



LAURA HERNÁNDEZ RIELO  
ALEXEI JILINSKIY  
ADRIÁN FRANCÉS LILLO  
ALEJANDRO MARTÍNEZ MARTÍNEZ

SISTEMAS OPERATIVOS  
UNIVERSIDAD DE ALICANTE

## Contenido

1	Introducción.....	4
2	Historia .....	5
3	Tipos de seguimiento según implementación en humanos: .....	7
3.1	Invasivo.....	7
	ASL. ....	7
	Mobile Eye-5 Eye Tracking glasses. ....	8
3.2	No-invasivo.....	9
	D7 Remote Desktop Eye Tracking Optics. ....	9
	Tobii EyeX. ....	10
	TM5 Mini. ....	10
	VT3 mini. ....	11
	RED250/RED500. ....	11
	REDN Scientific. ....	11
	IVIEW X Hi-Speed y IVIEW X Hi-Speed Primate. ....	12
	Iview X Hed. ....	8
	Eye Tracking Glasses 2.0 .....	8
3.3	Potenciales eléctricos .....	12
	Electro-oculografía. ....	12
	Búsqueda escleral de espirales de alambre. ....	13
4	Seguimientos de ojos vs Mirada .....	14
5	Tipos de seguimiento de ojos .....	15
6	Representación de la información.....	16
6.1	Representaciones animadas de un punto sobre la interfaz .....	16
	OptiKey.....	17
	SMI BEGAZE. ....	18
	SMI EXPERIMENT CENTER. ....	20
6.2	Representaciones estáticas del camino o ruta sacádica .....	20
	Tobii EyeX Controller.....	21
	EyeTracking. ....	22
6.3	Mapas de calor .....	25
	QuickAccess.....	26

QuickCapture. ....	27
QuickKiosk. ....	27
QuickLink. ....	27
Gazepoint. ....	28
ASL Results Plus GazeMap (GM). ....	30
6.4 Mapas de zonas ciegas .....	31
6.5 Otros .....	32
Pygaze. ....	32
iMotions. ....	34
Áreas de interés: .....	35
7 Aplicaciones .....	37
8 Opinión crítica .....	40
9 Conclusión .....	42
10 Bibliografía .....	43

## 1 Introducción

EyeTracking. Es una tecnología revolucionaria que se centra en el “seguimiento de ojos”, como indica su nombre. Analiza el movimiento de la mirada del sujeto, o bien el de los ojos con respecto a la cabeza.

Aunque el estudio del seguimiento de los ojos de un ser humano data ya del siglo XIX, que fue cuando se definieron términos como sacada (micromovimiento que hace el ojo) o fijación (Pequeño intervalo de tiempo en que la mirada de un sujeto permanece fija), no fue hasta hace unos pocos años cuando apareció la tecnología necesaria para analizar a fondo el comportamiento visual de las personas.

En un principio los tipos de seguimiento eran rudimentarios y mediante observación natural. La aparición de las cámaras permitieron grabar los movimientos de los ojos, y luego se intentó cuadrar con lo que el sujeto veía. Las nuevas tecnologías en computación y grabación permitieron al final crear un estudio afianzado sobre la atención del usuario sobre distintas visualizaciones, y que éste incluso pudiera controlar el cursor del ordenador exclusivamente con la mirada.

No fue hasta que llegaron las cámaras de alta resolución y con un mínimo de fotogramas por segundo que se pudo captar bien el movimiento de los ojos, pues una sacada típica dura entre 20 y 200 milisegundos. La captación de tantos fotogramas por segundo hubo de esperar hasta los discos duros de alta capacidad para poder ser compilada y guardada para posterior estudio. No fue hasta los años 2000 que la industria se expandió enormemente con los nuevos software, que permitieron analizar los movimientos de las miradas según la fijación de éstos en mapas de datos detallados, que permitían ver los puntos de la imagen en los que se centraban más los usuarios (mapas de calor), o ver cuál era el primer elemento en el que se fijan los usuarios y ver cómo evoluciona la mirada con el tiempo (GazePath o seguimiento del recorrido de la mirada).

Con la evolución tecnológica aparecieron los dispositivos wearables, como Gafas con doubles cámaras que permitían la captación de la mirada del individuo y del objetivo. Estos dispositivos eyeTracking permitieron un mayor análisis en la decisión de compra de su portador al entrar en un supermercado, y también en zonas activas como en el deporte, donde el uso de las piernas y manos y el movimiento constante no permiten que éste esté unido a cables.

El estudio en el campo del eyeTracking ha avanzado mucho desde que se sabe que el 80% de la información entra por los ojos, y que muchas empresas y centros de estudio han comenzado a invertir en esta tecnología como una manera de estudio para productores comerciales y campañas de marketing (ver cómo responde el consumidor ante ciertos estímulos, y hacer campañas publicitarias más eficientes), monitorización del

sueño mediante dispositivos que miden el movimiento ocular con potenciales eléctricos, y ayuda a la creación de aparatos que responden ante estímulos oculares, para que lo usen personas con atrofia muscular, tetraplejia y otras incapacidades musculares.

Además, la variabilidad de opciones con las que se pueden realizar estas mediciones del movimiento ocular (Siguiendo la mirada o el ojo, sistemas invasivos o no-invasivos, por pupila brillante u oscura, etc...) permiten un amplio desarrollo tecnológico en cuanto a dispositivos de detección de movimiento, grabación, láser, óptico y análisis de la información y minimización del coste de renderización de video se refiere.<sup>1</sup>

## 2 Historia

El estudio sobre el seguimiento de ojos o eye-tracking no es cosa del siglo XXI, el siglo de las innovaciones y las nuevas tecnologías de última generación, sino que se remonta hasta el XIX. Las investigaciones como tales surgieron a partir de las observaciones de Louis Emile Javal, que concluyó que la lectura no implica un suave barrido de los ojos a lo largo del texto, como se había supuesto desde los estudios de la década del 1800, sino que consistía en una serie de paradas cortas y sacadas rápidas. Este descubrimiento llevó al planteamiento de una serie de preguntas: ¿En qué palabras se detienen los ojos? ¿Por cuánto tiempo? ¿Cuándo regresan de nuevo a las palabras ya vistas?<sup>2</sup>

El primer prototipo de seguidor de ojos fue construido por Edmund Huey, psicólogo y pedagogo, utilizando una lente de contacto con un agujero, colocada en los ojos del sujeto al que se le realizarían las pruebas. El objetivo del mismo conectaba con un puntero de aluminio que se movía en respuesta al movimiento del ojo. El objetivo del experimento de Huey era la cuantificación de regresiones, mostrando que algunas palabras en oraciones no son fijas.

Huey publicó sus conclusiones en *The Psychology and Pedagogy of Reading*, y en ellas se basó Charles Hubbard Judd, un psicólogo americano que supuso un importante rol en la formación de la disciplina, para construir una cámara del movimiento ocular, que resultaba menos intrusiva que el dispositivo de Huey. Al mismo tiempo, Guy Thomas Buswell estudiaba el movimiento de los ojos en la lectura en diferentes edades y niveles de educación. Para esto, Buswell desarrolló un dispositivo que utilizaba haces de luz que se reflejaban en el ojo para luego grabarlas en una película, ampliando así su investigación también a la visualización de imágenes.

En 1931, Earl James y Carl Taylor desarrollaron el Oftalmológrafo y el Metronoscopio, que eran dispositivos usados para grabar los movimientos del ojo durante la lectura y ayudaban a los sujetos a leer con mayor efectividad.

En la década de los 50, Alfred Lukyanovich Yarbus, psicólogo ruso, estudió los movimientos oculares y fue pionero en el estudio de la exploración sacádica de imágenes complejas mediante la grabación de los movimientos del ojo realizados por espectadores mientras estos contemplaban objetos naturales y escenas. Sus conclusiones causaron una gran influencia en estudios posteriores y mostraban que las trayectorias seguidas por la mirada dependían de la tarea que el observador tenía que llevar a cabo. La mirada tiende a ir de un punto a otro de una escena, centrándose en lugares distintos para cada persona (aquello que le parezca desconocido, incomprensible, atractivo...), pero si el observador fuese cuestionado acerca de datos específicos sobre las imágenes, sus ojos se concentrarían en áreas de relevancia para las preguntas, volviendo una y otra vez a esos elementos más importantes.

Ya en la década de los 70, las investigaciones de rastreo ocular se expandieron con rapidez, y en 1980 hubo un estallido del desarrollo del eye-tracking: grupos de marketing empezaron a estudiar cómo eran de efectivos sus anuncios en revistas a la hora de llegar a los clientes. Además, investigadores empezaron a usar el seguimiento de ojos para responder preguntas relacionada con la interacción humano-computadora, usando ordenadores para seguir los resultados en tiempo real, en concreto estudiando cómo los usuarios podían realizar búsquedas en los menús del ordenador, principalmente para ayudar a los usuarios con discapacidades físicas o neurológicas.<sup>3</sup>

Recientemente ha crecido el uso del eye-tracking para estudiar las interacciones de los usuarios con las interfaces y así poder realizar diseños más accesibles y optimizar su usabilidad, así como aplicar los resultados de las investigaciones sobre el desarrollo web, analizando cómo reaccionan los usuarios a los menús desplegables o en qué zonas fijan mayormente la atención. A su vez, se busca desarrollar interfaces específicas para dispositivos de eye-tracking que, más allá de su uso para el análisis y la investigación, sean una herramienta para aquellos usuarios con discapacidades que no puedan hacer uso de los métodos usuales de ratón y teclado.

El último campo de investigación en el que se está profundizando en la actualidad es el estudio de los procesos cognitivos específicos durante la fijación en un objeto determinado en una escena. EyeTracking, Inc. es la empresa pionera que ha desarrollado un software de análisis de la actividad cognitiva y se encuentra en estos momentos ampliando su compatibilidad a varios dispositivos de seguimiento de ojos.

Como se ha podido comprobar, el tema del eye-tracking ha avanzado a lo largo de los años, a partir de sus comienzos, desde simples estudios psicológicos hasta el análisis para optimizar interfaces y el desarrollo de dispositivos que complementen la experiencia del usuario. En la década actual, esta tecnología se encuentra en el auge de su investigación.<sup>4</sup>

### **3 Tipos de seguimiento según implementación en humanos:**

Dependiendo del tipo de hardware utilizado para captar los movimientos Eye-Tracking según “la invasión”, es decir, según el tipo tenemos 3 tipos de sistemas de captación de la información ocular:

#### **3.1 Invasivo**

El hardware invasivo es el que ha de ser llevado por el usuario, por lo que “invade” su espacio personal, haciendo que no sea libre del aparato mediante su utilización. Los sistemas invasivos a día de hoy suelen ser las gafas wearables con doble dispositivo de grabación (uno frontal y otro ocular) y los cascos de visión con cables unidos al ordenador. He aquí unos cuantos dispositivos conjunto a cierta información de la empresa que los ha patentado y creado:

#### **ASL.**

ASL (Applied Science Laboratories) es una desarrolladora de Software y dispositivos EyeTracking. Localizada en Bedford, Massachusetts, y con más de 30 años de experiencia, aseguran ser una “autoridad” en EyeTracking al ser los primeros en desarrollar un dispositivo de seguimiento de miradas basado en video, en 1974.

Las innovaciones de última generación que ASL presenta son: aparatos ópticos de escritorio con compensación de movimiento craneal, equipos móviles que pueden llevarse encima, integración cabeza-ojo, visores ópticos de larga distancia para fMRI (Imágenes por resonancia magnética funcional), además de diferentes software de mapeado de datos, como el ASL GM (GazeMap) que usa mapeado de calor para mostrar las zonas de mayor atención.<sup>5</sup>

Entre sus productos podemos encontrar:

#### **EYESTART:**

Un dispositivo EyeTracking de bajo coste. Este aparato en concreto está diseñado para ser usado en un ambiente estático. Mide de manera muy precisa el diámetro de la pupila del participante y el punto al que está mirando. Estas medidas se muestran por

pantalla con un cursor o cruces superpuestas en el video o imagen, que muestran el punto de vista del participante.

Es un dispositivo invasivo porque requiere de elementos que estabilizan el cráneo humano y que lo lleve puesto el usuario. Tiene un soporte que se aplica a la barbilla.

Normalmente, y en este sistema también, se utiliza una cámara de 60Hz que graba en HD los movimientos de la pupila.

El Software encargado de la recolección de datos y analizar la información es el ASL Results Plus, y puede ser ajustado con cualquier otro tipo de software en el mercado. Este en particular, desarrollado por la propia compañía, representa los datos según las dos maneras más populares de hacerlo, mediante un mapeado de calor de las zonas que mostraron mayor interés, y mediante Gaze Paths. Este software es compatible con cualquier versión de windows.<sup>6</sup>

#### **Mobile Eye-5 Eye Tracking glasses.**

Como a día de hoy las actividades oculares precisan ser analizadas en ambientes en constante movimiento, como kinesiólogía, en la conducción, deportes, usabilidad de dispositivos móviles, anuncios en la calle, etc... Los dispositivos móviles de seguimiento y análisis ocular están en auge.

ASL tiene sus propias gafas que recogen los movimientos del ojo y la información allí donde mira el portador, mientras realiza tareas moviendo manos, cabeza y ojos sin restricciones.

Las gafas son readaptables y actualizables con módulos que añadan funcionalidades. Por ejemplo, un detector de movimiento craneal para saber cómo interactúa el sujeto con su entorno en función de lo que ve, o para análisis deportivos o de conducción.<sup>7</sup>

#### **Iview X Hed.**

Es un sistema de registro ocular portátil y ligero (<80 gramos) que combina su fácil configuración con una libertad de movimientos total. Sirve para la investigación del mundo real y permite recoger datos de forma precisa además de ser capaz de grabar el sonido y el registrar la dilatación de la pupila. Los datos pueden ser transmitidos en línea y su frecuencia de muestreo son unos 200 Hz.<sup>8</sup>

#### **Eye Tracking Glasses 2.0**

Rastreador ocular ligero (68 gramos) orientado a la investigación en el mundo real. Es un sistema fácil de instalar, con una frecuencia de muestreo de unos 60 Hz y que tiene un rendimiento muy eficaz. En cuanto el usuario se fije brevemente en un punto



las gafas comienzan a registrar datos. El modo de funcionamiento se basa en unas pequeñas gafas que se encuentran en la montura de las gafas y capturan el movimiento de los ojos junto a la dilatación de su pupila. Gracias a esto conseguimos recoger una cantidad de datos fiables y precisos en todo tipo de distancias. Junto a esto, las Eye tracking glasses nos permiten grabar gracias al sistema SMI ETG 2.0, esto es una grabadora acoplada a un Samsung galaxy S4 y permite grabar un mínimo de 4 horas.<sup>9</sup>

### **3.2 No-invasivo**

También conocidos como dispositivos de distancia, son aquellos que permiten que el usuario esté libre de todo contacto físico con el hardware. Son sistemas no-invasivos las cámaras que capturan el ojo a corta, media y larga distancia, y cualquier dispositivo de grabación que no interfiera con el contacto físico. Aquí tenemos algunos ejemplos de dispositivos no-invasivos:

#### **D7 Remote Desktop Eye Tracking Optics.**

Este dispositivo remoto creado por ASL, es básicamente una cámara de escritorio, aplicable a cualquier ordenador. Captura los oculares de una manera no intrusiva, y permite al usuario moverse a lo largo de un metro cuadrado sin que esto altere a los datos recogidos.

A parte de la cámara que recoge datos con una tasa de refresco de 60Hz, tiene un software de reconocimiento facial. Esto es muy importante para eliminar el componente invasivo en el sistema, y dejar que el sujeto que esté usando el EyeTracker pueda mover su cabeza libremente. Este en particular, permite moverse en un área de 1 metro cuadrado, y si giras la cabeza o desatiendes momentáneamente al monitor, éste dejará de capturar datos hasta que reencuentre tus ojos mirando la pantalla de nuevo.

Además, permite la conexión a un monitor y la grabación del movimiento ocular y la atención generada por un usuario, y transmitirlo directamente a otro monitor distinto al que se esté analizando, para recoger la información y verla en tiempo real.<sup>10</sup>

### **Tobii EyeX.**



Este dispositivo en cuestión consiste en una cámara, creada por la empresa sueca Tobii, compatible con un propio software de control desarrollado por la misma empresa (Tobii EyeX Controller), así como con otros tipos de softwares.

La cámara en cuestión se particulariza por, adicionalmente al proceso de rastrear la mirada, para lo cual utiliza el sistema descrito previamente, detectar si el usuario se encuentra frente a la pantalla o no, para así añadir funcionalidades con respecto a este aspecto.

Otra de las características principales de la cámara es su alta precisión, su compatibilidad con distintos softwares tanto de representación estática como dinámica. Además, la cámara cuenta con un alto grado de detección, permitiendo al usuario colocarse en cualquier posición dentro de su campo de detección, lo que la diferencia de otras cámaras donde este ha de colocarse en una posición concreta para que la cámara sea capaz de rastrear su mirada.<sup>11</sup>

### **TM5 Mini.**

Hardware de fácil uso, el TM5 se monta de manera sencilla gracias a su propiedad magnética lo que hace más cómodo su funcionamiento cuando queremos compartirlo entre determinados ordenadores. Este dispositivo cuenta con la tecnología Aeye que está formado por la última generación de algoritmos Eyeteck, software y hardware. Esto incluye un rastreo sólido, una gran tolerancia al movimiento de la cabeza etc. Algunas de estas características son:

- Rápido: Cuenta con una rápida captura y reacción al movimiento de los ojos lo que lo hace ideal para gente que mueve mucho la cabeza.

- Fiable: Posee un rastreo sólido adaptado a todo tipo de usuarios y entornos en los que va a ser utilizado.

El TM5 cuenta con una sola conexión vía USB, es fácil de montar sin necesidad de usar ninguna herramienta. Este hardware nos permite controlar cualquier opción del ordenador por lo que es usado por todo tipo de personas, desde estudiantes a personas con movilidad reducida como puede ser personas afectadas por ELA, Parálisis cerebral, Distrofia muscular, lesiones en la médula espinal etc. Lo que les ayuda a ser más productivos gracias a este aparato.<sup>12</sup>

### **VT3 mini.**

EL VT3 mini es un modelo más compacto que el TM5 mencionado anteriormente pero con las mismas propiedades. La ventaja de este producto frente al anterior es su tamaño, lo que lo hace perfecto para ser utilizado en portátiles, esto le añade la capacidad de ser movido sin ningún problema y ser utilizado en cualquier ordenador. Además con este hardware vienen incluidos QuickCAPTURE y QuickLINK API (software desarrollados por la misma empresa y que serán mencionados posteriormente) lo que permite a desarrolladores acceder a distintos valores que se utilizan y ajustarlos a su gusto como la posición de la miradas, el tamaño de la pupila etc.<sup>13</sup>

### **RED250/RED500.**

Estos hardware combinan la calidad con la que recogen información con su facilidad para ser usados. Utilizan un tipo de seguimiento no invasivo ya que es un sensor en forma de barra colocado bajo la pantalla a unos 60-80 cm. Su sensor de alta resolución permite que el usuario mueva libremente la cabeza ya que el software integrado localiza los ojos y compensa el movimiento aunque sin se evita mover la cabeza los resultados obtenidos serán más precisos. La calibración es totalmente automática y se hace en unos pocos segundos, además la mantiene durante todo el experimento. Además, los dos sistemas son compatibles y pueden exportar los datos grabados en formato ASCII para ser procesados después con un software de análisis como puede ser MATLAB o SPSS.<sup>14</sup>

### **REDN Scientific.**

Es un hardware parecido a los anteriores pero con diferentes características que lo hacen más eficiente en estudios relacionados con la psicología del desarrollo y educación. REDN es un eye tracker ligero (75 gramos) que permite a los investigadores realizar estudios de manera más fácil. Gracias a su ligereza puede ser usado en cualquier

ordenador y se utiliza en hospitales, lugares de trabajo etc. Con su cabezal extra largo lo que consigue es recibir información más natural de personas inquietas (se adapta perfectamente al movimiento de estos) además puede ser utilizado en personas con gafas o que lleven lentes de contacto.<sup>15</sup>

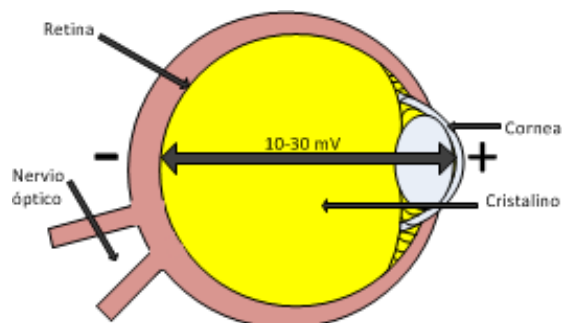
### **IVIEW X Hi-Speed y IVIEW X Hi-Speed Primate.**

Este hardware combina la tecnología de las cámaras de alta resolución con algoritmos avanzados de procesamiento de imágenes. Cuenta con una mentonera ergonómica que permite al usuario un amplio campo visual. Iview x Hi-Speed permite registros monoculares y binoculares sin pérdida de resolución, además de que puede ser utilizado con gafas y lentes de contacto sin pérdida de datos. Unido al sistema BeGaze consigue análisis de datos avanzados que han sido conseguidos con precisión. Posee una frecuencia de muestreo de unos 1250 Hz. El Iview X Hi-Speed Primate Aun siendo completamente diferente al anterior tiene las mismas características y funciona del mismo modo que el Iview X Hi-Speed pero en cambio este es utilizado para recoger los datos de eye trackers de animales. Posee una transferencia de datos en tiempo real y se integra en un software vía TTL.<sup>16</sup>

### **3.3 Potenciales eléctricos**

Recoger el movimiento y posición de los ojos (que no el de la mirada) se denomina oculografía. A la hora de utilizar potenciales eléctricos, que es el sistema más invasivo posible, pues requiere a veces de hasta intervenciones quirúrgicas, tenemos 2 métodos distintos de hacerlo:

#### **Electro-oculografía.<sup>17</sup>**



En este método, se utilizan sensores que se aplican sobre la piel alrededor de los ojos para medir el campo eléctrico que producen los ojos al rotar. Al grabar las pequeñas diferencias que se forman del potencial eléctrico en la piel alrededor del ojo, se puede estimar la posición del mismo. Colocando cuidadosamente los electrodos, incluso se puede estimar paralelamente el movimiento horizontal y el vertical.

Sin embargo, la señal puede variar incluso si no hay movimiento del ojo. Esta técnica no está pensada para el uso del día a día, ya que requiere un contacto muy cercano con el usuario. Aún así, es usada bastante por médicos a la hora de investigar o monitorizar actividades oculares.

A pesar de ello es barata, fácil y una manera invasiva de monitorizar grandes desplazamientos oculares. La gran ventaja de este método es que puede usarse incluso para detectar movimiento oculares aún cuando el ojo está cerrado (por ejemplo, durmiendo).

#### **Búsqueda escleral de espirales de alambre.**



Cuando una espiral de alambre se mueve a través de un campo magnético, el campo induce un voltaje en el alambre. Si el alambre está sujeto al ojo, entonces se producirá una señal de la posición del ojo. A la hora de medir estos movimientos oculares, pequeños trozos de alambre se incrustan en unas lentes de contacto especiales. Éstas se insertan en el ojo después de utilizar anestesia local (Es un procedimiento algo complicado). Un espejo integrado dentro de la lente de contacto permite medir la luz reflejada. A la vez, una espiral integrada en la lente de contacto permite detectar la orientación del alambre dentro de ese campo magnético.

La ventaja de un método tan peculiar es la gran precisión y la precisión sin límites en tiempo real. Es una desventaja que sea tan invasivo, requiriendo que sea puesto

“dentro” de los ojos. Igualmente, este método se usa sobretodo en estudios médicos y psicológicos avanzados. Chronos Vision (empresa alemana de investigación de alta tecnología en oculografía de potenciales eléctricos y tecnología espacial) y el instituto de neurociencia neozelandés utilizan estos métodos en sus investigaciones médicas y psicológicas.

## **4 Seguimientos de ojos vs Mirada**

A la hora de tratar la información eyetracking, dependiendo del estudio que se esté realizando, se hará falta el seguimiento de los ojos o la velocidad con la que se están moviendo, o directamente hacia donde apunta la mirada, y las diferentes sacadas y fijaciones que realiza el usuario.

El seguimiento de los ojos se basa en medir la rotación del ojo respecto de un sistema de referencias definido. Si el sistema de medida se monta en la cabeza misma, como por ejemplo con la electrooculografía y los sensores eléctricos, entonces hablamos de medir los ángulos de los ojos. Sin embargo, si el sistema de medida está montado sobre la mesa, lo que se está midiendo es el ángulo de la mirada (como con las espirales de alambres esclerales o las cámaras de grabación).

Uno es más útil que otro dependiendo del contexto. Para medir la actividad cerebral y realizar el seguimiento ocular de pacientes en coma o somnolientos, pues lo mejor es realizar un seguimiento ocular (puesto que normalmente los ojos están cerrados y no se puede realizar el seguimiento de la mirada). Esto sirve sobretodo para realizar herramientas de análisis del sueño, o herramientas de respuesta para casos comatosos.

El sistema de seguimiento de miradas sirve sobretodo para estudios de la atención y desarrollo de herramientas software que funcionen con la mirada. Como se menciona en la introducción, si el 80% de la información entra por los ojos, es muy importante su estudio. El análisis de la información ocular a través de la mirada permite el estudio de la atención del usuario ante ciertos estímulos visuales, y su implementación en herramientas de estudio de marketing.

Además, se puede mediante la captación de la mirada el desarrollo de aplicaciones donde el cursor es sustituido por la mirada misma, y los clicks por pestañeos. Singulares herramientas están aún en proceso, pero ya llevan un gran avance. Por ejemplo, el Imperial College de Londres ha hecho un dispositivo con el que se puede jugar al Pong utilizando la mirada.<sup>18</sup>

## 5 Tipos de seguimiento de ojos

A día de hoy, existen dos grandes variantes con respecto al captamiento de la información en el seguimiento de la mirada. Estos son por **pupila brillante** o por **pupila oscura**.

Actualmente, los eyeTrackers más utilizados mundialmente son aquellos que están basados en video. Una cámara se centra en grabar los movimientos de uno o los dos ojos mientras el participante mira a algún tipo de estímulo. Los eyeTrackers más modernos utilizan el centro de la pupila y luz no-colimada infrarroja o cerca del infrarrojo, para crear reflexiones de la córnea. El vector que se forma entre el centro de la pupila y las reflexiones corneales se pueden usar para calcular el punto en relación de la superficie, o sea, la dirección de la mirada. Por eso, normalmente, hace falta calibrar el dispositivo EyeTracker antes de su uso.

Las técnicas de EyeTracking se pueden dividir en dos subtipos generales: los de pupila brillante y los de pupila oscura. La diferencia entre ellos se basa en la localización de la fuente de luz con respecto a las lentes. Si la iluminación es coaxial (Es decir, comparten un eje común) con el camino de la luz del objetivo óptico, entonces el ojo actúa como un retrorreflector ya que la luz se refleja sobre la retina, creando un efecto de “pupila brillante” similar al de los ojos rojos que se obtiene al sacar una foto con flash. Si la fuente de iluminación está fuera del camino del objetivo óptico, entonces la pupila aparece oscura porque la retrorreflección de la luz sobre la retina no va dirigida hacia la cámara.

El seguimiento de ojos por pupila brillante crea un mayor contraste de iris/pupila, lo que permite obtener un seguimiento de ojos más robusto (conciso) por lo que provoca que el iris sea totalmente distinguible de la pupila, y reduce bastante la interferencia causada por las pestañas y otras figuras que oscurecen el ojo. Además, permite obtener información del seguimiento de ojos en condiciones que van desde la oscuridad total hasta una iluminación muy fuerte. Pero las técnicas de pupila brillante no sirven en el exterior, ya que elementos extraños interfieren con la monitorización (partículas del aire, bacterias, polvo, etc...).

Ambos tipos de eyeTracking, de pupila brillante y oscura, requieren iluminación constante, o en otras palabras, requieren de una controlada fuente de luz que apunte al usuario. La gran diferencia a la hora de usar una técnica u otra es donde se coloca la fuente de luz, si justo al lado del dispositivo de monitorización ocular, o lejos de la cámara.<sup>19</sup>

## **6 Representación de la información**

Una vez captada la posición de la mirada o de los ojos en la pantalla del usuario, realizado de distintas maneras por cada uno de los hardwares anteriormente descritos, existen distintos métodos para representar internamente la información recibida y trabajar sobre ella, realizando todo tipo de aplicaciones tanto para un ordenador como para cualquier otro tipo de dispositivos digitales.

Podemos catalogar cada uno de los softwares existentes o en proceso de desarrollo según el método que utilizan para representar internamente la información, ya que según el método elegido se obtendrán distintas ventajas, tales como una mayor velocidad de escritura en un teclado virtual, o una mayor optimización o rendimiento de la entrada producida.

También pueden variar los requerimientos de hardware según el tratamiento que se le da internamente a la información por parte de las distintas tecnologías o métodos para representarla.

Por lo tanto, las distintas categorías para representar la mirada del usuario a nivel software son las siguientes:

### **6.1 Representaciones animadas de un punto sobre la interfaz**

Esta manera de representar la información se basa en registrar la posición exacta de la pantalla a la que mira el usuario en cada momento, además de un rastro de las posiciones previas a las que se ha estado mirando recientemente.

Para el correcto funcionamiento de este método, se crea una matriz interna del tamaño en píxeles de la pantalla, sobre la cual se introduce en cada momento la posición sobre la que está mirando el usuario, para lo cual este tipo de aplicaciones debe apoyarse en una cámara que rastree la posición de la mirada en todo momento.

Las últimas posiciones sobre las que ha mirado el usuario se guardan internamente ya que este tipo de software, a diferencia de otros que veremos más adelante, centra gran parte de su utilidad no solo en conocer la posición actual de la mirada del usuario, normalmente a modo de sustituir otros dispositivos de entrada tales como el ratón y el teclado, sino que además detecta los puntos en los que el usuario cambia la dirección



de su mirada para utilizarlos normalmente como entrada, lo que agiliza mucho la utilización de las distintas aplicaciones, ya que no es necesario detenerse en cada tecla o posición sino simplemente cambiar la dirección de la mirada.

Este tipo de tecnología suele apoyarse en una cámara de seguimiento de la mirada para su correcto funcionamiento, ya que se trata de el método mas extendido para apoyar este tipo de tecnología, además de que al no resultar invasivo para el usuario tiene una mayor aceptación.

Es por ello que es característico de este tipo de representación de la información una buena velocidad de entrada y, en caso de que se utilice esta entrada a modo de escritura en un teclado virtual (siendo esta la utilidad mas habitual y extendida del seguimiento de ojos), una buena velocidad de escritura.<sup>20</sup>

Entre las distintas aplicaciones que utilizan este sistema se encuentran:

#### **OptiKey.**



OptiKey se trata de un software de seguimiento de ojos de código abierto desarrollado por Julius Sweetland y publicado de manera gratuita en 2015. Consiste en un software integrado para plataformas Windows, orientado a ayudar a enfermos de esclerosis lateral amiotrófica (ELA) u otras enfermedades que impiden el movimiento.

El software se posiciona como una alternativa gratuita a los programas tradicionales orientados a ayudar a este tipo de enfermos, requiriendo para su funcionamiento únicamente una cámara que siga el movimiento de los ojos, sin especificar el modelo de cámara en cuestión, ya que cuenta con soporte para una variedad de ellas.

Optikey interactua con el usuario de dos formas, por un lado presenta un teclado virtual desplegable que introduce un nuevo carácter cuando detecta que detenemos la mirada en el, o cuando cambiamos la dirección de la mirada sobre una tecla, además de

contar con las funcionalidades de predictor de palabras (con soporte para Inglés, Francés y Alemán de momento), espaciado automático y conversor a voz, lo que permite a personas con este tipo de discapacidades comunicarse y mantener conversaciones. Además, aunque no es el objetivo principal de la aplicación, el teclado virtual también es compatible con teclados tradicionales, lo que permite utilizarlo solo con un ratón en caso de que no contemos con una cámara de seguimiento de ojos a nuestra disposición.

Por otro lado, el sistema permite ocultar el teclado virtual y controlar el cursor, contando con las mismas funcionalidades con las que contaría un usuario que utilizara un ratón de forma normal. Además de todo esto, permite al usuario regular opciones de la pantalla como el brillo, o deshabilitar temporalmente el dispositivo para permitir la lectura sin que el programa detecte entrada de ratón o teclado.

El funcionamiento en cuestión se basa en la técnica descrita previamente, según la cual rastreamos la posición de la mirada en la pantalla en todo momento, considerándose que el funcionamiento consigue una buena velocidad tanto de escritura como de navegación.

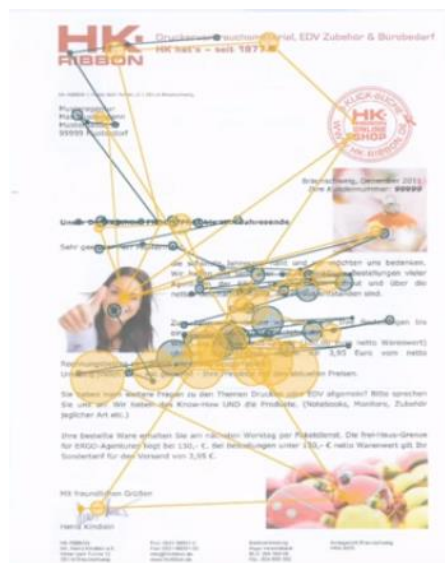
Actualmente este dispositivo solo es compatible con Windows, ya que se apoya en librerías del propio sistema para su correcto funcionamiento, especialmente para mantener el dispositivo en pantalla en todo momento, sin embargo el propio desarrollador ha comentado que se está investigando la forma de poder portarlo a sistemas operativos basados en Linux.<sup>21</sup>

### **SMI BEGAZE.**

Es un software que analiza lo que previamente se ha grabado desde un hardware de eye tracker. Con este programa podemos analizar desde un video a una página web para después mostrar mediante un mapa de calor o mediante un punto sobre una interfaz. El proceso a seguir al utilizar Begaze es el siguiente: Primero diseñamos desde las propiedades y las variables que queremos analizar, así como la calibración del mismo (con el software SMI experiment center).



Después utilizamos un hardware para grabar y recopilar información (SMI Iview X), y por ultimo utilizamos este software para mostrar los resultados de la grabación y poder observar el resultado de diferentes maneras, mediante representaciones animadas sobre la interfaz o mostrando las medidas utilizadas para medir el eye tracking.



## **SMI EXPERIMENT CENTER.**

Este programa nos permite diseñar un software para representar el eye tracking. El SMI Experiment Center crea, planifica y ejecuta un experimento en un entorno de ejecución, para conseguir esto se complementa con el SMI BeGaze para mostrar los resultados y con el SMI iView X para recopilar información. Este software cuenta con algunas características tales como: una interfaz de usuario para manejar distintas funciones como el control en directo de la mirada o el anticipo del estímulo, calibración integrada incluyendo la calibración de objetivos animados, diversas opciones para recibir la información (texto, video, imágenes etc.) u ordenar la información recogida para ser representados en un orden concreto elegido por el usuario.<sup>22</sup>

### **6.2 Representaciones estáticas del camino o ruta sacádica**

Esta forma de representar internamente la información recibida es muy similar a la descrita anteriormente, ya que registra la posición actual a la que mira el usuario, solo que no registra el rastro anterior que ha hecho la mirada hasta ese punto, sino que solo utiliza como información el punto actual al que se está mirando.

Se trata, por lo tanto, de un sistema muy similar a la representación dinámica. Sin embargo, el hecho de que no se tenga en cuenta el rastro de la mirada sobre la pantalla provoca que sea mas difícil interpretar el comportamiento que esta haciendo el usuario del dispositivo sobre el que aplicamos seguimiento de mirada. Sin embargo, al igual que la representación dinámica, normalmente se toma como dispositivo de entrada de apoyo algún tipo de cámara de seguimiento de mirada, lo que requiere de cierta calibración previa para la utilización de esta tecnología.

El sobrenombre de ruta sacádica de esta forma de representar la información proviene de que internamente, al explorar una escena con los ojos, estos no se mueven suavemente sobre ella, sino mediante saltos de entre 30 y 120 ms denominados 'sacadas', siendo la ruta sacádica aquella que seguirían los ojos si uniéramos todos los saltos registrados.

Debido a lo ya mencionado, esta estructura representativa tiene menos utilidades prácticas ya que, si bien todas las funcionalidades de la representación estática se pueden emular con representación dinámica, en el caso contrario no ocurre lo mismo. Esto provoca que ciertas utilidades, como utilizar los cambios de ruta para agilizar la entrada en un teclado virtual, no sean válidas, ya que no se puede garantizar que se registre el cambio de ruta con precisión suficiente para ello.<sup>23</sup>

Algunos de los softwares que implementan esta estructura son los siguientes:

**Tobii EyeX Controller.**



Se trata de un software desarrollado por la empresa Tobii, la cual se trata de una compañía de origen sueco centrada en el desarrollo de tecnologías de seguimiento de ojos. Su producto principal es este software en cuestión, el Tobii EyeX Controller y ha sido diseñado para funcionar únicamente con la cámara Tobii EyeX, de la misma empresa. Pese a que el funcionamiento interno de este software se basa en la representación estática de la pantalla, la propia cámara es compatible con modelos de representación dinámica, siendo compatible con softwares como OptiKey.

El objetivo de este dispositivo es, en palabras de sus creadores, el de sustituir al tradicional ratón al proporcionar una herramienta que permita moverse a través de las interfaces de forma más ágil e intuitiva.

El sistema se centra en el control del ordenador actuando a modo de ratón, apoyándose únicamente en la presencia de un teclado a fin de proporcionar las mismas funcionalidades que un sistema de control tradicional, pero de forma más rápida. De esta manera, el dispositivo permitiría que, con el apoyo del ratón para ciertas tareas tales como arrastrar o mover la rueda del ratón, pudiéramos hacer exactamente las mismas funciones con la mirada.

Además, al registrarse la posición de la mirada se pueden implementar otras funcionalidades, como por ejemplo en el campo de la usabilidad el análisis de las interfaces para detectar que elementos son más visualizados.

Por otro lado, el dispositivo cuenta con la capacidad de detectar si el usuario está delante de la pantalla, para bajar la intensidad del brillo en caso contrario. Sin embargo, pese a todas las utilidades para la navegación con interfaces, el principal campo de este dispositivo es la integración del seguimiento de ojos con los videojuegos.

Por último, como ya se ha mencionado, el dispositivo centra su principal objetivo en la integración el seguimiento de ojos con los videojuegos, ya que cuenta con integración en distintos motores gráficos como Unity o Unreal Engine, así como con funcionalidades en videojuegos clásicos como Assasins Creed o Starcraft. Para estos juegos, el dispositivo no implementa un control únicamente con eyetracking, sino que se limita añadir ciertas funcionalidades o sustituir algunas tareas realizadas con el ratón, para realizarlas únicamente con la mirada y el apoyo de alguna tecla.<sup>24</sup>

### **EyeTracking.**



EyeWorks, de EyeTracking, Inc., es un software de seguimiento ocular desarrollado por investigadores para investigadores. Además, es el software que presenta mayor compatibilidad con diferentes dispositivos de eye-tracking, entre los que se encuentran Arrington Research, EyeTech, LC Technologies, Mirametrix, Seeing Machines, SensoMotoric Instruments, SR Research y Tobii Technology.

Este software cubre todos los aspectos de la investigación sobre seguimiento de ojos: desde el estudio del diseño hasta la recopilación de datos y el análisis. Es un programa

dinámico que, como ya se ha dicho, resulta compatible con la gran mayoría de dispositivos, pero además permite trabajar en varias pantallas a la vez.

El paquete de software de EyeWorks cuenta con varios programas: en primer lugar, EyeWorks Design es un programa intuitivo que permite presentar un alto rango de estimulación durante la recogida de datos, creando tests para los usuarios o participantes en el estudio. EyeWorks Design también incluye la muestra de secuencias de imágenes de alta calidad, vídeos, aplicaciones externas, preguntas y respuestas o escenarios y direcciones, todo ello para crear los tests de investigación deseados según el objetivo del estudio. De esta manera, este programa tiene múltiples usos dependiendo del campo al que se quiera enfocar la investigación: implementación de interfaces más usables, estudio de interés o marketing, pruebas oftalmológicas...

El método de representación de los tests realizados es la representación animada de un punto sobre la interfaz, y cada representación de datos de un ojo se hace por separado, traduciendo las observaciones en un conjunto de coordenadas de píxeles.

Por otro lado, EyeWorks Record es usado para tratar la colección de datos obtenida en un estudio y así mostrar los test de estímulos adecuados. Pero no solo permite la recogida de datos, sino que cuenta con varias características avanzadas, muchas de las cuales solamente son accesibles a través del software de EyeTracking, Inc. Incluye captura de los movimientos del ojo, los clicks del ratón y hasta el tecleo, además de grabar vídeo y audio de todas las sesiones de prueba. También permite la visualización en directo de los movimientos del ojo sobre la pantalla, la reproducción en stream de las pruebas y el guardado de fotografías de las sesiones con los participantes. Por último, entre las características avanzadas se encuentran la capacidad de grabar entrevistas durante el proceso de seguimiento de ojos, grabación de la escena y recopilación de datos multi-pantalla, y la renderización de la carga de trabajo de representación cognitiva en tiempo real.

Por último, el paquete de EyeWorks presenta el EyeWorks Analyze, un programa de recogida y análisis de datos con las herramientas necesarias para extraer toda la información necesaria de la investigación con los dispositivos de eye-tracking. Esta aplicación es capaz de generar una variedad de gráficos de datos diseñados para demostrar el comportamiento visual desde un participante hasta un grupo numeroso. EyeWorks Analyze además cuenta con las herramientas para exportar las grabaciones de uno o más sujetos. Pero este programa hace algo más que mostrar el comportamiento visual: lo cuantifica. Los datos incluyen posición, fijación, tiempo de observación, clicks del ratón, respuesta a preguntas y tamaño de la pupila, y todos ellos pueden ser analizados con el programa Analyze, además de que permite que los resultados sean exportados a cualquier paquete de análisis estándar para profundizar en el futuro del estudio.

A pesar de su destinación principal a la investigación y los estudios científicos, el software EyeWorks también está preparado para las demandas de diferentes áreas como

son la usabilidad web, el desarrollo de videojuegos, la publicidad, el cine o la televisión, los estudios médicos o la usabilidad de interfaces, entre otros.

Además, este software es el único en superar muchos de los obstáculos presentados en las investigaciones de seguimiento de ojos. La última versión de EyeWorks incluye el seguimiento de múltiples fuentes de vídeo, nuevos gráficos de renderizado de datos, opciones avanzadas de exportación de vídeos, representación del seguimiento de contenido animado y una interfaz simplificada del software de análisis.

La empresa desarrolladora de este software, EyeTracking, Inc., no solo lo ofrece a particulares y empresas, sino que cuenta con un centro de investigación abierto a solicitudes para realizar investigaciones en las que sea necesario realizar pruebas de seguimiento de ojos. Los estudios se llevan a cabo no solo en sus instalaciones, sino también de manera virtual desde otros puntos del planeta. En los laboratorios de la empresa cuentan con todo tipo de dispositivos de varias compañías, permitiendo añadir sistemas adicionales necesarios para la investigación, pero también entregan sistemas remotos de eye-tracking para investigaciones que no pueden realizarse en el mismo centro.

Actualmente, a pesar de ofrecer los dispositivos de muchas compañías con los que su software es compatible, se hayan trabajando en un hardware propio, FOVIO. FOVIO es un dispositivo portable de eye-tracking de última generación, creado por EyeWorks, Inc. en colaboración con Seeing Machines. Incluye el módulo de visualización múltiple compatible con las capacidades del software EyeWorks y una aplicación para trabajar no solo en pantallas de ordenador, sino también en portátiles, móviles, tabletas, dispositivos de reproducción musical e incluso en el coche. También cuenta con un SDK que permite una fácil integración en un software propio y un módulo de carga de trabajo cognitivo.





El módulo de carga de trabajo cognitivo, o Cognitive Workload, contiene el Índice de Actividad Cognitiva de carga de trabajo, patentada por EyeTracking, Inc., una métrica validada en investigaciones de expertos en varios campos diferentes. Esta métrica se basa en la medida de los cambios de la pupila como resultado de esfuerzos mentales, descontando el factor del reflejo ante la cantidad de luz. El Índice de Actividad Cognitiva es la culminación de tres décadas de investigación en el campo de la cognición.

El ICA es utilizado por investigadores de todo el mundo para conseguir una serie de objetivos en una gran variedad de contextos: medir el nivel de dificultad experimentado en un simulador, comparar la carga de trabajo a través de múltiples iteraciones de una interfaz, diagnosticar las características específicas de una tarea que se asocian a una alta carga de trabajo, optimizar los materiales de capacitación basados en una medida cuantificable de dificultad, identificar oportunidades para mejorar la facilidad de uso del sistema o demostrar las diferencias de carga de trabajos entre los grupos de usuarios.

En este momento, la compañía EyeTracking, Inc. se encuentra trabajando en la adaptación del módulo de carga de trabajo cognitivo al hardware de otras empresas con las que trabajan.<sup>25</sup>

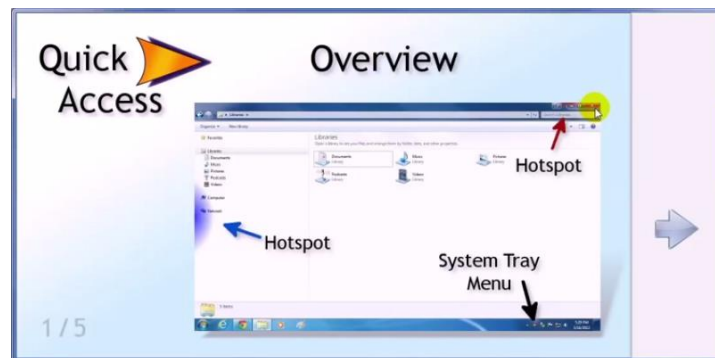
### 6.3 Mapas de calor

Los mapas de calor son gráficos en los que mediante un código de colores, se representan zonas concretas de una imagen en base a criterios como el número de clicks, más veces que se ha transitado por este punto, etc... En el caso del eyetracking, las imágenes usualmente representan donde ha mirado más el usuario durante un tiempo determinado de estudio.

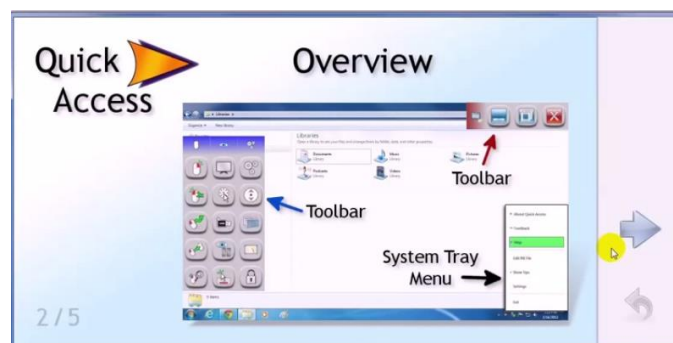
Las zonas más visitadas visualmente se representan con colores cada vez más cálidos (rojizos), y las zonas menos frecuentadas con colores fríos, como los azulados. Esto sirve sobretudo para herramientas de análisis visual de la atención, donde se quiere determinar cuáles son los elementos en los que se fija un usuario más al mirar un producto o web, o en dispositivos de seguridad vial, para saber dónde está la mirada del conductor a la hora de un accidente, por poner unos ejemplos.<sup>26</sup>

## QuickAccess.

Este software permite el control rápido y natural de programas en Windows con una interfaz basada en “Hot spot”. Se basa en la creación de 5 puntos (4 en las esquinas de la pantalla y uno en el centro) y se utilizan para tener acceso a los diferentes menús y teclados además de al movimiento del ratón, basta con mirar en la pantalla sobre uno de los “Hot spot”.



Implementa diferentes herramientas para navegar con total libertad por Windows. Como la opción de hacer scrolling mirando en la parte superior o inferior de un documento o una página web, pausar el movimiento del ratón para poder leer tranquilamente un documento, realizar un zoom en cualquier momento o compaginar el movimiento del ratón físico y del ojo. La ventaja de este software frente a otros de eye tracking viene dado por el movimiento más natural y rápido del ratón con la vista.<sup>26</sup>



### **QuickCapture.**

A diferencia de otros tipos de software de eye tracking que se tardan horas en dominar, QuickCapture es fácil de configurar y de utilizar, los archivos se guardan en un .CSV para ser analizados después. Este programa es idóneo para comprobar las zonas de interés de una imagen estática (ver en qué zona se han fijado más los usuarios), que partes de una página web son las más observadas etc. Este software se basa en detectar en qué posición (X, Y) se detiene más tiempo nuestra mirada para así recopilar información para después mostrarla mediante un mapa de calor, por ejemplo.

### **QuickKiosk.**

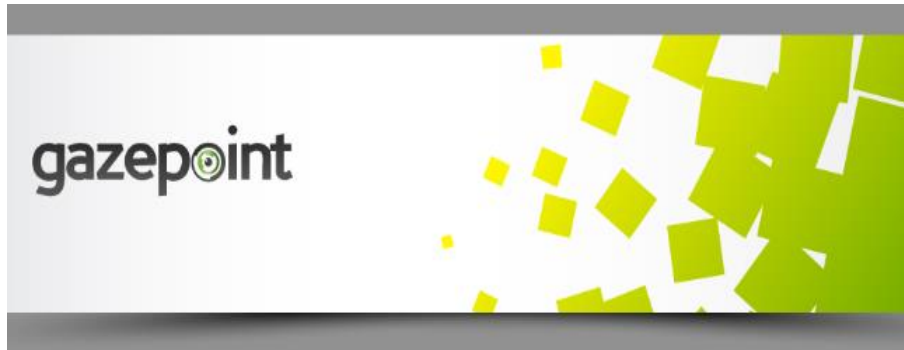
El siguiente software es utilizado en lugares como museos y se basa más en la exposición de cara al público, es una herramienta más interactiva y fácil de utilizar, así pues nos muestra a parte de la interfaz, también el procedimiento que sigue para detectar la zona donde estamos mirando. QuickKiosk ofrece una tecnología que nos ayuda, por ejemplo, a encontrar la manera de llegar a un determinado lugar, escuchar música o incluso jugar a algún juego.<sup>27</sup>

### **QuickLink.**

Este último programa sirve para que cualquier desarrollador cree su propio eye tracking personalizado, gracias a esto muchas empresas podrán implementar el eye tracking en sus productos con una API. QuickLink permite programar en muchos entornos, no solo limitarse a C++ y C#. La API incluye: La posición de la mirada fija en las posiciones X, Y que puede ser mostrada o no, La posición de la pupila, El diámetro de la pupila, El tiempo que se observa un determinado lugar o encontrar el ojo (su posición). Además viene con un proyecto de muestra de Visual Studio para aprender a usar QuickLink.<sup>28</sup> Este proyecto contiene una serie de archivos que nos muestran las distintas funcionalidades:

- Calibrate.cpp: Este contiene el proceso de calibración.
- DisplayImage.cpp: Contiene el proceso para conseguir la estructura de un dispositivo y mostrarla.
- Initialize.cpp: Contiene el proceso para conseguir que un dispositivo esté listo para ser usado.
- Main.cpp: Contiene el proceso para que comience el dispositivo y conseguir los datos.
- OpencvUtility.cpp: Contiene las funciones comúnmente diseñadas para funciones de otros archivos.
- Ql2Utility.cpp: Contiene una pequeña clase que ayuda a cargar la API

## **Gazepoint.**



Gazepoint es una empresa de dispositivos de seguimiento de ojos de última generación dedicada a varios campos tales como investigaciones académicas, desarrollo de videojuegos o asistencia de aquellos que sufren de alguna discapacidad física.

Nació en el 2013 y su tecnología se basa tanto en representaciones animadas de un punto sobre la interfaz como en mapas de calor.<sup>29</sup>

Inicialmente, Gazepoint desarrolló un software de representaciones animadas de un punto sobre la interfaz, que indican en qué punto ha fijado el usuario la vista a cada momento y dejan un pequeño rastro que señala los movimientos sacádicos previos. Dicho software está dedicado a contenido dinámico, como vídeos o juegos.

Uno de los ejemplos que Gazepoint nos muestra es su aplicación a la hora de jugar al Fruit Ninja, videojuego diseñado originalmente para tabletas (controles táctiles) por Half Brick. El sistema utiliza el sistema de representaciones animadas de un punto sobre la interfaz de manera que sigue el movimiento de ese camino creado y lo convierte en las hojas (el arma que se usa en el videojuego como herramienta para cortar la fruta, el objetivo).

Con este ejemplo anunciaron la incorporación de una API que permite crear aplicaciones de ocio basadas en el seguimiento de ojos, permitiendo a los desarrolladores crear videojuegos para sus dispositivos.



En 2014 presentaron el primer videojuego basado al 100% en el eye-tracking, tanto su dinámica como su narrativa, llamado Focalpoint Platform. Como su nombre indica, es un juego simple que consiste en recorrer caminos y plataformas que se intercambian en una cuadrícula según dónde se dirija la vista, y de esta manera se conduce al protagonista a través de puertas hacia el objetivo. Lo atractivo de este juego, a pesar de su sencillez, es la sensación de estar controlando al personaje con el pensamiento en vez de con la mirada, creando una experiencia de jugabilidad nunca vista.

Además, añadieron el Gazept Analysis, un software de análisis de uso sencillo que puede producir mapas de fijación de la mirada, información que indica el recorrido visual que hace el usuario sobre la interfaz y se puede aplicar a usos como diseño de nuevas interfaces optimizando su usabilidad, estudios de marketing o investigaciones neuro-psicológicas. Además, el programa de Analysis permite realizar capturas de pantalla, que permite capturar cualquier contenido mostrado en la pantalla, a la vez que graba los datos del mapa de fijación de la mirada.

Después de varias versiones, el equipo anunció la incorporación del sistema de representación de los mapas de calor, mucho más rápido y útil para interfaces estáticas y navegar por páginas web. Este método señala los lugares en los que el usuario ha fijado la vista con mayor frecuencia, calificando dichos puntos como “zonas calientes”, de ahí el nombre. El software actualizado de Gazept respecto a los mapas de calor permite representar tanto todas las partes de la imagen que han sido observadas como los puntos más vistos, permitiendo ocultar aquellas zonas de menor fijación y permitiendo diferentes métodos de análisis.

En la última versión del software, Gazept V3.1.0 sacada el 20 de Octubre de 2015, implementa la captura del cursor en el modo de captura de pantalla para permitir el estudio de los clicks con el programa Analysis. También añade la capacidad de captura para simular los botones izquierdo y derecho del ratón mediante direcciones: arriba es

izquierda y abajo, derecha. Esta simulación también se captura en el modo de captura de pantalla mostrando las acciones de los botones izquierdo y derecho en colores diferentes.

En cuanto al hardware, Gazepoint cuenta con su propio equipo de eye-tracking a la venta, un dispositivo que se coloca bajo la pantalla del ordenador (cuenta con un adaptador para portátiles), con una precisión de 0.5 y 1 grado de ángulo visual. Su precio es de 495.00\$ e incluye el software Gazepoint Analysis, la demo del videojuego Fruit Ninja y la API de desarrollo, así como cables USB y un trípode.



Actualmente solo dan soporte a Windows 7, 8.1 o 10, pero Gazepoint está trabajando para, en un futuro, poder presentar las versiones de Linux e iOS.

#### **ASL Results Plus GazeMap (GM).**

Es un software de análisis de datos, y el más completo que presenta la compañía. Predispone análisis de datos para estudios estáticos, como participantes estáticos mirando a un monitor, o personas con un dispositivo móvil. Permite realizar mapas de calor, Gaze Paths, AOIs (Areas of interest), y coleccionar información a voluntad entre una amplia selección.

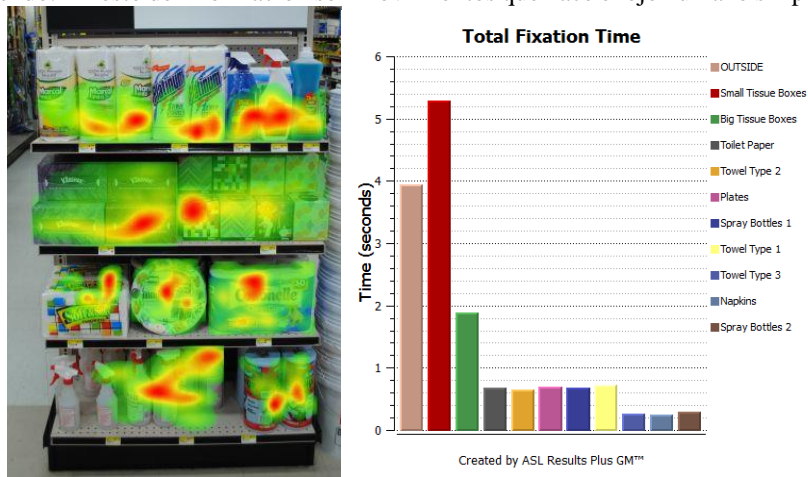
Marcando las áreas de interés, el software permite acoplar todos los datos recogidos de todos los participantes en cualquier estudio, y analizarlos de tal manera que compila todos los datos en un archivo maestro, y a partir de él se obtienen el resto de datos.

También reprime el análisis de fotograma a fotograma de imágenes estáticas, ya que todo análisis de EyeTracking realiza un video mostrando el seguimiento de la mirada, pero como ha de acoplarse el video del seguimiento de ojos (Que suele ser bastante

pesado porque tiene que capturar fijaciones y las sacadas de los ojos que se producen a un ratio de 30ms de media) con el sacado por la cámara frontal que muestra el objetivo, por lo que los archivos suelen pesar mucho. En imágenes estáticas, la información que proporciona la cámara frontal es siempre la misma, por lo que el software reduce esta carga acoplando una imagen continua para todo el video, sobre la que se superpone los datos recogidos por la cámara que sigue las pupilas.

En realidad es el más variable del mercado, porque permite capturar información EyeTracking tanto si el participante se está moviendo libremente o no, o si el objeto de análisis es uno estático o en movimiento. Además, con solamente un click permite el cambio a mapas de calor, Gaze Paths, los datos puros sacados de cada participante, o los datos de las áreas de interés.<sup>30</sup>

Recoge los datos válidos y los reduce solamente a las fijaciones, pues es lo que importa realmente a la hora del estudio del interés de un participante sobre lo que está viendo. El resto de información son movimientos que hace el ojo humano sin propósito.



## 6.4 Mapas de zonas ciegas

Este sistema de representación es sólo una variante de los mapas de calor. En éstos, se representan solamente las zonas de la imagen, video o web en las cuáles el usuario ha mirado más. Realmente es una versión simplificada de los mapas de calor, donde las zonas más atendidas por el usuario se van “revelando” en la imagen, y las menos vistas se oscurecen o salen totalmente oscuras y negras.

## 6.5 Otros

### **Pygaze.**

Es un software que actúa como un envoltorio alrededor de varios paquetes ya existentes como pueden ser Sensomotoric Instruments iViewX API (SDK que proporciona una API con funciones de nivel alto y bajo, documentación y código muestra) o PsychoPy (Paquete software libre utilizado para psicología experimental y experimentos de neurociencia). Lo que Pygaze añade a estos paquetes es una sintaxis uniforme y fácil de utilizar, además de algunas funcionalidades específicas. Este software está destinado principalmente a personas con habilidades mínimas a la hora de programar en Python 2.X.

Este software utiliza como base para programar Python por varios motivos:

- 1- Porque es un lenguaje de programación totalmente gratis y además utiliza una sintaxis que favorece que el código sea legible.
- 2- El código fuente está disponible, lo que quiere decir que sabemos exactamente que hace.
- 3- Portabilidad, Python correrá sobre prácticamente todas las plataformas y ordenadores, favoreciendo así su uso.

Pygaze ofrece una plataforma que es más fácil de utilizar que las demás alternativas existentes por el momento cuando a creación de software se refiere. Todo puede ser manejado por PyGaze, desde el estímulo hasta la comunicación del seguimiento del ojo. Obviamente hay otro tipo de software que funciona mejor que este pero requeriría más esfuerzo y habilidades a la hora de programar, cosa que con PyGaze no es necesario ya que es bastante simple. Aparte, este software viene con alguna funcionalidad añadida. Por ejemplo, proporciona una puesta en práctica de un algoritmo de detección del Saccade (es el movimiento rápido y simultaneo de los ojos entre dos fases a la hora de mirar en una misma dirección).

Otra de las características es que no hay que cambiar el código a la hora de cambiar de hardware, es decir, que si dos personas utilizan un hardware diferente para capturar el seguimiento del ojo, no hay problema, el código base es el mismo. Además PyGaze puede ser utilizado desde cualquier sistema operativo ya que funciona perfectamente en Windows Linux y Mac OSX.

Este software puede ser utilizado por cualquier persona pero está pensado para programadores principiantes. El paquete de proyectos es simple y la funcionalidad de dichos paquetes es muy grande. Si se es un programador experimentado ya, la sintaxis de este software permite programar muy rápidamente.



Algunos de los plug-ins de código abierto de PyGaze son:

- `Pygaze_init`: Inicializa PyGaze. Es un plug-in insertado en el principio del código normalmente.
- `Pygaze_drift_correct`: Implementa un procedimiento de corrección de flujo.
- `Pygaze_Start_recording`: Pone el modo grabar.
- `Pygaze_stop_recording`: Para el modo grabar.
- `Pygaze_wait`: Pone el procedimiento en pausa hasta que ocurre algo, como un saccade.
- `Pygaze_log`: Registra variables experimentales y el texto arbitrario.

Ejemplo de eye tracker usando PyGaze:

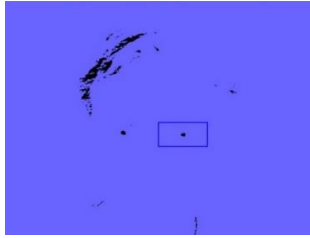
En el siguiente ejemplo se expone un eye tracker en el que el software utilizado es, evidentemente, PyGaze y el análisis de la imagen está hecho usando PyGame (módulos de lenguaje Python para crear programas multimedia o interfaces gráficas de usuario entre otros).

El funcionamiento es el siguiente:

Cada imagen que la webcam produce (30 cada segundo) es analizada para encontrar bits negros que se encuentren en ella. Se busca esos bits en concreto porque normalmente las pupilas son de las partes más negras de una imagen. Todo depende del entorno en el que se capte la imagen por lo que hay que decirle al software que es considerado oscuro. Lo que hace el software es mirar todos los píxeles de cada imagen y todos los que no considera negro (dependiendo del umbral que hayamos establecido antes) los “descarta” por lo que nos queda una imagen en negro y azul, donde los pixeles azules son los que no cumplen las condiciones y los negros sí.



Aun así el software puede confundirse y marcar otras zonas negras como el pelo por lo que tenemos que determinar un área específica alrededor de la pupila.<sup>31</sup>



### iMotions

iMotions es una empresa de Software de alta tecnología, fundada en 2005, que se encarga del desarrollo de eyetracking y cálculos biométricos (respuestas biológicas del cuerpo medibles) para estudios estadísticos de atención y respuesta ante estímulos visuales.<sup>32</sup>

Además de toda la gama de tecnologías y sensores que disponen para la detección de respuestas biométricas, utiliza en sus sistemas componentes eyetracking para el desarrollo de cálculos estadísticos. Trabaja conjunto a compañías de desarrollo de hardware eyetracking como ASL (Applied Science Laboratories), Tobii, GazePoint, Eye-Tech, SMI, entre otras.

Presenta a sus clientes herramientas hardware y software distintos para distintos tipos de análisis: campañas publicitarias, anuncios, carteles, imágenes, webs, etc...

Para ello, recoge los datos con las siguientes herramientas:

Sistemas invasivos: Gafas eyetracking. Utiliza principalmente 3 tipos de gafas, 2 distribuidas por Tobii (Tobii Eye Tracking glasses y Tobii Eye Tracking glasses 2) y las gafas distribuidas por ASL.

Las gafas de ASL, por ejemplo, consisten en dos cámaras de alta definición, una grabando lo que el objetivo está viendo, y la otra el movimiento ocular. Luego, se sincronizan ambas imágenes en un solo archivo de video, que analiza los puntos de atención del participante según el mapeado que se precise.

Sistemas no invasivo: Monitores y sensores Eye-tracking. Comparan la información en pantalla, la distancia del objetivo, y hacia donde se dirige el foco del ojo. Sirven sobre-todo para análisis de áreas de interés de materiales web y multimedia.

Y los representa utilizando estos distintos tipos de mapeados, para diferentes tipos de estudio:

**Áreas de interés:** Los usuarios de los productos EyeTracking y los analistas pueden seleccionar áreas de interés que desean que sean analizadas. Estas áreas tienen unos contabilizadores de datos sobre la atención y el interés que genera en el usuario.<sup>33</sup>

Este tipo de análisis es un subderivado de los mapas de calor obtenidos de la imagen, y del análisis de ruta (Scan Path). Los datos de análisis suelen variar dependiendo de la empresa que realice el mismo, pero teniendo en cuenta que los elementos importantes son la sacada, el movimiento de los ojos y la fijación en un punto, los datos suelen ser:

- Primera fijación: muestra cuánto ha tardado el sujeto (en milisegundos) desde que empezó el experimento en fijarse en el área de interés. Comparando con las demás áreas se puede obtener cuál ha sido el área más llamativa a primera vista.
- Tiempo de estancia: Tiempo medio que la mirada se ha quedado en el área de interés.
- Primera fijación: Cuánto ha tardado el ojo en fijarse en la información en el área de interés desde la primera vez que ha mirado
- Fijación media: Número medio de milisegundos que ha estado el ojo fijándose en el área de interés
- Revisitas: Número de veces que ha vuelto el ojo a mirar dentro del área de interés.
- Número de fijaciones: Número de veces que el usuario se ha fijado en el área de interés.

Video:

[http://www.sandsresearch.com/assets/AOI\\_Mass\\_General\\_Runner\\_converted.mp4](http://www.sandsresearch.com/assets/AOI_Mass_General_Runner_converted.mp4)

**Repetición de la mirada (Gaze Replay):** muestra el camino recorrido por la mirada y el número de fijaciones de un solo individuo durante toda la exposición del video. Al final del video lo que sale es el resultado final de todas las fijaciones y caminos recorridos, que es el recorrido final de la mirada (Gaze Path). Los círculos mostrados aumentan conforme el tiempo de fijación del individuo aumenta en esa zona exacta.

URL de un video de ejemplo: <https://youtu.be/kolpPHh6520>

**Visualización dinámica (Dynamic visualization):** Cuando recogemos datos de muchos participantes a la vez, es interesante evaluar cuáles han sido los puntos que han generado mayor interés dentro de un video, o imagen, o exposición a cualquier tipo de medio visual.

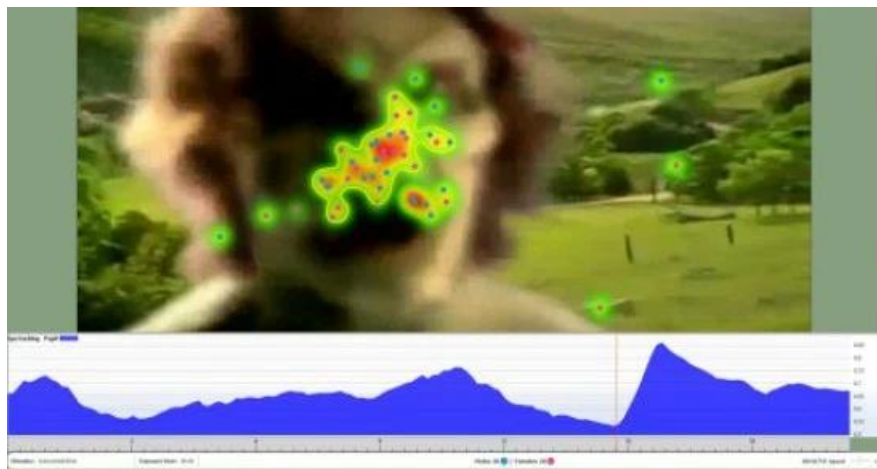
Por ejemplo, ante la exposición de un video, se puede saber qué miraban los participantes durante el mismo, y qué zonas generaban mayor interés. Si una zona estaba concentra mayor atención que otra, se cercan dichas zonas y se colorea su interior, como si de un mapa de calor se tratase.

En el siguiente video de ejemplo se expone cómo funciona para una población segregada por sexos, ante la exposición de un anuncio de mentos analizado con el software de iMotions:

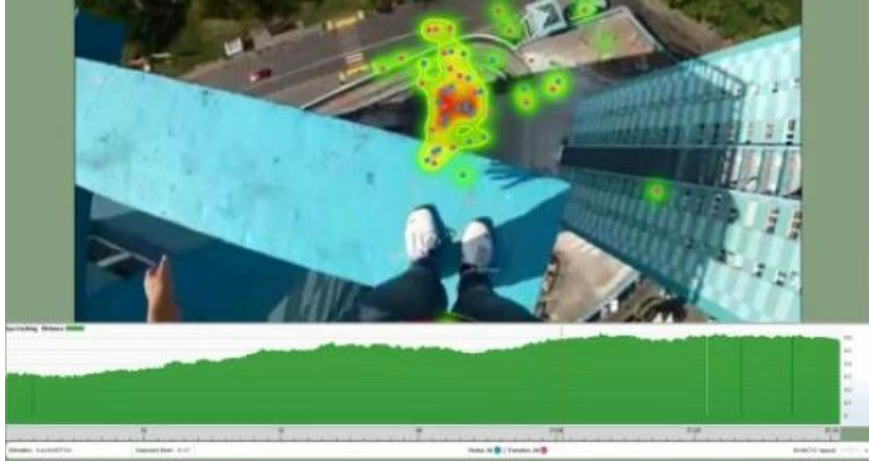
<https://youtu.be/AEa8sFFU4a8>

**Análisis métrico del tamaño de la pupila (Pupil size Metric):** sirve para analizar el cambio del tamaño de la pupila y qué estaba viendo el usuario en el momento de visualizar un video o un elemento visual que varía con el tiempo (webs interactivas, videojuegos, animaciones). Delata el interés, atención o emoción que provoca en el usuario aquello que está visualizando en el momento.

En la siguiente foto se puede apreciar el cambio acelerado del tamaño de la pupila cuando aparece la cara que da miedo. Cada punto (En total 52, 26 hombres y 26 mujeres) representa a una persona. Las zonas rojas indican donde se produjo el foco de atención y el mayor aumento de pupila.



**Análisis métrico de la distancia (Distance Metric):** analiza la variación de posición real de los ojos del usuario analizado. Este análisis sirve para medir cómo se mueve el sujeto en función de lo que está viendo. En el ejemplo, los usuarios se alejan del video al ver la posible caída, por la sensación de peligro (Se alejan del peligro potencial, aunque no sea real).<sup>34</sup>



## 7 Aplicaciones

Como ya hemos visto anteriormente, el seguimiento de la mirada ha sido un campo de estudio durante siglos, sin embargo no ha sido hasta hace apenas unas décadas que se empezaron a desarrollar tecnologías y técnicas capaces de rastrear la posición de la mirada de un usuario sin requerir de la asistencia externa de un observador, o de la grabación y estudio posterior de las distintas posiciones que ha tomado la mirada a lo largo del tiempo.

Es por ello que las distintas aplicaciones posibles para el eyetracking aun no se han desarrollado por completo, ya que se trata de una tecnología en proceso de crecimiento, cuyo uso aún no se ha estandarizado, por lo que no se han explorado aun las distintas opciones que puede llegar a ofrecer.

Sin embargo, de entre los distintos dispositivos ya existentes si que podemos distinguir sus potenciales aplicaciones en dos tipos.

Por un lado, las aplicaciones centradas en el control de un dispositivo electrónico, normalmente un ordenador, sustituyendo o apoyando los medios de entrada tradicionales como el ratón o el teclado.

Dentro de estas utilidades podemos encontrar dos grupos de aplicaciones claramente distinguidos. Por un lado, las aplicaciones centradas en ayudar o servir de soporte a personas con algún tipo de discapacidad o enfermedad. Para ese tipo de personas, las aplicaciones prácticas del seguimiento de ojos suelen servir tanto para facilitarles la

utilización de un ordenador, como para, con la ayuda de un ordenador, servir de soporte comunicativo a estas personas. El ejemplo más popular de este tipo es el del científico Stephen Hawkins, el cual, pese a no utilizar un sistema basado en el seguimiento de ojos, su sistema ha servido de inspiración para el desarrollo de esta tecnología aplicada a enfermos de dolencias con resultados similares al suyo en el paciente.

Adicionalmente, dentro de las aplicaciones médicas de este tipo de tecnología, cabe destacar el uso en la detección de enfermedades y dolencias, especialmente en las visuales, pero también se ha abordado su utilización en otros campos, como puede ser en la detección del déficit de atención o de la hiperactividad, donde se ha demostrado que puede servir como complemento de las técnicas tradicionales, sobretodo a la hora de detectar tempranamente estas dolencias, ya que permite analizar la posición de la mirada a fin de llegar a conclusiones en edades tempranas, antes de que se puedan realizar otro tipo de pruebas en niños.

Además, y aun dentro de aplicaciones centradas en el control de ordenadores, también existen las aplicaciones cuyo objetivo no es el de sustituir los dispositivos de entrada tradicionales, o al menos no en su totalidad, sino, ayudándose en el ratón o en el teclado para ciertas funcionalidades, dejarle otras al rastreo de la mirada para agilizar ciertos procesos, como puede ser la navegación. Un campo interesante que apenas ha sido abordado pero ha crecido recientemente dentro de este tipo de utilidades son las aplicaciones de eyetracking al campo de los videojuegos, donde más que sustituir los controles tradicionales se trata de agilizar ciertos procesos como la navegación por menús o incluso el apuntado.

Por otro lado, el otro gran campo de aplicaciones que se ha explorado para esta tecnología es el de la usabilidad y el marketing, ya que en estos campos se suele utilizar este tipo de tecnología para el estudio de las posiciones que toman la mirada de los usuarios a lo largo del tiempo.

Esto, aplicado al campo de la usabilidad, tiene especial relevancia cuando se realiza la denominada como prueba de usabilidad, en la cual se trata de analizar la utilidad de una interfaz cuando un usuario nuevo trata de aprender a utilizarla. Es por ello que cobra especial relevancia el estudio de la mirada, ya que proporciona a los diseñadores web el mapa de calor o el mapa de zonas ciegas (según cual haya sido la técnica de representación de la información escogida) resultante de la interacción, lo cual permite ver si existen 'puntos de atención' no deseados, o al contrario, la atención de los usuarios se focaliza donde se esperaba.

Este método, en contraposición de los tradicionales, como podían ser el estudio de las interacciones, aportan un tipo de información distinta, ya que se miden las posibles posiciones sobre las que un usuario puede centrar su atención antes de mirar hacia los objetos de la pantalla con los que va a interactuar.

Muy relacionado con este aspecto se encuentra, ya en el campo de la publicidad, el estudio de los anuncios integrados en la navegación web, ya que permite elaborar un mapa de calor o de zonas ciegas el cual mida la atención que le preste cada usuario a estos. De esta forma es posible cuantificar la cantidad de usuarios que ve un anuncio y aún así decide continuar su navegación normal, obviándolo, en comparación con la cantidad de usuarios que simplemente no presta atención de los mismos.

Gracias a esto es posible aplicar este tipo de técnicas al denominado “Visual Merchandising”, donde se estudia cómo situar adecuadamente un producto para su correcta difusión. Además, si bien tradicionalmente la publicidad se ha evaluado según encuestas, al conocer que posiciones de un anuncio o un producto final atraen más la atención es posible mejorar el posicionamiento del mismo mejorando o potenciando estos aspectos.

Este tipo de publicidad, además de en la navegación web, también está en proceso de ser aplicada al estudio de la publicidad por televisión, así como en el cine, por todos los beneficios mencionados anteriormente.

Por último, y dentro de este campo, es también llamativa la aplicación sobre material impreso, especialmente en periódicos para medir la publicidad, así como en otro tipo de material, especialmente en manuales de instrucciones que acompañen a productos tradicionales. En estos últimos casos se utilizan este tipo de técnicas para medir la colocación de la información, y analizar si el usuario focaliza la misma en las partes deseadas y en el orden correcto, o en cambio se deberían colocar las mismas en un orden distinto a fin de conseguir un mejor proceso de aprendizaje del usuario.

Sin embargo, cabe destacar que una de las principales dificultades con las que se encuentra este tipo de tecnología es la dificultad de analizar e interpretar los resultados obtenidos, ya que se duda de hasta qué puntos estos pueden ser determinantes en el estudio de la usabilidad y del marketing, lo que generalmente requiere una persona con grandes conocimientos de psicología cognitiva para extraer el verdadero significado de los estudios realizados. Sin embargo, es notable destacar el considerable aumento en los últimos años de estudios realizados bajo o con la ayuda de esta técnica, lo que deja entrever que en los años venideros se producirá un aumento y normalización en la utilización del seguimiento de la mirada en los campos de la usabilidad y el marketing.

Finalmente, una última aplicación fuera de estos dos grandes campos de uso del seguimiento de la mirada es el del autoenfoco de las cámaras, donde se pretende conseguir que, al conectar una videocámara a un dispositivo de eyetracking ésta detecte cuando el usuario mira a la misma o a otra dirección para realizar autoenfoco.<sup>35</sup>

## 8 Opinión crítica

Dentro de los distintos apartados que se ha explorado sobre el seguimiento de la mirada hemos podido comprobar que se trata de una tecnología muy innovadora, ya que aunque su concepción inicial se remonta a épocas muy tempranas de la informática, no ha sido hasta recientemente que se ha promulgado la aparición de cámaras y softwares capaces de realizar el rastreo de la mirada con precisión, además de que se puede considerar que se trata de un tipo de tecnología en una fase muy temprana de utilización a nivel general.

Sobre sus aplicaciones prácticas, consideramos que la más desarrollada y con un mejor impacto en el usuario de todas las existentes en el momento se trata de el uso del eyetracking para la asistencia tanto electrónica como comunicativa para personas con discapacidades o enfermedades degenerativas, como es el caso de los enfermos de ELA.

Sin embargo, pensamos que otras aplicaciones como la utilización del seguimiento de la mirada únicamente como apoyo a los sistemas de entrada tradicionales, o especialmente en el campo de los videojuegos, cuentan con aplicaciones cuestionables, donde en muchos casos no se gana ninguna utilidad por utilizar este tipo de tecnología, sino que simplemente se delegan ciertas funciones de los controles tradicionales en este tipo de tecnología, lo que normalmente no justifica en el usuario la inversión a realizar necesaria para adquirir un dispositivo de este tipo simplemente por delegar algunas acciones.

Es por todo ello que, especialmente en los videojuegos, donde las funcionalidades que se le añade a un producto por contar con soporte para eyetracking son prácticamente nulas, pensamos que aún queda mucho para avanzar para conseguir una experiencia de usuario que haga plantearse la compra de una cámara que nos permita utilizar esta tecnología.

Luego, en el campo de la usabilidad y el marketing, la utilización de técnicas de seguimiento de la mirada ha demostrado ser de apoyo en el estudio de estos campos. Sin embargo, cabe destacar que existen una serie de inconvenientes en la realización de estos estudios, ya que se ha demostrado que es muy difícil sacar datos concluyentes partiendo únicamente de los datos recogidos por este tipo de tecnología, por lo que para garantizar un resultado fiable en este tipo de investigaciones o estudios se requiere la presencia tanto de un experto que coteje los datos obtenidos, como de otros medios de estudio para realizar las pruebas de usabilidad o marketing oportunas.

Por todo esto, creemos que el desarrollo del eyetracking en este campo no se expandirá rápidamente a no ser que se solucionen o al menos se avance en los inconvenientes aquí descritos, pese al constante aumento anual de estudios realizados apoyándose en esta técnica.



Además, uno de los campos donde aún falta por desarrollar esta tecnología es en los distintos problemas derivados de las personas con problemas de visión, ya que al utilizar este tipo de aplicaciones no se consigue normalmente el resultado óptimo deseado, por lo que si se desea que aumente la presencia y la exposición del eyetracking pensamos que en primer lugar se deberían subsanar estos inconvenientes.

Por otro lado, aunque podemos considerar que es una tecnología que en los últimos años ha crecido ampliamente tanto con respecto al hardware presente como en el software relacionado del mismo, aún quedan ciertos aspectos de optimización que se deberían subsanar para poder considerarlo una tecnología aplicable para el público general.

En primer lugar, el campo donde pensamos aún queda más por desarrollar esta tecnología es en los algoritmos de corrección que facilitan la comunicación entre el sistema operativo y los drivers de los aparatos de hardware que captan la posición de la mirada en todo momento.

Esto se debe a que uno de los principales inconvenientes de esta tecnología es que al registrar continuamente las 'sacadas' del ojo, se generan grandes cantidades de datos de mucho peso, lo que dificulta mucho su tratamiento. Es por ello que, o bien se optimizan los algoritmos que permitirían un manejo más eficaz o el seguimiento de ojos no terminará de explotar, al contar con suficientes inconvenientes a nivel computacional como para que los desarrolladores no apuesten por este tipo de tecnología para sus productos.

Otro de los campos a mejorar que supondría un gran salto cualitativo y el cual pensamos debería realizarse para poder llevar este tipo de tecnología al usuario medio y que sea capaz de competir con los dispositivos de control tradicionales es la mejora en los sistemas de captación, que permita mayores grados de libertad en el posicionamiento de los usuarios frente a la pantalla, ya que obligar a los mismos a colocarse en un campo muy limitado de posiciones frente a la misma puede tener sentido si se va a realizar un breve estudio, pero para el uso prolongado de un ordenador puede resultar incómodo basarse en un sistema de control que obliga a los usuarios a colocarse a una distancia y ángulo exactos con respecto a la pantalla, por lo que si se busca que el público general acceda a estos dispositivos, los hardwares de captación de la mirada deberían previamente subsanar estos aspectos.

Por último, hemos observado que en artículos de revistas científicas y tecnológicas donde se hablan de las nuevas aplicaciones del eyetracking o del futuro de esta tecnología ya se consideraba hace aproximadamente 10 años que el seguimiento de ojos contaba con un gran potencial de futuro, y en palabras de sus autores, que se trataba de una técnica a punto de explotar.

El hecho de que tras 10 años aún no se haya extendido esta tecnología entre los usuarios medios, ni siquiera al nivel de empezar a darse a conocer, nos hace dudar del

verdadero crecimiento de estos dispositivos que, pese a contar con aplicaciones prácticas interesantes y un crecimiento de su utilización dentro de estos campos, no parece que en un futuro cercano se vaya a extender el control a través de la mirada al usuario medio, pareciendo en su lugar que se limitarán las aplicaciones a aquellas donde esta tecnología realmente es útil y marca la diferencia, y es en la asistencia a personas con enfermedades o discapacidades que les imposibiliten otra forma de control.

## **9 Conclusión**

Tras haber probado métodos distintos de seguimiento ocular durante los años de investigación y haber pasado de los estudios destinados al proceso de lectura hasta la interacción directa entre computadora y persona, pasando por el análisis de marketing y el estudio de los procesos cognitivos, pero viendo su poco interés entre el usuario medio, se puede deducir que esta serie de dispositivos queda destinada a equipos de investigación y a usuarios con discapacidades que no tienen otra manera de usar los controles ofrecidos por los ordenadores personales.

Aún así, el campo médico del eye-tracking todavía está falto de investigación y no han sido presentados dispositivos realmente accesibles para los clientes, así que, si no se sigue profundizando en ese uso del seguimiento de ojos, quedará muy lejos del alcance de aquellos que realmente lo necesitan, cuando es un elemento muy útil que permitiría a miles de personas poder utilizar ordenadores, móviles, tabletas, televisiones y, quién sabe, incluso coches.

A pesar de encontrarnos en la década en la que la investigación sobre el eye-tracking ha sido más explotada, todavía queda un largo camino que recorrer para hacer de ello algo funcional más allá de una simple herramienta de análisis.

## 10 Bibliografía

[Visual and Manual Control for Human-Robot Tele-operation](#) (Andreas Duen-  
ser, Martin Lochner, Ulrich Engelke, David Rozado), In , 2015.

[An Open Source Eye-gaze Interface: Expanding the Adoption of Eye-gaze  
in Everyday Applications](#) (Craig Hennessey, Andrew T. Duchowski), In Pro-  
ceedings of the 2010 Symposium on Eye-Tracking Research &\#38; Applica-  
tions, ACM, 2010.

Sandia wants to help security analysts see better (Mark Rockwell) FCW, Aug  
13, 2015.

[http://www.researchgate.net/publication/267548355\\_Areas\\_of\\_Inter-  
est\\_in\\_Eye\\_Movement\\_Data](http://www.researchgate.net/publication/267548355_Areas_of_Interest_in_Eye_Movement_Data)

<http://www.eyegaze.com/>

<http://eyetracking.com>

<http://www.gazept.com/>

<http://imotions.com>

<http://www.eyetech.com>

<http://www.pygaze.org>

<http://www.smivision.com>

[https://github.com/esdalmajer/opensesame\\_gaze\\_contingent/blob/mas-  
ter/aoi/aoi.py](https://github.com/esdalmajer/opensesame_gaze_contingent/blob/master/aoi/aoi.py)

[http://www.uxmatters.com/mt/archives/2005/12/introduction-to-eyetracking-  
seeing-through-your-users-eyes.php](http://www.uxmatters.com/mt/archives/2005/12/introduction-to-eyetracking-seeing-through-your-users-eyes.php)

[http://www.asleyetracking.com/Site/Products/SoftwareSolu-  
tions/GazeTracker/tabid/74/Default.aspx](http://www.asleyetracking.com/Site/Products/SoftwareSolutions/GazeTracker/tabid/74/Default.aspx)

<http://www.asleyetracking.com/Site/Products/SoftwareSolutions/ASLResultsPlusGM/tabid/241/Default.aspx>

<http://www.asleyetracking.com/Site/Products/EYETRAC7Series/tabid/56/Default.aspx>

<http://www.asleyetracking.com/Site/Products/MobileEye5Glasses/tabid/330/Default.aspx>

<http://answers.eyetechds.com/questions/52/dark-pupil-v-bright-pupil>

<http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1312/1312.6410.pdf>

<http://www.chronos-vision.de>

[http://www12.tuiasi.ro/users/103/071-086\\_006\\_Lupu\\_.pdf](http://www12.tuiasi.ro/users/103/071-086_006_Lupu_.pdf)

<http://www.cs.tufts.edu/~jacob/papers/barfield.pdf>

[http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/18771/24/Tema\\_4%20OCW.pdf](http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/18771/24/Tema_4%20OCW.pdf)

<http://www.neoteo.com/optikey-control-total-sobre-un-ordenador-usando-los-ojos>

<https://github.com/OptiKey/OptiKey/wiki>

[http://www.institutodeneurociencias.com/files/Congreso\\_2014/S3.%20\(Ma.%20FERNANDA%20LARA\).pdf](http://www.institutodeneurociencias.com/files/Congreso_2014/S3.%20(Ma.%20FERNANDA%20LARA).pdf)

<http://www.nosolousabilidad.com/articulos/eye-tracking.htm>

<http://www.cs.tufts.edu/~jacob/papers/chi00.sibert.pdf>

<https://riunet.upv.es/handle/10251/56545>

<https://ruidera.uclm.es/xmlui/handle/10578/6935>

<http://www.elmundo.es/elmundo/2012/07/12/ciencia/1342108451.html>

[http://webdiis.unizar.es/asignaturas/DCU/wpcontent/uploads/2015/02/DCU\\_Evaluacion\\_UX\\_150317.pdf](http://webdiis.unizar.es/asignaturas/DCU/wpcontent/uploads/2015/02/DCU_Evaluacion_UX_150317.pdf)