

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
Facultad de Ingeniería



**Uso de lentes y barra de sensores de *Eye Tracking* para pruebas de usabilidad en proyectos llevados a cabo en cursos de la Universidad del Valle de Guatemala**

Trabajo de graduación presentado por Diego Francisco Estrada Moreira para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería en Ciencia de la Computación y Tecnologías de la Información

Guatemala,

2023







UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
Facultad de Ingeniería



**Uso de lentes y barra de sensores de *Eye Tracking* para pruebas de usabilidad en proyectos llevados a cabo en cursos de la Universidad del Valle de Guatemala**


Trabajo de graduación presentado por Diego Francisco Estrada Moreira para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería en Ciencia de la Computación y Tecnologías de la Información

Guatemala,

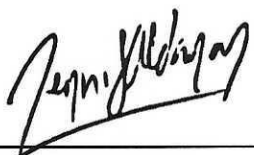
2023




Vo.Bo.:


(f)   
Ing. Dennis Aldana

Tribunal Examinador:

(f)   
Ing. Dennis Aldana

(f)   
Ing. Ansilvia Salazar

Digitally signed by Ansilvia  
Salazar  
Date: 2024.02.13 19:45:57  
-06'00'

(f)   
Ing. Douglas Barrios

Fecha de aprobación: Guatemala, 14 de Junio de 2023.



La elaboración de este proyecto surge gracias a que a través de los años y numerosos cursos del pensum de la carrera, he sido capaz de encontrar que uno de mis mayores intereses es la interacción del ser humano con los dispositivos tecnológicos y el software que en ellos se carga. Siempre he sido partidario de que la tecnología está para servirnos, y no al revés. Como parte de este pensamiento, he tratado de estudiar la experiencia de usuario lo más que he podido, y en cada desarrollo realizado durante la carrera he dirigido esfuerzos al diseño de una experiencia agradable y satisfactoria para los potenciales usuarios. Considero que muchos sistemas informáticos en la actualidad carecen de una buena experiencia de usuario, y parte de este proyecto es reforzar la atención que se le debe dar al UX en conjunto con una tecnología de vanguardia como lo es el seguimiento ocular.

Así mismo, la idea de integrar uno o varios equipos de sensores especiales para el seguimiento ocular a este proyecto de graduación surge del crecimiento de esta tecnología en el mercado y en el área de investigación. También, otro apoyo hacia este proyecto es la facilidad y disponibilidad que la Universidad del Valle de Guatemala brinda para poder hacer uso del hardware especial para el seguimiento ocular. En lo personal, me resulta sumamente interesante conocer la posición de la mirada del usuario al utilizar un sistema informático, un videojuego o simplemente leyendo un material publicitario. Finalmente, me gustaría agradecer a los Ingenieros: Douglas Barrios y Dennis Aldana, quienes me apoyaron no solo en la definición y realización de este proyecto, sino que a lo largo de toda la carrera universitaria. Sin los elementos mencionados en esta página, la realización de este proyecto no hubiese sido posible.



<b>Prefacio</b>	v
<b>Lista de figuras</b>	x
<b>Resumen</b>	xi
<b>Abstract</b>	xiii
<b>1. Introducción</b>	1
<b>2. Justificación</b>	3
<b>3. Objetivos</b>	5
3.1. Objetivo general	5
3.2. Objetivos específicos	5
<b>4. Marco teórico</b>	7
4.1. Experiencia de usuario y la usabilidad	7
4.1.1. Definición y elementos	7
4.1.2. ¿Qué es la usabilidad?	7
4.1.3. Prueba de usabilidad	8
4.1.4. Cuestionarios de usabilidad estandarizados	9
4.2. Introducción al <i>Eye Tracking</i>	10
4.2.1. Definición de <i>Eye Tracking</i>	11
4.2.2. La atención visual	12
4.2.3. Razones de la atención visión	12
4.2.4. El ojo humano y las áreas visuales	13
4.2.5. Movimientos oculares	14
4.2.6. Técnica de rastreo ocular	15
4.2.7. Tipos de <i>Eye Trackers</i>	16
4.2.8. Visualizaciones de datos de <i>eye tracking</i>	17

<b>5. Metodología</b>	<b>21</b>
5.1. Investigación y prueba de dispositivos	21
5.1.1. Estado del arte del <i>eye tracking</i>	22
5.1.2. Selección del curso para implementación del módulo	22
5.1.3. Pruebas iniciales con los rastreadores oculares	23
5.2. Diseño de guías de uso de rastreadores	25
5.2.1. Elaboración	25
5.2.2. Prueba y difusión con estudiantes	26
5.3. Realización de actividad en clase	26
5.3.1. Etapas definidas	26
5.3.2. Preparación por parte de los alumnos	27
5.3.3. Inicio de clase y experimentación	27
5.3.4. Análisis y fin de la experimentación	29
5.4. Recolección de datos y retroalimentación	30
5.5. Análisis de resultados	30
<b>6. Resultados</b>	<b>31</b>
6.1. Usabilidad de los dispositivos de <i>Eye Tracking</i> de acuerdo con los estudiantes	31
6.2. Identificación de mejoras en prototipos de estudiantes	33
6.3. Retroalimentación de los estudiantes acerca de la actividad en clase y dispositivos	35
<b>7. Discusión</b>	<b>37</b>
<b>8. Conclusiones</b>	<b>39</b>
<b>9. Recomendaciones</b>	<b>41</b>
<b>10. Bibliografía</b>	<b>43</b>
<b>11. Anexos</b>	<b>47</b>
11.1. Guía de uso para <i>ETVision System</i>	47
11.1.1. Contenido en el maletín	47
11.1.2. Configuración de lentes y controlador	48
11.1.3. Primeros pasos con el dispositivo	49
11.1.4. Grabación de prueba de usabilidad	51
11.1.5. Carga de la grabación y generación de indicadores	53
11.2. Guía de uso de <i>Tobii Eye Tracker 5</i>	56
11.2.1. Contenido en la caja	56
11.2.2. Instalación de software	58
11.2.3. Primeros pasos con el dispositivo	61
11.2.4. Grabación de prueba de usabilidad	63

---

## Lista de figuras

---

1. Escala para respuesta a cuestionario SUS . . . . .	10
2. Participante utilizando una computadora equipada con un <i>eye tracker</i> . . . . .	11
3. Oftalmómetro de Javal usado para analizar patrones de lectura . . . . .	11
4. Fóvea en el ojo humano . . . . .	13
5. Área fovea, parafoveal y periférica de la visión humana . . . . .	14
6. Ilustración de como los <i>eye trackers</i> usan el reflejo corneal . . . . .	15
7. Ejemplo de una pupila iluminada por una fuente de luz infrarroja . . . . .	16
8. Lentes de <i>Eye Tracking</i> de la marca <i>Tobii</i> . . . . .	16
9. Rastreador remoto o montado en pantalla, de la marca <i>Tobii</i> . . . . .	17
10. Mapa de calor generado por <i>eye tracker</i> al visitar una página web . . . . .	18
11. Ejemplo de un <i>gaze plot</i> representando fijaciones de un participante en una página web . . . . .	18
12. Ejemplo de un mapa de concentración u opacidad producida por <i>eye tracking</i> . . . . .	19
13. Rastreador <i>Tobii Eye Tracker 5</i> de la marca <i>Tobii</i> . . . . .	22
14. Rastreador <i>ETVision System</i> de la marca <i>Argus Science</i> . . . . .	22
15. Pruebas iniciales con el dispositivo <i>Tobii Eye Tracker 5</i> en casa . . . . .	24
16. Fotograma de la primera grabación realizada con el rastreador de <i>Tobii</i> . . . . .	24
17. Maletín que contiene el sistema de rastreo de <i>ETVision</i> de <i>Argus Science</i> . . . . .	25
18. Diagrama de flujo de una guía de uso para un rastreador . . . . .	26
19. Estudiantes configurando el rastreador <i>Tobii Eye Tracker 5</i> en su laptop . . . . .	28
20. Estudiantes configurando rastreador <i>ETVision System</i> en computadora <i>desk-</i> <i>top</i> de la universidad . . . . .	28
21. Estudiantes realizando una prueba de usabilidad de su prototipo con el ras- treador <i>Tobii Eye Tracker 5</i> . . . . .	29
22. Estudiantes analizando la grabación de la prueba de usabilidad de su proto- tipo con el rastreador <i>ETVision System</i> . . . . .	29
23. Estudiante exportando el video de la prueba de usabilidad . . . . .	30
24. Distribución de uso de rastreadores en alumnos que contestaron la encuesta . . . . .	31
25. Calificaciones, adjetivos, aceptabilidad y categorías NPS asociadas a las pun- tuaciones brutas SUS de acuerdo con Sauro 2018 . . . . .	33

26. SUS en una curva con rangos percentiles y calificaciones de acuerdo con Sauro 2011	33
27. Resultados de impacto alcanzado en el prototipo evaluado mediante tecnología de Eye Tracking tras la actividad en clase.	34
28. Estudiantes que alcanzaron un impacto en su prototipo al hacer uso de rastreadores oculares.	34
29. Estudiantes atribuyendo mérito al <i>eye tracking</i> de los cambios en su prototipo	35
30. Maletín que contiene el sistema de rastreo ocular	47
31. Contenido dentro del maletín del sistema	48
32. Conexión entre gafas con sensores y cámara, y el controlador	49
33. Cable de red conectado a controlador y a computador	49
34. Apertura de software <i>ETVision</i>	50
35. Proceso de calibración de sensores	51
36. Configuración para poder grabar prueba de usabilidad	51
37. Selección de ruta para almacenar datos del participante	52
38. Grabación de prueba de usabilidad en <i>ETVision</i>	52
39. Pausar la grabación	53
40. Creación de proyecto nuevo en <i>ETAnalysis</i>	53
41. Carga de datos de participante a <i>ETAnalysis</i>	54
42. Dagos de participantes cargados en el programa	54
43. Carga de video de la prueba de usabilidad	55
44. Selección de segmento para visualización de indicadores y video	55
45. Resultado final de la grabación	56
46. <i>Eye Tracker 5</i> en la caja	57
47. Soporte para monitor o pantalla plana	58
48. Soporte para monitor o pantalla curva	58
49. Descarga del <i>Tobii Experience Driver</i>	59
50. <i>Tobii Experience App</i> en la tienda de <i>Microsoft</i>	59
51. Pantalla de instalación de <i>Tobii Ghost</i>	60
52. Pantalla de inicio de <i>Tobii Ghost</i>	60
53. Selección de preferencia de uso para <i>OBS</i>	61
54. Selección de ajustes del monitor	61
55. Pantalla de inicio de <i>OBS</i>	61
56. Pantalla de ajustes de <i>Tobii Ghost</i>	62
57. Previsualización de mapa de calor	62
58. Configuración del <i>Game Capture</i>	63

Para todo ámbito de desarrollo en el que se espera que un ser humano interactúe con un producto o servicio, es importante considerar y evaluar la experiencia de usuario, UX por sus siglas en inglés. Aún cuando no se trate de software, se espera que el usuario sea capaz de hacer uso correcto y entender el mensaje de aquello que el autor o desarrollador tuvo la intención de facilitar y transmitir, es decir, disfrutar de una experiencia significativa. Páginas web, aplicaciones móviles, juegos de video, periódicos, entre otros, se aprovechan del proceso de UX. Parte fundamental de este proceso son los puntos visuales de la mirada del usuario, que se pueden utilizar para evaluar y juzgar la eficacia de procesos de diseño de experiencia.

La tecnología del seguimiento ocular o eye tracking, que se encarga de indicar el punto de la mirada del usuario en una pantalla durante un tiempo determinado, ha sido aplicada por investigadores para comprender con más detalle el recorrido visual, y por ende cognitivo, de un usuario al entrar en contacto con software, publicidad, entre otros. En este trabajo de graduación se pretende aplicar dicha tecnología en pruebas de usabilidad para proyectos de cursos de la Universidad del Valle de Guatemala, cursos como Interacción Humano Computador y Diseño y Tecnologías Web. Todo esto a través de los dispositivos: *ETVision System* y *Tobii Eye Tracker 5*, y así impactar la etapa de diseño de un producto de software.



For any area of development where human interaction with a product or service is expected, considering and evaluating the user experience (UX) is important. UX applies not only to software but also to other products where the user must be able to correctly use and understand the intended message of the author or developer. Examples of such products include web pages, mobile applications, video games, and newspapers. The UX process is crucial in these areas and includes evaluation of the user's visual gaze, which is used to judge the effectiveness of the experience design.

Eye tracking technology, which tracks the user's gaze on a screen, has been utilized by researchers to gain a deeper understanding of the visual and cognitive path of the user when interacting with software and advertising. In this research project, we aim to apply this technology in usability tests for course projects at Universidad del Valle de Guatemala, such as Human-Computer Interaction and Web Design and Technologies. We plan to use the *ETVision System* and *Tobii Eye Tracker 5* devices to impact the software product design stage.



Con el crecimiento y madurez que la industria del software ha experimentado con el paso de los años, la sociedad de usuarios cada vez demanda más calidad en los sistemas desarrollados, de manera que, ya no es sustentable concentrarse únicamente en un catálogo amplio de funcionalidades para el sistema, sino que hay que considerar, casi de manera obligatoria, la integración de user experience [1]. La elaboración de productos de software involucra características internas como la testeabilidad, que es más interna y va ligada al proceso de desarrollo, y externas como la usabilidad, que de acuerdo con la International Organisation for Standardisation (ISO) es “el grado en que un producto puede ser utilizado por determinados usuarios para alcanzar determinados objetivos con eficacia, eficiencia y satisfacción en un contexto de uso específico” [2].

El eyetracking por su parte, añade a las pruebas de usabilidad la capacidad de ubicar la mirada del usuario en la pantalla, y para el investigador esto supone un elemento valioso que le permite la obtención de atributos del comportamiento ocular, que de otro modo no podría obtener. Estos atributos son la ubicación, duración y movimiento [3]. La medición de los atributos anteriores mediante el hardware de eyetracking crea la posibilidad al investigador de que analice el orden en que las áreas de interés de su software son vistas, qué tan a menudo se ven, y por cuánto tiempo son observadas [4]. De esta forma, el investigador encuentra una oportunidad adicional de mejora para los prototipos o productos finales que desarrolla. Ésta tecnología de seguimiento ocular supone al diseño de experiencia de usuario un complemento para corroborar si los usuarios finales están siendo capaces de cumplir con los objetivos del producto, qué tan bien lo hacen, y qué tanto esfuerzo realizan para ello, todo esto, a través del mapa que la mirada del usuario dibuja sobre la pantalla.

El presente proyecto de graduación pretende añadir un módulo guiado de implementación de tecnologías de *eyetracking* a pruebas de usabilidad en el curso de Interacción Humano Computador impartido en la Universidad del Valle de Guatemala. Este proyecto consiste de 4 etapas. En la primera de ellas se realiza una investigación y testeo acerca de las herramientas de eyetracking disponibles en el Departamento de Computación, se comprueba su funcionalidad, utilidad y practicidad para implementarlas en un salón de clases. Seguido de

esto, se da la fase de diseño de la intervención en clase con los alumnos, para ello se elaboran instructivos escritos en donde se detallarán los pasos a seguir para utilizar los dispositivos, el software correspondiente, y finalmente analizar los datos obtenidos mediante la actividad. A esta le sigue la fase de implementación y realización del módulo en el salón de clase, es aquí donde se observará el desenvolvimiento de los estudiantes con el hardware especializado para eyetracking al poner a prueba sus prototipos de software. Luego de esta etapa, y con la retroalimentación por parte de los estudiantes con respecto a la actividad llevada a cabo en clase, se procede al análisis de los resultados, tanto de la usabilidad de los dispositivos, como de los resultados alcanzados en los prototipos de los alumnos.

Se tiene conocimiento que desde finales de 1800 se realizaban intentos para medir el movimiento de los ojos y la ubicación de la mirada, sin embargo, las técnicas e instrumentos utilizados eran bastante intrusivos y dolorosos, como aquellos en los que se utilizaban yesos y palillos directamente en los ojos del paciente [5]. En la actualidad, los dispositivos de seguimiento ocular hacen uso de cámaras, sensores infrarrojos e inteligencia artificial para poder determinar la posición de la mirada de un usuario. Esta tecnología ha madurado e involucrado técnicas muy poco intrusivas y amigables con el sujeto investigado. Ahora ya no se necesita de reposacabezas o barras de mordida para mantener los resultados exactos y precisos. Sumado a esto, los precios del hardware asociado a esta tecnología se han reducido, y la disponibilidad al público general ha aumentado. Ya no es necesario formar parte de un grupo académico o de investigación de renombre para hacerse de uno de estos dispositivos. Considerando la disponibilidad de estos aparatos, resulta atractiva la idea de su implementación y uso en espacios en donde se instruya acerca de la teoría y prácticas relacionadas a la interacción humano-computador.

Tomando en cuenta que la tecnología del eyetracking por sí sola no resulta especialmente beneficiosa a la experiencia de usuario en herramientas de software, la participación de un investigador ya sea primerizo o experimentado que interprete los datos obtenidos, es lo que hace que su integración al proceso de diseño compense los costos económicos y curva de aprendizaje. Para este proyecto de graduación se propuso que esta tecnología sea considerada para el curso de Interacción Humano Computador impartido en la Universidad del Valle de Guatemala. La propuesta incluye que los estudiantes del curso agreguen el eyetracking a su inventario de herramientas de investigación, y que de esa manera expongan sus prototipos y diseños a pruebas distintas a las que el curso mismo ya incluye. Lo que se busca es complementar y apoyar los objetivos del curso mediante nuevas actividades, experimentos y herramientas. El motivo por el cual se escogió este curso dentro de todos los que hay en el pensum de la carrera de Ciencia de la Computación, es que este curso es el que más ligado está al diseño de interfaces y experiencia de usuario (UI y UX). Es donde la integración de un módulo de eyetracking se sentiría más natural para los estudiantes.

Para entender la selección del hardware a utilizar en este proyecto, es importante mencionar que se decantó por el uso de estos rastreadores y no por webcams integradas en las computadoras, ya que estos rastreadores están hechos especialmente para el seguimiento ocular, puesto que cuentan no con uno sino varios sensores que detectan el movimiento de los ojos al capturar y comparar las imágenes mediante inteligencia artificial. Todo esto anterior es facilitado por un procesador dedicado a realizar las operaciones correspondientes. Las webcams cuentan con una frecuencia de captura menor, así como también dependen casi en su mayoría del algoritmo utilizado por el software.

### 3.1. Objetivo general

Enriquecer las pruebas de usabilidad a través de hardware de *Eye Tracking* en proyectos desarrollados por estudiantes de la Universidad del Valle de Guatemala.

### 3.2. Objetivos específicos

- Proponer e implementar un módulo guiado de uso de hardware de *eye tracking* para pruebas de usabilidad en el curso de Interacción Humano-Computador para el pensum actual.
- Los estudiantes serán capaces de configurar y utilizar correctamente los dispositivos de *eye tracking*, así como también analizar sus resultados y reflejarlos en sus prototipos.
- Mejorar las métricas de eficiencia, eficacia y satisfacción en los proyectos de desarrollo de software en que el módulo a proponer se implemente.



## 4.1. Experiencia de usuario y la usabilidad

### 4.1.1. Definición y elementos

Tal y como se describe en la norma ISO 9241-110:2010 [6], la experiencia de usuario se puede definir como: "las percepciones y respuestas de una persona que resultan del uso y/o uso anticipado de un producto, sistema o servicio". La experiencia de usuario, o también conocido en inglés como *user experience* (UX), abarca todas aquellas creencias, emociones, preferencias, percepciones, respuestas físicas y psicológicas, comportamientos y logros de los usuarios que se producen antes, durante y después del uso de dicho producto o servicio.

También, Lauralee Alben [7] define la experiencia como todos aquellos aspectos involucrados en la forma en que la gente usa un determinado producto interactivo, la manera en que este se siente en la mano, el grado de comprensión del funcionamiento, percepción de él durante y después del uso, utilidad para el usuario y la integración en el ambiente y espacio en el que lo utiliza.

### 4.1.2. ¿Qué es la usabilidad?

Hay varias razones por las que ha sido tan difícil definir la usabilidad. No existe un instrumento similar a un termómetro que pueda proporcionar una medida absoluta de la usabilidad de un producto [8].

La Organización Internacional de Normalización (ISO) define la usabilidad como el "grado en que un producto puede ser utilizado por determinados usuarios para eficacia, eficiencia y satisfacción en un contexto de uso" [2].

### 4.1.3. Prueba de usabilidad

Al realizar una prueba de usabilidad, una o varias personas observan a uno o varios participantes realizar determinadas tareas con el producto en un entorno de prueba específico, tal y como se menciona con la definición de usabilidad ISO en el párrafo anterior. Esta es la principal diferenciación de las pruebas de usabilidad de otros métodos de diseño centrado en el usuario (UCD) [9].

Al comparar este método con las entrevistas, los participantes no desempeñan tareas o actividades que involucren interacción con el producto o sistema. Así también, métodos de inspección de usabilidad tales como evaluaciones por expertos carecen de observaciones a usuarios potenciales desempeñando tareas o actividades laborales. Esto mismo es aplicable a técnicas como las encuestas y clasificaciones. Estudios y actividades de campo si incluyen las observaciones de sujetos realizando tareas relacionadas con el objeto de estudio, sin embargo se limita el control que tienen los profesionales sobre las tareas y entornos objetivos.

#### Roles y funciones

De acuerdo con Salvendy, en un experimento tradicional, el experimentador elabora un cuidadoso plan de estudio que incluye el número exacto de participantes que él expondrá a los distintos tratamientos experimentales. Los participantes son miembros de la población a la que el experimentador quiere generalizar los resultados. El experimentador proporciona instrucciones e informa al participante, pero en ningún momento durante una sesión experimental tradicional el experimentador interactúa con el participante (a menos que esta interacción forme parte del tratamiento experimental).

Cuanto más formativo (diagnóstico, centrado en el descubrimiento de problemas) el enfoque de la prueba de usabilidad, menos se parecerá a un experimento tradicional (aunque los requisitos de muestreo de una población legítima de usuarios, tareas y entornos siguen aplicando). Por el contrario, cuanto más sumativa (centrada en la medición) sea una prueba de usabilidad, más debería parecerse a la mecánica de un experimento tradicional [10].

#### Planeación de la prueba

Una de las primeras actividades que el administrador de la prueba o experimentador debe realizar es la elaboración de un plan de pruebas. Para ello, el administrador deberá entender el propósito del producto o sistema, las partes que ya se encuentran listas para ser probadas, los tipos de personas que usarán el producto o sistema, para qué es probable que lo utilicen y bajo que circunstancias y configuraciones [10].

A niveles generales, el objetivo de una prueba como esta puede decantarse por la identificación de problemas de usabilidad o bien puede ser el de reunir métricas relacionadas con la usabilidad, es decir, las antes mencionadas: eficacia, eficiencia y satisfacción.

## Selección de participantes

Con el fin de determinar quiénes participarán en la prueba de usabilidad, es importante que el administrador de la prueba desarrolle un perfil de usuario. En ocasiones, éste perfil de usuario suele estar disponible desde el inicio del diseño y desarrollo, así como también en el grupo de mercadeo, sin embargo, el énfasis para las pruebas de usabilidad debe estar en el usuario final y no en el comprador esperado (a menos que sean el mismo) [10].

Lo que se busca al seleccionar un participante para la prueba es que éste sea representativo de la población objetivo a la que el experimentador quiere generalizar los resultados. Una de las características que definen qué tan bueno es un grupo de participantes está relacionada con experiencia específica. Experiencia tanto con el producto como con el área o dominio de interés. Esta puede ser experiencia de trabajo, con el producto específico o productos similares [11].

## Reportaje de resultados

De acuerdo con Theofanos y Quesenbery en 2005, existen dos clases generales de resultados para pruebas de usabilidad, los informes de problemas y las mediciones cuantitativas. Es probable que el informe de resultados de una prueba contenga únicamente un tipo de resultado, sin embargo, la mayor parte de los resultados de pruebas de usabilidad contienen ambos tipos mencionados [12].

Los resultados de este tipo de pruebas tienen la capacidad de impactar fuertemente en el entendimiento de los desarrolladores acerca de problemas específicos de usabilidad, especialmente si los desarrolladores estuvieron involucrados en la observación de las sesiones de usabilidad con los participantes [13]. Es de gran interés para los desarrolladores la lista de problemas de usabilidad así como las propuestas de rediseño.

### 4.1.4. Cuestionarios de usabilidad estandarizados

Al estandarizar las medidas de satisfacción de las pruebas de usabilidad, surgen múltiples ventajas al profesional encargado de la experiencia de usuario, entre ellas están: objetividad, replicabilidad, cuantificación, economía, comunicación y generalización científica [14].

## SUS

El estándar *System Usability Scale (SUS)* fue desarrollado en 1980 por profesionales de usabilidad en la *Digital Equipment Corporation (DEC)*. Este cuestionario cuenta con 10 items, los cuales proveen una medida unidimensional de usabilidad, con un rango de 0 a 100. Estas preguntas pueden ser contestadas con un valor de 1 a 5, yendo de “en total desacuerdo” a “de acuerdo totalmente”. [8]

Las preguntas son:

- *I think that I would like to use this system frequently.*
- *I found the system unnecessarily complex*
- *I thought the system was easy to use*
- *I think that I would need the support of a technical person to be able to use this system*
- *I found the various functions in this system were well integrated*
- *I thought there was too much inconsistency in this system.*
- *I would imagine that most people would learn to use this system very quickly.*
- *I found the system very cumbersome to use.*
- *I felt very confident using the system*
- *I needed to learn a lot of things before I could get going with this system.*

Figura 1: Escala para respuesta a cuestionario SUS

Strongly Disagree 1	2	3	4	Strongly Agree 5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

## ASQ

El estándar *After-Scenario Questionnaire (ASQ)* se caracteriza por ser un cuestionario bastante corto, consistente de tres ítems con una escala de siete puntos. Dichos puntos tratan de cubrir los tres aspectos importantes de la satisfacción de un usuario en cuanto a usabilidad de sistemas se refiere. Estos aspectos son: la facilidad para completar las tareas, el tiempo que toma concluir una tarea, e idoneidad de la información y material de apoyo para completar la tarea. Para este cuestionario, el resultado a tomar es el promedio de las respuestas a estos tres ítems. La escala de respuesta o puntuación por ítem, es similar a la del estándar anterior, en donde 1 es “fuerte desacuerdo” y 7 es “de acuerdo fuertemente” [10].

## 4.2. Introducción al *Eye Tracking*

Esta tecnología es pilar fundamental de este trabajo y proyecto, por lo tanto, es importante entender en qué consiste, qué elementos son necesarios para su funcionamiento, y en qué áreas es aplicable. El objetivo de la investigación siguiente es la de entender qué información es de utilidad y cómo es posible interpretarla, ya sea en el ámbito de la experiencia de usuario o en cualquier otra.

#### 4.2.1. Definición de *Eye Tracking*

El *eye tracking* o seguimiento ocular es una técnica utilizada en experimentos que buscan monitorear el movimiento de los ojos y ubicación de la mirada de una persona a través de un tiempo y tarea determinada [15]. Esta técnica tiene el objetivo de observar cómo se distribuye la atención visual de una persona, ya sea viendo una pantalla, o su entorno.

Figura 2: Participante utilizando una computadora equipada con un *eye tracker*



Los inicios del seguimiento ocular pueden señalarse en el siglo 19. En los primeros estudios del comportamiento del ojo no se usó equipo alguno, y los investigadores trataron de entender el patrón que los ojos seguían al leer textos utilizando espejos. Cerca del año 1870 el oftalmólogo francés Louis Émile Javal llegó a la conclusión de que la lectura no requería que los ojos se movieran continuamente a lo largo de la línea de texto, que no era un proceso lineal. Javal procedió a explicar que leer involucra más bien, una secuencia de movimientos cortos y rápidos denominados sacádicos, y pausas cortas en elementos concretos del texto, denominadas fijaciones [16].

Figura 3: Oftalmómetro de Javal usado para analizar patrones de lectura



### 4.2.2. La atención visual

Con el fin de entender de mejor manera el seguimiento de la mirada y su importancia, se considera primero la motivación de grabar y monitorear los movimientos del ojo humano. Puesto en simples palabras, los humanos mueven los ojos para llevar una particular porción del campo visual visible a una alta resolución, con el objetivo de observar con fino detalle, lo que sea que se encuentre en el centro de la dirección de la mirada. A menudo también los humanos desvían la atención a este punto con el fin de enfocar su concentración, aún cuando sea por un breve momento, en el objeto o región de su interés [5].

Con esto en mente, surge la oportunidad de conocer aquello que para el observador resulta interesante, esto es, hacia dónde él dirige su atención, y quizás también poder brindar conclusiones sobre cómo el observador percibió la escena que vio.

De acuerdo con el psicólogo William James [17] en el año 1890, la atención visual se puede definir de la siguiente forma.

“Todo el mundo sabe lo que es la atención. Es la toma de posesión por parte de la mente, de forma clara y vívida, de uno de lo que parecen varios objetos o líneas de pensamiento posibles simultáneamente. La focalización, la concentración de la conciencia son su esencia. Implica apartarse de algunas cosas para ocuparse eficazmente de otras...”

### 4.2.3. Razones de la atención visión

#### *El dónde*

De acuerdo con Von Helmholtz [18], la atención visual se focaliza en un espacio pequeño, observó que existe una tendencia natural de la atención para deambular por cosas nuevas. Así mismo, determinó que la atención puede ser controlada por un esfuerzo conciente y voluntario, y que aún existiendo atención al área periférica, el ojo no se dirigiría hacia dicha región. El movimiento de los ojos refleja la voluntad de una persona para inspeccionar a detalle objetos que estén en el espacio del campo visual.

#### *El qué*

Es posible ver este tipo de atención como un mecanismo encubierto tal como la imaginación, la anticipación o el pensamiento en general. Existen regiones que pueden ser percibidas periféricamente, y cuando son observadas de manera directa, se trata de identificar qué detalles están presentes en dicha región [19].

#### *El cómo*

Un tercer factor de la atención visual es el cómo. La perspectiva que propone Gibson [20] sobre este factor habla sobre cómo la experiencia y preparación previa del observador

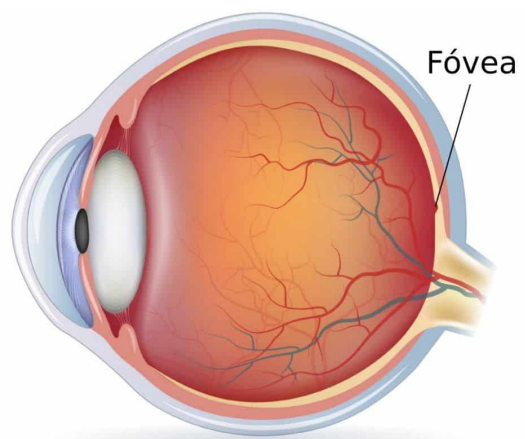
determina si reacciona o no a lo observado, y si lo hace, cómo lo hace y reacciona a ello. El comportamiento o reacción de la persona está dada en función de las ideas preconcebidas que posee. Vale mucho la pena tomar en cuenta las expectativas previas de un participante al realizar una prueba de usabilidad.

#### 4.2.4. El ojo humano y las áreas visuales

##### Área foveal o Fóvea

La fóvea centralis se encuentra ubicada en el centro de la macula lutea, la cual es una región plana localizada exactamente en el centro de la parte posterior de la retina del ojo humano (Ver Figura 4). El área foveal es la que permite mayor agudeza visual, ya que se encuentra saturada con fotorreceptores de cono [21]. La atención primaria suele concentrarse en lo que se registra en esta zona de la visión. Los rastreadores de mirada o *eye trackers* únicamente pueden registrar lo que se encuentra en esta área. Desafortunadamente, esta región es aproximadamente menos del 8% del campo visual de un humano. Comprende 1 a 2 grados del campo visual [22]. (Ver Figura 5)

Figura 4: Fóvea en el ojo humano



##### Área parafoveal

La parafovea o área parafoveal es la región del ojo humano que rodea a la fóvea. Esta región se extiende unas 1.250 micras desde el centro de la fóvea, y es aquí donde se produce la mayor densidad de bastones (fotorreceptores). En esta sección de la retina, la agudeza se reduce considerablemente. Abarca de los 2 a 5 grados del campo visual. La resolución es más pobre, aún así, la información aquí presente influye en la atención visual y elementos percibidos por el usuario. Es indiscutible que la información parafoveal es usada para conocer hacia a dónde se dirigirán los ojos luego de la actual fijación [23]. (Ver Figura 5)

## Área periférica

La agudeza visual, la resolución y la visión de los colores son más débiles en el espacio periférico y disminuyen respectivamente con la distancia al punto de fijación. Todo lo que es visible para el ojo fuera de la fovea cuando el ojo está enfocado en un punto determinado se encuentra en la zona de visión periférica. Los estímulos en la visión periférica se resuelven mal, pero el movimiento de los objetos en la periferia aumenta significativamente nuestra capacidad para detectarlos [24]. (Ver Figura 5)

Figura 5: Área fovea, parafoveal y periférica de la visión humana



### 4.2.5. Movimientos oculares

#### Sacadas

Los movimientos sacádicos o sacadas, corresponden a un tipo de movimiento rápido del ojo, este es usado para la re ubicación del área foveal o fovea hacia una nueva ubicación en el entorno visual. Este tipo de movimiento ocular puede ser ocasionado tanto por voluntad propia como por reflejos [5]. Se caracteriza por tener una duración de aproximadamente 10 a 100 milisegundos, tiempo que se considera muy corto y suficiente para que la persona no pueda distinguir completamente lo que hay en su campo visual (ciego) [25].

Existe discusión sobre si las sacadas son preprogramadas. Es decir, se plantea que una vez el movimiento sacádico hacia la siguiente ubicación de la atención visual ha sido calculado, éste no puede ser alterado. Este punto está apoyado por la razón de que durante la ejecución de una sacada, no hay tiempo suficiente para que la retroalimentación visual guíe al ojo hasta su posición final [26].

## Fijaciones

Las fijaciones son un tipo de movimiento ocular que tiene como objetivo llevar a cabo la estabilización de la retina sobre una región u objeto estacionario considerado de interés. Las fijaciones contemplan las microsacadas, temblores y derivaciones. Estos últimos son señales o movimientos miniatura que pertenecen al ruido dentro del sistema del control intentando mantener la mirada firme [5].

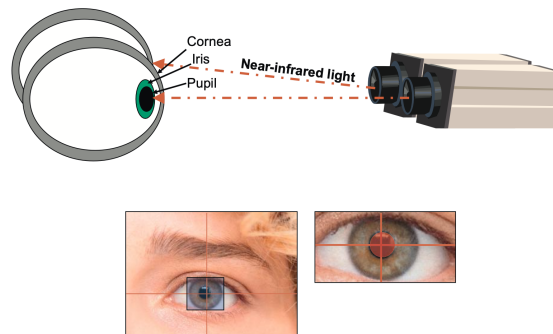
Este movimiento toma lugar en el área foveal, de donde se obtiene aproximadamente la mitad de la información visual que se envía al cerebro [4].

### 4.2.6. Técnica de rastreo ocular

#### Reflejo corneal basada en video

De acuerdo con Duchowski [5], el reflejo corneal es un método utilizado para obtener la posición del punto hacia donde una persona dirige su mirada. Esta es la técnica que la mayor parte de los rastreadores oculares modernos usan. Para proveer esta medición, la cabeza debe estar fija para que la posición del ojo relativa a la cabeza y el punto de la mirada coincida, o bien, múltiples características oculares se tienen que medir para poder aclarar y separar el movimiento de la cabeza, de la rotación de los ojos.

Figura 6: Ilustración de como los *eye trackers* usan el reflejo corneal



Las características que se miden son: el reflejo corneal de una fuente de luz infrarroja, y el centro de la pupila. Para ello, los rastreadores oculares utilizan cámaras para captar el reflejo, y algoritmos de procesamiento de imagen para determinar el punto de la mirada en relación al ojo y el estímulo [4]. La medición del reflejo de la córnea es relativo a la ubicación del centro de la pupila. Al realizar las calibraciones de los ojos del sujeto, los rastreadores toman las imágenes iniciales como referencias al hacer que el sujeto observe puntos específicos en un plano perpendicular.

Figura 7: Ejemplo de una pupila iluminada por una fuente de luz infrarroja



#### 4.2.7. Tipos de *Eye Trackers*

##### Montados en la cabeza

Los rastreadores que se colocan en la cabeza del usuario, suelen contener dos tipos de cámaras; las que apuntan hacia los ojos para encontrar el centro de la pupila y captar el reflejo de la córnea, y las cámaras que apuntan hacia afuera y capturan el campo visual del sujeto. Este tipo de rastreadores suelen ser más útiles para la recolección de datos oculares en ambientes con interacciones naturales. Tanto las coordenadas del centro de la pupila como la grabación del campo visual del sujeto se graban y almacenan en el rastreador o en la computadora a la cual se conecta el rastreador ya sea vía alámbrica o inalámbrica [27].

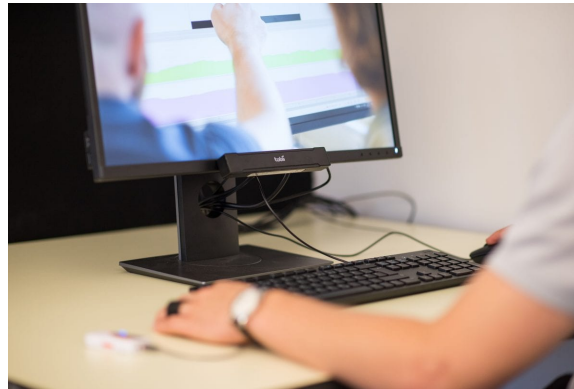
Figura 8: Lentes de *Eye Tracking* de la marca *Tobii*



## Remotos o *screen-based*

Existen también los rastreadores que se colocan a una distancia considerable de los ojos del usuario, y que usualmente son utilizados en lugares fijos como escritorios o laboratorios especializados. Pueden ser de carácter monocular o binocular. Es común ver que estos rastreadores son colocados en la parte inferior de la pantalla del computador sobre el cual se trabaja. Su principal desventaja es que están limitados a ambientes de escritorio. Sin embargo, poseen la ventaja de que son menos intrusivos que los rastreadores vestibles [27].

Figura 9: Rastreador remoto o montado en pantalla, de la marca *Tobii*



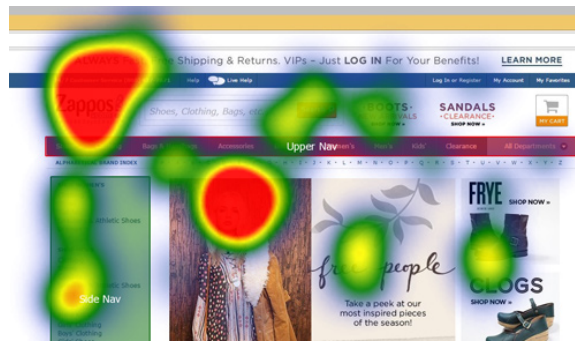
### 4.2.8. Visualizaciones de datos de *eye tracking*

Los rastreadores oculares hoy en día son utilizados por profesionales de la experiencia de usuario, y para sacarles provecho, estos dispositivos incluyen paquetes de software que permiten generar casi de manera instantánea, visualizaciones de la información obtenida de los rastreadores, información como coordenadas, duraciones, etcétera. El resultado de esos programas ayudan a resaltar los lugares que el usuario vio, la duración en la que su mirada permaneció allí, y el patrón que siguió su mirada.

### Mapa de calor

El mapa de calor o *heatmap* en inglés, es un tipo de gráfica que utiliza diferentes colores para mostrar la distribución de la cantidad de fijaciones que los participantes hicieron, o bien, por cuánto tiempo fijaron ciertas áreas. El mapa de calor posee un código de colores. En la mayoría de ocasiones, el color rojo es el utilizado para indicar áreas con un número de fijaciones alto, o bien alta duración de fijación. En cambio, el color verde es el utilizado para denotar la menor cantidad de fijaciones y duración. En medio de estos colores existen otros como el amarillo y naranja para representar niveles intermedios [4].

Figura 10: Mapa de calor generado por *eye tracker* al visitar una página web



### *Gaze plot*

Las *gaze plots* o tramos de mirada, son representaciones visuales de las fijaciones y sacadas para un cuadro específico de la grabación de la interacción del usuario con el sistema o aplicación. En estos gráficos, las fijaciones son representadas como puntos, y las sacadas como líneas que conectan los puntos. Se suelen enumerar los puntos para mostrar el orden en que las fijaciones tuvieron lugar, y también los puntos varían en tamaño según haya sido la duración [4].

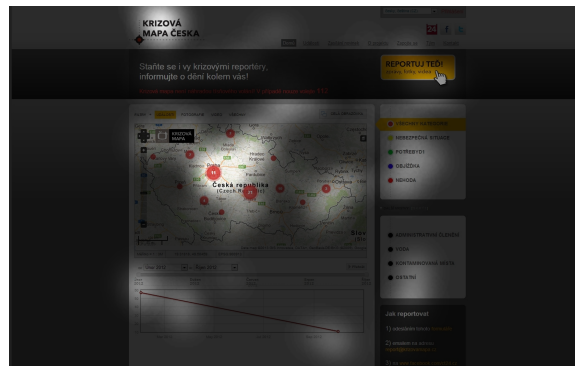
Figura 11: Ejemplo de un *gaze plot* representando fijaciones de un participante en una página web



### *Focus map*

Los mapas de concentración o *focus map*, también conocidos como *opacity maps*, son representaciones visuales en cierta parte similares a los mapas de calor, con la diferencia de que, en lugar de cubrir los lugares que obtuvieron más atención visual, se hacen menos opacos, y aquellos lugares que casi no se observaron se oscurecen [28].

Figura 12: Ejemplo de un mapa de concentración u opacidad producida por *eye tracking*





Para llevar a cabo este proyecto de investigación y experimentación, se realizaron cinco etapas. Estas etapas comprendieron el proceso de aprendizaje, aplicación, y traslado de conocimiento a los estudiantes.

1. Investigación y prueba de dispositivos
2. Diseño de guías de uso de rastreadores
3. Realización de actividad en clase
4. Recolección de datos y retroalimentación
5. Análisis de datos

### 5.1. Investigación y prueba de dispositivos

Esta primera etapa consiste de una investigación del estado del arte del *eye tracking*, cuáles son las tendencias, aplicaciones de campo y casos de estudio. Así mismo, se realiza una investigación de los dispositivos específicos con los que se cuentan para la realización de este proyecto. Estos son: *Tobii Eye Tracker 5* y *ETVision System by Argus Science*.

La razón por la cual se escogieron estos dispositivos para la experimentación fue porque la Universidad del Valle de Guatemala facilitó el acceso al comprarlos para el departamento de computación. Para el momento de la realización de este proyecto, solo se contó con estas dos unidades específicamente, por lo que pareció oportuno la comparación entre ellos dos.

### 5.1.1. Estado del arte del *eye tracking*

Al empezar el proyecto se requirió de la realización de una investigación alrededor del *eye tracking* y de la experiencia de usuario. Dentro de este proceso se encontraron varias fuentes como las citadas al final de este documento, muchas de ellas indicando la utilidad de dispositivos de seguimiento ocular dentro del desarrollo de software y las pruebas de usabilidad, así como las limitaciones e impedimentos que se ven involucrados.

Así mismo, se recabó información acerca de cada uno de los dispositivos con los que el departamento de computación de la universidad contaba. Estos dos dispositivos fueron: *Tobii Eye Tracker 5* y *ETVision System by Argus Science*. Con estas investigaciones individuales se logró tener una idea temprana del alcance de cada uno de ellos y las posibilidades de aprovechamiento en una actividad en clase con estudiantes.

Figura 13: Rastreador *Tobii Eye Tracker 5* de la marca *Tobii*



Figura 14: Rastreador *ETVision System* de la marca *Argus Science*



### 5.1.2. Selección del curso para implementación del módulo

En esta etapa se realizó una consulta con un experto en la materia; el ingeniero Dennis Aldana, quien es catedrático del curso de Interacción Humano-Computador, que también

posee experiencia con *eye tracking*. Con esta consulta se determinó que el curso más adecuado para la implementación de un módulo guiado de *eye tracking* es el de Interacción Humano-Computador. Una razón de la elección fue porque en este curso los estudiantes brindan un enfoque mayor al diseño del producto y de la experiencia, y no tanto al desarrollo. Así mismo, el objetivo de este curso es el de aprender a diseñar experiencias más sencillas y eficientes, objetivo al que se plantea apoyar mediante la integración de esta tecnología nueva. Los estudiantes diseñan iterativamente prototipos de baja y mediana fidelidad de aplicaciones móviles y páginas web, de manera que es una etapa temprana en el ciclo de un desarrollo de software y es donde más impacto tendría un módulo de teoría y práctica de seguimiento ocular.

Otro curso que se consideró para la implementación del módulo de *eye tracking* fue el de Sistemas y Tecnologías Web. Este es un curso que como su nombre lo indica, se enfoca en la enseñanza de tecnologías y herramientas que permiten el desarrollo de aplicaciones web, abarcando tanto el apartado del diseño, así como de la funcionalidad de una página web. Al final no se decantó por este curso ya que su enfoque está más dirigido al desarrollo del software, al código. A pesar de que sí podría usarse el módulo aquí, se consideró que no era el más indicado ya que el objetivo del curso era que los estudiantes aprendan del desarrollo del código y construcción de sistemas web robustos, y no tanto de su diseño previo.

### 5.1.3. Pruebas iniciales con los rastreadores oculares

Fue necesario primeramente adquirir conocimiento práctico sobre la instalación y manejo de los dispositivos o rastreadores. Esto se hizo para contar con la capacidad suficiente que permitiera transferir el conocimiento teórico y práctico a los estudiantes mediante una actividad en clase.

Para familiarizarse con el dispositivo *Tobii Eye Tracker 5*, se solicitó autorización para usar el rastreador fuera de la universidad, y así explorar y conocer más de su funcionalidad y potencial en tema de experiencia de usuario. Para conocer más a fondo de este rastreador se tomaron dos semanas para instalar las herramientas necesarias y explorar alternativas que permitieran obtener métricas del comportamiento del ojo.

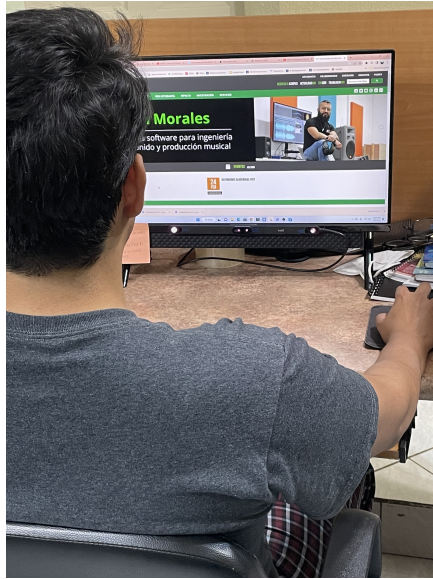
Con respecto al otro dispositivo, el *ETVision System*, se realizaron dos visitas a la oficina de profesores del departamento de computación, con el fin de interactuar con los lentes rastreadores. El motivo de esto fue que no está permitido sacarlo de las instalaciones, esto por razones de seguridad y alto costo del equipo. Durante estas visitas, se probó la configuración física del sistema de rastreo, conectándolo con una computadora propiedad de la universidad, ya que esta computadora ya contaba con el software oficial *ETVision* y *ETAnalysis*.

#### Primer encuentro con el *Tobii Eye Tracker 5*

Luego de realizar las investigaciones y analizar la teoría sobre el hardware de *eye tracking* disponible en la universidad, se procedió a solicitar el préstamo de la barra de sensores *Tobii Eye Tracker 5* en la oficina del departamento de Ciencias de la Computación en la

Universidad del Valle de Guatemala. Al contar con este dispositivo se abrió la posibilidad de poner en práctica los conocimientos adquiridos en la investigación de las páginas oficiales. Una vez con el dispositivo en casa se procedió a instalar los programas *Tobii Experience*, *Tobii Ghost* y *OBS*. Se colocó el rastreador de *Tobii* en el monitor de una computadora propia mediante un soporte incluido en la caja del aparato. A partir de esta configuración, se realizaron pruebas de los programas y de grabaciones con páginas web.

Figura 15: Pruebas iniciales con el dispositivo *Tobii Eye Tracker 5* en casa



A continuación se muestra la imagen de la primera grabación lograda con el rastreador de *Tobii*, en ella se puede observar el mapa de calor generado por la herramienta *Ghost*, y que fue grabado por el programa de grabación *OBS*

Figura 16: Fotograma de la primera grabación realizada con el rastreador de *Tobii*



Cabe mencionar que antes de decantarse por el uso de los tres programas antes mencionados, se intentó realizar pruebas con otros programas, tales como *Tobii Pro Lab* y *Tobii Sprint*. El primero de ellos no se pudo utilizar ya que este requería del uso de un rastreador de nivel de investigación, y no uno de nivel de consumidor, como categoriza la empresa *Tobii* al *Tobii Eye Tracker 5*, que se vende con el fin de usarse para juegos, retransmisiones y fines no académicos. La segunda herramienta mencionada, consistía de una extensión para

el navegador, sin embargo no se pudo utilizar ya que no reconocía el rastreador conectado. Ambas herramientas eran de pago y podían usarse con una prueba gratis de 30 días.

### **Primer encuentro con el *ETVision System***

Para poder hacer uso de este sistema de *eye tracking*, se solicitó acceso al salón de profesores de Ciencias de la Computación de la Universidad del Valle de Guatemala, ya que en este lugar es donde se encontraba la computadora con las herramientas instaladas y configuradas, así como el maletín con el sistema de rastreo ocular.

Figura 17: Maletín que contiene el sistema de rastreo de *ETVision* de *Argus Science*



Se realizó una primera visita para interactuar con este sistema. En una primera experimentación se abrió el maletín y se conectaron las gafas al computador de sobremesa que se encontraba en el salón de profesores. Para entender la configuración y el uso del rastreador fue necesario consultar la guía oficial del dispositivo, que se encuentra en la página de *Argus Science*, así como también el video tutorial que se encuentra en el canal de *Youtube* de la misma organización.

Haciendo uso de dichos tutoriales, se logró usar la herramienta de *ETVision*, que es el software de captura de movimiento de los ojos. Se realizaron varias pruebas y grabaciones de rastreo de los ojos al interactuar con páginas web en la misma computadora donde se realizaban las grabaciones de los ojos, así como en aplicaciones móviles en dispositivos ajenos al de la grabación.

## **5.2. Diseño de guías de uso de rastreadores**

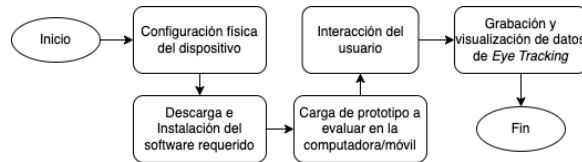
### **5.2.1. Elaboración**

Con el conocimiento adquirido en la fase anterior, se procedió a realizar dos guías de uso de los dispositivos tratados en este proyecto. El objetivo de estas guías es el de facilitar

al estudiante la interacción con hardware de *eye tracking*, transferirles el conocimiento y reducir el tiempo de aprendizaje.

A continuación se muestra un diagrama de flujo que describe los pasos generales abarcados en estas dos guías. Cada una contiene datos más específicos dentro de ellas según la naturaleza y especificaciones del rastreador. Estas guías se encuentran en los anexos [11.1](#) y [11.2](#).

Figura 18: Diagrama de flujo de una guía de uso para un rastreador



La elaboración de estas guías requirió colocarse en la posición del estudiante, definir y también explicar cada paso necesario para poder llevar a cabo una prueba de usabilidad operando un *eye tracker* en específico. Para mejorar la comprensión, se colocaron fotos de la configuración física del rastreador, así como capturas de pantalla de los ajustes a utilizar en los distintos programas de *software* según haya sido el rastreador.

### 5.2.2. Prueba y difusión con estudiantes

Una vez terminadas las guías, estas se pusieron a prueba con un estudiante ajeno al grupo experimental, es decir, que no se encontraba tomando el curso de Interacción Humano Computador. Con esta prueba se encontraron oportunidades de mejora en la redacción y estructura de los documentos. Así mismo fue de utilidad para encontrar errores y discontinuidades dentro de los pasos detallados para llevar a cabo una prueba de usabilidad usando *eye tracking*.

Una vez con los errores corregidos, las guías se compartieron con los estudiantes a través de el canal de *Discord* de la clase. Esto se hizo con la finalidad de que llegaran preparados a la clase el día de la experimentación.

## 5.3. Realización de actividad en clase

### 5.3.1. Etapas definidas

Para la planificación de la experimentación en clase, se tomaron los siguientes pasos.

1. Coordinación de la actividad con el catedrático del curso Interacción Humano Computador
2. Elaboración de las guías de uso para ambos rastreadores

3. Acceso al servidor de *Discord* para envío de las guías de uso de los rastreadores a los estudiantes del curso
4. Traslado y preparación de equipo de *eye tracking* en el salón de clase
5. Introducción teórica acerca de la tecnología de *eye tracking* por parte del catedrático
6. Inicio de la experimentación por parte de los estudiantes siguiendo las guías
7. Resolución de dudas y asistencia técnica en instalación y pruebas de usabilidad.

### 5.3.2. Preparación por parte de los alumnos

Para que se pudiera llevar a cabo esta experimentación en la clase, cada alumno fue responsable de trabajar previamente en el proyecto en curso y presentar su solución en forma de un prototipo funcional y de mediana/alta fidelidad. El problema del proyecto en cuestión, era el de añadir una función de transacciones/préstamos de dinero dentro de la plataforma de mensajería *Whatsapp*. Cada quién fue libre de implementar su propia solución dentro de un prototipo de aplicación móvil. La mayoría de los estudiantes utilizaron la aplicación *Figma*.

### 5.3.3. Inicio de clase y experimentación

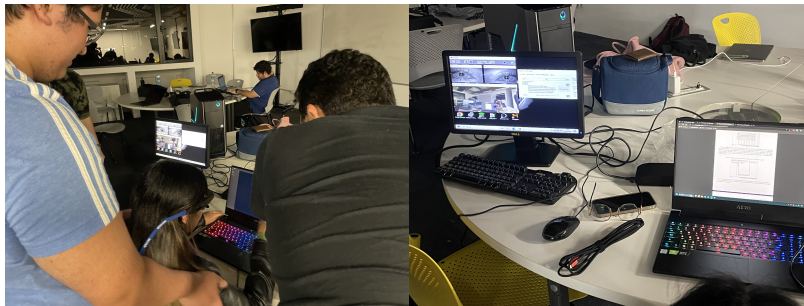
Para comenzar con la actividad en clase, el catedrático tomó un aproximado de 30 minutos para realizar una intervención y dar una breve clase acerca de la teoría del *eye tracking*. En este corto tiempo, habló a los estudiantes para explicar los conceptos básicos, ventajas, desventajas y casos de estudio del *eye tracking*, apoyándose de una presentación en *Power Point*. Los estudiantes fueron libres de realizar preguntas al catedrático.

La experimentación se inició en los períodos de laboratorio del curso Interacción Humano Computador. Se contó con un tiempo aproximado de una hora y media para la realización de esta actividad. Ambos rastreadores se presentaron a los estudiantes en sus respectivas cajas. Así mismo, se les brindó la computadora de escritorio con los programas *ETVision* y *ETAnalysis* preinstalados. A partir de esto, se solicitó a los estudiantes que desearan participar de la actividad que realizaran ellos mismos la configuración física y de software siguiendo los pasos descritos en las guías que se les fueron entregadas previo a la clase de ese día. Cada estudiante fue libre de escoger el rastreador que utilizarían para probar la usabilidad de sus prototipos de software.

Figura 19: Estudiantes configurando el rastreador *Tobii Eye Tracker 5* en su laptop



Figura 20: Estudiantes configurando rastreador *ETVision System* en computadora *desktop* de la universidad



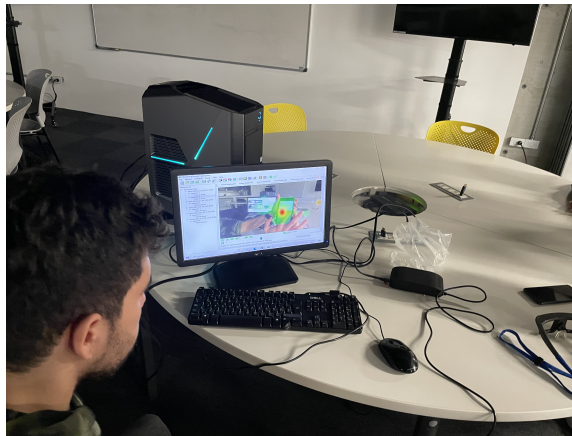
Luego de realizar la configuración del rastreador elegido, los estudiantes procedieron a cargar sus prototipos de mediana/alta fidelidad en el navegador de la computadora. Estos prototipos de software eran dinámicos, es decir, que se podía interactuar y navegar entre pantallas de la aplicación diseñada mediante clicks a enlaces y botones. Todos los prototipos fueron de una aplicación móvil en la que se pretendía implementar pagos y transferencias dentro de la aplicación *Whatsapp*.

Cabe mencionar que para aquellos que decidieron usar el rastreador *Tobii Eye Tracker 5*, la misma computadora en la que se cargó el prototipo, en esa misma computadora se realizó la grabación de la interacción con el programa *OBS* y *Tobii Ghost*. En cambio, para aquellos que usaron el *ETVision System*, se tuvo una computadora o celular para el prototipo de la aplicación móvil, y otra computadora conectada al rastreador para grabar los datos de la mirada.

Figura 21: Estudiantes realizando una prueba de usabilidad de su prototipo con el rastreador *Tobii Eye Tracker 5*



Figura 22: Estudiantes analizando la grabación de la prueba de usabilidad de su prototipo con el rastreador *ETVision System*



#### 5.3.4. Análisis y fin de la experimentación

Tal como se observa en la imagen anterior, los estudiantes luego de llevar a cabo la prueba de usabilidad y la respectiva grabación, procedieron a observar la visualización de los datos de la mirada medidos con los rastreadores. Para ambos rastreadores se obtuvo un mapa de calor correspondiente a la duración de las fijaciones del portador o usuario del *eye tracker* en la prueba.

Para finalizar, cada estudiante que participó de la actividad exportó la grabación de la prueba de usabilidad junto con el mapa de calor y se quedó con una copia para posterior análisis. Con este video, cada estudiante ya sería capaz de analizar los puntos de mejora, elementos de distracción, o carencias dentro de su prototipo.

Figura 23: Estudiante exportando el video de la prueba de usabilidad



## 5.4. Recolección de datos y retroalimentación

Al terminar la experimentación, cada estudiante que participó, obtuvo la grabación de su interacción con el prototipo con los respectivos indicadores de *eye tracking*, dígase mapa de calor o mapa de fijaciones.

Para la recolectar información tanto de la actividad como de la experiencia que los estudiantes tuvieron con los dispositivos de *eye tracking* y el impacto en sus prototipos, se elaboró una encuesta utilizando la plataforma *Google Forms*. Para ello, se tomó como base el estándar *System Usability Scale* (SUS, por sus siglas en inglés) que se encuentra en la sección 4.1.4. Este modelo anterior ayudó a conocer si los estudiantes habían sido capaces de utilizar el sistema de *eye tracking*, si lo usarían en otros desarrollos, entre otros factores.

Adicional, se colocaron preguntas con el fin de indagar si los alumnos, además de poder utilizar el hardware, habían identificado puntos de mejora en sus prototipos, y de ser así, cuales habían sido y si lograron implementarlos. También, se abrió un espacio al final de la encuesta para que ellos colocaran sus opiniones al respecto de la actividad.

La encuesta elaborada se compartió a través del mismo canal de comunicación en donde se compartieron las guías.

## 5.5. Análisis de resultados

Con las respuestas de la encuesta enviada a los estudiantes del curso de Interacción Humano Computador, se procedió a analizar las respuestas. Estas respuestas fueron tabuladas y encontradas en un archivo de *Excel* que el propio *Google Forms* generó. Con esta hoja de trabajo, se procedió a realizar cálculos de proporcionalidad y gráficas representativas de las respuestas para identificar tendencias entre variables y dispositivo utilizado.

Los resultados de este proyecto se pueden extraer de las respuestas a la encuesta elaborada y enviada a los estudiantes del curso Interacción Humano-Computador. Estas respuestas contienen información acerca de cuán usable es el sistema de *eye tracking*, qué impacto alcanzaron en su prototipo, y comentarios acerca de la actividad. Luego de realizar la actividad en clase con aproximadamente 15 estudiantes, se obtuvieron 10 respuestas a la encuesta. 8 de ellas correspondientes a estudiantes que usaron el *Tobii Eye Tracker 5*, y 2 que usaron el *ETVision System*.

Figura 24: Distribución de uso de rastreadores en alumnos que contestaron la encuesta



## 6.1. Usabilidad de los dispositivos de *Eye Tracking* de acuerdo con los estudiantes

Como se mencionó en la sección 5.4 se utilizó uno de los cuestionarios más frecuentados para medir la percepción de la usabilidad de un sistema por parte de usuarios, el *SUS*.

Fueron 10 preguntas, cuya respuesta estaba comprendida en una escala del 1 al 5, siendo 1 un fuerte desacuerdo, y 5 un acuerdo total.

La forma de asignar puntaje a estas respuestas es la siguiente.

- Para las preguntas impares, se restó 1 a la respuesta seleccionada.
- Para las preguntas pares, a 5 se le restó la respuesta del usuario.
- Los pasos anteriores llevan las respuestas a una escala de 0 a 4.
- Sumar todas las respuestas convertidas para cada usuario. Esto resultará en una escala de 0 a 40.
- Multiplicar el resultado total por 2.5. Esto llevará el resultado a una escala de 0 a 100.

Tras realizar estos cálculos, se obtuvieron los siguientes resultados reflejados en tablas.

SUS Score
85
80
67.5
82.5
75
77.5
70
82.5

Cuadro 1: Puntajes SUS para Tobii Eye Tracker 5

SUS Score
77.5
75

Cuadro 2: Puntajes SUS para ETVision System

Para el rastreador *Tobii Eye Tracker 5* se obtuvo un puntaje promedio de **77.5**, mientras que en el caso del sistema *ETVision*, el promedio obtenido fue de **76.25**. De acuerdo con Sauro [29], el puntaje SUS promedio en los estudios de usabilidad es de 68. Por lo tanto, ambos dispositivos lograron un puntaje arriba del promedio.

De acuerdo con Sauro en el 2018 [30], estos puntajes SUS pueden ser interpretados de las siguientes maneras: nota, percentiles, adjetivos, aceptabilidad y *net promoter score (NPS)*.

Figura 25: Calificaciones, adjetivos, aceptabilidad y categorías NPS asociadas a las puntuaciones brutas SUS de acuerdo con Sauro 2018

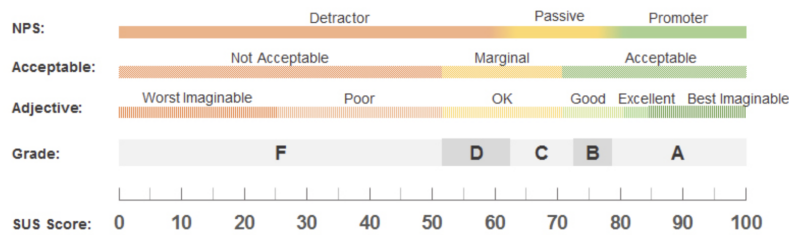
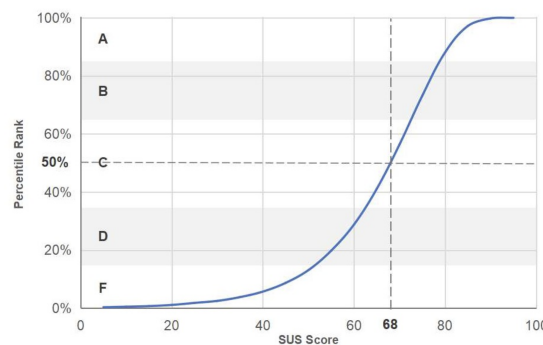


Figura 26: SUS en una curva con rangos percentiles y calificaciones de acuerdo con Sauro 2011



Con un SUS promedio de **77.5** para el rastreador de *Tobii*, se puede decir que este obtiene una nota de **B+** y que se encuentra en un rango de percentiles de **80-84**. Así mismo, al interpretar este resultado como un adjetivo, éste dispositivo obtiene "**Bueno**" y se considera **acceptable**. Finalmente, bajo el punto de vista del *Net Promoter Score*, se considera que en promedio, los participantes de este rastreador tomaron una postura **pasiva**.

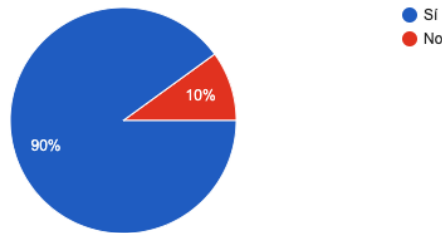
Para el rastreador *ETVision System*, cuyo SUS promedio fue de **76.5**, se puede decir que este obtiene una nota de **B** y que se encuentra en un rango de percentiles de **70-79**. Así mismo, al interpretar este resultado como un adjetivo, éste dispositivo obtiene "**Bueno**" y se considera **acceptable**. Finalmente, bajo el punto de vista del *Net Promoter Score*, se considera que en promedio, los participantes de este rastreador tomaron una postura **pasiva**.

## 6.2. Identificación de mejoras en prototipos de estudiantes

Con el fin de medir el impacto que los estudiantes habían alcanzado en sus prototipos luego de completar la prueba de usabilidad, se añadieron preguntas a la encuesta que se dirigían a este tema. Una de las preguntas fue "¿Logró identificar oportunidades de mejora en su prototipo luego de ver el mapa de calor junto con la grabación de su interacción?"

Figura 27: Resultados de impacto alcanzado en el prototipo evaluado mediante tecnología de Eye Tracking tras la actividad en clase.

¿Logró identificar oportunidades de mejora en su prototipo luego de ver el mapa de calor junto con la grabación de su interacción?  
10 respuestas

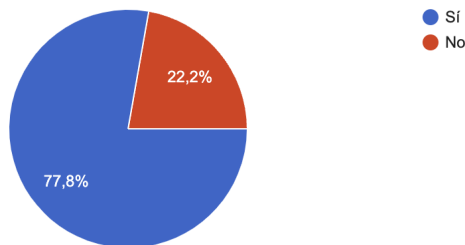


Esa única persona que no identificó oportunidades de mejora en su prototipo tras la actividad usó el rastreador de *Tobii*. Así mismo, justificó su respuesta mencionando que en su opinión *“las modificacinoes que necestaba su protipo eran más en cuanto a intuitividad, pero los mapas de calor no le dijeron nada que fuera relevavnte para la resolución de ese problema en específico”*.

Luego de esta interrogante, se les preguntó a los estudiantes que habían identificado opotunidades de mejora o cambios necesarios en sus prototipos, si habían sido capaces de realizar dichos cambios en su desarrollo del diseño. El 77.8 % indicó que sí había modificado su prototipo luego de la actividad de *eye tracking*.

Figura 28: Estudiantes que alcanzaron un impacto en su prototipo al hacer uso de rastreadores oculares

A partir de la identificación de puntos de mejora en su prototipo con la grabación, ¿Fue capaz de realizar estos cambios en su prototipo?  
9 respuestas



Para entender qué tipos de cambios habían realizado en sus prototipos este 77.8% , se les pidió que indicaran la naturaleza de los cambios que habían realizado en sus diseños. A continuación se presentan sus respuestas.

La posición de unos campos, para facilitar el uso
Cambie el color de los botones interactivables que estaban en el centro de la pantalla, para que resaltaran más.
El tamaño de botones
La sección donde los usuarios más observan la pantalla me indicó que el botón no lo encontraban donde usualmente pensaban.
Cambié el estilo de ciertos botones, descripciones y formularios para que llamarán más la atención del usuario.
Ciertos elementos fueron movidos para que el usuario pueda considerarlos elementos importantes, ya que anteriormente no parecían ser tan relevantes
Agrande un poco el botón y le di más color para que lo ubicaran más fácil y rápido.

Como se puede observar, los cambios en las interfaces de los estudiantes fueron desde posición de campos de texto, colores y tamaños de botones, añadir descripciones, entre otros. Ciertos estudiantes lograron identificar secciones de su prototipo que distraían al usuario de las áreas de interés (AOI).

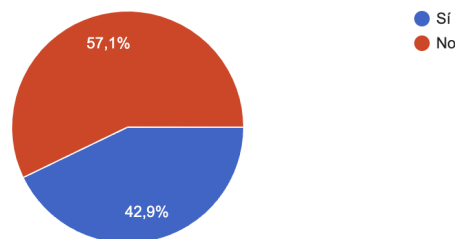
Ahora bien, aquellos que no lograron implementar los cambios, aún habiéndolos identificado, justifican su respuesta mencionando que *“no es que se necesite un cambio, solo se necesitaba explicación de como funciona “pagar” en IOS”* y también que *“a su parecer ya estaba listo el trabajo para ser presentado”*.

A los que lograron un impacto en su prototipo se les preguntó que si hubiesen notado la necesidad de mejora o cambio si no se hubiera integrado *eye tracking* en la prueba de usabilidad. El 57.1% mencionó que de no haber sido por el seguimiento ocular, no hubiesen logrado mejorar su prototipo.

Figura 29: Estudiantes atribuyendo mérito al *eye tracking* de los cambios en su prototipo

¿Considera usted que hubiese notado la necesidad de mejorar este aspecto sin el uso de la tecnología del *Eye tracking*?

7 respuestas



### 6.3. Retroalimentación de los estudiantes acerca de la actividad en clase y dispositivos

Para finalizar la encuesta de la actividad realizada en clase, se les preguntó a los alumnos si tenían opiniones acerca de la actividad de clase o bien de los rastreadores oculares. Esto

fue lo que mencionaron al respecto.

Fue muy interesante
Pues me gustó mucho la actividad, utilizar una herramienta de ese tipo era algo que solamente había visto en internet y me pareció muy útil.
Muy interesante y sencilla
Los dispositivos son realmente interesantes. Considero que pueden ser de mucha ayuda en el diseño de interfaces gráficas porque permite tener un bajo nivel de abstracción de lo que el usuario realmente quiere o está intentado hacer.
Fue bastante interesante la clase en general. Toda la explicación del uso de dispositivos como este me enseñó mucho.
La actividad de EyeTracking no solo me gustó mucho, sino que me permitió identificar áreas de mejora en el prototipo que había elaborado. Además, considero que podría usar esta tecnología en un futuro para próximos proyectos, si se me da la oportunidad.
Fue una clase muy interesante, me pareció fuera de lo común utilizar este dispositivo. De una manera sí ayudó usar el eye tracking.
Fue una actividad muy interesante en la que pude aprender los puntos de interés de una persona con solo ver alguna cosa.
La actividad me pareció muy divertida e interesante, por lo que sí trataría de hacer más actividades que involucren el uso de esta herramienta.
Me pareció una excelente actividad para presentar el uso de una tecnología poco usual. Se utilizó muy bien la oportunidad del ejercicio en clase para incorporarla y darle un uso idóneo.

En los resultados se encontró que el 80 % de los usuarios utilizaron el rastreador de *Tobii*. Esto es posible de entender debido a que este al estar ya configurado en una computadora portátil y con un software que al mismo tiempo que grababa, generaba el mapa de calor, la prueba de usabilidad y visualización de los datos tardó menos. Así mismo, usar este rastreador implicaba únicamente tener el enlace del prototipo abierto en la computadora con el rastreador, calibrar sensor, presionar grabar en *OBS*, hacer la prueba de usabilidad, detener la grabación, y ya se obtenía el video final con el mapa de calor y la interacción con el prototipo. En el caso del rastreador *ETVision System*, se debía colocar y ajustar las gafas a la cara del estudiante, calibrar los sensores, seleccionar la carpeta y perfil de grabación, hacer la prueba, detener la grabación, abrir el software de análisis, crear un nuevo proyecto, importar los datos del seguimiento ocular, importar y colocar el video de la grabación, seleccionar el mapa de calor, y finalmente crear el video unificando los datos del seguimiento ocular con el video del exterior.

Con base en lo mencionado anteriormente, el tiempo de configuración y uso del rastreador de *Tobii* fue significativamente menor. Es notable que este menor tiempo de la prueba de usabilidad y exportación de datos con este rastreador hizo que más estudiantes prefirieran y tuvieran la oportunidad de usarlo. Dos rastreadores en total. Un factor que también pudo haber influido es que, ya que muchos estudiantes tenían más expectativa de usar el rastreador con gafas por el *feedback* en tiempo real de los dos ojos así como de la escena, añadido a que este rastreador no estaba limitado a una pantalla si no que al entorno físico, esto provocó que los que sí usaron este dispositivo tardaron aún más debido a un uso ocioso. Esto último causó por ende, que menos estudiantes pudieran usar este rastreador en el tiempo de clase.

Adicional a esto, el manejo de una audiencia numerosa y cercana a los 30 alumnos añadió complejidad a la ejecución de la práctica teniendo menos orden y control del tiempo. Esto último impactó también en el aspecto del tiempo y la cantidad de alumnos que pudieron

hacer uso de los rastreadores con sus prototipos. Así mismo, se reconoce que dentro de las pruebas de usabilidad de los prototipos de los estudiantes, no se tuvo un ambiente controlado, es decir, no se siguió la recomendación general de *eye trackers* de poseer un espacio limpio, ordenado y libre de distracciones. Muchos estudiantes colocaban objetos como pачones, celulares, cuadernos y lapiceros cerca del dispositivo en el cual se desempeñaron las pruebas. Esto pudo provocar un ligero impacto en la atención visual del estudiante que se encontraba usando el rastreador ocular. Así mismo, no se controló el factor de la iluminación, es decir, se contaba con múltiples focos que apuntaban directamente a la cara del estudiante con el rastreador, cosa que también impactó en la atención visual. De repetirse el experimento, lo ideal sería realizar la prueba de usabilidad en una computadora o celular que esté sobre un escritorio limpio y libre de objetos, que esté pegado a una pared blanca o monocromática, y sin objeto alguno que pueda entrar en el área periférica del usuario de la prueba. De esta forma, se puede aumentar la objetividad y confiabilidad de las pruebas de uso de los prototipos de los estudiantes y determinar qué tanto apoyo significa la integración de un *eye tracker* a este tipo de prácticas del HCI.

El hecho de que las puntuaciones de la usabilidad para estos dos rastreadores haya sido positiva, indica que los estudiantes no encontraron problemas a la hora de hacer pruebas de usabilidad a sus prototipos con esos dispositivos. Durante la práctica el día de clase, el único inconveniente fue que el software del rastreador de *Tobii* no se terminaba de descargar en la tienda de Microsoft. Sin embargo, luego de varios intentos se logró instalar exitosamente y luego de ello el software no presentó ningún error.

- Se logró crear y proponer un módulo de *eye tracking* para el curso Interacción Humano-Computador mediante guías de uso detalladas para cada dispositivo, con el fin de que los estudiantes pudieran tomarlas de referencia.
- El módulo de *eye tracking* propuesto e implementado permitió llevar a cabo pruebas de usabilidad con prototipos de software utilizando dos rastreadores oculares distintos.
- Se logró demostrar que el módulo implementado es un complemento viable para el contenido del curso Interacción Humano-Computador al incluir técnicas innovadoras como lo es el *eye tracking*.
- Todos los estudiantes fueron capaces de configurar y utilizar los rastreadores en las pruebas de usabilidad con sus prototipos.
- Basado en los resultados, se afirma que el 90% de los estudiantes que participaron en la actividad en clase incluirían tecnología de *eye tracking* en futuros desarrollos.
- El 80% de los estudiantes del curso que se sometieron a la actividad de *eye tracking* se decantaron por usar la barra de sensores *Tobii Eye Tracker 5* para medir la usabilidad de sus prototipos antes que los lentes de *ETVision*.
- El 90% de los estudiantes lograron identificar carencias u oportunidades de mejora en sus prototipos de software tras la actividad en clase.
- El 77.8% de los estudiantes que identificaron oportunidades de mejora lograron implementar cambios en sus diseños de interfaz de usuario para una aplicación móvil.
- Se concluye que los proyectos de diseño de interfaz y experiencia de usuario de los estudiantes obtuvieron una mejora en eficiencia tras los cambios implementados luego de la experimentación.



---

### Recomendaciones

---

- Se recomienda realizar un cuestionario estandarizado como el SUS no solo a los dispositivos de *eye tracking* si no que también a los prototipos de software.
- Con el fin de medir el impacto alcanzado en los prototipos, y no solo si se logró o no, se recomienda realizar un cuestionario SUS con el prototipo de software antes de la prueba y otro cuestionario posterior a la prueba.
- Se recomienda proponer a los estudiantes que también hagan intervenciones de *eye tracking* con usuarios finales de sus productos. De esta manera, se obtiene la perspectiva del desarrollador y del consumidor.
- Dentro de la actividad en clase, se recomienda distribuir equitativamente a los estudiantes en los distintos rastreadores con los que se cuente.
- Se recomienda realizar la recolección de datos y encuesta concerniente a la usabilidad de los rastreadores inmediatamente después de la actividad, de manera que tengan la experiencia lo más presente posible al contestar las preguntas.
- Para una siguiente iteración, se debería considerar integrar un catálogo más amplio de dispositivos de *eye tracking*, ya sea solicitando la compra de estos al departamento de computación de la universidad, o bien consiguiéndolos por cuenta propia.
- Se recomienda altamente realizar la actividad en clase más de una vez, esto para abarcar mayor número de estudiantes y así observar más resultados en los prototipos.
- Realizar un experimento o prueba que cuantifique la magnitud de las mejoras en eficiencia, eficacia y satisfacción en los prototipos de los estudiantes.



- 
- [1] P. Kashfi, A. Nilsson y R. Feldt, “Integrating User eXperience practices into software development processes: implications of the UX characteristics,” *PeerJ Computer Science*, vol. 3, e130, 2017. DOI: [10.7717/peerj-cs.130](https://doi.org/10.7717/peerj-cs.130).
  - [2] *ISO/IEC 9241-11 Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDT)s - Part 11 Guidance on usability*, ISO/IEC 9241-11:1998(E), 1998.
  - [3] R. E. Morrison y A. W. Inhoff, “Visual factors and eye movements in reading,” *Visible Language*, vol. 15, n.º 2, pág. 129, 1981.
  - [4] J. R. Bergstrom y A. Schall, eds., *Eye Tracking in User Experience Design*. Elsevier, 2014.
  - [5] A. T. Duchowski, *Eye Tracking Methodology: Theory & Practice*, 2nd. London: Springer-Verlag, 2007.
  - [6] International Organization for Standardization (ISO), *ISO 9241-110:2010. Ergonomics of human-system interaction - Part 110: Interaction principles*, Standard, Geneva, Switzerland, 2010.
  - [7] L. Alben, “Quality of experience: defining the criteria for effective interaction design,” *Interactions*, vol. 3, n.º 3, págs. 11-15, mayo de 1996.
  - [8] J. S. Dumas, “User-Based Evaluations,” en *The Human-Computer Interaction Handbook*, J. A. Jacko y A. Sears, eds., Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 2003, págs. 1093-1117.
  - [9] J. S. Dumas y M. C. Salzman, “Usability Assessment Methods,” en *Reviews of Human Factors and Ergonomics*, R. C. Williges, ed., vol. 2, Santa Monica, CA: Human Factors y Ergonomics Society, 2006, págs. 109-140.
  - [10] G. Salvendy, *Handbook of Human Factors and Ergonomics*. Wiley, 2012.
  - [11] J. Dumas y J. C. Redish, *A Practical Guide to Usability Testing*. Intellect, 1999.
  - [12] M. Theofanos y W. Quesenbery, “Towards the Design of Effective Formative Test Reports,” *Journal of Usability Studies*, vol. 1, n.º 1, págs. 27-45, 2005.

- [13] R. T. Høegh, C. M. Nielsen, M. Overgaard, M. B. Pedersen y J. Stage, “The Impact of Usability Reports and User Test Observations on Developers’ Understanding of Usability Data: An Exploratory Study,” *International Journal of Human-Computer Interaction*, vol. 21, n.º 2, págs. 173-196, 2006.
- [14] J. C. Nunnally, *Psychometric Theory*. New York: McGraw-Hill, 1978.
- [15] B. T. Carter y S. G. Luke, “Best practices in eye tracking research,” *International Journal of Psychophysiology*, vol. 156, págs. 155-161, 2020. DOI: [10.1016/j.ijpsycho.2020.05.010](https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2020.05.010).
- [16] M. Płużyczka, “The First Hundred Years: A History of Eye Tracking as a Research Method,” *Applied Linguistics Papers*, vol. 25, n.º 4, págs. 101-116, 2018.
- [17] W. James, *The Principles of Psychology*. Cosimo, Inc., 2007, vol. 1.
- [18] H. Helmholtz, *Handbuch der Physiologischen Optik (Treatise on Physiological Optics)*, Translated from the Third (German ed.) The Optical Society of America, 1925, vol. III.
- [19] W. James, *The Principles of Psychology*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1981, vol. I, See: James, W. (1890) *The Principles of Psychology*. New York: H. Holt and Co.
- [20] J. J. Gibson, “A critical review of the concept of set in contemporary experimental psychology,” *Psychological Bulletin*, vol. 38, n.º 9, págs. 781-817, 1941.
- [21] I. Rehman, T. Ali, M. Motlagh y N. Mahabadi, *Anatomy, Head and Neck, Eye Fovea*, Retrieved April 17, 2023, from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK482301/>, National Center for Biotechnology Information, 2022.
- [22] T. Technology, “An Introduction to EyeTracking and Tobii EyeTrackers,” Whitepaper, 2010. dirección: <https://www.tobiipro.com/contentassets/7ab94c8f1eb64c1f88d2d7a59e48258a/an-introduction-to-eyetracking-and-tobii-eyetrackers.pdf>.
- [23] E. R. Schotter, B. Angele y K. Rayner, “Parafoveal processing in reading,” *Attention, Perception, & Psychophysics*, vol. 74, n.º 1, págs. 5-35, 2012. DOI: [10.3758/s13414-011-0219-2](https://doi.org/10.3758/s13414-011-0219-2).
- [24] S. Ivancic Valenko, V. Cviljušac, S. Zlatić y D. Modrić, “The Impact of Physical Parameters on the Perception of the Moving Elements in Peripheral Part of the Screen,” mayo de 2020. DOI: [10.17559/TV-20190214125057](https://doi.org/10.17559/TV-20190214125057).
- [25] W. L. Shebilske y D. F. Fisher, “Understanding extended discourse through the eyes: How and why,” en *Eye Movements and Psychological Functions: International Views*, R. Groner, C. Menz, D. F. Fisher y R. A. Monty, eds., Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum, 1983, págs. 303-314.
- [26] R. H. S. Carpenter, *Movements of the Eyes*. London: Pion, 1977.
- [27] A. George, “Image based Eye Gaze Tracking and its Applications,” jul. de 2019.
- [28] Eyeware, *Understanding Eye Tracking & How It Can Work For You: Definitions, metrics, and applications. Eye Tracking 101: What Is It & How Does It Work In Real Life?* Retrieved April 19, 2023, from <https://eyeware.tech/blog/what-is-eye-tracking/>, Eyeware, abr. de 2023.
- [29] J. Sauro, *Measuring usability with the system usability scale (SUS)*, Retrieved May 2, 2023, 2011. dirección: <https://measuringu.com/sus/>.

- [30] J. Sauro, *5 ways to interpret a SUS score*, Retrieved May 2, 2023, 2018. dirección: <https://measuringu.com/interpret-sus-score/>.



## 11.1. Guía de uso para *ETVision System*

El objetivo de este documento es el de guiar al lector en el uso del sistema de *eye tracking* llamado *ETVision System* por *Argus Science*. Se espera que la guía sea capaz de brindar una experiencia más sencilla con *hardware* de *eye tracking*, y que a través del uso de esta tecnología se puedan poner a prueba los prototipos de *software* del lector. La motivación de este módulo guiado es que se puedan mejorar las métricas de eficacia, eficiencia y satisfacción en las pruebas de usabilidad desempeñadas.

### 11.1.1. Contenido en el maletín

El sistema de seguimiento ocular de *Argus Science* se encuentra empacado en un maletín. Este permite su transporte seguro y cómodo.

Figura 30: Maletín que contiene el sistema de rastreo ocular



Al abrir el zipper del maletín es posible observar todas las piezas del sistema de rastreo ocular. Éstas vienen protegidas por una espuma. A continuación se presenta una figura del contenido del maletín, así como una lista de los elementos más importantes.

Figura 31: Contenido dentro del maletín del sistema



Lista de elementos:

- Gafas con sensores y cámara frontal
- Controlador
- Cargador para el controlador
- Cable de red
- Silueta de calibración
- Correa para controlador
- USB con instaladores de software
- Micro SD y adaptador

### 11.1.2. Configuración de lentes y controlador

El primer paso a dar para poder hacer uso del sistema es extraer las gafas o lentes del maletín, así como también el controlador. Es posible notar que las gafas tienen adherido un cable HDMI. Este cable se conectará al puerto HDMI que se encuentra en el controlador. Es a través de este cable que las capturas de los ojos que hacen los sensores pasarán hacia el chip de procesamiento.

Figura 32: Conexión entre gafas con sensores y cámara, y el controlador



Ahora bien, es necesario poder conectar este sistema al computador para poder monitorear lo que se observa. Para ello se hace de una red, que puede ser inalámbrica o alámbrica. En el caso de esta práctica, se puede utilizar el cable de red que incluye el mismo maletín. Esto asegura mejor conexión a lo largo del proceso.

Figura 33: Cable de red conectado a controlador y a computador



Una vez que el controlador esté conectado a los lentes a través del cable HDMI, y a la computadora a través del cable de red, es importante encender el controlador presionando por alrededor de tres segundos el botón de encendido. Se dará cuenta que se encendió porque notará que una luz led se ha encendido.

### 11.1.3. Primeros pasos con el dispositivo

#### Colocación de lentes

El participante deberá empezar por colocarse los lentes de *eye tracking*. Para una mejor comodidad, es posible intercambiar los plásticos que hacen contacto con la nariz del

participante. También, procurar que los cables no causen obstrucción o que incomoden al participante. El controlador puede colocarse ya sea en la mesa, de manera fija y donde no se caiga con algún movimiento repentino.

## Apertura del software *ETVision*

Una vez teniendo el controlador conectado, encendido y las gafas puestas en el participante, se procede a abrir el software *ETVision* instalado en el computador con sistema operativo windows. Al abrir este programa será posible observar las imágenes que los sensores captan. Estas imágenes incluyen ambos ojos del participante, y aquello que ve.

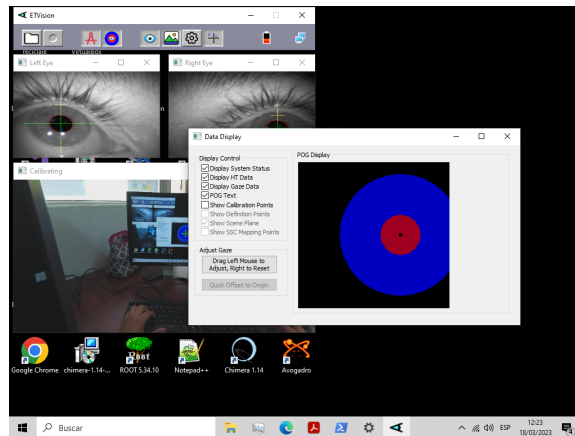
Figura 34: Apertura de software *ETVision*



## Calibración

Es importante realizar una calibración antes de cada prueba, esto asegurará una mayor precisión en la ubicación de la mirada en la pantalla. Para ello, deberá realizar click en el botón que posee un símbolo parecido a una diana de tiro. Al hacer esto se desplegará una imagen con dos círculos y un punto negro en medio. La calibración consiste en que el usuario observe este punto negro hasta que la ventana desaparezca.

Figura 35: Proceso de calibración de sensores

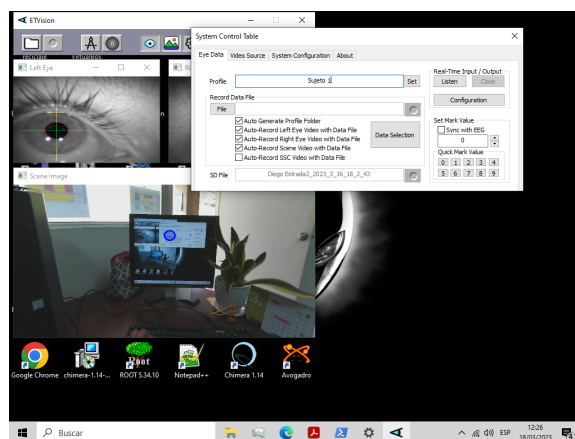


En este punto, ya se está listo para realizar la grabación de la prueba de usabilidad con el prototipo de software que quiera investigar.

#### 11.1.4. Grabación de prueba de usabilidad

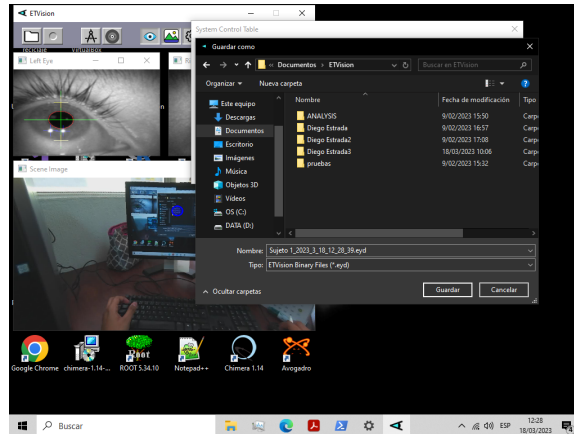
Para realizar una grabación, deberá hacer click en el botón con el ícono de la tuerca. Esto abrirá un menú con diferentes opciones. Hacer click en la pestaña de *eye data*.

Figura 36: Configuración para poder grabar prueba de usabilidad



Una vez con este menú abierto, deberá colocar el nombre del sujeto o participante. Esto servirá para poder identificar sus datos en el proceso de análisis. Luego de colocar el nombre del participante, hacer click en el botón *set*. Así mismo, asegurarse que las casillas están marcadas como en la imagen anterior. Una vez hecho esto, hacer click en el botón de *file*. A continuación deberá escoger una ruta para poder guardar los datos de la grabación del participante.

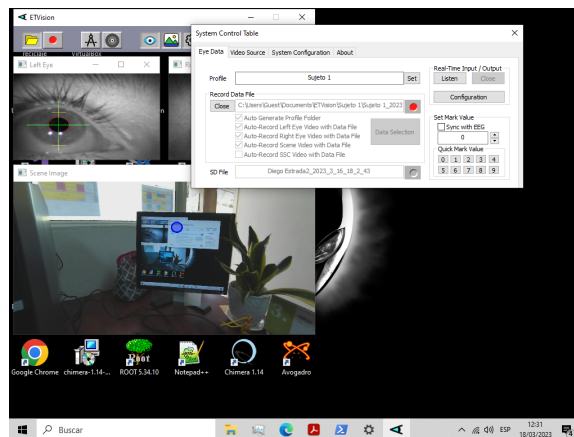
Figura 37: Selección de ruta para almacenar datos del participante



Luego de esto se está listo para empezar la grabación. Para este punto, se recomienda que el prototipo a poner a prueba esté cargado en otro computador o dispositivo móvil.

Para iniciar la grabación se debe hacer click en el botón de grabar, este botón tiene un círculo rojo.

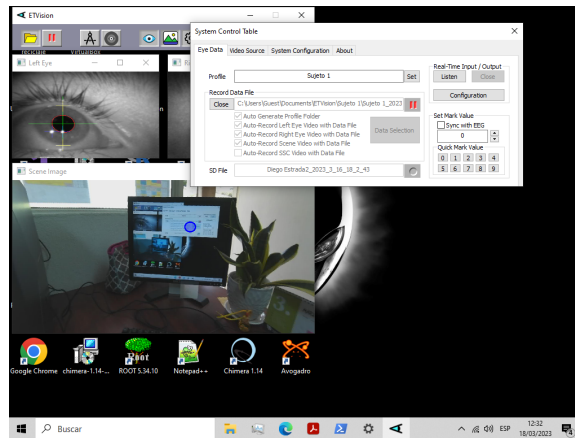
Figura 38: Grabación de prueba de usabilidad en *ETVision*



A partir de aquí, el participante deberá hacer uso del prototipo y deberá alcanzar la meta establecida por el investigador o guía de prueba de usabilidad. Se recomienda no hacer movimientos muy extensos o bruscos con la cabeza.

Una vez terminada la prueba, el investigador puede parar la grabación al hacer click en el botón de pausar.

Figura 39: Pausar la grabación

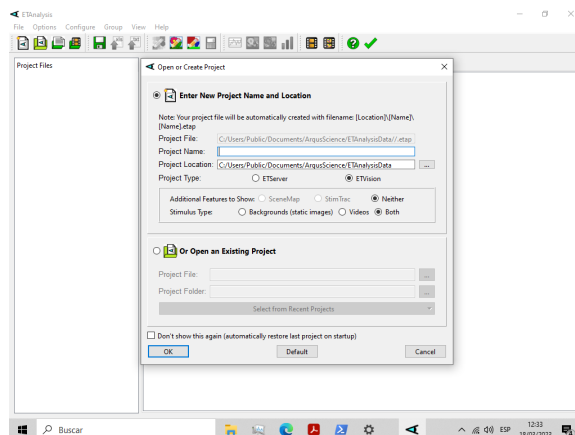


Ya con esto, los datos de grabación y los videos se guardarán en la ruta previamente seleccionada. Ahora se deberá cerrar todas las ventanas y proceder al análisis de las grabaciones.

### 11.1.5. Carga de la grabación y generación de indicadores

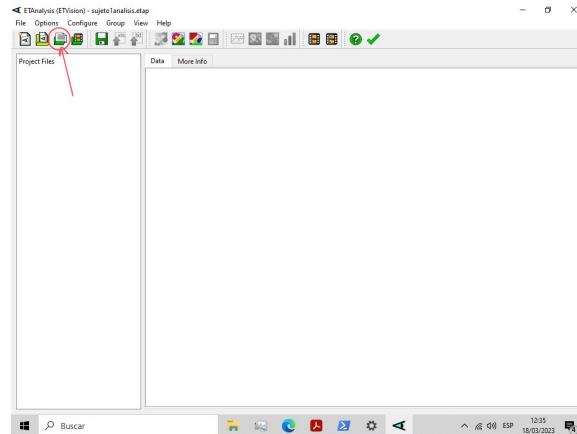
Para poder visualizar las grabaciones y los datos obtenidos por los sensores, se deberá abrir el software *ETAnalysis*. Se deberá colocar el nombre del proyecto nuevo y hacer click en *okay*.

Figura 40: Creación de proyecto nuevo en ETAnalysis



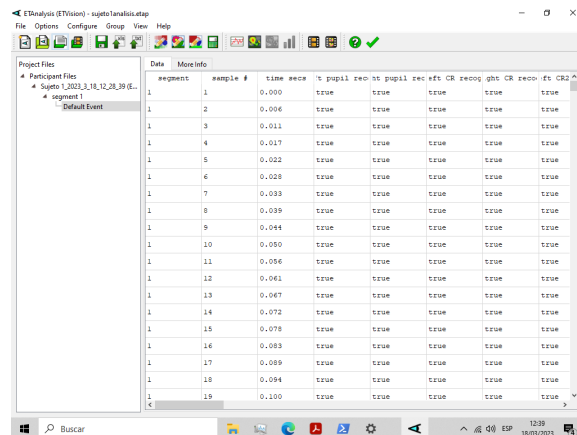
Una vez creado el proyecto nuevo, se debe proceder a cargar los datos del participante. Para ello deberá hacer click en el botón que está en la esquina superior izquierda. A continuación se muestra este botón en la imagen.

Figura 41: Carga de datos de participante a *ETAnalysis*



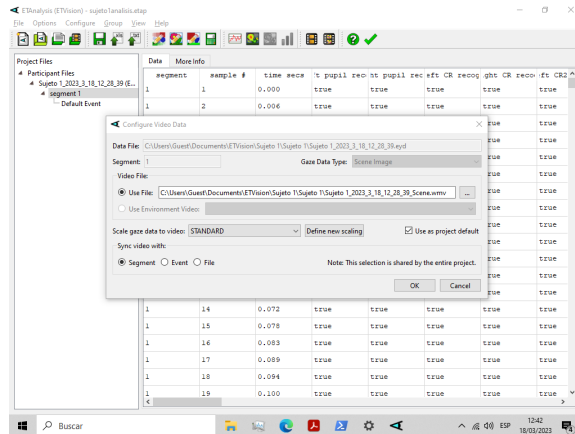
Luego de esto se podrán observar los datos de los sensores obtenidos luego de la grabación. Estos aparecerán en el panel de la izquierda del programa. Se desplegará el nombre del sujeto, del segmento, y del evento registrado. A continuación se muestra el ejemplo.

Figura 42: Datos de participantes cargados en el programa



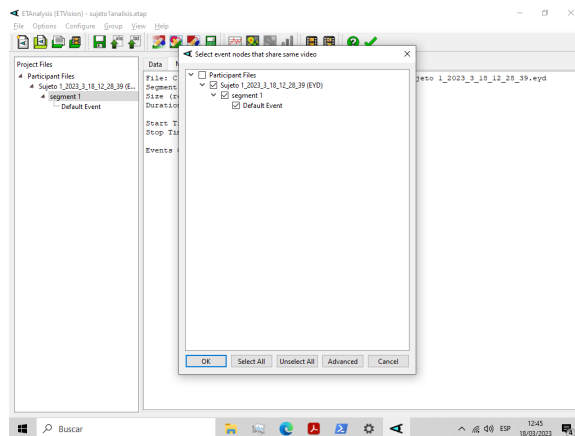
En este momento ya tiene agregadas las coordenadas de la mirada del usuario, ahora es momento de cargar el video del campo visual del usuario. Para ello deberá hacer click derecho en el segmento de los archivos del participante. Luego de ello se desplegará un menú y deberá hacer click en la opción *configure video data*. Se abrirá un menú en donde podrá elegir la ruta del video que grabó el programa de *ETVision*. Click en *okay*.

Figura 43: Carga de video de la prueba de usabilidad



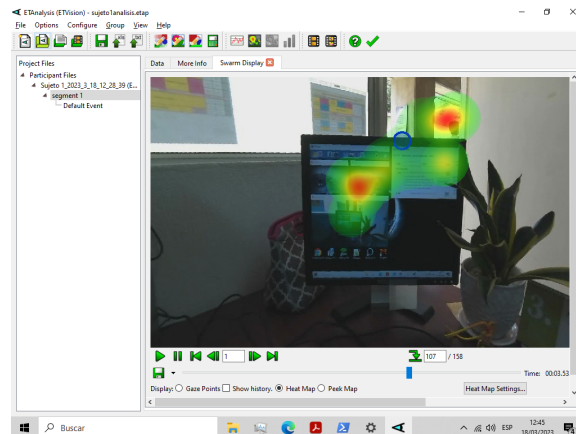
Una vez cargado el video, es posible que salga un error por parte de la plataforma. Solo es necesario que cierre el proyecto y lo vuelva abrir. Para poder observar ya sea el mapa de calor o la gráfica del indicador de mirada, deberá hacer click en el botón de *Swarm Video*. Este se encuentra en la esquina superior derecha. El botón contiene un ícono de una tira de video. Luego de darle click a esto, saldrá un menú donde podrá seleccionar el segmento del cual cargó el video de la grabación. A continuación se ejemplifica esto.

Figura 44: Selección de segmento para visualización de indicadores y video



Ya en este punto el video y los datos de grabación están unificados y se podrá hacer uso del mapa de calor o el indicador de la mirada. A continuación se muestra cómo debería de poder visualizar la grabación de la prueba de usabilidad.

Figura 45: Resultado final de la grabación



## 11.2. Guía de uso de *Tobii Eye Tracker 5*

El objetivo de este documento es el de guiar al lector en la instalación y uso de la herramienta *Tobii Eye Tracker 5*, su software *Tobii Ghost* y los datos que se obtienen con él. Se espera que la guía sea capaz de brindar una experiencia más sencilla con *hardware* de *eye tracking*, y que a través del uso de esta tecnología se puedan poner a prueba los prototipos de *software* del lector. La motivación de este módulo guiado es que se puedan mejorar las métricas de eficacia, eficiencia y satisfacción en las pruebas de usabilidad desempeñadas.

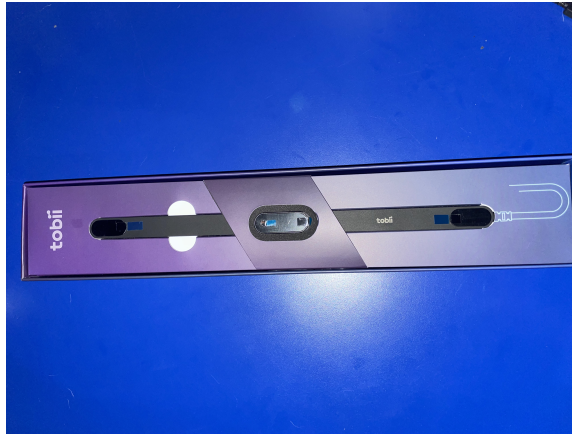
### 11.2.1. Contenido en la caja

El producto en específico es el *Tobii Eye Tracker 5*, el cual se promociona como un producto diseñado para los videojuegos y el *streaming* de ellos. Sin embargo, con el debido enfoque y uso de herramientas de *software* es también posible utilizarlo para motivos de diseño de experiencia de usuario

#### *Eye Tracker*

Lo principal dentro de la caja es la barra de sensores, la cual viene dentro de una protección de cartón. Este dispositivo incluye un cable USB adherido a él, el cual facilita la conexión al computador.

Figura 46: *Eye Tracker 5* en la caja



A continuación se describen las partes principales de la barra de sensores del *Tobii Eye Tracker 5*. Consta de los siguientes elementos.

- (2) Iluminadores infrarrojos, uno en cada extremo
- (1) Sensor de Ojo
- (1) Sensor de Windows Hello
- (1) Chip de procesamiento de imágenes

### **Soportes para monitor/pantalla**

Así mismo, la caja incluye dos tipos de accesorios para colocar la barra de sensores en la parte baja del monitor o pantalla del portátil.

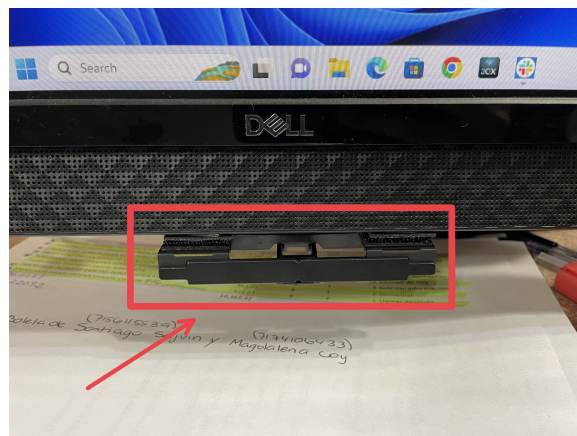
El primer tipo de soporte para el rastreador consiste de una pequeña barra metálica que tiene un adhesivo en una de las caras. Este lado adhesivo es el que entra en contacto con la parte inferior frontal de la pantalla. Se recomienda colocarla lo más centrado posible. Este soporte es el que se aplica a la mayoría de pantallas y monitores planos.

Figura 47: Soporte para monitor o pantalla plana



El segundo tipo de soporte consiste en el primer tipo, es decir, la barra metálica, pero pegado a uno de los lados de un cuerpo plástico y con inclinación ajustable. Este soporte en lugar de ser pegado en la parte frontal inferior, se coloca abajo del monitor, es decir, colgando y únicamente pegado por dos adhesivos doble cara. El rastreador entonces quedará bajo el monitor y no sobre él, como en el anterior caso.

Figura 48: Soporte para monitor o pantalla curva



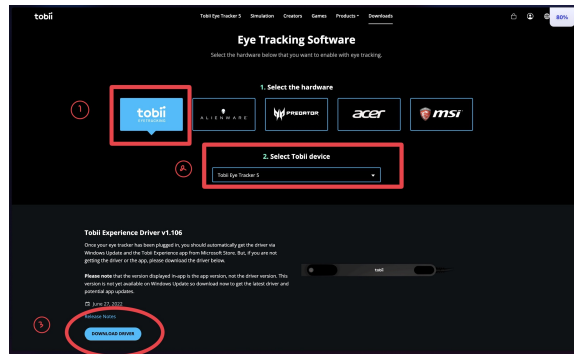
Ahora bien, la barra de sensores o rastreador se coloca sobre esta pequeña barra metálica, y se une mediante un imán en la parte trasera del dispositivo.

### 11.2.2. Instalación de software

Para esta práctica serán necesarios tres programas instalables en un ordenador con sistema operativo Windows 10 en adelante preferiblemente. Estos tres programas son *Tobii Experience*, que sirve para instalar los controladores necesarios para calibrar y utilizar el rastreador, *Tobii Ghost*, el cual servirá para generar los mapas de calor e indicador de mirada, y *OBS*, el cual será utilizado para grabar los indicadores generados en la pantalla.

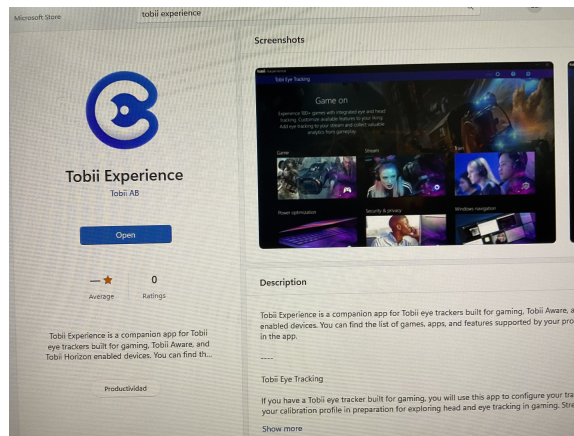
El primer paso es instalar los controladores del rastreador. Este programa será el encargado de hacer que la computadora reconozca que un rastreador está conectado. Haga click [aquí](#) para descargar el programa.

Figura 49: Descarga del *Tobii Experience Driver*



Luego de abrir el archivo instalable, se instalarán los paquetes necesarios y demandará la instalación de la aplicación *Tobii Experience*, que está disponible en la tienda de apps de *Microsoft*.

Figura 50: *Tobii Experience App* en la tienda de *Microsoft*



Cuando se está realizando la instalación de este programa es recomendable tener conetado el rastreador al computador. Es posible notar que el rastreador está activado ya que los iluminadores infrarrojos estarán encendidos. Una vez termine la instalación de esta aplicación, se empezará un proceso de calibración guiada. Es importante seguir las instrucciones a cabalidad.

Se recomienda realizar la calibración en un espacio bien iluminado, pero que la luz no venga de detrás. Como regla general, a mayor tamaño de la pantalla, mayor deberá ser la distancia entre la pantalla y la cara. El rango de operación del rastreador está entre los 50

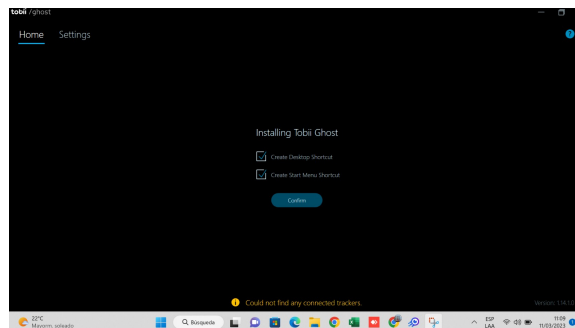
y 95 centímetros.

## *Tobii Ghost*

**Descarga** Haga click [aquí](#) para descargar el programa.

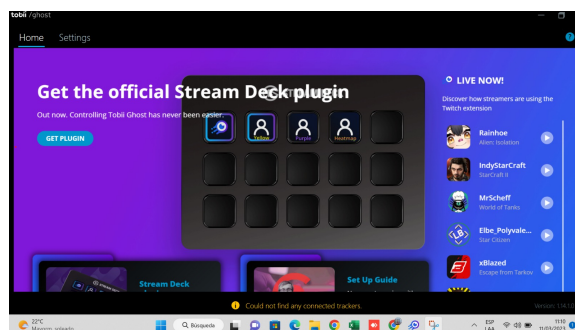
**Instalación** Una vez descargado el archivo ejecutable, se procede a abrirlo y a seguir los pasos que el instalador brinda.

Figura 51: Pantalla de instalación de *Tobii Ghost*



Al terminar el proceso de instalación, aparecerá la pantalla de inicio del programa. Se verá tal que así.

Figura 52: Pantalla de inicio de *Tobii Ghost*



## *OBS*

**Descarga** Haga click [aquí](#) para descargar el programa.

**Instalación** Una vez descargado el programa se sigue el proceso de instalación. Es bastante intuitivo, ya que solo es de escoger optimizaciones para grabación (no transmisión) y colocar los datos más adaptados al monitor en el que se trabajará. A continuación se muestra un proceso de instalación de ejemplo.

Figura 53: Selección de preferencia de uso para *OBS*

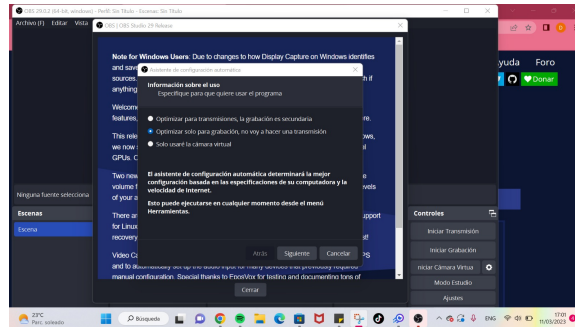
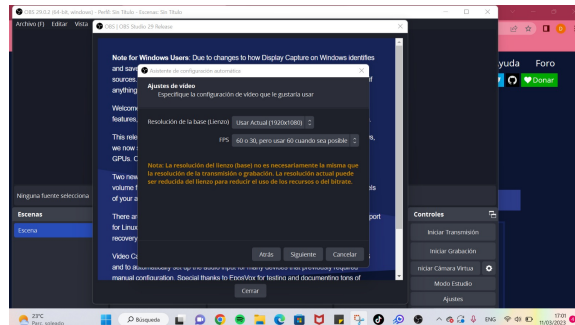
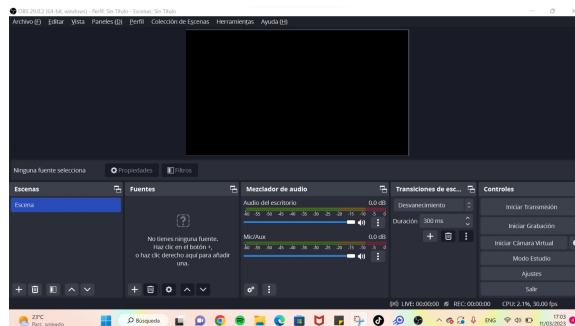


Figura 54: Selección de ajustes del monitor



Finalmente se podrá ver la pantalla principal de *OBS*

Figura 55: Pantalla de inicio de *OBS*

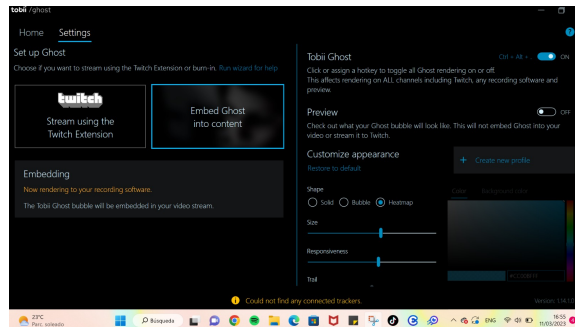


### 11.2.3. Primeros pasos con el dispositivo

#### Configuración de *Gaze* y *Heatmap*

Para esto, se deberá dirigir al apartado de ajustes dentro de la aplicación *Tobii Ghost*.

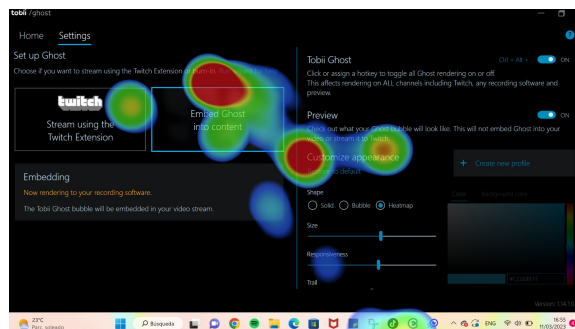
Figura 56: Pantalla de ajustes de *Tobii Ghost*



Una vez en esta sección deberá escoger la opción de *Embed Ghost into content*. Del lado derecho de esta pantalla, podrá ver la opción de *Bubble*, que es una burbuja que permite ver la ubicación de la mirada, y el *Heatmap*, es decir mapa de calor, que representa con colores qué tanto se observan ciertas partes de la pantalla. La opción a utilizar para motivos de pruebas de usabilidad será el del mapa de calor.

Una vez colocadas estas configuraciones, se puede observar una previsualización al hacer click en el interruptor de *Preview*.

Figura 57: Previsualización de mapa de calor



**Configuración de capturas en OBS** Para realizar la grabación en *OBS* se deben de crear dos elementos de captura:

- Display Capture
- Game Capture

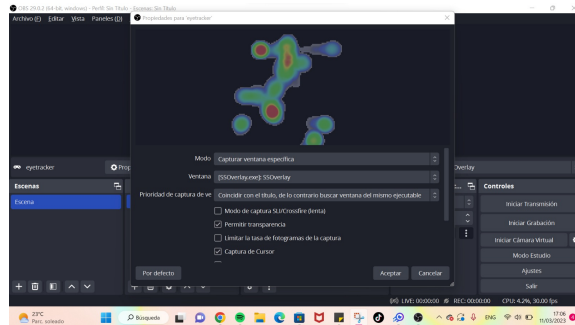
El primero de estos es el que se encargará de grabar lo que se renderiza en la pantalla. El segundo grabará los indicadores de calor generados por el rastreador *Tobii Eye Tracker 5*.

Para crear el *Display Capture*, deberá clickear en el símbolo -"dentro del apartado de fuentes o *sources*. Es aquí donde agregará la pantalla o monitor que se encuentre usando.

Deberá ser capaz de visualizar el contenido de su pantalla. Finalizar confirmando el elemento y agregándolo a la lista de fuentes.

Para agregar la captura del rastreador, deberá nuevamente hacer click en el símbolo -"dentro de fuentes, y en este caso seleccionar *Game Capture*. Colocarle un nombre y configurar de la siguiente manera.

Figura 58: Configuración del *Game Capture*



Una vez configurado esto ya está listo para grabar una prueba de usabilidad para algún prototipo.

#### 11.2.4. Grabación de prueba de usabilidad

Para realizar la grabación, deberá empezar por apagar la previsualización del mapa de calor, ya que no se espera que al realizar la prueba de usabilidad el sujeto se distraiga con los indicadores de calor.

Para realizar la grabación de la prueba, se necesita que memorice o configure un atajo de teclado para iniciar el *Tobii Ghost*. Esto lo puede realizar en el apartado de ajustes, en el lado superior derecho.

Luego de ello, puede proceder a abrir su prototipo en el navegador. Es aquí donde puede empezar a grabar en *OBS* al hacer click en *Start Recording*, y presionar el atajo de teclado mencionado anteriormente. De esta forma puede empezar a interactuar con su prototipo y el comportamiento de la mirada se grabará mediante el mapa de calor. Al terminar la interacción, deberá finalizar la grabación en *OBS*.

