos (*Lankford, 2000; Salvucci, 2000*). El software utilizado analiza la posición ocular, es decir, la dispersión computacional de una secuencia de datos de puntos de posición ocular conocidos como “análisis de proximidad”, o también examina la velocidad del ojo que varía en posición con el tiempo. Aunque el investigador sepa, con esta información, cuándo se movieron los ojos o en qué parte del campo visual ocurren

las fijaciones, son datos limitados para evaluar las interfaces de usuario (*Granka & Feusner, 2007*).

Se debe conocer el “por qué” ocurre dicho movimiento ocular y para ello se establece un vínculo entre las fijaciones y la actividad cognitiva.

El objetivo de los estudios de *eye-tracking* parten de la hipótesis 'ojo-mente', como ya se ha mencionado anteriormente, si el usuario está viendo algo es porque está pensando en ello. Aunque esta relación no es segura porque no siempre atendemos a lo que estamos mirando, tampoco es inmediata. Existe una conexión lo suficientemente consistente como para sacar conclusiones objetivas sobre los procesos cognitivos que originan o desencadenan las fijaciones.

En definitiva, interpretar una gran cantidad de datos obtenidos en una prueba requiere que el evaluador tenga un amplio conocimiento de las teorías cognitivas y de las métricas necesarias para llevar a cabo este análisis (*Jacob, Karn; 2003*).

4.3. Ventajas e inconvenientes de su aplicación. Limitaciones según el tipo de persona. La importancia de seleccionar adecuadamente las personas que formarán parte de un análisis de eye-tracking.

Los investigadores de un estudio de *eye-tracking* deben saber las ventajas y los inconvenientes, así como las limitaciones de la técnica según el tipo de persona, de manera que obtengan información útil y válida.

4.3.1 Inconvenientes y limitaciones de la técnica del Eye-tracking

- Problemas técnicos dentro de la investigación.

Son muchas las dificultades a tener en cuenta durante un estudio de *eye-tracking*, pero en el momento de la investigación hay una serie de especificaciones que se deben considerar para no cometer errores en la recopilación de datos.

- Optimizar adecuadamente el equipo para detectar fijaciones. (*Karn, Goldberg, McConkie, Rojna, Salvucci, Senders, Vertegaal, & Wooding, 2000*)
- Controlar el tiempo mínimo de las fijaciones. Es importante para las interpretaciones del procesamiento cognitivo ya que pueden variar drásticamente según el tiempo establecido para detectar una fijación en un estudio de *eye-tracking*.

- Establecer los límites de precisión y resolución óptimos. Los investigadores deben establecer adecuadamente dichos límites ya que las tasas de muestreo requieren diferentes especificaciones. Como, por ejemplo, una tasa de muestro para un estudio de usabilidad sería suficiente con 60hz (hercios), mientras que para una investigación de lectura sería necesaria una tasa de 500hz o más (*Rayner & Pollatsek, 1989*).
- Definir áreas de interés suficientemente grandes para captar movimientos oculares relevantes (*Byrne et al., 1999*).
- Participantes que utilizan gafas de vista. Para rastrear a los participantes que están usando gafas para la vista resulta difícil ya que los *eye-trackers* son instrumentos muy sensibles y lentes bifocales, de contacto duros o trifocales hacen que interrumpen la trayectoria normal de un reflejo.
- Personas con pupilas muy grandes u “ojo vago”. Las características de este tipo de personas hacen que sea difícil la identificación de la pupila porque su párpado la oscurece en gran medida. Para solucionar este problema, se necesita, una vez que la persona ha sido calibrada con éxito, repetir el proceso de calibración en intervalos regulares durante la sesión de prueba para mantener una medición precisa del punto de observación.
- Utilizar un diseño dentro de los participantes para hacer comparaciones de rendimiento válidas. Esto es debido a que existen grandes diferencias en los movimientos oculares entre los participantes de tareas o actividades idénticas (*Goldberg & Wichansky, 2003*).
- Tareas definidas por parte de los participantes que deben llevar a cabo (*Just & Carpenter, 1976*). Con tal fin que sus movimientos oculares puedan ser atribuidos adecuadamente al procesamiento cognitivo real.
- Distracciones visuales. Puede haber muchos objetos coloridos o en movimiento alrededor de la pantalla o en el entorno de la prueba que deben ser eliminadas, ya que inevitablemente contaminarán los datos del movimiento ocular (*Goldberg & Wichansky, 2003*).
- Filtrar y analizar información de forma automática. Durante una investigación se generan grandes cantidades de datos que deben ser filtradas y analizadas para minimizar posibles errores a través del procesamiento manual de información, además de ahorrar tiempo durante su estudio.

- Movimientos oculares involuntarios. Cuando se produce un movimiento ocular involuntario llega a ser difícil de interpretar y puede activar alguna parte de la interfaz de usuario sin querer. Para solucionar este problema, combinan los movimientos oculares con otros dispositivos de entrada para interpretarlos mejor, como los comandos de voz, que añaden contexto adicional a las intenciones de visualización de los usuarios (*Kaur et al., 2003*).

- Costes del *eye-tracking*

Los sistemas de *eye-tracking* a lo largo de la historia han tenido un elevado coste y siguen teniéndolo. Por ello, esta tecnología tiene un uso limitado debido a este inconveniente.

Un estudio con la técnica de *eye-tracking* puede llegar a oscilar entre 5.000 a 40.000 dólares. Además, a lo que se refiere en la investigación de aplicaciones de *eye-trackers* la comunidad científica⁷ invierte alrededor de 1 millón de dólares para HCI () con el fin de lograr una mejora diez veces más en la tecnología de *eye-tracking* y hacerla asequible para la persona promedio.

Los factores que contribuyen a un alto coste en la construcción de un sistema del *eye-tracking* comercial se clasifican en:

- a) Costes de material (hardware): Corresponden a los componentes de hardware de un *eye-tracker* que incluyen una o más cámaras de alta resolución, alta velocidad de fotogramas, cámara con capacidad para infrarrojos, lentes de cámara, circuitos de iluminación IR y LEDs, además de unas partes mecánicas donde se coloca un marco fijo de referencia. Hay que tener en cuenta que la resolución de la cámara debe ser alta para poder obtener píxeles en la región del ojo, ya que se basa en el seguimiento del reflejo corneal. Los sistemas de *eye-tracking* comerciales actuales se asientan en el uso de cámaras que tienen una resolución de 1-2 megapíxeles con una frecuencia de imagen de 50-60Hz, de las cuales se estima un coste de entre 1.000 y 2.000 dólares.
- b) Costes de investigación y desarrollo (hardware y software): Estos costes se centran en el funcionamiento correcto entre el hardware y el software. Es importante obtener un software para un *eye-tracking* fiable, como rutinas de

⁷ En Eye Tracking Research and Applications Symposium celebrado en San Diego en marzo de 2006, la comunidad respaldó el IPRIZE.

calibración, APIs y software para el análisis de patrones de la mirada. La mayoría de estos sistemas se basan en bibliotecas o bancos de procesamiento de imágenes desarrolladas a medida que proporcionan SDKs y APIs patentados para el desarrollo de aplicaciones utilizando los sistemas de *eye-tracking*.

- c) Costes de negocio (fabricación, marketing, ventas y soporte). El *eye-tracking* es utilizado por muchos expertos haciendo de éste un mercado limitado. Esto hace que proveedores de los materiales, tanto software como hardware, se vean obligados a cobrar altos precios para obtener mejores rendimientos en sus inversiones. Además, los procesos de ventas son de alto nivel porque los vendedores deben viajar y hacer demostraciones para cerrar sus ventas, lo que influye también en su precio final.

También hay que añadir al coste la necesidad de crear un servicio de atención al cliente práctico por los supuestos problemas técnicos que puede acarrear el sistema.

Estos dos últimos factores son los dominantes del coste principal de los sistemas comerciales del *eye-tracking*. Pero combinándolos todos, demuestra que poder utilizar un sistema de *eye-tracking* solo es accesible para muy pocos (Kumar, 2006).

4.3.2 Ventajas de la técnica del Eye-tracking

- Beneficios de la usabilidad (Garman, 2008).

- Recopilación de datos más cuantitativos y más objetivos sobre el comportamiento de los usuarios. Los comentarios subjetivos de los usuarios pueden ser aceptados o cuestionados mediante el uso de datos del *eye-tracking*.
- Rastrear la mirada del usuario mientras mira una pantalla y el tiempo estimado en hacerlo con la información recopilada.
- Útil para evaluar el diseño de la página, la navegación y la marca.

- *Eye-tracking* como dispositivo de entrada.

Los movimientos oculares pueden ser medidos y utilizados para permitir que un individuo interactúe realmente con una interfaz, lo que supone una ventaja para muchos usuarios en el manejo de ciertas tecnologías o entornos.

- Aplicación para usuarios discapacitados. Un *eye-tracker* puede ser usado por un usuario simplemente posicionando el cursor mirando hacia donde quiera que vaya o seleccionar un icono mirando fijamente durante un tiempo o parpadeando. Esta aplicación es muy útil para usuarios discapacitados, como la ELA (Esclerosis Lateral Amiotrófica) y la parálisis cerebral, ya que no pueden usar sus manos para controlar un ratón o un teclado (ver figura 6.8). (Jacob & Karn, 2003)



Figura 6.8: Discapacitado con lesión de la médula espinal utilizando el nuevo I-Series creado por la empresa Tobii ⁸. (Tobiidynavox.com)

- Controlar entornos de realidad virtual. Por medio de los movimientos oculares es posible realizar esta técnica gracias al *eye-tracking*. Los objetos lejanos que contienen los espacios tridimensionales y deben ser manipulados por usuarios, resulta mucho más sencillo por medio de este método, ya que mover los ojos para abarcar largas distancias requiere poco esfuerzo en comparación con otros métodos de control (Jacob y Karn, 2003).
- Ayudar a niños autistas. Varios investigadores se han dedicado a usar la técnica del *eye-tracking* para que niños autistas interactúen con la mirada para aprender habilidades sociales, siendo recompensados por mantener el contacto visual mientras se comunican (Ramloll, Trepagnier, Sebrechts y Finkelmeyer, 2004).
- Modificar la visualización de pantallas dependiendo del punto de mira:

⁸ Tobii Dynavox – Nuevo I-Series para discapacitados. <https://www.tobiidynavox.com/en-US/products/i-series/?MarketPopupClicked=true>

- En simuladores de vuelo (*Levoy & Whitaker, 1990; Tong & Fisher, 1984*). Utilizan recursos de procesamiento de imágenes de canal para mostrar imágenes de mayor calidad o resolución sólo dentro del rango de mayor agudeza visual, o lo que es lo mismo la fovea, y reducir el procesamiento de imágenes en el rango visual donde el detalle no puede ser resuelto, es decir la parafovea.
- Sistemas que aprovechan la supresión visual durante los movimientos sacádicos para actualizar las pantallas gráficas sin que el usuario lo note (por ejemplo, *Triesch, Sullivan, Hayhoe y Ballard, 2002*).
- Rastrear el punto de mira durante las videoconferencias y deformar la imagen de los ojos para que mantengan contacto visual con otros participantes en la reunión (*Jerald & Daily, 2002*).

4.3.3 Limitaciones según el tipo de persona

- La importancia de seleccionar a las personas para un estudio de *eye-tracking*.

- Personas disléxicas: Un estudio realizado por *Al-Wabil, Zaphiris y Wilson* donde se compara el comportamiento del movimiento ocular entre personas disléxicas y personas que no lo son, muestra que los participantes con dislexia presentan problemas de déficits cognitivos asociados cuando realizan tareas de navegación web (*Al-Wabil, Zaphiris, & Wilson, 2008*).
- Fluidez con el idioma: Se ha mostrado en un estudio realizado por *Ehmke y Wilson* que los participantes menos fluidos en el inglés mostraron muchas más fijaciones en la página web, lo que podría estar relacionado con buscar más a su alrededor para encontrar términos específicos. Aunque las preguntas trataron de abordarse anteriormente, los patrones del *eye-tracking* ya eran diferentes. Por consiguiente, a la hora de observar la tabla de correlaciones es importante reconocer que los problemas de usabilidad que se extraen sólo de los patrones de estos participantes pueden haberse visto afectados por otros factores (*Ehmke & Wilson, 2007*).
- Diferentes comportamientos de navegación: Se obtienen resultados de los patrones específicos de *eye-tracking* distintos de usuarios que siguen esquemas desiguales a la hora de navegar. Los hay que encuentra el primer enlace lo

seleccionan y ven si les proporciona la información que estaban buscando, mientras que otros se dedican a observar cada página con más detalle para encontrar el enlace que mejor se adapte a lo que están buscando. Como en el estudio de *Nielsen* donde separa a los participantes en usuarios "dominantes en la búsqueda" y usuarios "dominantes en el enlace" (*Nielsen, 1997*).

- Personas experimentadas en Internet: A la hora de realizar un estudio se ha de tener en cuenta si los participantes tienen experiencia o no con Internet. Se ha demostrado que algunos usuarios muestran una clara brecha en la forma en que utilizan los sitios web, incluidos los conocidos (*Ehmke & Wilson, 2007*).

- Proceso de calibración.

A pesar de lo fácil que resulta ser el proceso de calibración, hay un pequeño porcentaje de participantes cuyos ojos no pueden ser calibrados, como usuarios con deficiencias oculares o algún tipo de acondicionamiento de párpados o pestañas. Estos usuarios no acaban participando en el estudio. Sin embargo, usar gafas o lentes de contacto está permitido generalmente en el proceso de calibración, aunque existen excepciones (*Pernice & Nielsen, 2009*) como:

- Bifocales y trifocales: A nivel general es difícil calibrar el *eye-tracker* usándolos. Son lentes progresivos con múltiples graduaciones que se interponen entre el iluminador del *eye-tracker*, el dispositivo de imagen y la pupila del usuario.
- Gafas con monturas gruesas: Este estilo de lentes dificultan la calibración por su tamaño y no se permiten en un estudio de *eye-tracking*.
- Pupila dilatada permanentemente: Muchos usuarios muestran una pupila permanentemente dilatada durante la calibración y esto hace imposible su rastreo en el proceso, detectándose solo un ojo.
- Glaucoma y cataratas: Son inconvenientes que no hacen posible su calibración o dan lecturas potencialmente erróneas.
- Usuarios exageradamente altos o pequeños: Si el usuario es muy alto o muy pequeño y se inclina, se levanta o mueve el monitor o la silla, entonces no funcionará la calibración.
- Usuarios con pestañas muy largas y gruesas o usan mucho rímel: Los participantes con estas características pueden perjudicar el *eye-tracking*. Y si usan pestañas postizas es posible que no se puedan captar sus ojos.

4.4. Tendencias en el uso del Eye tracking.

4.4.1 Aplicaciones para el Eye-Tracking

La técnica del *eye-tracking* tiene muchas aplicaciones con diferentes funciones. La empresa tecnológica Tobii, (*Tobiiipro.com*), nos ofrece una gran recopilación de todos sus usos, como:

- **Técnica de Investigación de UX (experiencia de usuario) o Interacción Persona-Ordenador (HCI).** Este tipo de investigaciones tratan de cómo las personas experimentan los productos, cómo usan ciertas interfaces, qué experiencias reciben con determinados servicios o incluso cómo se sienten en el entorno en el que se encuentran (ver figura 7).



Figura 7: Experiencia de usuario. (Tobiiipro.com)

- Usabilidad del sitio web

Es importante identificar los problemas de diseño y de funcionalidad de las páginas webs utilizando el *eye-tracking* como método de investigación establecido, para aumentar las conversiones y el rendimiento de las mismas.

Realizando pruebas de usabilidad con un *eye-tracker*, se ve en tiempo real lo que el usuario está observando y se identifican los procesos y mecanismos que hacen que el participante se detenga en ciertas tareas y se recopilan ideas para solucionar el problema.

- Usabilidad en dispositivo móvil

El gran uso de dispositivos móviles y *tablets* ha dado lugar a la investigación, con el método de *eye-tracking*, de la experiencia que tienen los usuarios con sitios

webs, comercios electrónicos y aplicaciones móviles, además de observar cómo interactúan con la publicidad y juegos en estos dispositivos. Todo ello con el fin de obtener información sobre el diseño y la función de los diferentes productos. Podemos descubrir cómo interactúan los usuarios con la interfaz gráfica (ver figura 7.1), botones de hardware o conmutadores, lo que observa o no el usuario, analizar el motivo por el que no logran ciertas tareas, medir cómo se consume el contenido en diferentes pantallas, ya sea en ordenadores portátiles, tabletas o móviles. Conocer cómo las personas usan sus smartphones o tabletas como una segunda pantalla cuando están en movimiento o mientras miran la televisión.



Figura 7.1: Usabilidad en dispositivo tablet. (Tobiipro.com)

- Facilitar el uso del software y las aplicaciones

Es necesario probar el software y las aplicaciones durante su desarrollo para garantizar su eficiencia al usuario, ya que la técnica muestra las reacciones inmediatas de los participantes y se averigua cómo se distribuye su atención por la interfaz. Con ayuda de esta técnica se puede descubrir qué mira el usuario al principio y qué ignora, si les resulta fácil realizar sus tareas y qué observan justo antes de que ocurra un problema de usabilidad.

- Usabilidad del juego

El *eye-tracking* actúa como una herramienta importante en pruebas de usabilidad de juegos, ya que proporciona datos objetivos y directos sobre el comportamiento del jugador y garantiza un producto final eficiente. Se descubre lo que observan

los jugadores al principio y lo que ignoran, la facilidad para encontrar el camino en el juego, cómo examinan los jugadores el inventario y buscan pistas en el juego y qué ocurre cuando hay un problema de usabilidad, a dónde mira el jugador y si acaba frustrado o se confunde de objetivo.

La interacción con la mirada también se utiliza como forma integrada en el juego, como se muestra en la figura 7.2. La empresa tecnológica Tobii ha desarrollado una cámara que se acopla al monitor del ordenador o al portátil y permite controlar el puntero con los ojos en lugar de usar el ratón, además de disfrutar de ciertas características especiales en algunos videojuegos, como mover la cámara del personaje en primera persona. (*Gaming.tobii.com*)



Figura 7.2: Usuario jugando con tecnología Tobii. (*Gaming.tobii.com*)

- Investigación de la interacción de la mirada como dispositivo de entrada

Se utiliza como dispositivo de entrada en “interacción persona-ordenador” el punto de observación en tiempo real para mejorar la interacción y explorar nuevas interfaces de usuarios. También controlar las interfaces de usuario con un teclado, ratón, sensores u otros dispositivos ya que los investigadores buscan desarrollar interfaces más eficientes y modernas para ayudar a usuarios con y sin discapacidad.

Se está abriendo camino en las principales aplicaciones móviles, como “*EyeTwitter*”, una aplicación de *eye-tracking* presentada por la Fundación Mobile World Capital Barcelona, Twitter e Irisbond dirigida a personas con discapacidad

y parálisis cerebral que les permite usar Twitter tan solo con los ojos, por medio de su teléfono móvil. (*MobileWorldCapital.com*)

- **Técnica de Investigación de Marketing y Consumo.** Para medir la atención de los consumidores de manera objetiva y analizar las respuestas de los mensajes de marketing se utiliza el *eye-tracking* como método único. Con esta información se puede diseñar eficientemente la comunicación para captar la atención de los compradores. Descubrir qué impulsa el proceso de toma de decisiones, qué elementos de marketing captan la atención del consumidor y en qué partes de la comunicación se centran o ignoran los consumidores (ver figura 7.3).



Figura 7.3: Usaria con *eye-tracker* en un proceso de compra. (*Tobiipro.com*)

- Investigación del comprador

La técnica del *eye-tracking* ofrece información sobre el comportamiento del comprador, ya que es una pieza fundamental para determinar cómo posicionar con mayor éxito los productos, la señalización, el marketing, las pantallas y prácticamente cualquier otro elemento de la tienda. Podemos ver como los compradores navegan por los pasillos de las tiendas durante sus compras, lo que atrae su atención, que elementos ignoran o tienen en cuenta o como interactúan los compradores con los productos de las estanterías.

- Diseño de envases

Es importante que los productos sean visibles para los clientes, ya que si no los ven estos no los comprarán. Medir la visibilidad del paquete, la comunicación, la persuasión y el rendimiento general son necesarios y con la técnica del *eye-tracking* es tarea sencilla. Se puede descubrir qué paquete prototipo captura y atrae la atención de manera más efectiva, analizar si los atributos clave de la marca se comunican efectivamente y cómo funcionan los productos frente a los de la competencia.

- Publicidad

Los anunciantes se apoyan en la técnica para optimizar el diseño y la localización de los anuncios, ya que se mide objetivamente la atención de los consumidores, las respuestas espontáneas a los mensajes de marketing sobre todas las áreas de publicidad: en línea, impresa, televisiva y multimedia fuera del hogar.

- **Investigación en Psicología y Neurociencia.** Se utiliza en diversos campos como en psicología cognitiva, neurociencia, psicología social, en la percepción visual y en la investigación del comportamiento natural en primates y caninos (ver figuras 7.4.a y b). Con el fin de comprender cómo y por qué se realizan los movimientos oculares y cómo reaccionamos en función de la información que procesamos.



Figura 7.4.a): Investigación en neurociencia. **b):** Investigación del comportamiento natural en primates. (Tobiipro.com)

- **Investigación Clínica.** El uso del *eye-tracking* en la oftalmología y en otros campos, ha aumentado porque ha ayudado a identificar enfermedades oculares gracias al análisis del movimiento ocular, como el estrabismo o ambliopía (ojo vago) o problemas de visión. Además, reconoce trastornos mentales y neuronales

como el trastorno del espectro autista, el TDAH y la enfermedad de Parkinson (ver figura 7.5).



Figura 7.5: Investigación clínica. (Tobiiipro.com)

- **Investigación en Educación.** Con ayuda de esta técnica se realizan investigaciones educativas para examinar procesos de educación y aprendizaje. Además, para favorecer y enseñar a los estudiantes en su futuro laboral el uso del *eye-tracking* en diferentes campos, en las aulas y los laboratorios están siendo equipados con esta tecnología (ver figura 7.6). Se pueden analizar diferencias en la recolección de información, en las habilidades para resolver problemas, en las estrategias de aprendizaje, conocer los patrones de interacción social de profesor-alumno, descubrir la interacción social entre estudiantes para apoyar el proceso de aprendizaje y averiguar cómo funcionan los diferentes materiales educativos.



Figura 7.6: Investigación en educación. (Tobiiipro.com)

- **Investigación Infantil.** La técnica del *eye-tracking* es utilizada para analizar y recopilar datos sobre el desarrollo perceptivo, emocional, social y cognitivo en niños recién nacidos hasta una edad temprana (ver figura 7.7). Es una buena herramienta para descubrir e investigar sobre la psicología del desarrollo. Recopilar información detallada de lo que perciben y encuentran atractivo sobre el entorno que les rodea.

También favorece a encontrar indicadores del desorden del espectro autista para ayudar a su diagnóstico. Estudian las diferencias entre las interacciones sociales y los precursores visuales de la atención en situaciones sociales entre niños.



Figura 7.7: Investigación infantil. (Tobiipro.com)

- **Rendimiento Profesional.** Es una buena técnica para mejorar la capacitación, la productividad y la seguridad en el lugar de trabajo. Conocer el entorno laboral en el que se rodean los empleados de la empresa, donde se puede ver a través de sus ojos y percibir una mejor comprensión para mejorar su rendimiento (ver figura 7.8).



Figura 7.8: Investigación en rendimiento profesional. (Tobiipro.com)

- **Rendimiento Deportivo.** Para mejorar las técnicas en el deporte, gracias a la técnica del *eye-tracking*, se investiga el rendimiento individual de un atleta por medio de la identificación de vínculos entre su enfoque de atención, estimaciones de trayectoria, estrategias de búsqueda visual, coordinación mano-ojo y las acciones del individuo durante un juego (ver figura 7.9).



Figura 7.9: Investigación en rendimiento deportivo. (Tobiipro.com)

- **Realidad Virtual.** El uso del *eye-tracking* en combinación con la realidad virtual es una fuente de análisis y de información donde se revela lo que hay detrás de las reacciones y comportamientos subconscientes de un individuo cuando interactúa con cualquier objeto, al mismo tiempo que hace uso con control total y flexible del mundo virtual (ver figura 8).

La realidad virtual permite crear un entorno simulado diferente en cualquier momento, donde los estímulos visuales y los escenarios pueden transformarse o repetirse rápidamente, mientras que el *eye-tracking* proporciona información sobre dónde se encuentra la atención visual del participante en cada momento y qué elementos visuales desencadenan ciertas respuestas y comportamientos.

También mejora las experiencias de realidad virtual, al permitir interacciones más naturales a través de la mirada, siendo más inmersivas y fáciles de usar en el entorno virtual.



Figura 8: Realidad Virtual con eye-tracking. (Tobiipro.com)

4.4.2 Tendencias Futuras en el Eye-Tracking

Los desarrollos futuros en *eye-tracking* se centrarán en estandarizar las métricas de los movimientos de los ojos, también en cómo se les hace alusión y cómo se interpretará en el contexto del diseño de la interfaz (cf. Cowen et al., 2002). Por ejemplo, la inexistencia de un estándar para la duración mínima de una fijación (Inhoff & Radach, 1998), hace que las pequeñas diferencias en los umbrales de duración pueden dificultar la comparación de los estudios de forma equitativa (Goldberg & Wichansky, 2003). También se mejorará la tecnología de *eye-tracking* para aumentar la validez y fiabilidad de los datos registrados. Siendo necesario aumentar la robustez y la precisión de la captura de datos, de modo que la medición en el punto de referencia siga siendo precisa sin necesidad de recalibraciones frecuentes. El software de recolección, filtrado y análisis de datos será racionalizado para que puedan trabajar juntos sin la intervención del usuario. La intrusión del equipo disminuirá para que los usuarios se sientan más cómodos, posiblemente mediante el desarrollo de *eye-trackers* más pequeños y ligeros situados en la cabeza. Por último, los sistemas de *eye-tracking* serán más baratos para que se conviertan en una herramienta de usabilidad viable para las agencias comerciales más pequeñas y los laboratorios de investigación (Jacob & Karn, 2003). Una vez que el *eye-tracking* logre estas mejoras en tecnología, metodología y costo, tomará su lugar como parte de un conjunto de herramientas estándar de interacción persona-ordenador.

5. Casos prácticos de uso.

Se describe a continuación cuatro situaciones de uso de la técnica donde se ejemplifica lo visto anteriormente. Destacando para cada uno de ellos su procedimiento, ventajas, problemas y conclusiones. Estos casos prácticos son proporcionados por la compañía tecnológica Tobii, (*Tobiiipro.com*).

5.1. Eye-tracking y el Merchandising.

La compañía húngara *ET Research*, realizó un estudio sobre la repercusión del comportamiento en la tienda y la atención visual de los compradores prestada a las ubicaciones, expositores y mensajes utilizando el *eye-tracking* como técnica de análisis. Los resultados del estudio dieron a conocer que las rutas habituales de los compradores impactan en la orientación de la mirada de manera significativa. (*Tobiiipro.com*)

La empresa *Molson Coors Central Europe* (MCCE) y su filial cervecera en Hungría, *Borsodi Brewery*, encargaron a *ET Research* la realización del estudio exploratorio sobre el comportamiento del comprador en la tienda y la atención visual, usando un *eye-tracker* móvil en un entorno real. Con el fin de comprender mejor el comportamiento de sus clientes en la tienda y así optimizar la localización y exposición de su popular marca de cerveza *Borsodi*.

El objetivo principal del estudio fue evaluar la eficiencia de las ubicaciones secundarias y de los expositores de *Borsodi* para atraer la atención de los compradores en un supermercado de la localidad. La colocación secundaria más grande se situó en la entrada del pasillo de la sección de cervezas, donde se colocaron expositores LAMá que mostraban mensajes de comunicación de la campaña publicitaria (ver figura 8.1).



Figura 8.1: Expositores LAMá con mensajes de la campaña publicitaria Borsodi. (*Tobiiipro.com*)

- Procedimiento

El *eye-tracker* que utilizó la empresa *ET Research* fueron las Gafas Tobii Pro Glasses 1 para medir la eficiencia de la ubicación, los expositores y los mensajes de comunicación.

El estudio realizado estaba dividido en tres partes. La del *eye-tracking* y las otras partes de las sesiones previas y posteriores a la entrevista. Se realizó durante cuatro días el trabajo de campo en un hipermercado de Budapest en Hungría. Fueron encuestados setenta personas de entre 26 y 59 años de edad, en el momento en el que entraban al hipermercado, y se reclutaron aquellas que aparecía la cerveza en sus listas de la compra.

No se les comunicó nada sobre el objetivo del estudio antes de la prueba a los encuestados y tampoco se encomendó ninguna tarea específica para no alterar sus recorridos por la tienda mientras realizaban sus compras y así poder evaluar la ubicación y los expositores de cerveza Borsodi de MCCE bajo estas características.

Antes de comenzar su recorrido, se realizó una breve pre-entrevista con cada encuestado para recoger información básica, como datos demográficos, hábitos de compra de cerveza, para filtrar a los compradores de los segmentos relevantes. Tras la calibración del *eye-tracker*, se instruyeron a los encuestados para que realizaran sus compras habituales mientras llevaban colocadas las gafas de *eye-tracking* (ver figura 8.2).

Después de que cada encuestado eligiera su cerveza y abandonara la sección de cervezas, se quitaron las gafas de *eye-tracking* y se les realizó una entrevista posterior con preguntas abiertas y cerradas con el fin de comprobar si recordaban lo que habían visto, expositores, mensajes de comunicación o cualquier factor en su recorrido.



Figura 8.2: Una compradora partícipe del estudio con las gafas de *eye-tracking* en la sección de cervezas. (Tobiipro.com)

La empresa *ET Research* utilizó su laboratorio de investigación portátil, *MobileT* (ver figura 8.3), para realizar las calibraciones de las gafas de *eye-tracking* y hacer pre-entrevistas sin interferir en el comportamiento de los compradores o en el funcionamiento del hipermercado.



Figura 8.3: Laboratorio de investigación portátil *MobileT*. (Tobiiipro.com)

En la siguiente imagen 8.4 con enlace se puede ver el video de las repeticiones de la mirada de algunos de los encuestados que se acercan por el pasillo secundario de la entrada de la sección de cervezas.

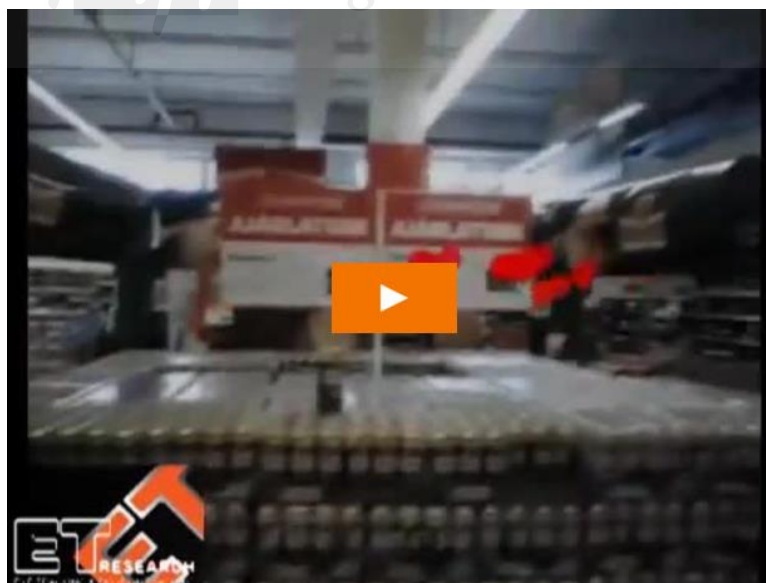


Figura 8.4: Video sobre las repeticiones de la mirada en el estudio sobre el comportamiento de los compradores en las tiendas⁹. (Tobiiipro.com)

⁹ <http://tobii.23video.com/gaze-replays-in-store-shopper>

- **Ventajas**

La facilidad en el uso y la rapidez en la calibración con cada encuestado por el favorable diseño de las gafas Tobii Pro 1, además de su comodidad en el uso para los compradores. Gracias a este factor en la investigación, se ha podido alcanzar el número de muestras necesario para el estudio.

- **Problemas**

Durante la realización del estudio no se encontraron problemas que alteraran la investigación de *eye-tracking*, pero si surgieron dudas a la hora de organizar la colocación y la elaboración de los mensajes de comunicación.

Cuestiones sobre cuál sería la mejor ubicación secundaria para los expositores de cerveza en el pasillo para así atraer mejor la atención de los compradores. Si se ha escogido un producto atractivo con un precio adecuado para el estudio. Si los mensajes de comunicación están bien elaborados o si se ha seleccionado adecuadamente los expositores para llevar dicho mensaje.

También surgió la duda de que fuera posible si la ubicación secundaria de cerveza podría alterar el proceso de compra habitual y automático del consumidor.

- **Conclusiones**

Como resultado final del análisis de los datos del *eye-tracking*, la empresa cervecera Borsodi Brewery, recopiló resultados útiles del estudio en diferentes campos. Su primer hallazgo, fueron las grabaciones de *eye-tracking* que mostraban que la dirección del camino de cada comprador determinaba en mayor parte la orientación de su mirada. Se observó que los compradores tomaban siempre la misma ruta habitual durante su trayecto porque no había nada que los motivara en modificar su ruta típica de compras. Por lo que se obtuvo como conclusión que la mirada del cliente está determinada por el lugar por el que caminan, siendo muy importante a tener en cuenta el flujo de los compradores y la dirección habitual del trayecto.

En segundo lugar, se observó en los resultados las partes de los expositores que fueron efectivos, donde merece la pena colocar los mensajes publicitarios.

Los compradores durante el estudio, podían aproximarse a los expositores desde tres direcciones diferentes. En esta parte, se identificaron patrones de mirada habituales para cada dirección. Las zonas de los expositores que no pudieron ser detectadas desde ninguna dirección quedaron totalmente desapercibidas.

Según comentó *Zsuzsanna Sükösd*, Directora de Asuntos Jurídicos y Corporativos de Borsodi Brewery;

“El estudio de eye-tracking ha proporcionado muchas ideas útiles para la comunicación en la tienda. Obtuvimos resultados que no pudimos obtener a través de otros métodos que habíamos utilizado anteriormente y que utilizaremos para planificar nuestros futuros materiales de comunicación de marketing.” (Tobiiipro.com)

5.2. Estudio de usabilidad Web con Eye-tracking

El siguiente estudio de usabilidad fue encargado por Holiday Autos, una empresa de alquiler de coches online. Su objetivo inicial era aumentar las ventas, siendo un sector muy competitivo, desarrollando una nueva interfaz para su servicio de reservas online. Tras realizar la investigación de usabilidad con la técnica de *eye-tracking* obtuvieron resultados positivos como reducir enormemente el tiempo habitual de pedido en dos tercios y aumentar la tasa de conversión de sus clientes en un 20%.

Mårten Angner Interface & Design fue la encargada de realizar el estudio con *eye-tracking* para la empresa Holiday Autos. Buscaban mejorar la calidad de su presencia online ya que es la página web líder en el mundo de comparación de coches de alquiler. Fueron varios los problemas que la empresa Holiday Autos tenía en su web, como dificultades en el proceso de reservas online, numerosas quejas por el largo proceso de pedidos, dando lugar a un estancamiento en sus ventas siendo un sector en crecimiento.

- Procedimiento

Primero, se realizó una prueba de usabilidad cualitativa inicial con la interfaz original de pedidos. Utilizaron el *eye-tracker* Tobii Pro T60 para recopilar información de las miradas de los usuarios. La prueba consistía en que cada participante se conectara a Internet y reservara un coche para unas vacaciones fuera del país. El resultado fue que hubo muchas discrepancias y algunos no completaron la tarea por estar confundidos y frustrados por el proceso de reserva.

En segundo lugar, se mejoró el diseño de la nueva interfaz de compra. Con una página de inicio modificada, los usuarios se guiaron directamente al alquiler junto con una promoción de Holiday Autos al lado. Se añadió una ventana de proceso de pedidos para que los usuarios pudieran ver en todo momento lo que habían elegido y sentirse seguros durante el proceso. Se introdujo una nueva ventana emergente de ampliaciones de alquiler después de seleccionar un coche. También se revisaron los textos, eliminando aquellos que confundían a los usuarios. Se redujo la cantidad de textos que se encontraban los usuarios en el proceso de pedidos, especialmente aquellos sobre las regulaciones locales que no eran relevantes.

En el paso final, se utilizó el *eye-tracker* para dar garantía de calidad en el proceso de validación, dando lugar a un análisis de datos con pequeños defectos. Con ayuda del *eye-tracking* se pudo resolver los errores para la puesta a punto de la nueva herramienta de pedidos online de Holiday Autos.

- **Ventajas**

Gracias al estudio con la técnica de *eye-tracking*, se pudo demostrar que era necesario realizar una interfaz y un proceso de reservas nuevo. Se obtuvieron grandes mejoras con estas nuevas aplicaciones en la web de Holiday Autos tras realizar una prueba cualitativa y varias pruebas de usabilidad durante su desarrollo. Se analizó la experiencia de usuario para mejorar el proceso de pedidos en la web, obteniendo resultados positivos en la facilidad de solicitar pedidos por los clientes y dando lugar a un aumento en las ventas de alquiler online.

- **Problemas**

Tras realizar la nueva interfaz de pedidos, se reveló por medio del *eye-tracking* un problema con el texto promocional, que estaba siendo ignorado completamente debido a su ubicación. Para solventar el problema, se trasladó el texto promocional a una ubicación distinta en la pantalla de inicio, dándole un enfoque más atractivo para el cliente.

Se dio con otro problema en los gráficos de la nueva herramienta de pedidos. En la web de Holiday Autos se utiliza un naranja degradado junto con blanco para su marca. Usaron estos dos colores en el recuadro donde se selecciona el coche para alquilar, dando lugar a errores detectados por el *eye-tracker*. En el texto del cuadro donde aparecen las “siguientes opciones” se cambió por el color blanco en lugar de naranja, con el fin de

destacar mejor esas áreas, como se muestra en la figura 8.5. Y el recuadro de “progreso del pedido” se le dio un color naranja para atraer la atención del usuario y para que no se desviara de su decisión de compra. Con estas nuevas opciones de color, los usuarios enfatizaban más en las zonas donde la compañía quería que lo hicieran.

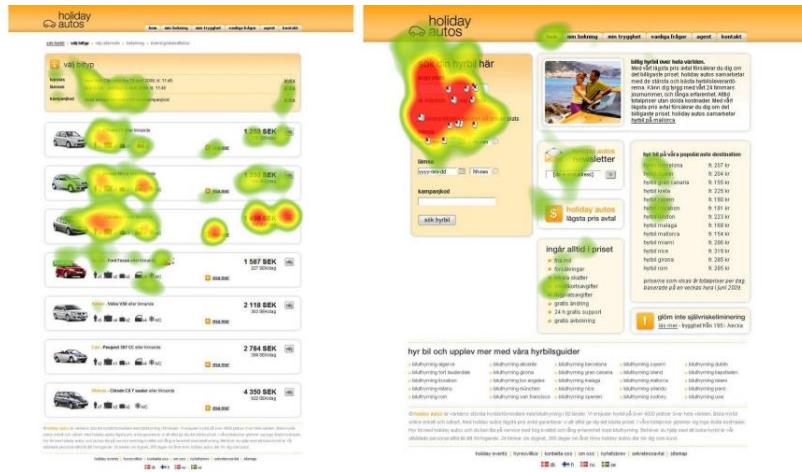


Figura 8.5: Mapas de calor tras solventar los problemas de colores de la web. (Tobiipro.com)

- Conclusiones

En e-commerce (o comercio electrónico) el usuario dirige su atención en la segunda y tercera opción, en lugar de la primera, independientemente del precio o la calidad. Conociendo esto, la empresa quería hacer que los clientes notaran la opción más cara y de buena calidad, sin que dejaran su elección al margen. Para que esto sucediera, se separó el coche que el usuario selecciona en un recuadro blanco separado con una línea naranja (ver figura 8.6), lo que hizo que se desviara la atención hacia las mejoras de “calidad-precio” del resto de coches. Dando lugar a un mayor número de ventas en Holiday Autos.



Figura 8.6: Muestra del mapa de calor en la página web de Holiday Autos. (Tobiipro.com)

Gracias a estos retoques en la web, se redujo drásticamente el tiempo para reservar un coche y los participantes no tuvieron dificultades para completar sus pedidos. Holiday Autos consiguió reducir el tiempo de los pedidos en dos tercios, lo que aumentó sus tasas de conversión en un 20%.

Según afirmó *Mårten Angner*, Diseñador de Interacción en *Mårten Angner Interface & Design*:

“El eye-tracking identifica los problemas de usabilidad como ninguna otra metodología de investigación puede hacerlo. Además, los datos de eye-tracking se convierten en una herramienta para visualizar las oportunidades de negocio y mejorar la experiencia del usuario.” (Tobii.com)

5.3. Visionado de publicidad digital en estaciones de metro con Eye-tracking.

Este estudio fue realizado por Tobii Pro Insight Research Services que recibió el encargo de la empresa global de medios de comunicación Clear Channel. Se instalaron anuncios comerciales e información digital en el metro de la ciudad de Estocolmo con el fin de evaluar el impacto en los usuarios de estos anuncios digitales.

La empresa encargada de realizar el estudio, Pro Insight, reclutó a usuarios en la entrada de la estación de metro y equipó a los participantes con gafas *eye-trackers* para medir el nivel de afectación de las señales digitales durante el recorrido por la estación.

En la siguiente imagen 8.7 con enlace, se puede ver el video del estudio realizado por Pro Insight donde participantes usan gafas Tobii durante el recorrido por el metro de Estocolmo.



Figura 8.7: Video sobre el estudio del visionado de anuncios digitales en el metro de Estocolmo¹⁰. (Tobii.com)

¹⁰ <http://tobii.23video.com/tobii-insight-study-digital>

- Procedimiento

El equipo de Pro Insight llevó a cabo el estudio en la estación de metro Hötorget en Estocolmo, Suecia. Se centraron en 40 viajeros que iban de camino a sus respectivos trenes. Con ayuda del *eye-tracking* pudieron medir cómo estos viajeros se vieron afectados por la señalización digital durante su recorrido.

Los participantes fueron reclutados en la entrada de la estación y se les realizó una rápida y sencilla calibración de las gafas *eye-trackers* antes de comenzar su trayecto. Como se observa en la figura 8.8, el punto rojo representa exactamente lo que el usuario está mirando. También realiza su recorrido como lo haría cualquier otro día, pero esta vez se recopila lo que está observando.



Figura 8.8: La mirada del usuario representada con un punto rojo. (Tobiiipro.com)

El *eye-tracking* permite medir lo que los participantes están mirando y si se dan cuenta de las señales digitales o no, si atraen su atención o pasan desapercibidas.

La información obtenida por este estudio muestra que el 95% de los usuarios miraron al menos una de las señales digitales, mientras que el 82,5% miró dos o más anuncios (ver figura 8.9).

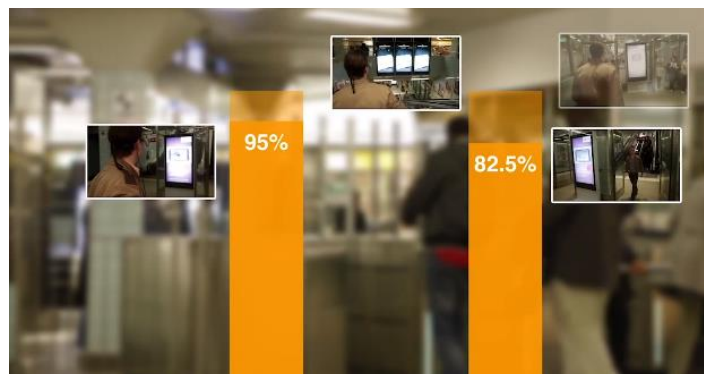


Figura 8.9: Resultados obtenidos del estudio de *eye-tracking*. (Tobiiipro.com)

- Ventajas

Se pudo conocer con éxito lo que observaban los participantes durante su trayecto por la estación de metro y saber sus opiniones sobre los anuncios digitales gracias al estudio de *eye-tracking*.

- Conclusiones

Los usuarios obtuvieron resultados positivos durante el estudio, reconociendo que las señales digitales atraen su atención y son fáciles de notar. La información recopilada del estudio muestra que el 62,5% de los participantes son favorables al hecho de incrementar los anuncios digitales.

Según opina *Kristina Norman*, Directora de Análisis de Clear Channel:

“La investigación de eye-tracking de Tobii nos ayudó a responder importantes preguntas comerciales sobre la eficacia de la señalización publicitaria digital.” (Tobiipro.com)

5.4. Eye-tracking y las mejoras en rendimientos de equipos de NASCAR.

El equipo profesional de carreras, Chip Ganassi Racing, realiza estudios intensivos con *eye-tracking* para examinar y mejorar sus habilidades en el terreno (ver figura 9).

Las competiciones de NASCAR son muy reñidas a la hora de pasar por meta ya que un margen de 0,001 segundos puede darte la victoria. Por ello, los equipos dedicados a este deporte deciden aumentar y mejorar su rendimiento con ayuda del *eye-tracking*.

Este método es muy importante para el desarrollo de mejoras en las técnicas, ofreciendo grandes beneficios en los entrenamientos y que los usuarios sepan conocer sus ojos y sus mentes de forma correcta. Su objetivo es encontrar un 1% extra en todos sus conductores, atletas y equipo de mecánicos para obtener la ventaja que necesitan.



Figura 9: Equipo profesional de carreras, Chip Ganassi Racing. (Tobiipro.com)

- Procedimiento

En este sector, los ojos ofrecen una visión imprescindible de los procesos cognitivos tanto de los miembros del equipo de boxes como de los conductores, permitiendo a los entrenadores observar cómo procesan de manera visual y mental los diferentes elementos de su rendimiento. Con la información obtenida por medio del *eye-tracker* es posible identificar técnicas valiosas para mejorar la velocidad o la precisión.

Recopilar estos datos también ayuda a mostrar y explicar los métodos a todos los miembros del equipo, mientras analizan las mejoras. El *eye-tracking* es la única técnica que puede medir con precisión la atención visual y dar evidencia de acciones subconscientes. Como la mayoría de los deportes de competición que se practican en entornos de alto estrés, la información recopilada por este método proporciona acceso a elementos del comportamiento de los jugadores que, de otra forma, no podrían ser observados por sus entrenadores.

En la siguiente imagen 9.1 con enlace, se puede ver el video sobre el uso del *eye-tracking* y las mejoras que proporciona al equipo de NASCAR.



Figura 9.1: Video sobre el *eye-tracking* y las mejoras en el rendimiento del equipo¹¹. (Tobiiipro.com)

- Ventajas

La facilidad y comodidad en el uso de las gafas Tobii Pro Glasses 2 que son las más utilizadas entre los equipos deportivos profesionales para mejorar el rendimiento.

¹¹ <http://tobii.23video.com/nascar-team-fine-tunes-performance>

La información obtenida por esta técnica proporciona una gran ventaja para el equipo ya que mejora su rendimiento frente a los competidores.

- **Conclusiones**

El *eye-tracking* es una herramienta muy utilizada en una amplia gama de deportes, además de sectores industriales y otras profesiones que necesitan analizar y mejorar sus habilidades.

Según comenta *Josh Wise*, Entrenador de Atletismo del equipo Chip Ganassi Racing:

"He aprendido mucho usando el eye-tracking. Creo que se puede ver lo que van a hacer antes de que lo hagan, casi se puede ver el futuro basado en cómo están usando sus ojos."
(*Tobiipro.com*)



6. Conclusión.

Una vez conocida en profundidad la técnica de *eye-tracking*, se puede llegar a la conclusión de que es una herramienta muy atractiva y de gran interés como método de recopilación e interpretación de información. Los datos que proporciona tienen mucho valor a la hora de comprender el comportamiento visual y es una opción muy recomendable para las empresas con una cultura de usabilidad altamente evolucionada.

Representa una técnica importante y objetiva que puede proporcionar ventajas útiles para el análisis en profundidad de la usabilidad de la interfaz. Muchos estudios en HCI (interacción persona-ordenador) están emergiendo y se está consolidando cada vez más para convertirse en un método de prueba de usabilidad utilizado por muchos investigadores comerciales y académicos.

Los *eye-trackers* son una importante herramienta en estudios de procesamiento de información. Son capaces de proporcionar una medición cuantitativa de la atención en tiempo real, además de ser valiosos para los sistemas interactivos. Se ha demostrado que una interfaz de *eye-tracking* para usuarios discapacitados, puede ser una forma indispensable de comunicación.

En la era tecnológica actual unifica los *eye-trackers* con un gran número de aplicaciones interactivas que proporcionan imágenes cada vez más sofisticadas, como la Realidad Virtual o videos en tiempo real. Dando lugar a nuevos usos interactivos de los *eye-trackers* en situaciones contextuales cada vez más complejas, permitiendo la investigación de nuevas aplicaciones que anteriormente no existían.

Conforme avance la tecnología, sea más asequible, menos invasiva y más fácil de usar, se disminuirá el coste de realizar una investigación con *eye-tracking* y se aumentará la capacidad para muchos profesionales de realizar investigaciones y estudios aplicando esta técnica. Aunque todavía está en sus inicios y pocos conocen sus ventajas.

7. Referencias.

- Bibliografías:

Albert, W. (2002). “Do web users actually look at ads? A case study of banner ads and eye-tracking technology”. En: Proceedings of the Eleventh Annual Conference of the Usability Professionals’ Association.

Altonen, A., Hyrskykari, A., & Rähkä, K. (1998). “101 Spots, or how do users read menus?” En: Proceedings of CHI’98 Human Factors in Computing Systems. NY: ACM Press. Páginas 132-139.

Al-Wabil, A., Zaphiris, P., & Wilson, S. (2008). “Eyetracking Dyslexic Web Users”. En: Centre for HCI Design, City University London, UK. Disponible en: <https://www.slideshare.net/secret/dZ6lRj09BvhtNL>

Ball, L. J., Lucas, E. J., Miles, J. N. V., & Gale, A. G. (2003). “Inspection times and the selection task: What do eye-movements reveal about relevance effects?”. Quarterly Journal of Experimental Psychology, 56A, Páginas 1053-1077.

Behrens, C. (2008). “The Form of Facts and Figures: Design Patterns for Interactive Information Visualization”. M.A. Thesis, Potsdam University of Applied Sciences.

Bojko, A. (2013) “Eye-Tracking: The User Experience”. A Practical Guide to Research. Rosenfeld. Páginas 3-19.

Byrne, M. D., Anderson, J. R., Douglas, S., & Matessa, M. (1999). “Eye tracking the visual search of clickdown menus”. En: Proceedings of CHI’99. NY: ACM Press. Páginas 402-409.

Carriel C., Rojas M. (2013) “Prueba de impulso cefálico: Bases fisiológicas y métodos de registro del reflejo vestibulo oculomotor” Artículo de Revisión. Servicio de Otorrinolaringología, Hospital del Salvador. Páginas 209-210.

Cooke L., Cuddihy E. (2005) “Using Eye Tracking to address limitations in think-aloud protocol”. Publicado en IPCC. International Professional Communication Conference.

Cornsweet & Crane (1973). “Accurate two-dimensional eye tracker using first and fourth Purkinje images”. Journal of the Optical Society of America, 63. Páginas 921–928.

Cowen, L., Ball, L. J., & Delin, J. (2002). “An eye-movement analysis of web-page usability”. En X. Faulkner, J. Finlay, & F. Détienne (Eds.), People and Computers XVI—Memorable yet Invisible: Proceedings of HCI 2002. London: SpringerVerlag Ltd. Páginas 317-335.

Crane, H. D. (1994). “The Purkinje Image Eyetracker, Image Stabilization, and Related Forms of Stimulus Manipulation”. En D. H. Kelly (Ed.), Visual Science and Engineering: Models and Applications. New York: Marcel Dekker. Páginas 13–89.

- Crane, H. D., & Steele, C. M. (1985). “*Generation-V Dual-Purkinje-Image Eyetracker*”. *Applied Optics*, 24. Páginas 527–537.
- Dias, Susana (2009). “*De que forma o consumidor olha para a marca?*”. En: *Marketeer*, 151. Páginas 78-80.
- Dodge, R., & Cline, T. S. (1901). “*The angle velocity of eye movements*”. *Psychological Review*, 8. Páginas 145–157.
- Duchowski, A. T. (2003). “*Eye Tracking Methodology: Theory and Practice*”. London: Springer-Verlag Ltd.
- Ehmke, C. & Wilson, S. (2007). “*Identifying Web Usability Problems from Eye-Tracking Data*”. En: Centre for HCI Design City University London.
- Fitts, P. M. (1954). “*The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement*”. *Journal of Experimental Psychology*, 47. Páginas 381–391.
- Fitts, P. M., Jones, R. E., & Milton, J. L. (1950). “*Eye movements of aircraft pilots during instrument-landing approaches*”. *Aeronautical Engineering Review* 9(2). Páginas 24–29.
- Fry, B. J. (2004). “*Computational Information Design*”. Doctor of Philosophy, Massachusetts Institute of Technology. Disponible en: <http://benfry.com/phd/dissertation-050312b-acrobat.pdf>
- Garman, J. (2008). “*Introduction to eye tracking*”. En Northern User Experience.
- Gips, J. & Olivieri, P. (1996). “*EagleEyes: An Eye Control System for Persons with Disabilities*”. En: *Proceedings of The Eleventh International Conference on Technology and Persons with Disabilities*, Los Angeles, March 1996.
- Goldberg, H. J., & Kotval, X. P. (1999). “*Computer interface evaluation using eye movements: Methods and constructs*”. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 24. Páginas 631-645.
- Goldberg, H. J., & Wichansky, A. M. (2003). “*Eye tracking in usability evaluation: A practitioner's guide*”. En: J. Hyönä, R. Radach, & H. Deubel (Eds.), *The mind's eye: Cognitive and applied aspects of eye movement research*. Amsterdam: Elsevier. Páginas 493-516.
- Goldberg, J. H., Stimson, M. J., Lewenstein, M., Scott, N., & Wichansky, A. M. (2002). “*Eye tracking in web search tasks: Design implications*”. En: *Proceedings of the Eye Tracking Research and Applications Symposium 2002*. NY: ACM Press. Páginas 51-58.
- Granka, L., Rodden, K. (2006). “*Incorporating Eyetracking into User Studies at Google*”. Workshop Position paper presented at CHI 2006, ACM.
- Granka, L., Feusner, M., Lorigo, L. (2007). “*Eyetracking in Online Search*”, Google AI. Páginas 2-6.

- Guillen Hernández, P. P. (2011) “*Envoltura convexa (Convex Hull)*”. En Pier.guillen.com.mx. Disponible en: https://pier.guillen.com.mx/algorithms/07-geometricos/07.7-envoltura_convexa.htm
- Hanson, E. (2004). “*Focus of attention and pilot error*”. En: Proceedings of the Eye Tracking Research and Applications Symposium. NY: ACM Press. Página 60.
- Hartridge, H., & Thompson, L. C. (1948). “*Methods of investigating eye movements*”, British Journal of Ophthalmology, 32. Páginas 581–591.
- Hassan, M. Y., & Herrero, S. V. (2007). “*Eye-Tracking en Interacción Persona-Ordenador*”. “no solo usabilidad: revista sobre personas, diseño y tecnología”, 6, 17. Disponible en: <http://www.nosolousabilidad.com/articulos/eye-tracking.htm>
- Hauland, G. (2003). “*Measuring team situation awareness by means of eye movement data*”. En: Proceedings of HCI International 2003: Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates. Vol. 3, Páginas 230-234.
- Hendrickson, J. J. (1989). “*Performance, preference, and visual scan patterns on a menu-based system: Implications for interface design*”. En: Proceedings of CHI’89 Human Factors in Computing Systems Conference. NY: ACM Press. Páginas 217-222.
- Inhoff, A. W., & Radach, R. (1998). “*Definition and computation of oculomotor measures in the study of cognitive processes*”. En: G. Underwood (Ed.), Eye guidance in reading, driving and scene perception. New York: Elsevier. Páginas 29-53.
- Jacob, R. J. K., & Karn, K. S. (2003). “*Eye tracking in Human-Computer Interaction and usability research: Ready to deliver the promises*”, En: J. Hyönä, R. Radach, & H. Deubel (Eds.), The mind's eye: Cognitive and applied aspects of eye movement research. Amsterdam: Elsevier. Páginas 573-605.
- James E. Hoffman, (1998). “*Visual Attention and Eye Movements*” en atención, ed. Harold Pashler (London: University College London Press, 1998), Páginas 119-154.
- Jerald, J. & Daily, M. (2002). “*Eye gaze correction for videoconferencing*”. En: Proceedings of the Eye Tracking Research and Applications Symposium 2002. NY: ACM Press. Página 781.
- Judd, C. H., McAllister, C. N., & Steel, W. M. (1905). “*General introduction to a series of studies of eye movements by means of kinoscopic photographs*”. En: J. M. Baldwin, H. C. Warren and C. H. Judd (eds), Psychological Review, Monograph Supplements, 7, Páginas 1–16. Baltimore: The Review Publishing Company.
- Just, M. A., & Carpenter, P. A. (1976). “*Eye fixations and cognitive processes*”. Cognitive Psychology, 8, Páginas 441-480.
- Karn, K., Goldberg, J., McConkie, G., Rojna, W., Salvucci, D., Senders, J., Vertegaal, R., & Wooding, D. (2000). “*Saccade pickers vs. fixation pickers: The effect of eye*

tracking instrumentation on research". En: Proceedings of the Eye Tracking Research and Applications Symposium 2000. Páginas. 87-88. NY: ACM Press.

Kaur, M., Tremaine, M., Huang, N., Wilder, J., Gacovski, Z., Flippo, F., & Mantravadi, C. S. (2003). *"Where is it? Event synchronization in gaze-speech input systems"*. En: Proceedings of the Fifth International Conference on Multimodal Interfaces. Páginas 151-158. NY: ACM Press.

Kumar, M. (2006). *"Reducing the Cost of Eye Tracking Systems"*. En: Stanford University, HCI Group.

Lambert, R. H., Monty, R. A., & Hall, R. J. (1974). *"High-speed data processing and unobtrusive monitoring of eye movements"*. Behavioral Research Methods & Instrumentation, 6, Páginas 525–530.

Law, B., Atkins, M. S., Kirkpatrick, A. E., & Lomax, A. J. (2004). *"Eye gaze patterns differentiate novice and experts in a virtual laparoscopic surgery training environment"*. En: Proceedings of the Eye Tracking Research and Applications Symposium 2004. Páginas 41-48. NY: ACM Press.

Levoy, M., & Whitaker, R. (1990). *"Gaze-directed volume rendering"*. En: Proceedings of the 1990 Symposium on Interactive 3D Graphics. Páginas 217-223. NY: ACM Press.

LI, D., BABCOCK, J., PARKHURST, D.J. (2006). *"Advances in eye tracking technology: open Eyes: a lowcost head-mounted eye-tracking solution"*. Proceedings of the 2006 symposium on Eye tracking research & applications ETRA '06. New York: ACM Press. Páginas 95-100.

Lohse, G. L. (1997). *"Consumer eye movement patterns on Yellow Pages advertising"*. Journal of Advertising, 26, Páginas 61-73.

Mackworth, J. F., & Mackworth, N. H. (1958). *"Eye fixations recorded on changing visual scenes by the television eye-marker"*. Journal of the Optical Society of America, 48, Páginas 439–445.

Mackworth, N. H., & Thomas, E. L. (1962). *"Head-mounted eye-marker camera"*. Journal of the Optical Society of America, 52, Páginas 713–716.

Margarida Barreto A. (2012) *"Eye Tracking como Método de Investigação aplicado às Ciências da Comunicação"*. Universidade Nova de Lisboa. Páginas 168-183.

McCulloch, C. and Searle, S. (2001) *"Generalized, Linear, and Mixed Models"*. John Wiley and Sons, New York.

Meallha. O et al. (2012) *"Eye Tracking Data Representation and Visualization"*. En: Information and Communication studies at CETAC. MEDIA. Journal of Eye Tracking, Cognition and Emotion.

- Mello-Thoms, C., Nodine, C. F., & Kundel, H. L. (2004). "What attracts the eye to the location of missed and reported breast cancers?". En: Proceedings of the Eye Tracking Research and Applications Symposium 2002. Páginas 111-117. NY: ACM Press.
- Merchant, J. Morrissette, R., & Porterfield, J. L. (1974). "Remote measurement of eye direction allowing subject motion over one cubic foot of space". IEEE Transactions on Biomedical Engineering, BME-21, Páginas 309–317.
- Monty, R. A. (1975). "An advanced eye-movement measuring and recording system". American Psychologist, 30, Páginas 331–335.
- Monty, R. A., & Senders, J. W. (eds) (1976). "Eye Movements and Psychological Processes". Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Moran, K. (2019, 18 agosto). "Configuración de un estudio de eye-tracking". Recuperado 20 agosto, 2019, de <https://www.nngroup.com/articles/eyetracking-setup/>
- Nielsen, J. Alertbox: Search and You May Find. (1997). Recuperado 22/09/06 de <http://www.useit.com/alertbox/9707b.html>.
- Pan, B. et al. (2004). "The Determinants of Web Page Viewing Behavior: An Eye-Tracking Study". En: S.N. Spencer (Ed.), Proceedings of Eye-Tracking Research and Applications, New York. ACM: SIGGRAPH.
- Pernice K., Nielsen J. (2009) "How to Conduct Eyetracking Studies". Eyetracking Methodology. Páginas 19-20. Disponible en: <https://www.nngroup.com/>
- Pieters R., Wedel, M. (2007). "Goal Control of Attention to Advertising: The Yarbus Implication". Journal of Consumer Research, 34. Páginas 224-233.
- Poole, A., Ball, L. J. (2006). "Eye Tracking in Human-Computer Interaction and Usability Research: Current Status and Future Prospects". Psychology Department, Lancaster University, UK. Páginas 4-7.
- Poole, A., Ball, L. J., & Phillips, P. (2004). "In search of salience: A response time and eye movement analysis of bookmark recognition". En: S. Fincher, P. Markopolous, D. Moore, & R. Ruddle (Eds.), People and Computers XVIII-Design for Life: Proceedings of HCI 2004. London: Springer-Verlag Ltd.
- Ramloll, R., Trepagnier, C., Sebrechts, M., & Finkelmeyer, A. (2004). "A gaze contingent environment for fostering social attention in autistic children". En: Proceedings of the Eye Tracking Research and Applications Symposium. NY: ACM Press. Páginas 19-26.
- Rayner, K., & Pollatsek, A. (1989). "The psychology of Reading". Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Redline, C. D., & Lankford, C. P. (2001). "Eye-movement analysis: A new tool for evaluating the design of visually administered instruments (paper and web)". En: Proceedings of the Section on Survey Research Methods of the American Statistical Association.

Santella, A., DeCarlo, D. (2004). “*Robust Clustering of Eye Movement Recordings for Quantification of Visual Interest*”. Proc. of Eye Tracking Research & Applications. Páginas 27-34.

Shackel, B. (1960). “*Note on mobile eye viewpoint recording*”. Journal of the Optical Society of America, 59, Páginas 763–768.

Sibert, J. L., Gokturk, M., & Lavine, R. A. (2000). “*The Reading Assistant: Eye gaze triggered auditory prompting for reading remediation*”. En: Proceedings of the Thirteenth Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology. Páginas 101-107. NY: ACM Press.

Tinker, M. A. (1963). “*Legibility of Print*”. Ames, Iowa: Iowa State University Press.

Triesch, J., Sullivan, B. T., Hayhoe, M. M. & Ballard, D. H. (2002). “*Saccade contingent updating in virtual reality*”. En: Proceedings of the Eye Tracking Research and Applications Symposium. Páginas 95-102. NY: ACM Press.

Xiaohua, C., & Liren, C. (2007). “*Eye movements in the sampling process for face recognition*”. Psychological Science (China), 30(2), Páginas 316-319.

Wooding, D. (2002). “*Eye movements of large populations: II. Deriving regions of interest, coverage, and similarity using fixation maps*”. Behavior Research Methods, Instruments, & Computers 34 (4) 518-52.

Yoon, D. & Narayanan, N. H. (2004). “*Mental imagery in problem solving: An eye tracking study*”. En: Proceedings of the Eye Tracking Research and Applications Symposium. Páginas 77-83. NY: ACM Press.

Young, L., & Sheena, D. (1975). “*Methods and designs: Survey of eye movement recording methods*”. Behavior Research Methods and Instruments, 7 (5), Páginas 397-429.

Zelinsky, G., & Sheinberg, D. (1995). “*Why some search tasks take longer than others: Using eye movements to redefine reaction times*”. En: J. M. Findlay, R. Walker, & R. W. Kentridge (Eds.), Eye movement research: Mechanisms, processes and applications. Páginas 325-336. North-Holland: Elsevier.

- Referencias Web:

“Mobile World Capital Barcelona” (Consultado en 2019) Disponible en URL: <https://mobileworldcapital.com/es/press/mobile-world-capital-barcelona-twitter-e-irisbond-presentan-la-primera-aplicacion-movil-que-permite-interactuar-con-el-telefono-a-traves-de-la-mirada/>

“Nielsen, 2000 - Por qué solo necesitas probar con 5 usuarios” (Consultado en 2019) <https://www.nngroup.com/articles/why-you-only-need-to-test-with-5-users/>

“Nielsen, 2004 - Clasificación de tarjetas: Cuántos usuarios evaluar” (Consultado en 2019) <https://www.nngroup.com/articles/card-sorting-how-many-users-to-test/>

“Nielsen, 2006 - Estudios cuantitativos: ¿Cuántos usuarios evaluar?” (Consultado en 2019) <https://www.nngroup.com/articles/quantitative-studies-how-many-users/>

“Tobii: The world leader in eye-tracking” (Consultado en 2019) Disponible en URL: <https://www.tobii.com/>

“Tobii Gaming” (Consultado en 2019) Disponible en URL: <https://gaming.tobii.com/>

“Tobii Eye-Trakers: Funcionamiento” (Consultado en 2019) Disponible en URL: <https://www.tobiipro.com/learn-and-support/learn/eye-tracking-essentials/how-do-tobii-eye-trackers-work/>

“Tobii Pro Spectrum” (Consultado en 2019) Disponible en URL: <https://www.tobiipro.com/product-listing/tobii-pro-spectrum/>

“Tobii Pro Glasses 2” (Consultado en 2019) Disponible en URL: <https://www.tobiipro.com/product-listing/tobii-pro-glasses-2/>

“Tobii Pro.com Ejemplo Gaze plot y Heatmaps” (Consultado en 2019) Disponible en URL: <https://www.tobiipro.com/learn-and-support/learn/steps-in-an-eye-tracking-study/interpret/working-with-heat-maps-and-gaze-plots/>

“TobiiPro.com – Aplicaciones para el Eye-Tracking” (Consultado en 2019) Disponible en URL: <https://www.tobiipro.com/>

“Tobii Dynavox – Nuevo I-Series para discapacitados” (Consultado en 2019) Disponible en URL: <https://www.tobiidynavox.com/en-US/products/i-series/?MarketPopupClicked=true>

“TobiiPro.com – Caso práctico 1: Eye-tracking y el Merchandising.” (Consultado en 2019) Disponible en URL: <https://www.tobiipro.com/fields-of-use/marketing-consumer-research/customer-cases/et-research/>

“TobiiPro.com – Caso práctico 2: Estudio de usabilidad Web con Eye-tracking.” (Consultado en 2019) Disponible en URL: <https://www.tobiipro.com/fields-of-use/user-experience-interaction/customer-cases/holiday-autos/>

“TobiiPro.com – Caso práctico 3: Visionado de publicidad digital en estaciones de metro con Eye-tracking.” (Consultado en 2019) Disponible en URL: <https://www.tobiipro.com/fields-of-use/marketing-consumer-research/customer-cases/clear-channel/>

“TobiiPro.com – Caso práctico 4: Eye-tracking y las mejoras en rendimientos de equipos de NASCAR.” (Consultado en 2019) Disponible en URL: <https://www.tobiipro.com/fields-of-use/sports-research/customer-cases/improving-the-performance-of-nascar-teams-with-eye-tracking/>