



UNIVERSIDAD  
**DE ATACAMA**

FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPTO. DE ING. INFORMÁTICA Y CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN

**ANÁLISIS DEL USO DE LOS SISTEMAS EYE  
TRACKING COMO APOYO EN LA  
EVALUACIÓN DE USABILIDAD**

Trabajo de titulación presentado en conformidad a los requisitos para obtener el  
título de Ingeniero Civil en Computación e Informática

Profesor Guía: John W. Castro

Ignacio Sebastián Pizarro Díaz

Copiapó, Diciembre 2022, Chile.



UNIVERSIDAD  
**DE ATACAMA**

FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPTO. DE ING. INFORMÁTICA Y CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN

**ANÁLISIS DEL USO DE LOS SISTEMAS EYE  
TRACKING COMO APOYO EN LA  
EVALUACIÓN DE USABILIDAD**

Trabajo de titulación presentado en conformidad a los requisitos para obtener el  
título de Ingeniero Civil en Computación e Informática

Profesor Guía:  
John W. Castro

Miembros del Comité:  
Hector Cornide R.  
Vladimir Riffo B.

Ignacio Sebastián Pizarro Díaz

Copiapó, Diciembre 2022, Chile.

*Este trabajo de titulación se  
la dedico a mi madre, quien  
me brindó su apoyo durante  
esta etapa de mi vida.*

## Agradecimientos

En primer lugar, quiero darle las gracias a la Universidad de Atacama por darme la oportunidad de cumplir mi sueño, a mi profesor guía John Castro, quien me brindó su experiencia y apoyo durante el desarrollo de este trabajo logrando los resultados esperados.

En segundo lugar, a mis compañeros de especialidad, gracias a ustedes por su compañerismo, su amistad y apoyo en las buenas y en las malas, aportándome la motivación necesaria para seguir adelante en la carrera y espero, que este sentimiento haya sido recíproco.

Por último, pero no menos importante, a mi familia, en especial a mis padres, quienes estuvieron para mí en los momentos difíciles, por sus palabras de aliento para seguir adelante y no recaer.

## Resumen

Actualmente, los sistemas software forman parte de nuestra vida cotidiana, por lo que el nivel de usabilidad permitirá decidir su uso. La interfaz de usuario juega un rol importante en este atributo de calidad, siendo el intermediario visual entre el usuario y la codificación del software. Por tanto, los implicados en el desarrollo de software tienen la responsabilidad de realizar evaluaciones de usabilidad de sus sistemas software, con el fin de detectar problemas y mejorar su interacción. En los últimos años, la tecnología *eye tracking*, definida como la recopilación y análisis de información del comportamiento de los ojos, ha ganado popularidad en el área de Ingeniería de Software e interés por parte de investigadores en el área de la Interacción Persona-Computador para realizar la evaluación de usabilidad de sistemas software. Existen estudios donde se emplea la tecnología de *eye tracking* para la detección de problemas de usabilidad. Sin embargo, no se tiene claridad de cómo esta tecnología impacta: (i) en la evaluación de usabilidad de sistemas software y (ii) en su aplicación en conjunto con las técnicas de evaluación de la usabilidad tradicionales. Con el presente trabajo de titulación, se da respuesta a esta problemática, utilizando como metodología un Mapeo Sistemático de Literatura. Para esto, se realizó una búsqueda en tres bases de datos científicas (SCOPUS, IEEE Xplore y Web of Science), recopilando antecedentes desde el año 2016 hasta el 2021. Como resultado de esta búsqueda, se identificaron 45 estudios primarios, que fueron clasificados según las técnicas de evaluación de la usabilidad utilizadas en conjunto con el *eye tracking* y explicando que actividades realizan cada una de ellas. Igualmente, se ha encontrado que esta tecnología impacta de dos formas en las técnicas de la usabilidad reportadas en los estudios: como medio de recopilación de datos y medio de validación de los resultados obtenidos una vez finalizada la etapa de pruebas. También, se identifican las técnicas de evaluación de la usabilidad idóneas para utilizarse

con el *eye tracking*. Además, se reportan los problemas encontrados con el uso del *eye tracking*, principalmente asociados con el ámbito técnico y en la evaluación de la usabilidad de software 3D. Los estudios primarios reflejan que el interés por parte de los investigadores en desarrollar evaluaciones de usabilidad de sistemas software, aplicando la tecnología *eye tracking*, ha ido en aumento. De los resultados obtenidos con el trabajo realizado, se puede concluir que el *eye tracking* brinda información útil para la detección de los elementos de la interacción que generan al usuario dificultades con el uso de una interfaz gráfica, a pesar de las limitaciones inherentes a este tipo de tecnología. Además, se han entregado propuestas para mitigar estas limitaciones, con el fin de lograr una mejor recopilación y análisis de los datos oculares obtenidos durante las evaluaciones de usabilidad. El presente trabajo de titulación entrega un punto de partida a los interesados en implementar el *eye tracking* en las evaluaciones de usabilidad de sistemas software. Como trabajos futuros, se pretende: (i) extender el estudio hacia otras bases de datos y en la literatura gris; (ii) investigar como determinar una cantidad de puntos de calibración del *eye tracker* que permita obtener una calidad óptima en los datos obtenidos por este dispositivo y finalmente; (iii) determinar cuáles son las técnicas más adecuadas para ser utilizadas en la evaluación de la usabilidad de software 3D.

*Palabras clave:* interacción persona-computador, ingeniería de software, evaluación de la usabilidad, *eye tracking*.

# Índice general

|  |           |
|--|-----------|
| Índice general   | v         |
| <b>1. Introducción</b>   | <b>1</b>  |
| 1.1. Objetivos   | 4         |
| 1.1.1. Objetivo General  | 4         |
| 1.1.2. Objetivos Específicos   | 4         |
| 1.1.3. Preguntas   | 5         |
| 1.2. Metodología   | 5         |
| 1.3. Estructura del Trabajo  | 7         |
| <b>2. Marco Teórico</b>  | <b>8</b>  |
| 2.1. <i>Eye Tracking</i>   | 8         |
| 2.2. Evaluación de Usabilidad  | 11        |
| 2.3. Trabajos Relacionados   | 13        |
| <b>3. Resultados</b>   | <b>15</b> |
| 3.1. Identificación de los Estudios Primarios  | 15        |
| 3.1.1. Definir la Estrategia de Búsqueda   | 17        |
| 3.1.2. Conformar la Cadena de Búsqueda   | 19        |
| 3.1.3. Definir los Criterios de Selección  | 22        |
| 3.1.4. Seleccionar los Estudios Primarios  | 22        |
| 3.1.5. Extraer y Sintetizar la Información   | 23        |
| 3.2. Síntesis de los Estudios Primarios  | 26        |
| 3.3. Técnicas de Evaluación de la Usabilidad Utilizadas en Conjunto al<br><i>Eye Tracking</i>              | 27        |
| 3.4. Impacto del Uso de <i>Eye Tracking</i> en la Aplicación de Técnicas de<br>Evaluación de la Usabilidad | 33        |

|   |           |
|---|-----------|
| 3.5. Técnicas de Evaluación de la Usabilidad Idóneas para Utilizarse con<br><i>Eye Tracking</i> . . . . . | 34        |
| 3.6. Problemas al Usar <i>Eye Tracking</i> para Evaluar la Usabilidad . . . . .                           | 35        |
| <b>4. Discusión y Amenazas a la Validez</b>   | <b>39</b> |
| 4.1. Discusión de Resultados . . . . .  | 39        |
| 4.2. Amenazas a la Validez . . . . .  | 44        |
| <b>5. Conclusiones y Trabajos Futuros</b>   | <b>46</b> |
| 5.1. Conclusiones . . . . .   | 46        |
| 5.2. Trabajos Futuros . . . . .   | 49        |
| <b>Referencias</b>  | <b>50</b> |
| <b>Anexo A - Frecuencias y Pesos de las Palabras del Grupo de Control</b>                                 | <b>59</b> |
| <b>Anexo B - Estudios Primarios</b>   | <b>61</b> |
| <b>Anexo C - Especificaciones de las Evaluaciones de Usabilidad con <i>Eye Tracker</i></b>                | <b>74</b> |

# Capítulo 1

## Introducción

En el desarrollo de software, la usabilidad es un atributo de calidad de gran importancia, que se define como la medida en que usuarios específicos pueden utilizar un sistema, producto o servicio para lograr objetivos específicos con eficacia, eficiencia y satisfacción en un contexto de uso específico [ISO, 2018]. En pocas palabras, la usabilidad analiza la facilidad de uso de la interfaz y consta de cinco componentes de calidad: capacidad de aprendizaje, eficiencia, memorización, errores y satisfacción [Hartson y Pyla, 2012; Nielsen, 1994a]. El concepto de usabilidad se ha discutido en el campo de la interacción persona-computador (IPC) de las ciencias de la computación durante varias décadas.

Para detectar problemas de usabilidad en un sistema software, existen una serie de técnicas disponibles para el evaluador, entre los que se encuentran por ejemplo: Evaluación heurística y recorridos cognitivos [Nielsen, 1994b]. La evaluación heurística es una de las técnicas más subjetivas para detectar problemas de usabilidad, la cual está basada en el análisis de al menos dos evaluadores para juzgar una interfaz [Nielsen, 1994b]. En los recorridos cognitivos, el evaluador debe simular ser un usuario que ejecuta determinadas tareas dentro de la interfaz [Nielsen, 1994b].

Otra de las técnicas existentes para evaluar la usabilidad es el *eye tracking*, el cual es considerado como una técnica de recolección de datos originados por el registro del seguimiento visual de las personas [Roa-Martinez y Vidotti, 2020]. Actualmente, el *eye tracking* es un campo multidisciplinar activo, que ha presentado avances importantes en los últimos años, en diversas áreas de investigación como: medicina, *marketing*, publicidad, psicología, ingeniería industrial, entre otros [Narcizo *et al.*, 2013]. También, ha impactado en el área de la Ingeniería de Software, empleándose

para estudiar la comprensión de modelos, el código fuente, el proceso de depuración, y la interacción colaborativa [Sharafi *et al.*, 2015].

Las técnicas tradicionales para la evaluación de usabilidad presentan una serie de desventajas, como la generación de métricas subjetivas, las cuales se enfocan en la interacción del usuario (por ejemplo, su satisfacción o sus percepciones sobre una interfaz) [Hornbæk, 2006]. Dichas métricas, no pueden ser obtenidas, discutidas, ni validadas de igual manera que con las métricas objetivas. Sin embargo, es necesario estudiar ambas mediciones para lograr varias perspectivas relacionadas con la usabilidad de una interfaz, es decir, dependiendo del contexto de la evaluación, un balance entre estas métricas puede ser de ayuda a la hora de mejorar la experiencia de usuario, así como el rendimiento de la interfaz [Hornbæk, 2006]. Una de las técnicas que proveen estas métricas objetivas, es el *eye tracking*, ya que valida el comportamiento del usuario y encuentran nuevos problemas de usabilidad [Bojko y Schumacher, 2008].

En los últimos años, los sistemas de *eye tracking* se han estado empleando para estudiar e identificar problemas de usabilidad en el contexto de la IPC [Agarkhed *et al.*, 2020], principalmente de sitios web, sistemas software de escritorio y en menor medida en aplicaciones móviles [Fu, 2016]. Algunos de los beneficios del *eye tracking* son: Reducir la subjetividad en las pruebas [Fu, 2016], realizar un seguimiento visual del participante en tiempo real [O'Grady y O'Grady, 2017], y generar datos en forma visual y estadística [Roa-Martinez y Vidotti, 2020].

Los trabajos de investigación relacionados con el uso de la tecnología de *eye tracking* para la evaluación de la usabilidad, se encuentran dispersos en diversas bases de datos científicas. No obstante, actualmente no existe un trabajo que recopile y reporte de manera global como la tecnología de *eye tracking* ha sido empleada para evaluar la usabilidad, cómo esta impacta la aplicación de las técnicas relacionadas con la evaluación de la usabilidad, e identifique los problemas que se generan al usar el *eye tracking* para apoyar la evaluación de usabilidad.

Dado lo anterior, y con el objetivo de obtener un panorama general de cómo se está utilizando el *eye tracking* para evaluar la usabilidad, en el presente trabajo de titulación se ha realizado un estudio exploratorio a partir de un mapeo sistemático de literatura (SMS). Es importante mencionar, que este trabajo de titulación se enmarca en un proyecto de investigación del profesor guía, el cual tiene por objetivo proponer un marco que permita la incorporación del adulto mayor en la aplicación

de técnicas para la evaluación de la usabilidad. En esta línea, una de las técnicas que se está considerando es el *eye tracking*. Sin embargo, no está claro cómo utilizar el *eye tracking* para apoyar esta evaluación. Por tanto, el presente trabajo brinda el conocimiento necesario para comprender cómo usar dicha tecnología para la evaluación de la usabilidad.

El SMS realizado abarca la literatura publicada desde el año 2016 hasta septiembre del año 2021, e identifica finalmente un total de 45 estudios primarios relacionados directamente con este objetivo. Se considera que realizar un SMS es beneficioso porque agrupa todos los estudios realizados previamente y podría ayudar a los investigadores y/o expertos de usabilidad a conocer cómo el *eye tracking* puede apoyarlos en el proceso de evaluación. Además, el SMS realizado brinda una descripción de las técnicas de usabilidad junto con las actividades que se realizan dentro de tal proceso, y las especificaciones de las evaluaciones realizadas con *eye trackers*. Igualmente, este trabajo de titulación presenta las limitaciones asociadas al uso del *eye tracker*. De tal forma, que los interesados en implementar el *eye tracking* dentro de las evaluaciones de usabilidad de sistemas software, tengan un punto de partida para conocer esta tecnología, sus limitaciones, conocer los aspectos que deben considerar en la ejecución de las pruebas (por ejemplo, el impacto de los datos oculares en la evaluación de la usabilidad), generar nuevo conocimiento a través del uso de esta tecnología, y tener la libertad de decidir si emplear esta tecnología en las pruebas.

El presente trabajo de titulación, brinda un mejor entendimiento de la aplicación del *eye tracking* como apoyo en la realización de evaluaciones de usabilidad de sistemas software, y su audiencia principal son los investigadores de la IPC, los evaluadores de usabilidad, y/o cualquier interesado en esta área.

Una vez completado el SMS: (i) se ha obtenido el panorama actual de cómo se emplea el *eye tracking* dentro de las evaluaciones de la usabilidad, (ii) se han identificado las técnicas de evaluación de usabilidad usadas en conjunto con esta tecnología (por ejemplo, encuestas, pensamiento en voz alta, entre otras.), (iii) se ha determinado el impacto de usar el *eye tracking* con estas técnicas (ya sea como medio adicional de captura de información o como medio de validación) logrando una mejor detección y un análisis más detallado de los problemas de usabilidad, (iv) se han identificado las técnicas que, según los estudios primarios, son idóneas para utilizarse con el *eye tracking*, (v) se han identificado los problemas asociados

con el uso del *eye tracking* (como el nivel de experticia del evaluador necesario para entender los datos oculares).

Finalmente, se pretende ampliar la búsqueda hacia otras bases de datos e incluir literatura gris. Además, dados los problemas encontrados en las evaluaciones de usabilidad de sistemas software bajo entornos inmersivos, es importante aumentar los esfuerzos de investigación en la identificación de las técnicas ideales para evaluar la usabilidad de sistemas software bajo entornos 3D y determinar la cantidad mínima de puntos necesarios para realizar el proceso de calibración.

## **1.1. Objetivos**

A continuación, se detallan el objetivo general, los objetivos específicos y las preguntas asociadas del presente trabajo de titulación.

### **1.1.1. Objetivo General**

Explorar el uso que se está haciendo de la tecnología de *eye tracking* en la evaluación de usabilidad de los sistemas software.

### **1.1.2. Objetivos Específicos**

Los objetivos específicos del presente trabajo de titulación son los siguientes:

- 1) Identificar las técnicas de evaluación de usabilidad que son usadas con los sistemas *eye tracking*.
- 2) Determinar cómo el uso de sistemas *eye tracking* impacta la aplicación de técnicas de evaluación de usabilidad.
- 3) Identificar las técnicas de evaluación de usabilidad más idóneas para usarse con los sistemas de *eye tracking*.
- 4) Determinar los problemas que se generan al usar sistemas de *eye tracking* para realizar la evaluación de usabilidad.

### 1.1.3. Preguntas

Las preguntas que se pretenden responder en este trabajo de titulación, son las siguientes:

- P1. ¿Cuáles son las técnicas de evaluación de la usabilidad que están siendo usadas con los sistemas de *eye tracking*?
- P2. ¿Cómo el uso de sistemas de *eye tracking* puede impactar la aplicación de técnicas de evaluación de la usabilidad?
- P3. ¿Cuáles son las técnicas de evaluación de la usabilidad más idóneas para usarse con los sistemas de *eye tracking*?
- P4. ¿Cuáles son los problemas que se generan al usar sistemas de *eye tracking* para realizar la evaluación de la usabilidad?

## 1.2. Metodología

La metodología aplicada para el desarrollo del presente trabajo es el SMS [Kitchenham *et al.*, 2011], compuesto por las siguientes actividades: (1) formular las preguntas, (2) definir la estrategia de búsqueda, (3) conformar la cadena de búsqueda, (4) definir los criterios de selección, (5) seleccionar los estudios primarios, y (6) extraer y sintetizar la información. A continuación, se describirán cada una de estas actividades.

- (1) Formular las Preguntas. Se definen las preguntas, las cuales están directamente relacionadas con los objetivos. Estas preguntas son fundamentales para el desarrollo del SMS, por ser la base de las actividades posteriores [Kitchenham *et al.*, 2011].
- (2) Definir la Estrategia de Búsqueda. La metodología comienza con la identificación del vocabulario técnico, el periodo de búsqueda y las bases de datos en donde se realizará. Para encontrar el vocabulario, se conforma un grupo de control (GC), definido como un conjunto de estudios relacionados directamente con los objetivos [Kitchenham *et al.*, 2011]. Una vez obtenido el GC, se procede con la identificación de los términos clave utilizados según las preguntas definidas en la

actividad anterior. Estos términos corresponden a aquellos que tienen una mayor frecuencia de uso en los estudios del GC.

- (3) Conformar la Cadena de Búsqueda. Una vez obtenidos los términos, se crean categorías relacionadas a las preguntas, clasificando estos según las categorías definidas para crear diferentes cadenas de búsqueda. En su construcción, se debe utilizar el operador lógico *OR* para agrupar los sinónimos de una determinada categoría y el operador *AND* para conectar las diferentes categorías. Una vez creadas las cadenas, se prueban en alguna base de datos utilizando alguno de los campos de búsqueda disponibles (por ejemplo, título, *abstract*). Para cada una de las cadenas de búsqueda, se obtiene la cantidad de estudios y el número de estudios del GC encontrados. Posteriormente, se selecciona la cadena que posea la mayor cantidad de estudios de GC, dentro del conjunto más pequeño de estudios encontrados.
- (4) Definir los Criterios de Selección. Los criterios de selección tienen como finalidad identificar los estudios primarios que respondan a alguna(s) de las preguntas definidas. Es decir, si un estudio cumple con los criterios de inclusión, es seleccionado. O bien, si un estudio cumple con al menos un criterio de exclusión, es descartado inmediatamente.
- (5) Seleccionar los Estudios Primarios. Una vez obtenidos los candidatos a estudios primarios, se eliminan los duplicados, se realizan reuniones para aplicar los criterios de selección. Estos criterios se aplican dos veces, siendo la primera para revisar el título, *abstract* y *keywords*; la segunda vez, se aplican al texto completo. Luego, se validan los estudios que presentan conflicto. Finalmente, como resultado de este proceso se obtienen los estudios primarios.
- (6) Extracción y Síntesis de la Información. Se analiza y extrae de cada estudio primario la información necesaria para responder las preguntas. Posteriormente, se sintetizan los datos obtenidos y se procede a responder las preguntas. Es importante mencionar que la información extraída de los estudios primarios debe presentar consistencia con las preguntas y la respuesta debe destacar las relaciones y diferencias entre los resultados de la investigación para simplificar la discusión.

### 1.3. Estructura del Trabajo

El trabajo de titulación está compuesto por los siguientes capítulos:

- En el Capítulo 1, el capítulo en el que se encuentra esta sección, se expone el contexto actual y la motivación que ha impulsado el desarrollo de este estudio, los objetivos que se pretenden cumplir y la metodología utilizada para realizar este trabajo.
- En el Capítulo 2, se detalla el marco teórico y los trabajos relacionados con el presente estudio.
- En el Capítulo 3, se exponen los resultados obtenidos durante el desarrollo del trabajo.
- En el Capítulo 4, se discuten los resultados y se reportan las amenazas a la validez del estudio.
- En el Capítulo 5, se presentan las conclusiones y consideraciones de parte del autor para trabajos futuros.
- En el Anexo A, se muestran los términos obtenidos del grupo de control que fueron utilizados para la creación de las diferentes cadenas de búsqueda probadas.
- En el Anexo B, se listan los estudios primarios identificados en el presente trabajo.
- En el Anexo C, se presentan las especificaciones de los *eye trackers* utilizados en los estudios primarios.

# Capítulo 2

## Marco Teórico

En este Capítulo, se expondrá el marco teórico del presente trabajo de titulación, el cual está compuesto por los sistemas de *eye tracking* y la evaluación de usabilidad. Además, se describen algunos trabajos relacionados con este estudio.

### 2.1. *Eye Tracking*

El *eye tracking* estudia los movimientos de la visión humana [O'Grady y O'Grady, 2017], detectando dónde miran los usuarios en un momento determinado, el tiempo que lleva mirando dicho punto y la ruta que realizan los ojos entre diferentes puntos [Schall y Bergstrom, 2014]. Para realizar dicho estudio se dispone de un dispositivo de alta tecnología llamado *eye tracker* (las Figuras 2.1 y 2.2 muestran la configuración de *eye trackers* de las marcas Tobii Pro y SMI, respectivamente), el cual registra datos sobre el movimiento ocular cuando un participante mira un estímulo, durante la realización de una tarea [Sharafi *et al.*, 2015]. Estos datos se analizan con respecto a ciertas áreas de estímulos, denominadas áreas de interés, las cuales pueden ser o no relevantes para el participante mientras realiza una tarea determinada [Sharafi *et al.*, 2015]. Los *eye trackers* pueden registrar principalmente las siguientes métricas derivadas de los movimientos oculares:

- 1) Fijaciones: Son las posiciones en las cuales el ojo se detiene en un punto del área de estímulo, con una duración entre 200 y 300 ms [O'Grady y O'Grady, 2017; Sharafi *et al.*, 2015; Wang *et al.*, 2019].

- 2) Movimientos Sacádicos: Son los movimientos realizados entre dos o más puntos de fijación, los cuales tienen un periodo de tiempo entre 40 y 50 ms [O'Grady y O'Grady, 2017; Sharafi *et al.*, 2015; Wang *et al.*, 2019].



Figura 2.1: Ejemplo de una configuración de un dispositivo de *eye tracking* de la marca Tobii Pro modelo X2-60 [Tomaschko y Hohenwarter, 2018].



Figura 2.2: Ejemplo de una configuración de un dispositivo de *eye tracking* de la marca SMI modelo iView X ubicado debajo de la pantalla de un computador [Mutlu-Bayraktar, 2017].

Antes de la realización de las pruebas, se procede a la calibración del *eye tracker*, que según TobiiPro [2021], es el proceso que permite estimar características geométricas de los ojos de una persona, y con la ayuda de un modelo anatómico del ojo en 3D, calcula los datos de la mirada. Antes de usar el *eye tracker*, se le solicita al usuario mirar puntos definidos dentro de la pantalla, denominados puntos de calibración (Figura 2.3). Al realizar esta acción, se recopilan y analizan distintas

imágenes del ojo. La información generada se agrega al modelo del ojo en 3D y el punto de mirada se define para cada imagen.

Una vez finalizado el proceso de calibración, su calidad se indica en forma de líneas verdes de diversa longitud representando la distancia entre los puntos de mirada captados y el centro del punto de calibración. Una línea verde con una larga longitud, es generada cuando hay problemas durante el proceso, cuyas causales pueden ser que el usuario este distraído, una mala configuración del dispositivo, entre otros.



Figura 2.3: Ejemplo de calibración del dispositivo de *eye tracking* [Wu *et al.*, 2016].

Si bien no existe un proceso estandarizado para evaluar la usabilidad utilizando *eye tracking*, comúnmente se realizan las siguientes etapas: (i) pre-prueba, (ii) durante las pruebas, (iii) captura de información adicional y (iv) análisis de la información. A continuación, se definen estas etapas:

- Pre-prueba. Esta etapa se compone por 3 actividades. La primera actividad se procede a calibrar el *eye tracker* para cada participante [Realpe-Muñoz *et al.*, 2018]. La segunda, se prepara el software para ser evaluado en la sesión de pruebas. La tercera, se explica a los participantes el objetivo de la sesión, las tareas definidas que deben realizar y las precauciones que deben tener en cuenta al realizarlas [He *et al.*, 2018].
- Durante las pruebas. Las sesiones de prueba son grabadas por el *eye tracker* [Borys y Milosz, 2018; Özding *et al.*, 2016].
- Captura de información adicional. Una vez finalizado el periodo de pruebas, se le solicita a cada participante brindar retroalimentación (por ejemplo, sus

percepciones o su nivel de satisfacción) luego de usar el software [Realpe-Muñoz *et al.*, 2018; Wang *et al.*, 2019]. Esta acción puede ser complementada con los datos oculares [He *et al.*, 2018].

- **Análisis de la información.** Los datos oculares y de la(s) técnica(s) de la usabilidad, obtenidas en el periodo de pruebas son recopiladas [He *et al.*, 2018]. Posteriormente, toda esta información es analizada [Borys y Milosz, 2018; Tomaschko y Hohenwarter, 2018].

La duración de estas pruebas varían desde los 30 minutos [Wang *et al.*, 2019] hasta los 60 minutos por participante [Borys y Milosz, 2018].

## 2.2. Evaluación de Usabilidad

El uso de sistemas software nos ayuda en la realización de nuestras tareas del día a día, por lo que su usabilidad es un factor clave. Por ejemplo, entre los sitios web es una condición de gran importancia, puesto que si el usuario presenta dificultades de uso mientras navega por el sitio web, lo más probable es que lo abandone y quizás no regrese [Nielsen, 2012b].

La usabilidad se define como un atributo de calidad, que nos permite la fácil interacción con una interfaz al momento que realizamos una tarea [Nielsen, 2012b] y consta de los siguientes cinco componentes de calidad:

- 1) **Nivel de Aprendizaje:** El nivel de facilidad con el cual los usuarios cumplen tareas la primera vez que se encuentran con la interfaz.
- 2) **Eficiencia:** Una vez aprendida la interfaz, ¿Con qué rapidez realizan los usuarios las tareas?
- 3) **Memorización:** Luego de estar un tiempo sin interactuar con la interfaz, ¿Qué tan fácil es restablecer su nivel de conocimiento dentro de la misma?
- 4) **Errores:** ¿Cuántos errores cometen los usuarios al usar la interfaz?, ¿Qué tan graves son dichos errores?, y ¿Cómo los usuarios pueden solventarlos mientras interactúan con la interfaz?
- 5) **Satisfacción:** ¿Qué tan satisfecho está el usuario luego de usar la interfaz?

En el área de la IPC se distinguen tres grandes grupos de técnicas relacionadas con la evaluación de la usabilidad: Evaluación por Expertos, Test de Usabilidad y finalmente, los Estudios de Seguimiento de Sistemas Instalados [Ferré, 2005]. A continuación, se describen brevemente cada grupo:

- **Evaluación por Expertos.** En este grupo de técnicas, un evaluador examina la interfaz, con el objetivo de determinar qué secciones presentan problemas [Mutlu-Bayraktar, 2017]. Entre las técnicas pertenecientes a este grupo se encuentra la evaluación heurística en donde la interfaz es revisada por un experto, brindando una opinión sobre lo bueno y lo malo de la interfaz [Nielsen, 1994a].
- **Test de Usabilidad.** Los Test de Usabilidad constituyen el tipo de técnica más habitual en los procesos de desarrollo centrados en el usuario, ya que este enfoque está basado en la premisa de que no es posible asegurar cuán usable es un determinado prototipo o sistema software, sin antes probarlo con usuarios representativos llevando a cabo las tareas para las que da soporte el sistema. En este grupo de técnicas se encuentran por ejemplo: pensar en voz alta, medición del rendimiento y test de usabilidad en laboratorio.

En la técnica pensar en voz alta, al usuario se le pide decir lo que está pensando en voz alta mientras usa el sistema [Bowers y Snyder, 1990; Nielsen, 1994a]. También está el pensamiento en voz alta retrospectivo, en donde el usuario realiza las tareas en silencio mientras es grabado. Una vez completada la tarea el usuario realiza comentarios mientras revisa la grabación [Nielsen, 1994a].

Las métricas de rendimiento son índices que indican el desempeño del usuario, según varios aspectos, durante la realización de una actividad [Constantine y Lockwood, 1999].

Los laboratorios de usabilidad son instalaciones aptas para realizar las pruebas, estos constan de dos salas. Una, se usa para que el usuario realiza la sesión de pruebas, donde la sesión es capturada por dispositivos multimedia. La otra sala la usan los observadores para controlar los dispositivos multimedia instalados en la sala de pruebas y para discutir el comportamiento del usuario al momento de realizar las tareas con el producto software, sin la necesidad de molestarlo ni interferir en sus acciones. Estas salas son separadas por un cristal, permitiendo a los evaluadores observar al usuario, pero no permite realizar la misma acción de forma inversa [Nielsen, 1994a].

- **Estudios de Seguimiento de Sistemas Instalados.** En este grupo de técnicas se encuentran por ejemplo: cuestionarios y encuestas, entrevistas e información post-test. Los cuestionarios y encuestas corresponden a una serie de preguntas que el usuario debe responder, con el fin de recopilar las impresiones sobre los elementos de una interfaz [Nielsen, 1994a; Shneiderman, 1998]. Uno de los cuestionarios más usados es *System Usability Scale* (SUS), conformado por 10 preguntas las cuales son respondidas mediante una escala Likert de 0 a 4, asignándole un puntaje según lo percibido por el usuario en las pruebas [Brooke, 1996]. Para calcular el puntaje total, el cual está dentro de un intervalo de 0 a 100, se suman los puntajes de cada pregunta y se multiplica por 2.5, si el resultado está sobre los 70 puntos el software presenta un buen nivel de usabilidad [Brooke, 2013].

Las entrevistas se clasifican en dos tipos: Estructuradas y No estructuradas. La entrevista estructurada posee preguntas fijas, realizándose de manera lineal y no se enfoca en lo subjetivo. Por otro lado, la no estructurada no sigue una guía y puede enfocarse en lo subjetivo [Preece *et al.*, 1994].

La técnica información post-test consiste en una entrevista realizada a los participantes una vez completada la etapa de pruebas, con el fin de obtener retroalimentación complementando los resultados finales de la evaluación [Constantine y Lockwood, 1999].

## 2.3. Trabajos Relacionados

Durante la realización del presente trabajo de titulación se encontraron dos revisiones de literatura relacionadas. La primera corresponde a una revisión sistemática realizada por Sharafi *et al.* [2015] con la finalidad de entregar una visión general del uso de la tecnología de *eye tracking* en el área de la ingeniería del software. Los autores encontraron que la comunidad de ingenieros de software se beneficia del uso de esta tecnología, de diversas formas entre las que destacan: (i) comprensión de modelos (por ejemplo, usar *eye trackers* para estudiar la comprensión de diagramas UML, o investigar el impacto de las diferentes características, como el color, de los diagramas de clase UML); (ii) comprensión del código fuente (por ejemplo, investigar el impacto del lenguaje de programación (C++ frente a Python) en la comprensión del código fuente); (iii) depuración (por ejemplo, caracterizar las estrategias de los participantes para encontrar errores); (iv) comprensión de las interacciones colabo-

rativas (por ejemplo, estudiar las interacciones de los participantes y su impacto en una tarea de programación en parejas); (v) trazabilidad (por ejemplo, usar un *eye tracker* para entender cómo los participantes verifican la trazabilidad de los requisitos). Además, los autores identifican una lista de limitaciones en los estudios identificados en la literatura, que amenazan la validez de los mismos. Estas limitaciones provienen de los participantes que realizan las tareas, las tareas realizadas, los artefactos y entornos utilizados durante los experimentos. Posteriormente, los autores proponen varias métricas para evaluar y medir cuantitativamente los esfuerzos visuales de los participantes y mostrar cómo escanean los estímulos mientras realizan sus tareas. Sin embargo, el trabajo de Sharafi *et al.* [2015] está enfocado en el área de la ingeniería del software y no en la evaluación de la usabilidad.

La segunda, es una revisión no-sistemática de literatura realizada por Sharma y Dubey [2014] con la finalidad de estructurar los factores que son significativos para la estimación, detección, y mejorar la eficiencia y precisión de las técnicas de seguimiento ocular que han sido aplicadas y analizadas. Los autores concluyen que los datos recopilados a partir de los métodos de *eye tracking* junto con los métodos convencionales brindan una idea del origen de un problema en la usabilidad de una interfaz. Además, identifican que el costo de los sistemas de *eye tracking* y una mínima obstrucción para los usuarios siguen siendo problemas durante las pruebas de usabilidad. A pesar de que el trabajo de Sharma and Dubey [2014] está relacionado directamente con el trabajo, los autores realizan un análisis superficial de algunos estudios que reportan el uso del *eye tracking*. Finalmente, los autores reportan con un bajo nivel de detalle las problemáticas encontradas en estos estudios, y como se mencionó anteriormente la búsqueda realizada por Sharma y Dubey [2014] no es sistemática.

Por tanto, ninguno de los estudios anteriores responde a los objetivos específicos del presente trabajo de titulación haciendo necesarios nuevos esfuerzos de investigación para determinar cómo se está usando la tecnología de *eye tracking* en la evaluación de la usabilidad de los sistemas software.

# Capítulo 3

## Resultados

En el presente Capítulo se reportan los resultados del trabajo de titulación, con el fin de dar cumplimiento a los objetivos específicos. En primer lugar, se detalla cómo se identificaron los estudios primarios siguiendo las actividades definidas por el SMS. Luego, se brinda la síntesis de los estudios primarios para determinar el estado del arte. Finalmente, se da respuesta a cada una de las preguntas planteadas a partir de los objetivos específicos.

### 3.1. Identificación de los Estudios Primarios

Como se expuso en la Sección 1.2, la metodología aplicada para desarrollar este trabajo es el SMS. La Figura 3.1 muestra las actividades que componen el SMS [Kitchenham *et al.*, 2011] mediante un diagrama de flujo. A continuación, se detallan los resultados obtenidos al aplicar cada una de las actividades del SMS, iniciando con la definición de la estrategia de búsqueda, puesto que el resultado de la formulación de las preguntas, a partir de los objetivos específicos, se reportó en la Sección 1.1.3.

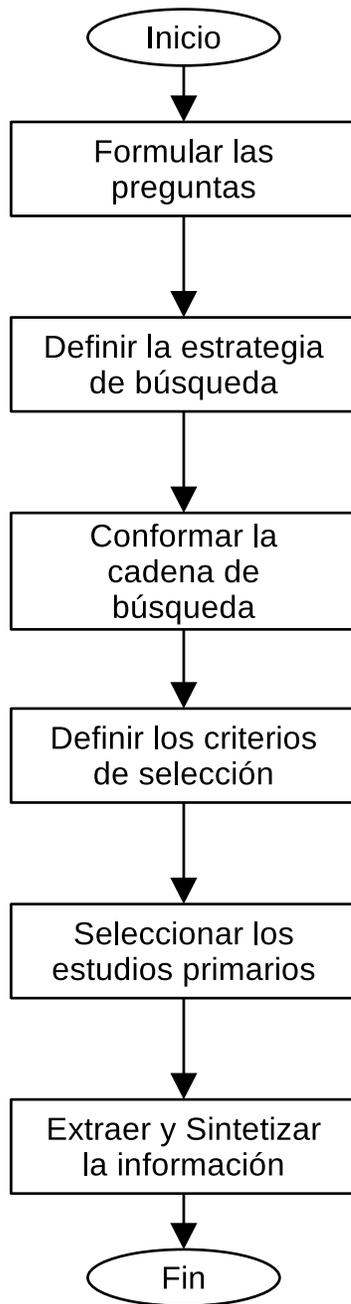


Figura 3.1: Metodología aplicada para el desarrollo del trabajo.

### 3.1.1. Definir la Estrategia de Búsqueda

Para la conformación del GC, se realizó una búsqueda tradicional en IEEE Xplore, esta base de datos fue seleccionada por tener una mayor facilidad de uso. Como resultado de esta búsqueda, se obtuvieron en total 11 estudios [Babicsné-Horváth y Hercegfí, 2020; Bataineh *et al.*, 2017; Benabid Najjar *et al.*, 2021; Conley *et al.*, 2020; Fu, 2016; He *et al.*, 2018; Milosz y Chmielewska, 2020; Realpe-Muñoz *et al.*, 2018; Wang *et al.*, 2019; Weichbroth *et al.*, 2016; Zardari *et al.*, 2020].

Para la obtención de los términos que serán usados para la construcción de la cadena, se creó una tabla con la frecuencia de las palabras del GC y sus combinaciones, para lo cual se usó el software ATLAS.ti versión 9<sup>1</sup>. Posteriormente, se eliminan de la tabla los términos irrelevantes para el estudio (como conectores o signos de puntuación). Una vez aplicado este filtro, se obtienen 57 términos, para cada uno de ellos se calcula el porcentaje de aparición entre los estudios del GC (Cobertura), y se le asigna un peso, cuyo valor está entre 0 y 1. El peso dependerá de la frecuencia del término. El término que presente mayor frecuencia, se le asignará un peso igual a 1. Es necesario definir el peso mínimo que debe cumplir un término para ser conservado, para este proceso de selección de términos se definió como peso mínimo de 0.38, todo término cuyo peso sea mayor o igual a este valor se conserva. En la Tabla 3.1, se muestra un extracto de los términos obtenidos luego de aplicar el filtro anterior. En el Anexo A se encuentra la tabla completa con el listado de términos seleccionados y en la Figura 3.2 se muestra una síntesis de lo realizado en esta actividad.

Tabla 3.1: Extracto de la lista de términos obtenidos.

| <b>Término</b>   | <b>Cobertura (%)</b> | <b>Frecuencia</b> | <b>Peso</b> |
|------------------|----------------------|-------------------|-------------|
| <i>usability</i> | 100                  | 761               | 1           |
| <i>eye</i>       | 100                  | 438               | 0.79        |
| <i>user</i>      | 100                  | 296               | 0.69        |
| <i>tracking</i>  | 100                  | 282               | 0.69        |
| <i>study</i>     | 100                  | 265               | 0.67        |

---

<sup>1</sup><https://www.atlasti.com/>

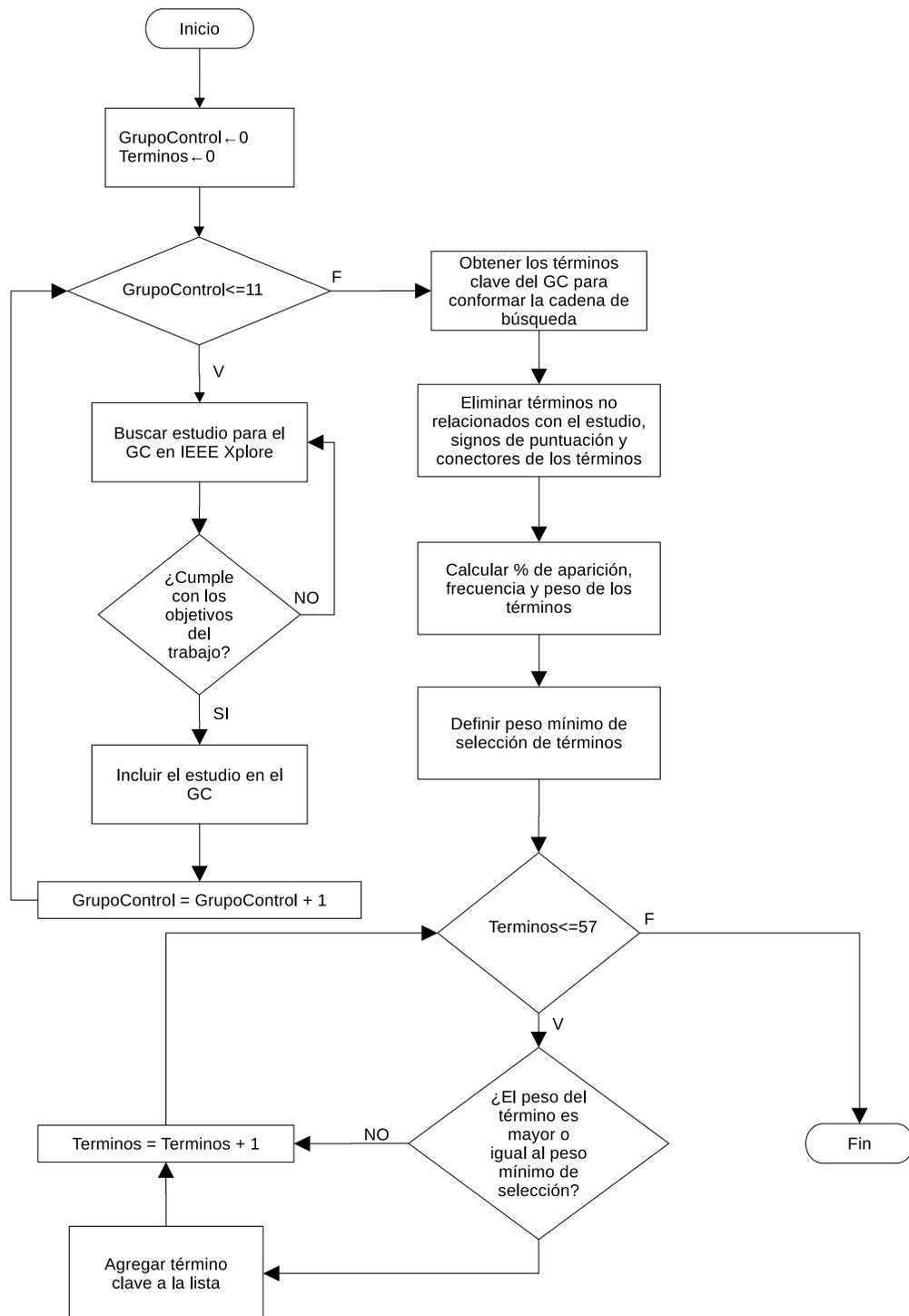


Figura 3.2: Tareas realizadas para definir la estrategia de búsqueda.

### 3.1.2. Conformar la Cadena de Búsqueda

Una vez obtenidos los términos y considerando los objetivos del presente trabajo, se definieron cuatro categorías que componen la cadena: (i) usabilidad, (ii) *eye tracking*, (iii) software y (iv) técnicas, clasificando cada uno de los términos en estas, para luego conectar estas categorías. A continuación, se crean tres cadenas para ser probadas. Para cada cadena, se registró la cantidad de estudios y el número de estudios del GC encontrados por la misma en la base de datos SCOPUS, esta fue seleccionada por ser la base de datos más grande de estudios científicos. Es importante mencionar que la base de datos de SCOPUS contiene 10 de los 11 estudios del GC, exceptuando [He *et al.*, 2018].

La Tabla 3.2 muestra las cadenas de búsquedas creadas, junto a la cantidad de estudios encontrados y la cantidad de estudios del GC encontrados por la cadena en SCOPUS, seleccionando la cadena que presente la mayor cantidad de estudios del GC, dentro de un universo más pequeño de publicaciones. Las cadenas 1 y 2 cumplen la primera condición (ambas encuentran 10 estudios del GC, es decir, todos los estudios que están en SCOPUS). Seleccionamos la cadena 2 por poseer una cantidad menor de publicaciones.

Tabla 3.2: Cadenas de búsqueda.

| ID | Cadena de Búsqueda   | N° estudios encontrados por la cadena en SCOPUS | N° estudios del GC encontrados por la cadena en SCOPUS |
|----|--|---|--|
| 1  | (usability OR “user experience” OR “human-computer interaction”) AND (“eye-tracking” OR “eye tracking” OR “eye tracker”) AND (system OR software OR systems OR “user interface” OR application OR applications) AND (study OR evaluation OR analysis OR test OR studies OR testing OR methods OR method OR evaluate OR assessment OR experimental OR evaluating) | 1006  | 10   |

...

...continuación.

| <b>ID</b> | <b>Cadena de Búsqueda</b>   | <b>N° estudios encontrados por la cadena en SCOPUS</b> | <b>N° estudios del GC encontrados por la cadena en SCOPUS</b> |
|-----------|---|--|---|
| 2         | usability AND (“eye-tracking” OR “eye tracking”) AND (system OR software OR “user interface” OR application) AND (study OR evaluation OR analysis OR test OR methods OR evaluate) | 375  | 10  |
| 3         | (usability OR “user experience”) AND (“eye-tracking” OR “eye tracking”) AND (system OR software OR systems) AND (study OR evaluation OR analysis OR test)                         | 383  | 9   |

Una vez definida la cadena de búsqueda, se procede a usar esta cadena en las bases de datos previamente descritas (es decir, SCOPUS, IEEE Xplore y Web of Science). Para cada una de estas bases de datos, se exportan los registros obtenidos con la cadena de búsqueda en una única tabla. La búsqueda se realizó de manera secuencial, empleando los campos de búsquedas mostrados en la Tabla 3.3. En la Figura 3.3, se muestra un diagrama de flujo con la síntesis de lo realizado para conformar la cadena de búsqueda.

Tabla 3.3: Resultados de búsqueda en las bases de datos.

| <b>Base de datos</b> | <b>Campo de búsqueda</b>        | <b>N° Estudios</b> |
|----------------------|---------------------------------|--------------------|
| Scopus               | “Title OR Abstract OR Keywords” | 375                |
| IEEE Xplore          | “Abstract”                      | 33                 |
| Web of Science       | “Abstract”                      | 165                |

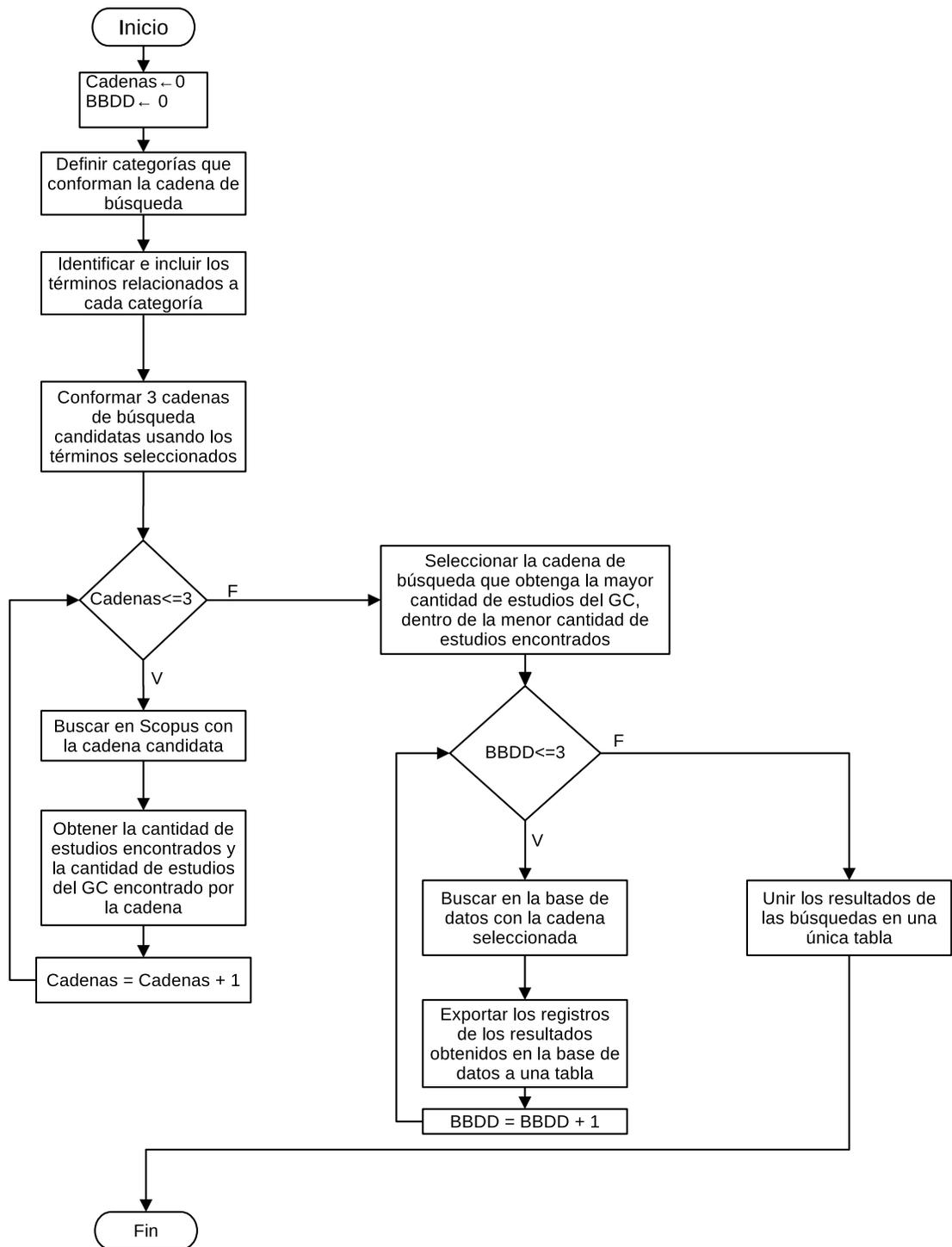


Figura 3.3: Procesos realizados para conformar la cadena de búsqueda.

### 3.1.3. Definir los Criterios de Selección

Los criterios de selección de los estudios primarios se presentan a continuación:

- Criterios de Inclusión: El artículo describe la evaluación de usabilidad de un sistema software empleando *eye tracking*.
- Criterios de Exclusión: (i) El artículo describe de manera pobre el uso de *eye tracking* para evaluar la usabilidad, o (ii) el artículo reporta el uso de *eye tracking* para evaluar aspectos cognitivos de los usuarios, o (iii) el artículo reporta el uso de *eye tracking* para realizar pruebas funcionales, o (iv) el artículo no está relacionado con el tema de investigación, o (v) el artículo es una revisión de literatura, o (vi) el artículo está escrito en un idioma distinto al inglés, o (vii) el artículo reporta la evaluación de la usabilidad de un sistema de *eye tracking*.

### 3.1.4. Seleccionar los Estudios Primarios

Un total de 573 artículos (Tabla 3.4) entre el año 2016 y el año 2021 fueron encontrados en las tres bases de datos (SCOPUS, IEEE Xplore, Web of Science). Luego de eliminar los estudios duplicados, la cantidad de artículos disminuyó a 400. Posteriormente, se realizaron *Peer Reviews* aplicando los criterios de selección al título, *abstract* y *keywords*. El *Peer Review* estuvo conformado por el estudiante y el profesor guía. A continuación, se realizaron reuniones de consenso para validar los *abstracts* de los artículos que presentaran conflicto, disminuyendo la cantidad de artículos a 102 preseleccionados.

Luego de la reunión, se procede a la búsqueda y obtención de los estudios preseleccionados. De los 102 estudios, 94 eran de SCOPUS, 3 de IEEE Xplore y 5 de Web of Science. De los 94 estudios de SCOPUS, por la imposibilidad de obtención se tuvieron que descartar 2, de los 92 restantes se tuvo que descartar 1 porque no fue posible obtener el texto completo, quedando con 91 estudios totales de SCOPUS. De los 5 estudios de Web of Science se tuvieron que descartar 2 por la imposibilidad de obtención, quedando 3 estudios.

Una vez eliminados los estudios, debido a las razones expuestas, se agregó un estudio perteneciente al GC que no fue encontrado por la cadena, para finalmente obtener un total de 98 estudios para ser analizados. Una vez con los estudios obtenidos, se procede a revisar el texto completo de cada estudio aplicando los criterios de selección. Finalmente, se obtiene un total de 45 estudios primarios. La Tabla 3.4

muestra la cantidad de artículos obtenidos luego de aplicar los filtros en el proceso de selección para cada base de datos. En el Anexo B puede consultarse el listado completo de los estudios primarios seleccionados. En la Figura 3.4, se muestra una síntesis de lo realizado para seleccionar los estudios primarios.

Tabla 3.4: Cantidad de artículos obtenidos luego de realizar el proceso de selección.

| Base de Datos  | N° Estudios encontrados | N° Estudios sin duplicados | N° Estudios pre-seleccionados | N° Estudios primarios |
|----------------|-------------------------|----------------------------|-------------------------------|-----------------------|
| SCOPUS         | 375                     | 356                        | 94                            | 43                    |
| IEEE Xplore    | 33                      | 4                          | 3                             | 1                     |
| Web of Science | 165                     | 40                         | 5                             | 1                     |
| Total          | 573                     | 400                        | 102                           | 45                    |

### 3.1.5. Extraer y Sintetizar la Información

Una vez obtenidos y descargados los estudios primarios, se crea una tabla Excel para recopilar la siguiente información: Título del artículo, Autor, Año, Técnicas de la usabilidad identificadas, Impacto del uso del *eye tracking*, Técnicas más idóneas para usar con el *eye tracking* y Problemas asociados con el uso de *eye tracking* en la evaluación de la usabilidad. Luego, se procede a leer y analizar cada estudio, con el objetivo de extraer la información útil de cada uno de los estudios y completar la tabla descrita anteriormente. Posteriormente, se sintetiza la información recopilada y se procede a responder las preguntas. La Figura 3.5 resume lo realizado en esta actividad.

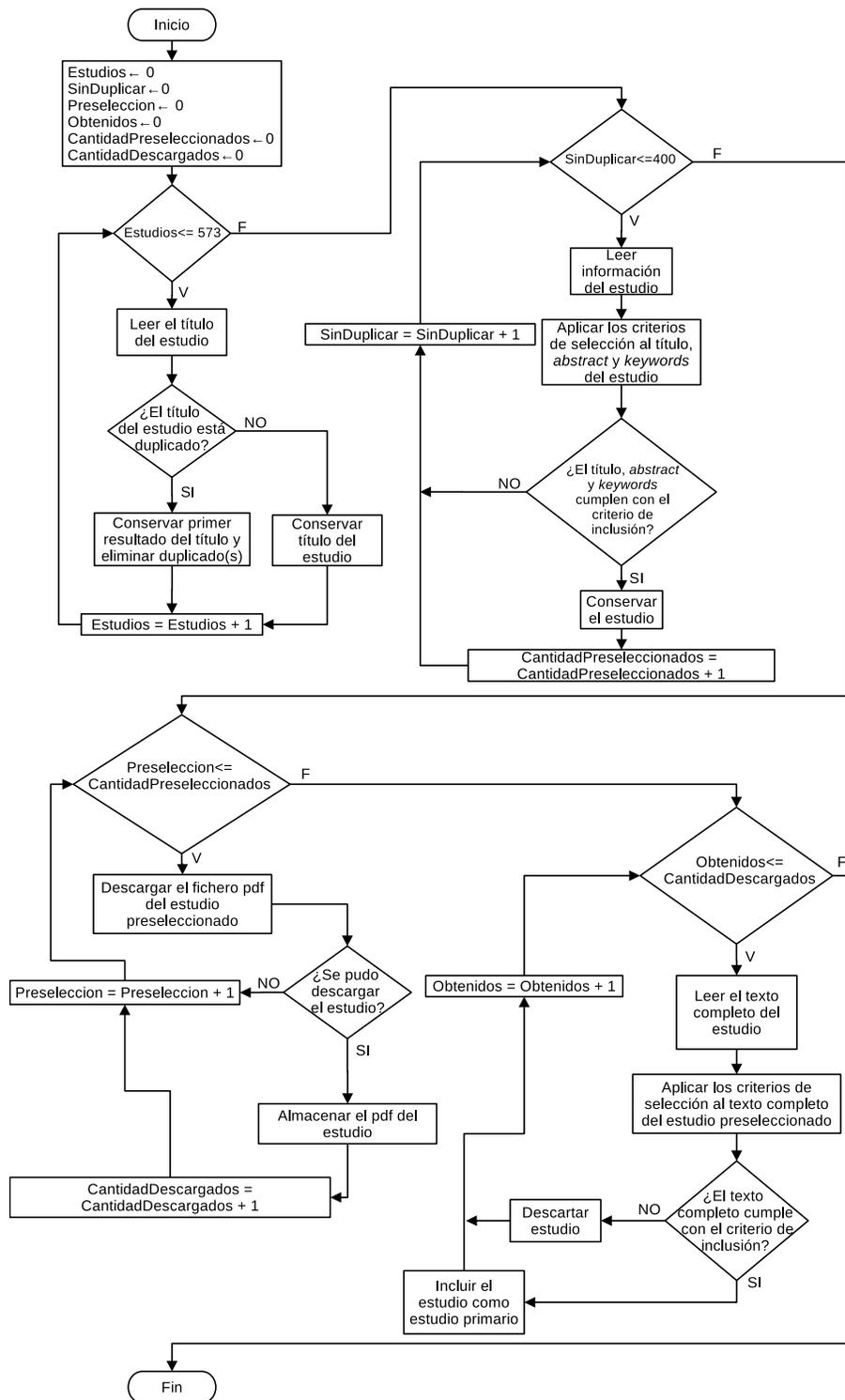


Figura 3.4: Tareas realizadas para obtener los estudios primarios.

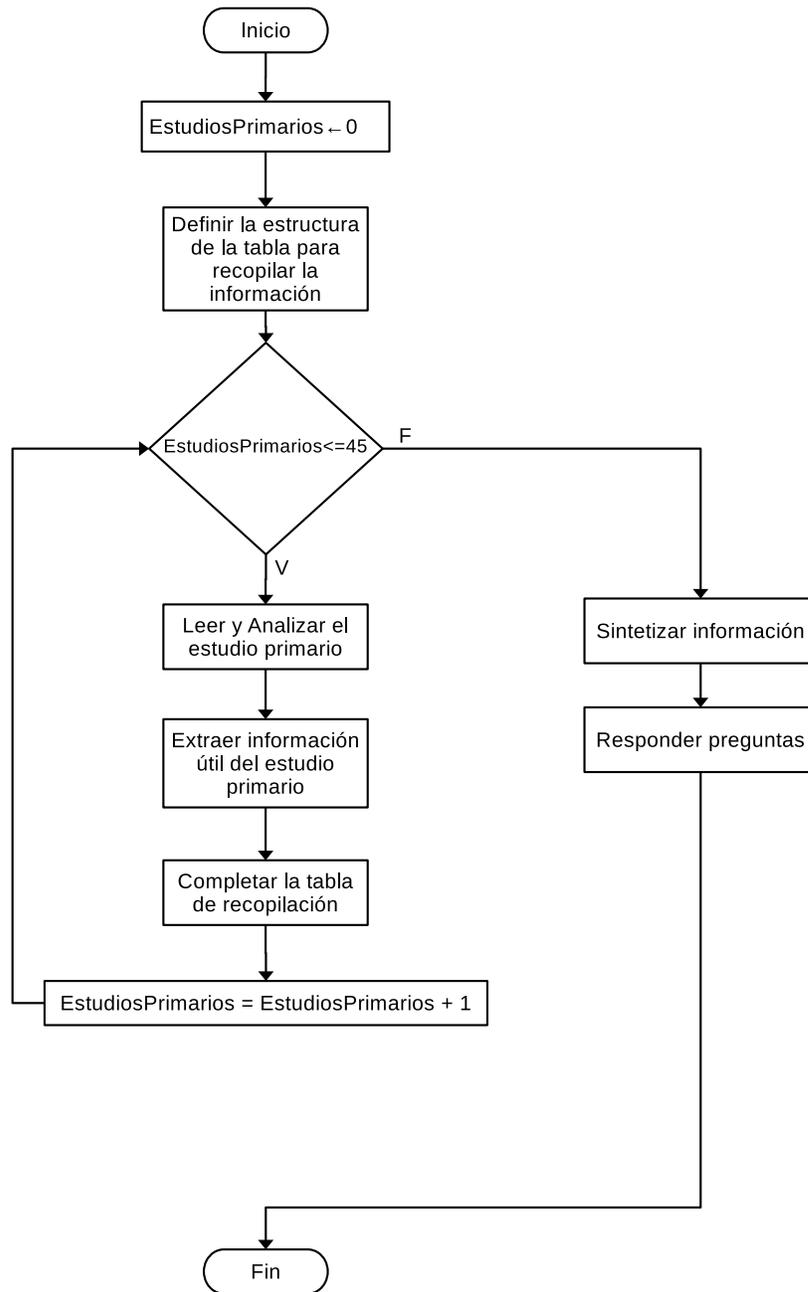


Figura 3.5: Tareas realizadas para extraer y sintetizar la información de los estudios primarios.

## 3.2. Síntesis de los Estudios Primarios

Para determinar el estado del arte del uso del *eye tracking* en evaluaciones de usabilidad, se clasificó cada uno de los 45 estudios primarios según la técnica o técnicas de usabilidad empleadas. La Figura 3.6 sintetiza los resultados en dos diagramas de burbujas. El gráfico superior muestra el número de artículos publicados por año, según el tipo de publicación (conferencia, revista o capítulo de libro). Mientras la parte inferior del gráfico, traza el tipo de publicación frente a la técnica de usabilidad usada junto al *eye tracking*. Como se observa en la parte superior de la Figura 3.6, los estudios primarios se publican mayoritariamente en revistas y en capítulos de libros. Aunque hay estudios sobre la aplicación de la tecnología *eye tracking* en el año 2016, el interés en su integración presentó un aumento en el año 2018, y permaneció constante en el 2019.

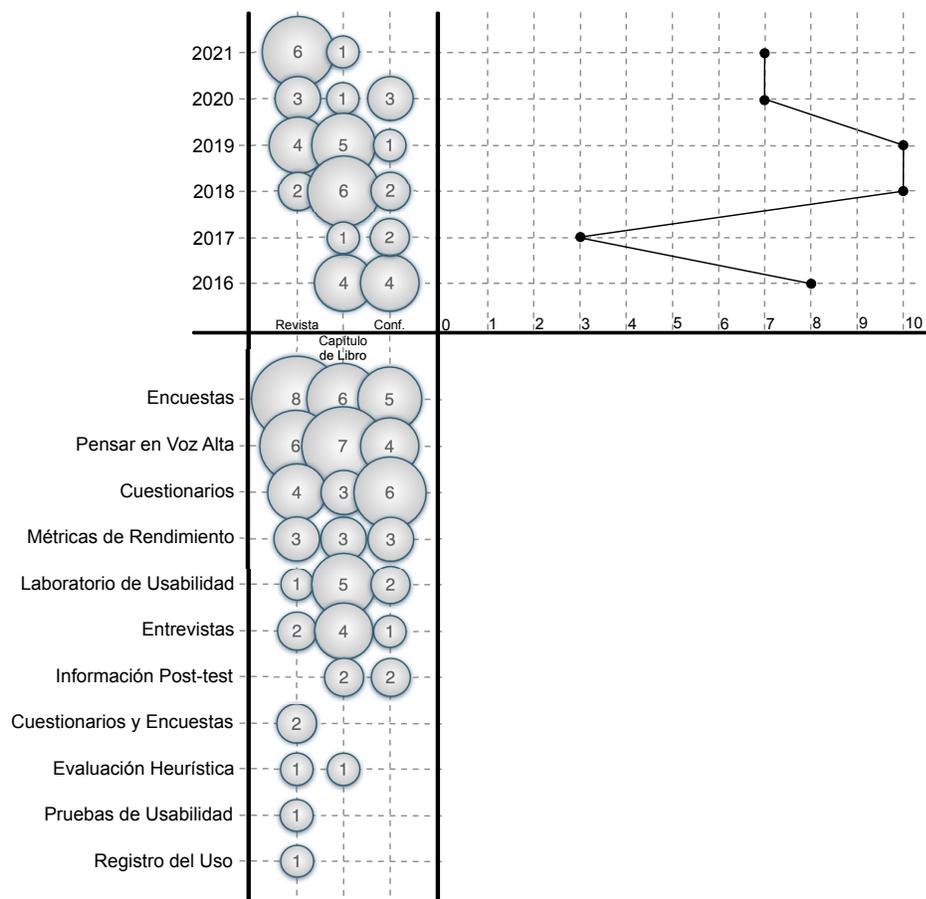


Figura 3.6: Mapeo de distribución de estudios primarios.

A continuación, se dará respuesta a cada una de las preguntas planteadas a partir de los objetivos específicos. Las respuestas se han obtenido como resultado del análisis de cada uno de los 45 estudios primarios identificados en el SMS.

### 3.3. Técnicas de Evaluación de la Usabilidad Utilizadas en Conjunto al *Eye Tracking*

Luego de analizar los estudios primarios encontrados en el SMS, se ha identificado que las técnicas de evaluación de usabilidad mayormente utilizadas en conjunto con el *eye tracking* son: encuestas, pensamiento en voz alta y cuestionarios (ver parte inferior de la Figura 3.6). En menor medida, se han utilizado por ejemplo las técnicas: métricas de rendimiento, laboratorio de usabilidad, entrevistas, información post-test. La Tabla 3.5 muestra el listado completo de las técnicas de usabilidad identificadas en los estudios primarios.

Tabla 3.5: Técnicas de usabilidad identificadas en los estudios primarios.

| Técnica de usabilidad | Referencia   |
|-----------------------|--|
| Cuestionarios         | [Altin Gumussoy <i>et al.</i> , 2021; Arenas <i>et al.</i> , 2021; Bataineh <i>et al.</i> , 2017; Fu, 2016; He <i>et al.</i> , 2018; İlhan, 2018; Kaysi y Topaloglu, 2017; Kuhnel <i>et al.</i> , 2018; Michalski, 2016; Nugraha <i>et al.</i> , 2019; Weichbroth <i>et al.</i> , 2016; Zardari <i>et al.</i> , 2020; Zhou <i>et al.</i> , 2021]   |
| Encuestas             | [Bartling <i>et al.</i> , 2019, 2021; Benabid Najjar <i>et al.</i> , 2021; Borys y Milosz, 2018; Conley <i>et al.</i> , 2020; Francesa-Alfaro <i>et al.</i> , 2016; He <i>et al.</i> , 2018; Majooni <i>et al.</i> , 2018; Megyeri y Szabó, 2021; Nugraha <i>et al.</i> , 2019; Quimbita <i>et al.</i> , 2020; Realpe-Muñoz <i>et al.</i> , 2018; Sørum, 2016; Souza y Maciel, 2018; Tomaschko y Hohenwarter, 2018; Wang <i>et al.</i> , 2019; Wu y Xu, 2019; Xu <i>et al.</i> , 2018; Yağmur y Çakır, 2016] |
| Pensar en Voz Alta    | [Altin Gumussoy <i>et al.</i> , 2021; Arenas <i>et al.</i> , 2021; Borys y Milosz, 2018; Cho <i>et al.</i> , 2019; He <i>et al.</i> , 2018; Horváth <i>et al.</i> , 2019; Kaysi y Topaloglu, 2017; Kuhnel <i>et al.</i> , 2018; Megyeri y Szabó, 2021; Nugraha <i>et al.</i> , 2019; Özding <i>et al.</i> , 2016; Souza y Maciel, 2018; Tawfik <i>et al.</i> , 2021; Tomaschko y Hohenwarter, 2018; Weichbroth <i>et al.</i> , 2016; Yang <i>et al.</i> , 2018]  |

...

...continuación

| Técnica de usabilidad identificada | Referencia  |
|------------------------------------|---|
| Métricas de Rendimiento            | [Ahmadi <i>et al.</i> , 2018; Altin Gumussoy <i>et al.</i> , 2021; Falkowska <i>et al.</i> , 2018; Horváth <i>et al.</i> , 2019; Jin <i>et al.</i> , 2019; Maslov y Nikou, 2020; Michalski, 2016; Wang <i>et al.</i> , 2019; Xu <i>et al.</i> , 2018] |
| Laboratorio de Usabilidad          | [Bataineh <i>et al.</i> , 2017; Borys y Milosz, 2018; Falkowska <i>et al.</i> , 2018; İlhan, 2018; Mutlu-Bayraktar, 2017; Özdiñç <i>et al.</i> , 2016; Realpe-Muñoz <i>et al.</i> , 2018; Sørsum, 2016]   |
| Entrevistas                        | [Babicsné-Horváth y Hercegi, 2020; Borys y Milosz, 2018; Horváth <i>et al.</i> , 2019; Megyeri y Szabó, 2021; Mutlu-Bayraktar, 2017; Souza y Maciel, 2018; Tawfik <i>et al.</i> , 2021]   |
| Información Post-test              | [He <i>et al.</i> , 2018; Milosz y Chmielewska, 2020; Wu <i>et al.</i> , 2016; Xu <i>et al.</i> , 2018]   |
| Cuestionarios y Encuestas          | [Cho <i>et al.</i> , 2019; Zhang <i>et al.</i> , 2020]  |
| Evaluación Heurística              | [Rigou <i>et al.</i> , 2019; Zardari <i>et al.</i> , 2020]  |
| Pruebas de Usabilidad              | [Zardari <i>et al.</i> , 2020]  |
| Registro de Uso                    | [Altin Gumussoy <i>et al.</i> , 2021]   |

Como se detalló anteriormente, la parte inferior de la Figura 3.6 muestra las técnicas de usabilidad utilizadas según los estudios primarios, particularmente para la técnica pensar en voz alta se reporta su uso en 17 estudios primarios. Sin embargo, en la Tabla 3.5 se muestran 16 referencias correspondientes a los estudios en donde se utiliza dicha técnica. En este punto, es importante mencionar que en el estudio realizado por Yang *et al.* [2018] se emplea la técnica pensar en voz alta en dos variantes, concurrente y retrospectivo. Dada esta aclaración, a continuación se detallará como las técnicas de usabilidad identificadas son utilizadas dentro de las etapas: preprueba, durante las pruebas, captura de información adicional (exceptuando la etapa análisis de la información debido a que no se identificaron técnicas de usabilidad según los estudios primarios) y las actividades que realizan estas técnicas de usabilidad dentro de estas etapas. Para esto, se han mapeado los estudios primarios en cada una de las etapas.

1. Pre-prueba. Antes de realizar las pruebas, se solicita información demográfica a los participantes [Zhang *et al.*, 2020], la cual puede ser obtenida mediante encuestas [Conley *et al.*, 2020; Wang *et al.*, 2019; Zhang *et al.*, 2020] o cuestionarios

[Kaysi y Topaloglu, 2017; Michalski, 2016]. Además, se identifica el nivel de experticia de cada participante mediante cuestionarios [Bataneh *et al.*, 2017] o por entrevistas [Souza y Maciel, 2018]. En esta etapa, se realiza la calibración del *eye tracker*. Esta calibración puede ser realizada dentro de laboratorios de usabilidad [Falkowska *et al.*, 2018], al igual que la explicación a los participantes del propósito de las pruebas [Bataneh *et al.*, 2017; Sørnum, 2016].

2. Durante las pruebas. En esta etapa, el participante realiza las tareas de la prueba, solicitándole sus comentarios sobre lo que está haciendo mientras interactúa con la interfaz (pensamiento en voz alta) [Altin Gumussoy *et al.*, 2021; Borys y Milosz, 2018; Megyeri y Szabó, 2021; Milosz y Chmielewska, 2020]. Es necesario dar un breve periodo de receso, responder preguntas sobre la realización de la tarea [Majooni *et al.*, 2018] y repetir los pasos anteriores en cada tarea, hasta que el participante termine por completo las tareas encomendadas. El desempeño del participante mientras completa una tarea (métricas de rendimiento) es grabado por el *eye tracker* [Borys y Milosz, 2018]. Por el lado del evaluador, debe verificar si el software cumple con los lineamientos definidos [Rigou *et al.*, 2019].
3. Captura de información adicional. Una vez finalizada la etapa de pruebas, se le solicita al participante brindar sus percepciones acerca de la interfaz, esto puede ser mediante: (i) los comentarios generados al ver su grabación de desempeño en la realización de las pruebas (pensamiento en voz alta retrospectivo) [Arenas *et al.*, 2021; Cho *et al.*, 2019; Nugraha *et al.*, 2019; Souza y Maciel, 2018], mediante entrevistas [He *et al.*, 2018; Wu *et al.*, 2016; Xu *et al.*, 2018]; (ii) el llenado de cuestionarios [Bataneh *et al.*, 2017; Zhou *et al.*, 2021] o de encuestas [Bartling *et al.*, 2019; Conley *et al.*, 2020], como el SUS [Quimbata *et al.*, 2020; Tomaschko y Hohenwarter, 2018].

A manera de ejemplo, la Figura 3.7 muestra el flujo de trabajo realizado por Majooni *et al.* [2018], determinando 4 fases para cada tarea, con el fin de determinar el nivel de dificultad asociado a cada tarea realizada, mediante el análisis de registros oculares y preguntas de encuesta. La Figura 3.8 muestra como en el estudio realizado por Quimbata *et al.* [2020], se recopiló datos de carácter cualitativo mediante el *eye tracking* y datos cuantitativos mediante el SUS, con el fin de medir la usabilidad de la interfaz. Esta información obtenida por los métodos anteriormente descritos, permi-

tió generar una mejor interpretación y análisis de los datos, permitiendo identificar mejoras en la usabilidad de la página web evaluada.

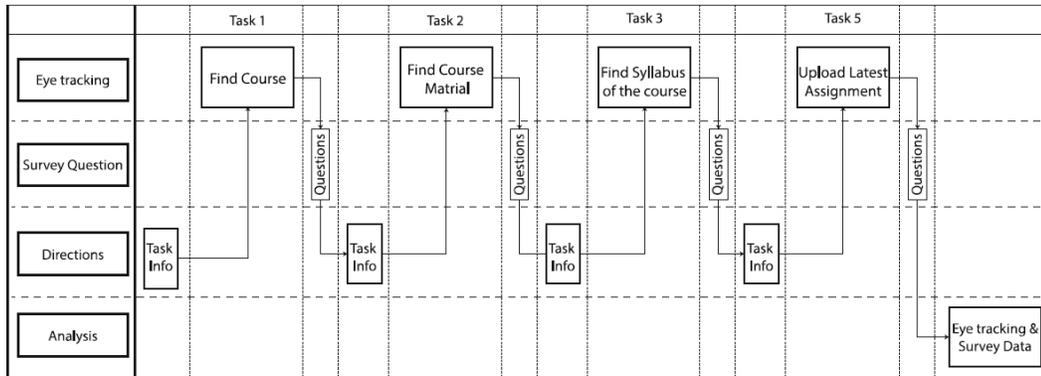


Figura 3.7: Ejemplo de evaluación de usabilidad empleando *eye tracking* y encuestas [Majooni *et al.*, 2018].

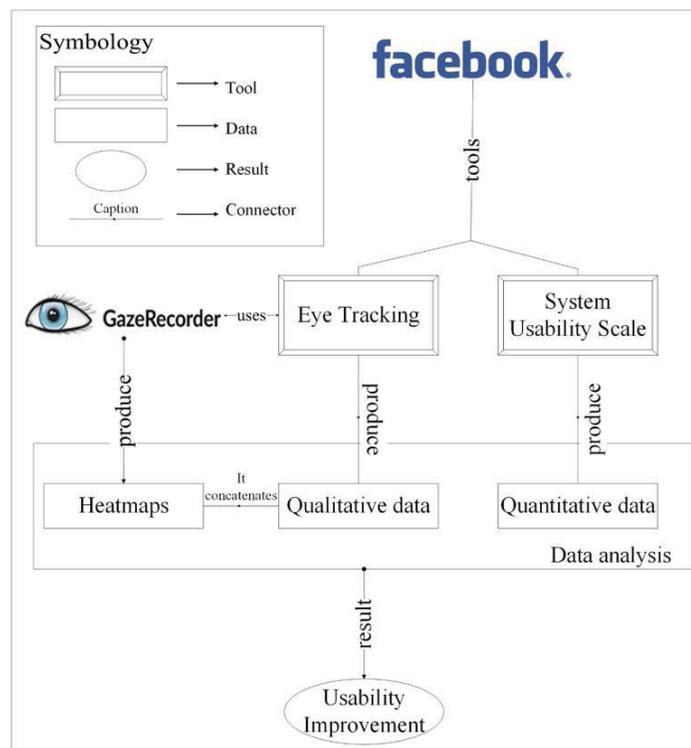


Figura 3.8: Otro ejemplo de evaluación de usabilidad empleando *eye tracking* y SUS [Quimbata *et al.*, 2020].

La Tabla 3.6 resume lo expuesto con las técnicas de evaluación nombradas al inicio de esta sección, la etapa dentro de la evaluación donde se usa y las actividades que realiza. La Tabla 3.7 muestra como en el estudio realizado por Souza y Maciel [2018], emplean 3 técnicas para realizar la evaluación: entrevistas, *eye tracking* y pensamiento en voz alta retrospectivo. Comparando el tipo de información que recopila cada una de ellas, (i) las entrevistas permiten explorar el perfil del participante, como buscan los participantes las funcionalidades y aplicaciones en un *smartphone*, y los problemas asociados a esta búsqueda, (ii) el uso de *eye tracking* para verificar como los participantes realizan las tareas, identificando qué áreas dentro de la interfaz presentan problemas de usabilidad y finalmente, (iii) el pensamiento en voz alta retrospectivo, permitiendo entender con mayor nivel de detalle la dirección que tomaron los participantes durante las pruebas.

Tabla 3.6: Técnicas de evaluación de usabilidad utilizados en conjunto al *eye tracking*.

| <b>Técnica de usabilidad</b> | <b>Etapa de la evaluación en donde se emplea</b>                              | <b>Actividades</b>   |
|------------------------------|---|--|
| Cuestionarios                | Pre-prueba<br><br>Captura de información adicional                            | Recopilar información demográfica del participante.<br><br>Recopilar información sobre la conformidad del usuario con respecto a la interfaz.  |
| Encuestas                    | Pre-prueba<br><br>Durante las pruebas<br><br>Captura de información adicional | Recopilar información demográfica del participante.<br><br>Recopilar las percepciones de los participantes luego de realizar una tarea.<br><br>Recopilar el nivel de satisfacción del participante (SUS).      |
| Entrevistas                  | Pre-prueba<br><br>Captura de información adicional                            | Recopilar información demográfica de los participantes.<br><br>Recopilar información sobre el nivel de experticia en el software.<br><br>Recopilar comentarios de los participantes luego de usar el software. |
| Evaluación Heurística        | Durante las pruebas   | Verificar si la interfaz cumple con los lineamientos definidos para la evaluación.   |

...

...continuación

| <b>Técnica de usabilidad</b> | <b>Etapas de la evaluación en donde se emplea</b>           | <b>Actividades</b>  |
|------------------------------|---|---|
| Laboratorio de Usabilidad    | Pre-prueba<br><br>Durante las pruebas                       | Calibración de <i>eye tracker</i> .<br><br>Explicación del objetivo y desarrollo de la evaluación de usabilidad.<br>Realización de tareas por parte del participante.<br>Captura de información ocular.           |
| Métricas de Rendimiento      | Durante las pruebas   | Recopilar información sobre el desempeño del participante mientras interactúa con el software.  |
| Pensamiento en Voz Alta      | Durante las pruebas<br><br>Captura de información adicional | Recopilar comentarios del participante mientras realiza las tareas.<br>Recopilar comentarios del participante mientras revisa la grabación de su desempeño en las pruebas (pensamiento en voz alta retrospectivo) |

Tabla 3.7: Ejemplo de comparación entre las técnicas de usabilidad: entrevistas, *eye tracking* y pensamiento en voz alta (adaptado de [Souza y Maciel, 2018]).

| <b>Grupo</b>                                       | <b>Entrevistas</b> | <b><i>Eye tracking</i></b> | <b>Pensamiento en voz alta</b> |
|--|--------------------|----------------------------|--------------------------------|
| Perfil de los participantes                        | X                  |                            |                                |
| Funciones principales utilizadas                   | X                  |                            |                                |
| Modelo organizativo                                | X                  |                            | X                              |
| Modelo de uso                                      | X                  | X                          |                                |
| Problemas para encontrar características           | X                  | X                          |                                |
| Caminos recorridos visualmente                     |                    | X                          |                                |
| Áreas de interés                                   |                    | X                          |                                |
| Impresiones de los participantes                   |                    |                            | X                              |
| Satisfacción de la experiencia                     |                    |                            | X                              |
| Puntos de mejora                                   |                    |                            | X                              |
| Relación entre la atención y la toma de decisiones |                    |                            | X                              |

### 3.4. Impacto del Uso de *Eye Tracking* en la Aplicación de Técnicas de Evaluación de la Usabilidad

El impacto que genera el uso de la tecnología *eye tracking* en conjunto con alguna técnica de usabilidad tradicional, está en la generación de mayor información acerca del comportamiento del usuario [Horváth *et al.*, 2019]. Luego de analizar los estudios primarios, hemos descubierto que el *eye tracking* tiene dos funciones dentro de las evaluaciones de la usabilidad del software, como medio de recopilación de datos y medio de validación de los resultados obtenidos una vez finalizado la etapa de pruebas. A continuación, expondremos como impacta el uso del *eye tracking* en las técnicas identificadas en el presente trabajo de titulación.

- 1) Pensamiento en voz alta. El uso de *eye tracking* con esta técnica, nos permite analizar con un mayor nivel de detalle el origen de los problemas de usabilidad detectados dentro de una interfaz [Borys y Milosz, 2018; Kaysi y Topaloglu, 2017], esto debido a los comentarios y observaciones generados por el usuario mientras interactúa con el software a evaluar, cosa que no pueden lograr otras técnicas más convencionales (por ejemplo, el SUS) [Özdingç *et al.*, 2016]. Además de brindar a los diseñadores de sistemas de información una guía para su construcción y un punto de inicio para refinar la usabilidad de estos sistemas [Weichbroth *et al.*, 2016].
- 2) Cuestionarios. El uso del *eye tracking* puede respaldar o no los resultados obtenidos con esta técnica, sobre todo con los resultados obtenidos con el SUS. Por ejemplo, en la evaluación realizada por Tomaschko y Hohenwarter [2018], los autores obtuvieron un puntaje en SUS inferior al promedio (63 puntos, en este estudio se consideró un mínimo de 68 puntos para que el software se considere usable), dicho puntaje es avalado por la información brindada por el *eye tracking*.
- 3) Entrevistas. Asimismo, la información recopilada mediante entrevistas luego de realizar las pruebas, en conjunto con los datos oculares, pueden indicar los problemas de usabilidad dentro de la interfaz [Xu *et al.*, 2018], con un mayor nivel de detalle.

- 4) Métricas de rendimiento. En el estudio de Wang *et al.* [2019] se definen correlaciones entre las métricas arrojadas por el *eye tracking* y métricas de rendimiento tradicionales, como la presencia de una fuerte correlación positiva entre el número de fijaciones y el tiempo empleado por tarea: Si el usuario emplea mayor tiempo realizando una tarea, mayor es la cantidad de fijaciones. Una correlación negativa, de nivel moderado a fuerte, entre la cantidad de fijaciones y el nivel de dificultad de la tarea: Entre más compleja sea la tarea mayor cantidad de fijaciones y la asociación negativa entre tiempo empleado por tarea y su nivel de dificultad, es decir, si la tarea presenta un nivel de dificultad alto, mayor tiempo le tomará al usuario terminar la misma. Altin Gumussoy *et al.* [2021] discuten las mismas correlaciones entre las métricas de rendimiento y las métricas oculares.

### 3.5. Técnicas de Evaluación de la Usabilidad Idóneas para Utilizarse con *Eye Tracking*

Para identificar las técnicas de evaluación de usabilidad idóneas para usarse con el *eye tracking*, se continuará con las etapas definidas de la evaluación de la usabilidad en la Sección 3.3: preprueba, durante la prueba y captura de información adicional. Esto con el fin de exponer de manera clara y ordenada los resultados del análisis de los estudios primarios.

- 1) Pre-prueba. Esta etapa de la evaluación de la usabilidad no se beneficia de la información visual brindada por el *eye tracking*. Esta etapa se usa normalmente para que el participante firme el consentimiento para colaborar en las pruebas, recopilar información demográfica y su nivel de experticia en el software a evaluar. Además, se usa para calibrar el *eye tracker* y explicar a los participantes de cómo se ejecutará la evaluación de usabilidad, las etapas que la conforman y el objetivo de la evaluación.
- 2) Durante la prueba. En esta etapa, el *eye tracking* cumple el rol de brindar información extra acerca del comportamiento del participante durante las pruebas. Entre las técnicas más idóneas se encuentra pensamiento en voz alta por entregar una perspectiva adicional sobre cómo una persona interactúa con el software, brindando información valiosa para el evaluador como por ejemplo, saber qué componentes dentro de una interfaz generan dificultades para el participante. Al

igual que el pensamiento en voz alta, las métricas de rendimiento también indican información útil sobre el comportamiento del participante mientras realiza una tarea, dando a conocer qué componentes de una interfaz asociadas a ella pueden presentar algún nivel de dificultad de uso. Otra técnica que puede ser aplicada, son las preguntas de encuestas entre las tareas, indicando qué componentes de la interfaz generan problemas al participante.

Finalmente, el uso de laboratorios de usabilidad también es una buena opción, debido a que normalmente poseen *eye trackers*, junto al equipamiento necesario para la realización y captura de las pruebas como cámaras, ordenadores, entre otros dispositivos. Asimismo, brinda un entorno aislado, limitando el nivel de distracción de parte de una persona mientras realiza tareas, lo que conlleva a una captura de información más robusta y un análisis más objetivo.

- 3) Captura de información adicional. En esta etapa, el *eye tracking* igualmente cumple el rol de brindar información extra sobre el participante y la interacción con el sistema, pero a diferencia del ítem anterior, es posterior a las pruebas. Al participante se le pide pensar en voz alta mientras observa las grabaciones realizadas durante la ejecución de las tareas, explicando cómo las realizó y describiendo las dificultades que se le presentaron con el software. Igualmente, el *eye tracking* tiene el rol de validar lo percibido por el participante. Entre las técnicas más idóneas se encuentran: las encuestas, cuestionarios e información post-test por la retroalimentación brindada por los participantes sobre qué elementos de la interfaz generaron problemas durante la realización de tareas. El *eye tracking* también puede confirmar el nivel de satisfacción del usuario luego de usar el software.

### **3.6. Problemas al Usar *Eye Tracking* para Evaluar la Usabilidad**

Durante el análisis de los estudios primarios, se identificaron diversos problemas generados por el uso del *eye tracking* para evaluar la usabilidad. Estos problemas fueron clasificados en las siguientes categorías:

- (1) Disponibilidad del dispositivo. Un factor importante antes de realizar pruebas de evaluación de la usabilidad empleando esta tecnología, es revisar su disponibili-

dad en la zona en donde se realizará la misma. En el estudio de Bartling *et al.* [2019] se realizó una evaluación de la usabilidad de un sistema de información geográfico participativo en tres países: Colombia, Uganda y Austria, siendo este último país el que presenta disponibilidad de la tecnología *eye tracking*. Por otro lado, se debe tener en cuenta el tiempo disponible para el uso de esta herramienta. En el estudio de Francesa-Alfaro *et al.* [2016] se presentó esta limitante, teniendo solo un día para su aplicación, generando conflictos de calendarización en un grupo de participantes, modificando sus actividades programadas con el fin de asistir al día en cuestión.

- (2) Técnicos. Un detalle a considerar si se desea evaluar la usabilidad de plataformas web, es el estado de la conexión a internet. En la evaluación realizada en Realpe-Muñoz *et al.* [2018] se detalla que, para su evaluación, la mala calidad de este servicio generó tiempos de espera mientras cargaba la página, ocasionando alteraciones en la información ocular, por lo cual se tuvo que modificar los datos oculares. Otro problema está relacionado con las versiones del software. Weichbroth *et al.* [2016] presentó limitaciones en su investigación debido al uso de *Tobii Studio* para analizar la información ocular recopilada en la evaluación, cuya versión del software en ese momento, solo permitía usar el navegador Internet Explorer para la evaluación de interfaces web.

Otra limitante técnica es el propio *eye tracker*, el cual es sensible a los movimientos [Bartling *et al.*, 2019], los cuales pueden ser generados por la incomodidad del participante en el entorno de la prueba. Özdiñç *et al.* [2016] descartaron la información de un participante debido a la incomodidad que presentaba en la estación de trabajo, uso de anteojos, incluso los parpados pueden generar dichos movimientos, lo que conllevaría a recalibrar y sesgar los resultados finales [Bartling *et al.*, 2021].

Otro aspecto a considerar es la calidad de la grabación. Si se presentan problemas puede disminuir la cantidad de datos utilizables para el análisis. Por ejemplo, Zhang *et al.* [2020] presentaron problemas con la calidad de grabación, descartando 9 de un total de 105 estudiantes, debido a que la mitad de sus movimientos no fue grabada. Michalski [2016] descartó el registro de 4 de un total de 50 participantes, presentando un ratio de registro ocular inferior al 70 % definido para el análisis. En la evaluación realizada por Arenas *et al.* [2021], los autores afirman

que una de las causales para descartar información de 5 de los 84 participantes, fue la calidad pobre de la grabación. En la evaluación realizada en el estudio de Xu *et al.* [2018], al igual que en los dos primeros casos, se tuvo que descartar grabaciones de participantes, debido a que el ratio de sus registros oculares eran inferiores al 50 % antes de realizar el análisis.

- (3) Análisis de la información generada por el *eye tracking*. A pesar de los beneficios de los datos brindados por el *eye tracking*, se requiere un nivel de experticia para entender las métricas que genera esta y qué explica cada una. Además de requerir mayor tiempo de análisis, a diferencia de los métodos tradicionales de evaluación [Wang *et al.*, 2019].
- (4) Problemas relacionados con el software evaluado. Durante el desarrollo del presente estudio, las evaluaciones de la usabilidad identificados son mayoritariamente de interfaces web y de aplicaciones móviles, es decir, entornos en 2D. En menor medida, se encontraron evaluaciones en software bajo entornos 3D. Horváth *et al.* [2019] evaluaron ViveLab, software basado en la nube para análisis ergonómico. Debido al entorno 3D entregado por el software, en conjunto a que el participante puede mover el entorno y el espacio virtual según sus preferencias, no hay vistas iguales entre participantes. Por tanto, es necesario analizar de manera individual los resultados de las pruebas.

En un trabajo posterior, Babicsné-Horváth y Hercegi [2020] evaluaron ViveLab y Jack (otro software ergonómico de entorno 3D). A pesar de solicitar a los participantes no moverse en el entorno 3D, realizaron acciones en diferentes lugares dentro de su interfaz, generándose información no interpretable. Özding *et al.* [2016] también reportan esta problemática en el uso de esta tecnología en entornos 3D, debido a la complejidad de análisis de la información visual.

- (5) Participantes. Algo que destaca Conley *et al.* [2020] es la valoración de parte de los participantes de las tareas prescritas. Los autores afirman que si estas tareas no están definidas podrían interferir con los datos visuales, asociando esta problemática al comportamiento del participante, aunque podría ser causado por instrucciones deficientes o una tarea que el participante no suele estar acostumbrado a realizar.

Otro elemento es la configuración de la estación de trabajo para realizar las pruebas, teniendo en consideración que las pruebas de usabilidad deben acercarse lo

más posible a una situación real de uso, como lo realizan Borys y Milosz [2018]. Los autores simulan un entorno de oficina para realizar las pruebas. En el estudio de Bartling *et al.* [2021], los autores afirman que, debido a que los participantes no se encontraban en una posición natural mientras usaban el *eye tracker*, los resultados de la encuesta aplicada pudieron verse afectados. La Figura 3.9 presenta un ejemplo de esta situación particular, en la cual un usuario interactúa con un smartwatch de manera no natural.



Figura 3.9: Configuración de la estación de trabajo para realizar una prueba de usabilidad de un *smartwatch* empleando *eye tracking* [Wu *et al.*, 2016].

# Capítulo 4

## Discusión y Amenazas a la Validez

En este Capítulo se discutirán los resultados del presente estudio. Además, se presentan las amenazas que pueden comprometer la validez de este trabajo de titulación.

### 4.1. Discusión de Resultados

A nivel general, la aplicación de la tecnología *eye tracking* en las pruebas, puede identificar problemas de usabilidad a pesar de que las técnicas de usabilidad convencionales indiquen lo contrario [Sørum, 2016]. Su uso en conjunto con otra(s) técnica(s) aportan datos complementarios a los recopilados por otras técnicas usadas [Souza y Maciel, 2018]. Existe una sinergia entre las técnicas tradicionales de la usabilidad y la tecnología *eye tracking*, en donde la información cualitativa y cuantitativa [Wang *et al.*, 2019] brindada por el registro ocular, complementa la información entregada por las técnicas tradicionales, permitiendo a los investigadores entender la experiencia del usuario, incluso si ellos no la describen [Rigou *et al.*, 2019].

Las técnicas pensamiento en voz alta, encuestas, métricas de rendimiento son las técnicas relacionadas con la evaluación de la usabilidad que se usan con frecuencia en conjunto con la tecnología *eye tracking*. Estas técnicas brindan otro punto de vista sobre cómo se usa un software, brindando información sobre las percepciones y desempeño del participante mientras interactúa con la interfaz. Mostrando con un mayor nivel de detalle, qué componentes dentro de la interfaz presentan algún nivel de dificultad de uso.

Durante el uso de la tecnología de *eye tracking* para evaluar la usabilidad, es importante considerar: (1) el entorno donde se realizarán las pruebas, (2) los *eye trackers* empleados, (3) los puntos de calibración definidos, y (4) la cantidad de participantes para evaluar el software. En la Tabla 4.1, se presenta un extracto de los aspectos anteriores. En el Anexo C, se puede consultar el listado completo de estos aspectos para cada estudio primario identificado en el SMS.

Tabla 4.1: Extracto de la lista con las especificaciones de las pruebas de usabilidad.

| Referencia                           | Entorno para las Pruebas | Eye Tracker |        | Puntos de Calibración | Cantidad de Participantes |
|--------------------------------------|--------------------------|-------------|--------|-----------------------|---------------------------|
|                                      |                          | Marca       | Modelo |                       |                           |
| Francesa-Alfaro <i>et al.</i> [2016] | N/D                      | N/D         | N/D    | N/D                   | 6                         |
| Fu [2016]                            | N/D                      | Tobii Pro   | X120   | N/D                   | 10                        |
| Michalski [2016]                     | Aislado                  | SMI         | RED500 | 2                     | 50                        |
| Özdingç <i>et al.</i> [2016]         | Laboratorio              | N/D         | N/D    | N/D                   | 3                         |
| Sörum [2016]                         | Laboratorio              | Tobii Pro   | X2-30  | N/D                   | 16                        |
| Weichbroth <i>et al.</i> [2016]      | N/D                      | Tobii Pro   | TX300  | N/D                   | 43                        |
| Wu <i>et al.</i> [2016]              | N/D                      | SMI         | N/D    | 5                     | 10                        |
| Yağmur y Çakır [2016]                | N/D                      | Tobii Pro   | X2-60  | N/D                   | 10                        |

Para el desarrollo de las evaluaciones de usabilidad utilizando técnicas tradicionales, Nielsen [2020] establece que con 5 personas puede determinarse alrededor del 80 % de los problemas de usabilidad. Sin embargo, existen técnicas de usabilidad particulares, como el *eye tracking* en la que es necesaria la participación de 39 personas para realizar las pruebas, con el fin de obtener mapas de calor de mayor calidad [Nielsen, 2012a]. Esta condición fue cumplida en 6 de los 43 estudios primarios que reportan la cantidad de participantes (solo en los estudios de Majooni *et al.* [2018] y Rigou *et al.* [2019] no especifican cantidad de participantes).

Con respecto a donde realizar la evaluación de la usabilidad utilizando *eye tracking*, los laboratorios son los lugares más indicados [Özdingç *et al.*, 2016]. En 15 estudios primarios se reporta el uso de laboratorios para las pruebas, 8 de ellos son para usabilidad, por lo que nos da la idea que la técnica laboratorio de usabilidad

no es tan necesaria para desarrollar las evaluaciones con *eye tracking*. Esto puede deberse a su alto costo de implementación.

En 7 de los 45 estudios primarios se reporta la cantidad de puntos de calibración empleados, indicando que no existe una cantidad fija de puntos de calibración que asegure un nivel óptimo en la recopilación de datos oculares.

El nivel de confort de parte del participante, puede influir en la generación de información no útil para la evaluación, la cual puede asociarse de manera errónea al software. El estudio realizado por Realpe-Muñoz *et al.* [2018], detalla la preparación del entorno de trabajo antes de las pruebas, verificando que fuera confortable para los participantes, evitando nerviosismo y por consiguiente generando datos más reales. Además, de la debida verificación del software a evaluar, con la misma finalidad.

Para las pruebas, en el estudio realizado por Ahmadi *et al.* [2018], se hizo aleatoriamente el orden de las tareas a realizar por el participante, con el fin de evitar datos similares entre los participantes. Otra consideración, en caso de utilizar la técnica pensamiento en voz alta en conjunto al *eye tracking*, en su variante retrospectiva, es que puede consumir más tiempo para su análisis, a diferencia de la aplicación de una técnica tradicional por sí sola [Cho *et al.*, 2019]. Con respecto a la carga cognitiva y la tensión en los participantes que puede generar esta técnica, Yang *et al.* [2018] realizaron una comparación entre el pensamiento en voz alta concurrente y retrospectivo, concluyendo que el pensamiento en voz alta concurrente, debido a la alta carga cognitiva y tensión que esta genera, no lo ve apto para tareas extensas. Por otro lado, la retrospectiva por su acercamiento al actuar real del usuario sirve más para tareas más extensas o para una secuencia de tareas.

Sobre las limitaciones reportadas en la Sección 3.6, se proponen las siguientes recomendaciones con el propósito de disminuir la probabilidad de aparición de problemas:

- Disponibilidad: Revisar en la zona en la cual se realizarán las pruebas de usabilidad la disponibilidad del *eye tracker*. En caso de conseguir uno, determinar por cuanto tiempo se puede utilizar, para generar un plan de evaluación acorde al tiempo disponible.
- Participantes: Lo ideal es tener al menos 39 participantes, según lo definido por Nielsen para el uso del *eye tracking*. En caso de no cumplir esta cantidad, considerar superar la cantidad de 5 participantes definidos para pruebas convencionales

de usabilidad, ante la posibilidad de descartar información de poca calidad de los participantes.

- **Técnicos:** Preparar el entorno de prueba para que el participante evite movimientos innecesarios, y eliminar la presencia de elementos que puedan influir de manera negativa en la captura de datos visuales (por ejemplo, la interacción innecesaria de parte del evaluador hacia el participante durante las pruebas). Además, informar a los participantes del objetivo de la evaluación, los implementos que se utilizarán y las tareas que se deben realizar. Esto último debe repetirse hasta que el usuario haya entendido de manera clara. Reiterar a los participantes evitar movimientos bruscos una vez que interactúen con el software.

Verificar el *eye tracker* y los dispositivos de captura de audio o video, en caso de que se usen estos últimos. Con respecto, al *eye tracker*, calibrar las veces necesarias para evitar problemas.

En caso de evaluar interfaces web, verificar antes de las pruebas la calidad de la conexión a internet para evitar capturar información irrelevante para el evaluador, y revisar si el software encargado de analizar la información visual puede utilizar más de un navegador web.

- **Análisis de información:** Es necesario tener al menos una persona con experiencia en el uso del *eye tracker*, además de contar con software apto para manejar el alto flujo de datos brindados por el seguimiento ocular, como *Tobii Studio* o *iMotions*.
- **Software evaluado:** Tener precaución si se evalúa software bajo entornos 3D, informar de manera clara a los usuarios las instrucciones y las acciones que pueden realizar bajo este entorno, aunque esto conlleve sesgar la evaluación.

En la Figura 4.1, se resumen las propuestas para solventar los problemas asociados al uso de la tecnología *eye tracking* en las evaluaciones.

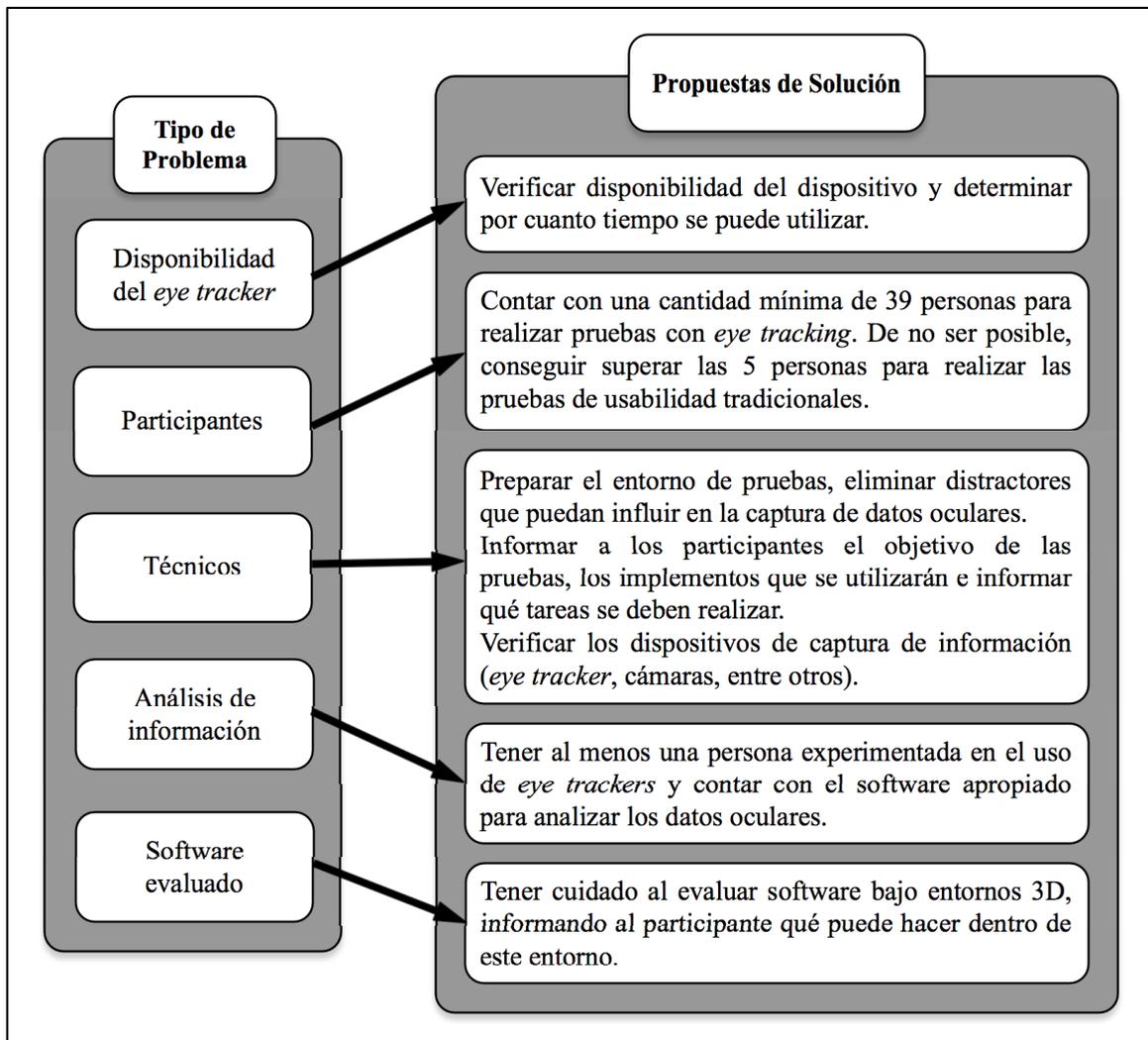


Figura 4.1: Resumen de las propuestas para solventar los problemas asociados a uso de la tecnología *eye tracking*.

Finalmente, es importante señalar los principales aportes entregados por el presente estudio con respecto a los dos únicos trabajos relacionados (mencionados en el Capítulo 2). El primero, es el estudio realizado por [Sharafi *et al.*, 2015] el cual se centra en la aplicación de *eye tracking* en el campo de la ingeniería de software. Sin embargo, el presente trabajo está enfocado en determinar cómo se está usando el *eye tracking* en el campo de la IPC. El segundo trabajo corresponde al realizado por [Sharma y Dubey, 2014], que a pesar de estar directamente relacionado con este

trabajo, presenta tres grandes diferencias. En primer lugar, es un estudio que fue publicado hace 8 años, en contraste con este trabajo donde se consideraron estudios publicados entre los años 2016 y 2021. En segundo lugar, no es un SMS, mientras que el presente trabajo fue realizado con esta metodología. En tercer lugar, la descripción de la literatura es realizada de manera superficial, en comparación con nuestro trabajo en la cual se reporta de manera detallada los resultados encontrados con el SMS realizado.

Teniendo en cuenta lo anterior, con el presente SMS hemos entregado una visión actualizada de cómo el uso de *eye tracking* apoya las evaluaciones de usabilidad, identificando las técnicas que se usan en conjunto con esta tecnología; determinando cómo impacta el *eye tracking* en la aplicación de las técnicas, según lo reportado por los autores de los estudios primarios; identificando los problemas con el uso de esta tecnología para evaluar la usabilidad de los sistemas software. Además, hemos dado propuestas de solución a estos problemas con el fin de mitigarlos.

## 4.2. Amenazas a la Validez

Para la conformación de la cadena de búsqueda, fueron seleccionados los términos que presentan mayor frecuencia de uso dentro de los 11 artículos del GC relacionados con el estudio. Se realizaron pruebas de búsqueda con las tres cadenas creadas con el objetivo de seleccionar la mejor cadena de búsqueda. Para esto, se utilizó como criterio aquella cadena que obtuviera la mayor cantidad de artículos del GC, y que el universo de artículos encontrados fuese el más pequeño. Una amenaza a la validez puede ser la conformación del GC, cuyo criterio de selección pudo no ser la más adecuado. Para minimizar esta amenaza, basamos la selección de los artículos en las preguntas establecidas.

Con respecto a la etapa de búsqueda de estudios primarios, solo consideramos tres bases de datos científicas (SCOPUS, IEEE Xplore, Web of Science), descartando la búsqueda en otras bases de datos (como Science Direct y ACM) y en la literatura gris. Además, limitamos el alcance del trabajo, seleccionando artículos publicados entre los años 2016 y 2021, conservando artículos escritos en inglés para ser analizados. Debido a esto, es probable que hayamos omitido estudios que presentaran vínculos con el objetivo del presente trabajo.

Otra amenaza a la validez, es el sesgo al momento de seleccionar los estudios primarios, a pesar de que el profesor guía y el estudiante participaron en la aplicación de los criterios de inclusión y exclusión. Habían artículos que podrían ser estudios primarios, pero debido a su contenido pobre, según los criterios de selección establecidos, fueron descartados y podrían brindar información para responder alguna de las preguntas.

Otro factor son los 4 artículos que no fueron encontrados por las razones expuestas en la sección 3.1, teniendo en cuenta la posibilidad de ser descartados en alguna etapa de la metodología, pudo haber información en su contenido que haya brindado mayor robustez a lo descubierto o no se haya presentado en este trabajo.

En cuanto a la validez de la información, el análisis se realizó sobre una muestra de 45 estudios primarios. Sobre estos estudios se realizó la extracción y síntesis de datos para identificar como el uso de sistemas *eye tracking* puede apoyar las evaluaciones de la usabilidad.

# Capítulo 5

## Conclusiones y Trabajos Futuros

En este Capítulo se reportan las conclusiones del presente trabajo y las propuestas de trabajos futuros.

### 5.1. Conclusiones

En este trabajo, hemos presentado un estudio de mapeo sistemático de literatura sobre el uso de la tecnología *eye tracking* como apoyo en la evaluación de la usabilidad de sistemas software, con el fin de entregar el panorama actual de su aplicación como técnica para evaluar la usabilidad. El estudio comenzó con la identificación de los términos usados dentro de un conjunto de estudios denominado grupo de control. Una vez obtenidos los términos, se procedió a construir cadenas de búsqueda permitiendo encontrar los artículos relacionados con el uso de *eye tracking*, la evaluación de la usabilidad de sistemas software en tres bases de datos (Scopus, IEEE Xplore y Web of Science). Luego, se aplicó un criterio de selección para excluir todo artículo que no brindará información relevante para responder las preguntas definidas. En total, 45 estudios primarios fueron analizados. A continuación, responderemos brevemente las preguntas de investigación.

P1: ¿Cuáles son las técnicas de evaluación de usabilidad que están siendo usadas con los sistemas de *eye tracking*?

En este SMS se ha identificado la aplicación de diversas técnicas de evaluación de usabilidad en conjunto con la tecnología de *eye tracking*. Mayoritariamente, se aplican las siguientes técnicas: encuestas, pensamiento en voz alta, cuestionarios, métricas de rendimiento, laboratorio de usabilidad y entrevistas. Además, se identificó que la

evaluación se realiza en las siguientes etapas: (i) preprueba, (ii) durante las pruebas, (iii) captura de información adicional y (iv) análisis de la información. De manera resumida, la etapa de preprueba se caracteriza por la preparación del entorno y del *eye tracker* para realizar la evaluación. En la etapa durante las pruebas, se realiza la captura de información del participante ejecutando las tareas definidas con el *eye tracker*. Para la etapa de captura de información adicional, se captura información extra sobre las percepciones luego de usar la interfaz, donde los datos oculares pueden complementar dicha captura de información. Finalmente, en la etapa análisis de la información, donde la información recopilada en las pruebas es analizada. Con respecto a la etapa preprueba, se encuentran las técnicas cuestionarios, encuestas, entrevistas y laboratorios de usabilidad para recopilar información demográfica y preparar el entorno de pruebas respectivamente. Para la etapa durante las pruebas, se identificaron las técnicas: laboratorio de usabilidad para la realización de las pruebas, encuestas, métricas de rendimiento y pensamiento en voz alta, para recolectar información acerca de las percepciones, al igual que el desempeño del participante al momento de realizar las tareas y evaluación heurística, para verificar los lineamientos definidos para evaluar la interfaz. Para la etapa de captura de información adicional, se usan las técnicas: cuestionarios, encuestas para recopilar el nivel de conformidad y satisfacción respectivamente; entrevistas para recopilar información adicional de los participantes luego de interactuar con la interfaz y pensamiento en voz alta retrospectivo, para recopilar información sobre el desempeño del participante mientras realiza las pruebas. Por último, en la etapa de análisis de la información, no se identificaron técnicas de la usabilidad.

P2. ¿Cómo el uso de sistemas de *eye tracking* puede impactar la aplicación de técnicas de evaluación de la usabilidad?

Se identificó a partir del análisis de los estudios primarios que el uso de sistemas *eye tracking* impacta en dos formas. En primer lugar, como medio adicional para la captura de información. En segundo lugar, como medio de validación de los datos obtenidos en el periodo de pruebas. Permitiendo un análisis más profundo sobre los elementos que presentan dificultades de uso, si se usa en conjunto con las técnicas pensamiento en voz alta, encuestas y métricas de rendimiento mientras los participantes realizan las tareas. Como medio de validación, puede comprobar o no, los datos recopilados sobre las percepciones de los usuarios, luego de la etapa de pruebas mediante cuestionarios y entrevistas.

P3. ¿Cuáles son las técnicas de evaluación de usabilidad más idóneas para usarse con los sistemas de *eye tracking*?

Con la información obtenida de los estudios primarios, encontramos varias técnicas idóneas para utilizarse en conjunto con el *eye tracking*. Continuando con las etapas de preprueba, durante las pruebas y captura de información adicional definidas previamente, podemos distribuir estas técnicas de la siguiente manera. La etapa preprueba es la única que no presenta técnicas que se beneficien con el *eye tracking*. Para la etapa durante las pruebas, las técnicas pensamiento en voz alta, encuestas y métricas de rendimiento, entregan información adicional sobre el comportamiento del participante mientras interactúa con la interfaz. Además, la técnica laboratorio de usabilidad es ideal para las evaluaciones, si se usa la tecnología de *eye tracking*, debido a que provee el entorno y equipamiento necesario para su realización. Por último, en la etapa de captura de información adicional, el pensamiento en voz alta, en su variante retrospectiva, brinda información adicional sobre las percepciones del participante. Estos datos en conjunto a los datos oculares, permite analizar con mayor nivel de detalle que componentes de la interfaz presentan dificultades de uso. Otras técnicas idóneas son las encuestas, cuestionarios e información post-test, para capturar información sobre el nivel de satisfacción y que elementos dentro de la interfaz han generado problemas de uso al momento de realizar las tareas, información que puede ser validada con los datos oculares.

P4. ¿Cuáles son los problemas que se generan al usar sistemas de *eye tracking* para realizar la evaluación de la usabilidad?

Se han identificado los siguientes 5 tipos de problemas asociados al uso de esta tecnología:

- Disponibilidad del dispositivo: Se encontró un estudio que presentó problemas de disponibilidad del *eye tracker* para realizar pruebas, otro estudio reportó problemas con respecto al tiempo disponible de su uso.
- Técnicos: se encontraron problemas asociados con la evaluación de interfaces web, en la cual la versión del software encargado de analizar los datos oculares puede limitar su alcance de la evaluación (por ejemplo, evaluar la interfaz web solo en un navegador); la conexión de internet también puede generar información irrelevante en caso de que se presenten problemas con este servicio; problemas relacionados al *eye tracker* en sí, generados por los movimientos realizados por el participante y la calidad de las grabaciones.

- Análisis de la información: Para utilizar la tecnología de *eye tracking* de manera óptima, se requieren personas experimentadas en su uso. Además, de requerir un mayor tiempo para analizar los datos oculares, a diferencia de una técnica tradicional.
- Problemas asociados con el software evaluado: La evaluación de sistemas software bajo entornos 2D (por ejemplo, páginas web, aplicaciones móviles) no presenta mayor problema. Sin embargo, se pueden presentar conflictos en sistemas software bajo entornos 3D, ya que los datos oculares recopilados pueden generar dificultad durante su posterior análisis.
- Participantes: En 43 de los 45 estudios primarios reportan la cantidad de participantes, 42 de ellos cumplen con el mínimo de 5 personas definido por [Nielsen, 2020] para realizar las pruebas. No obstante, esta cantidad mínima es para pruebas tradicionales, definiendo la cantidad de 39 personas para pruebas utilizando *eye tracking* [Nielsen, 2012a].

Además de reportar los problemas asociados al uso de la tecnología de *eye tracking*, hemos brindado algunas propuestas para eliminar estos problemas. Por ejemplo, verificar la disponibilidad del *eye tracker* en la zona en donde se realizarán las pruebas o preparar adecuadamente el entorno de pruebas, con el objetivo de limitar el nivel de distracción del participante evitando así capturar datos oculares irrelevantes para la evaluación.

## 5.2. Trabajos Futuros

Como trabajos futuros, se ampliará este estudio mediante la búsqueda en más bases de datos (por ejemplo, ACM Digital Library y ScienceDirect) y se buscarán artículos en la literatura gris. Además, se investigará cómo determinar la cantidad mínima de puntos de calibración del *eye tracker* para asegurar un nivel óptimo de calidad en la recopilación de datos oculares. Finalmente, puesto que la tecnología *eye tracking* no tiene un buen desempeño en la evaluación de usabilidad de entornos 3D o ambientes inmersivos y considerando el aumento en el uso de estos sistemas, un trabajo futuro es determinar cuales son las técnicas más adecuadas para ser utilizadas en la evaluación de la usabilidad de estos sistemas.

# Referencias

- Agarkhed, J., Kulkarni, A., Hiroli, N., Kulkarni, J., Jagde, A., y Pukale, A. (2020). Human computer interaction system using eye-tracking features. En *2020 IEEE Bangalore Humanitarian Tech Conference (B-HTC'20)*, pp. 1–5, Vijiyapur, India.
- Ahmadi, N., Romoser, M. R., Guarnieri, L. M., Kry, T. G., y Porter-Fyke, E. I. (2018). Application of eye tracking technology in naturalistic usability assessment of an academic library website. En T., A. y C., F., editores, *Advances in Usability, User Experience and Assistive Technology. AHFE 2018*, volumen 794 de *Advances in Intelligent Systems and Computing*, pp. 729–740. Springer.
- Altin Gumussoy, C., Pekpazar, A., Esengun, M., Bayraktaroglu, A. E., e Ince, G. (2021). Usability evaluation of TV interfaces: Subjective evaluation vs. objective evaluation. *International Journal of Human–Computer Interaction*, pp. 1–19.
- Arenas, A. G., Moorkens, J., y O’Brien, S. (2021). The impact of translation modality on user experience: An eye-tracking study of the microsoft word user interface. *Machine Translation*, 35:205–237.
- Babicsné-Horváth, M. y Hercegi, K. (2020). The difficulties in usability testing of 3-dimensional software applying eye-tracking methodology—presented via two case studies of evaluation of digital human modelling software. En V.G., D., editor, *Digital Human Modeling and Applications in Health, Safety, Ergonomics and Risk Management. Human Communication, Organization and Work. HCII 2020*, volumen 12199 de *Lecture Notes in Computer Science*, pp. 311–321. Springer, Cham.
- Bartling, M., Resch, B., Eitzinger, A., y Zurita-Arthos, L. (2019). A multi-national human–computer interaction evaluation of the public participatory GIS GeoCitizen. *GI-Forum*, 7(1):18–39.

- Bartling, M., Resch, B., Trösterer, S., y Eitzinger, A. (2021). Evaluating PPGIS usability in a multi-national field study combining qualitative surveys and eye-tracking. *The Cartographic Journal*, pp. 1–16.
- Bataineh, E., Al Mourad, B., y Kammoun, F. (2017). Usability analysis on dubai e-government portal using eye tracking methodology. En *2017 Computing Conference*, pp. 591–600, London, UK.
- Benabid Najjar, A., Al-Wabil, A., Hosny, M., AlRashed, W., y Alrubaian, A. (2021). Usability evaluation of optimized single-pointer arabic keyboards using eye tracking. *Advances in Human-Computer Interaction*, 2021:1–14.
- Bojko, A. y Schumacher, R. (2008). Eye tracking and usability testing in form layout evaluation. En *Proceedings of the 38th International Symposium of Business Forms Management Association*, pp. 1–13.
- Borys, M. y Milosz, M. (2018). Mobile application usability testing in quasi-real conditions-the synergy of using different methods. En *2018 11th International Conference on Human System Interaction (HSI'18)*, pp. 362–368, Gdansk, Poland.
- Bowers, V. A. y Snyder, H. L. (1990). Concurrent versus retrospective verbal protocol for comparing window usability. En *Proceedings of the Human Factors Society Annual Meeting*, volumen 34, pp. 1270–1274. SAGE Publications Sage CA: Los Angeles, CA.
- Brooke, J. (1996). SUS-a quick and dirty usability scale. *Usability Evaluation in Industry*, 189(194):4–7.
- Brooke, J. (2013). SUS: A retrospective. *Journal of Usability Studies*, 8(2):29–40.
- Cho, H., Powell, D., Pichon, A., Kuhns, L. M., Garofalo, R., y Schnall, R. (2019). Eye-tracking retrospective think-aloud as a novel approach for a usability evaluation. *International Journal of Medical Informatics*, 129:366–373.
- Conley, Q., Earnshaw, Y., y McWatters, G. (2020). Examining course layouts in blackboard: Using eye-tracking to evaluate usability in a learning management system. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 36(4):373–385.
- Constantine, L. L. y Lockwood, L. A. (1999). *Software for Use: A Practical Guide to the Models and Methods of Usage-Centered Design*. Pearson Education.

- Falkowska, J., Kilijańska, B., Sobecki, J., y Zerka, K. (2018). Microinteractions of forms in web based systems usability and eye tracking metrics analysis. En I., N., editor, *Advances in Human Factors and Systems Interaction. AHFE 2018*, volumen 781 de *Advances in Intelligent Systems and Computing*, pp. 164–174. Springer, Cham.
- Ferré, X. (2005). *Marco de integración de la usabilidad en el proceso de desarrollo software*. Tesis doctoral, Informática.
- Francesca-Alfaro, A., Leiva-Chinchilla, P., Chacón-Rivas, M., y Garita, C. (2016). User-friendly instructional design tool to facilitate course planning. En *2016 XI Latin American Conference on Learning Objects and Technology (LACLO'16)*, pp. 1–9, San Carlos, Costa Rica.
- Fu, J. (2016). Usability evaluation of software store based on eye-tracking technology. En *2016 IEEE Information Technology, Networking, Electronic and Automation Control Conference*, pp. 1116–1119, Chongqing, China.
- Hartson, R. y Pyla, P. (2012). *The UX Book: Process and Guidelines for Ensuring a Quality User Experience*. Elsevier.
- He, C., Gu, J., Ji, Z., y Yang, X. (2018). Comparative study on the usability of navigation style in iteration process of mobile software. En A., M. y W., W., editores, *Design, User Experience, and Usability: Designing Interactions. DUXU 2018*, volumen 10919 de *Lecture Notes in Computer Science*, pp. 586–602. Springer, Cham.
- Hornbæk, K. (2006). Current practice in measuring usability: Challenges to usability studies and research. *International journal of human-computer studies*, 64(2):79–102.
- Horváth, M. B., Hercegi, K., y Fergencs, T. (2019). Comparison of digital human model-based ergonomic software using eye-tracking methodology—presenting pilot usability tests. En V.G., D., editor, *Digital Human Modeling and Applications in Health, Safety, Ergonomics and Risk Management. Human Body and Motion. HCII 2019*, volumen 11581 de *Lecture Notes in Computer Science*, pp. 22–32. Springer, Cham.

- İlhan, A. E. (2018). Eye-tracking to enhance usability: A race game. En K., A., S., K., y R., B., editores, *Intelligent Systems and Applications. IntelliSys 2018*, volumen 868 de *Advances in Intelligent Systems and Computing*, pp. 201–214. Springer, Cham.
- ISO (2018). 9241-11:2018. Ergonomics of human-system interaction—part 11: Usability: Definitions and concepts.
- Jin, H., Liu, Y., Mu, X., Ma, M., y Zhang, J. (2019). Usability evaluation and improvement of mission planner uav ground control system’s interface. *International Journal of Performability Engineering*, 15(10):2726–2734.
- Kaysi, B. y Topaloglu, Y. (2017). Competitive usability testing of student information systems with eye tracking method. En *2017 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence (CSCI’17)*, pp. 951–956, Las Vegas, NV, USA.
- Kitchenham, B. A., Budgen, D., y Brereton, O. P. (2011). Using mapping studies as the basis for further research—a participant-observer case study. *Information and Software Technology*, 53(6):638–651.
- Kuhnel, M., Seiler, L., Honal, A., e Ifenthaler, D. (2018). Mobile learning analytics in higher education: Usability testing and evaluation of an app prototype. *Interactive Technology and Smart Education (ITSE)*, 15(4):332–347.
- Majooni, A., Akhavan, A., y Offenhuber, D. (2018). An eye-tracking study on usability and efficiency of blackboard platform. En G., D. B., editor, *Advances in Design for Inclusion. AHFE 2018*, volumen 776 de *Advances in Intelligent Systems and Computing*, pp. 281–289. Springer, Cham.
- Maslov, I. y Nikou, S. (2020). Usability and UX of learning management systems: An eye-tracking approach. En *2020 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC’20)*, pp. 1–9, Cardiff, UK.
- Megyeri, M. y Szabó, B. (2021). Investigating the effectiveness of user onboarding solutions with eye tracking: A case study on paint 3D. *Ergonomics in Design: The Quarterly of Human Factors Applications*, pp. 1–8.

- Michalski, R. (2016). Eye tracking based experimental study on basic digital control panel usability. En *2016 Third European Network Intelligence Conference (ENIC'16)*, pp. 145–152, Wroclaw, Poland.
- Milosz, M. y Chmielewska, M. (2020). Usability testing of e-government online services using different methods—a case study. En *2020 13th International Conference on Human System Interaction (HSI'20)*, pp. 142–146, Tokyo, Japan.
- Mutlu-Bayraktar, D. (2017). Usability evaluation of social media web sites and applications via eye-tracking method. En Hai-Jew, S., editor, *Social Media Data Extraction and Content Analysis, 1st Edition*, pp. 85–112. Hershey, PA, USA, IGI Global.
- Narcizo, F. B., de Queiroz, J. E. R., y Gomes, H. M. (2013). Remote eye tracking systems: technologies and applications. En *2013 26th Conference on Graphics, Patterns and Images Tutorials*, pp. 15–22.
- Nielsen, J. (1994a). *Usability Engineering*. Morgan Kaufmann.
- Nielsen, J. (1994b). Usability inspection methods. En *Conference Companion on Human Factors in Computing Systems (CHI'94)*, pp. 413–414.
- Nielsen, J. (2012a). How many test users in a usability study? Available at <https://www.nngroup.com/articles/how-many-test-users/>. [Accesed September 2021].
- Nielsen, J. (2012b). Usability 101: Introduction to usability. Available at <https://www.nngroup.com/articles/usability-101-introduction-to-usability/>. [Accesed September 2021].
- Nielsen, J. (2020). Why you only need to test with 5 users. Available at <https://www.nngroup.com/articles/why-you-only-need-to-test-with-5-users/>. [Accesed September 2021].
- Nugraha, AP and Rolando, and Puspasari, MA and Syaifullah, DH and others (2019). Usability evaluation for user interface redesign of financial technology application. En *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, volumen 505, pp. 1–8.

- O'Grady, J. V. y O'Grady, K. V. (2017). *A Designer's Research Manual, Updated and Expanded: Succeed in Design by Knowing Your Clients and Understanding what They Really Need*. Rockport Publishers.
- Özdingç, F., Tüzün, H., Ergün, E., Bayrak, F., y Kula, A. (2016). Usability testing of a three-dimensional library orientation game. En Garcia-Ruiz, M. A., editor, *Games User Research. A Case Study Approach*, pp. 77–95. New York, A K Peters/CRC Press.
- Preece, J., Rogers, Y., Sharp, H., Benyon, D., Holland, S., y Carey, T. (1994). *Human-Computer Interaction*. Addison-Wesley.
- Quimbita, A., Pupiales, A., y Guerrero, G. (2020). Proposal to improve the usability of social networks using eye tracking: A study to optimize internal communication in the university context. En *2020 15th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI'20)*, pp. 1–6, Seville, Spain.
- Realpe-Muñoz, P., Collazos, C. A., Hurtado, J., Granollers, T., Muñoz-Arteaga, J., y Velasco-Medina, J. (2018). Eye tracking-based behavioral study of users using e-voting systems. *Computer Standards & Interfaces*, 55:182–195.
- Rigou, M., Sirmakessis, S., Ventura, R., Fernández, A., Antonopoulos, C. P., y Voros, N. (2019). Designing user interfaces for the elderly. En V., K., S., K., N., V., R., A., M., D., y C., A., editores, *RADIO-Robots in Assisted Living*, pp. 113–148. Springer, Cham.
- Roa-Martinez, S. M. y Vidotti, S. A. B. G. (2020). Eye tracking and usability in digital informational environments: theoretical review and evaluation procedure proposal. *Transinformação*, 32.
- Schall, A. y Bergstrom, J. R. (2014). Introduction to eye tracking. En *Eye Tracking in User Experience Design*, pp. 3–26. Elsevier.
- Sharafi, Z., Soh, Z., y Guéhéneuc, Y.-G. (2015). A systematic literature review on the usage of eye-tracking in software engineering. *Information and Software Technology*, 67:79–107.

- Sharma, C. y Dubey, S. K. (2014). Analysis of eye tracking techniques in usability and hci perspective. En *2014 International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom'14)*, pp. 607–612, New Delhi, India.
- Shneiderman, B. (1998). Designing the user interface: Strategies for effective human-computer. *Interaction*, 3.
- Sørum, H. (2016). Design of public sector websites: Findings from an eye tracking study emphasizing visual attention and usability metrics. En Kö, A. y Francesconi, E., editores, *Electronic Government and the Information Systems Perspective. EGOVIS 2016*, volumen 9831 de *Lecture Notes in Computer Science*, pp. 169–181. Springer, Cham.
- Souza, M. y Maciel, F. (2018). Adding eye tracking data collection to smartphone usability evaluation: a comparison between eye tracking processes and traditional techniques. En T.Z., A. y C., F., editores, *Advances in Usability, User Experience and Assistive Technology. AHFE 2018*, volumen 794 de *Advances in Intelligent Systems and Computing*, pp. 272–282. Springer, Cham.
- Tawfik, A. A., Gatewood, J., Gish-Lieberman, J. J., y Hampton, A. J. (2021). Toward a definition of learning experience design. *Technology, Knowledge and Learning*, pp. 1–26.
- TobiiPro (2021). What happens during the eye tracker calibration. Available at <https://www.tobii.com/learn-and-support/learn/eye-tracking-essentials/what-happens-during-the-eye-tracker-calibration/>. [Accesed September 2021].
- Tomaschko, M. y Hohenwarter, M. (2018). Usability evaluation of a mobile graphing calculator application using eye tracking. En P., Z. y A., I., editores, *Learning and Collaboration Technologies. LCT 2018*, volumen 10924 de *Lecture Notes in Computer Science*, pp. 180–190. Springer, Cham.
- Wang, J., Antonenko, P., Celepkolu, M., Jimenez, Y., Fieldman, E., y Fieldman, A. (2019). Exploring relationships between eye tracking and traditional usability testing data. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 35(6):483–494.

- Weichbroth, P., Redlarski, K., y Garnik, I. (2016). Eye-tracking web usability research. En *2016 Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS'16)*, pp. 1681–1684, Gdansk, Poland.
- Wu, D. y Xu, S. (2019). How users gaze and experience on digital humanities platform?: A model of usability evaluation. En N., T., C., C.-L., M., M., y B., N., editores, *Information in Contemporary Society. iConference 2019*, volumen 11420 de *Lecture Notes in Computer Science*, pp. 547–553. Springer, Cham.
- Wu, Y., Cheng, J., y Kang, X. (2016). Study of smart watch interface usability evaluation based on eye-tracking. En A., M., editor, *Design, User Experience, and Usability: Technological Contexts. DUXU 2016*, volumen 9748 de *Lecture Notes in Computer Science*, pp. 98–109. Springer, Cham.
- Xu, J., Wang, Y., y Lv, F. (2018). Availability test of automated teller machine based on eye-tracking data. En *2018 11th International Symposium on Computational Intelligence and Design (ISCID'18)*, pp. 161–164, Hangzhou, China.
- Yağmur, S. y Çakır, M. P. (2016). Usability evaluation of a dynamic geometry software mobile interface through eye tracking. En P., Z. y A., I., editores, *Learning and Collaboration Technologies. LCT 2016*, volumen 9753 de *Lecture Notes in Computer Science*, pp. 391–402. Springer, Cham.
- Yang, Z., Zhang, Y., Li, M., y Chen, T. (2018). The comparison study of usability test methodology based on eye-tracking technology. En S., L. y Dhillon, B., editores, *Man-Machine-Environment System Engineering. MMESE 2017*, volumen 456 de *Lecture Notes in Electrical Engineering*, pp. 763–772. Springer, Cham.
- Zardari, B. A., Hussain, Z., Arain, A. A., Rizvi, W. H., y Vighio, M. S. (2020). QUEST e-learning portal: Applying heuristic evaluation, usability testing and eye tracking. *Universal Access in the Information Society*, pp. 1–13.
- Zhang, L., Qu, Q.-X., Chao, W.-Y., y Duffy, V. G. (2020). Investigating the combination of adaptive uis and adaptable uis for improving usability and user performance of complex uis. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 36(1):82–94.

Zhou, J., Zhang, L., y Jia, F. (2021). Improvement of spinning machine monitoring interface based on eye tracking experiment. En F., R., editor, *Advances in Ergonomics in Design. AHFE 2021*, volumen 261 de *Lecture Notes in Networks and Systems*, pp. 239–246. Springer, Cham.

# Anexo A - Frecuencias y Pesos de las Palabras del Grupo de Control

El presente Anexo muestra la lista completa de los términos obtenidos del grupo de control que cumplen con el peso mínimo establecido. Para el cálculo de los pesos se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Peso} = \left( \frac{\text{Cobertura del término}}{\text{Cobertura máxima}} + \frac{\text{Frecuencia del término}}{\text{Frecuencia máxima}} \right) \div 2 \quad (\text{A.1})$$

De esta manera, el término que presenta la mayor cobertura y presente la mayor frecuencia entre los artículos tendrá un peso igual 1, y el resto tendrá un peso menor.

Los valores para cobertura, frecuencia y peso para cada término se muestran en la Tabla A.1.

Tabla A.1: Lista completa de los términos obtenidos.

| <b>Término</b>   | <b>Cobertura (%)</b> | <b>Frecuencia</b> | <b>Peso</b> |
|------------------|----------------------|-------------------|-------------|
| <i>usability</i> | 100                  | 761               | 1           |
| <i>eye</i>       | 100                  | 438               | 0.79        |
| <i>user</i>      | 100                  | 296               | 0.69        |
| <i>tracking</i>  | 100                  | 282               | 0.69        |
| <i>study</i>     | 100                  | 265               | 0.67        |
| <i>using</i>     | 100                  | 235               | 0.65        |
| <i>system</i>    | 100                  | 229               | 0.65        |
| <i>users</i>     | 100                  | 226               | 0.65        |
| <i>software</i>  | 100                  | 199               | 0.63        |
| <i>use</i>       | 100                  | 192               | 0.63        |
| <i>interface</i> | 100                  | 176               | 0.62        |

...

...continuación

| <b>Término</b>      | <b>Cobertura (%)</b> | <b>Frecuencia</b> | <b>Peso</b> |
|---------------------|----------------------|-------------------|-------------|
| <i>evaluation</i>   | 100                  | 146               | 0.60        |
| <i>computer</i>     | 100                  | 136               | 0.59        |
| <i>test</i>         | 100                  | 122               | 0.58        |
| <i>human</i>        | 100                  | 122               | 0.58        |
| <i>analysis</i>     | 100                  | 119               | 0.58        |
| <i>experience</i>   | 100                  | 111               | 0.57        |
| <i>interaction</i>  | 100                  | 89                | 0.56        |
| <i>studies</i>      | 100                  | 61                | 0.54        |
| <i>testing</i>      | 90.91                | 112               | 0.53        |
| <i>methods</i>      | 90.91                | 100               | 0.52        |
| <i>method</i>       | 90.91                | 51                | 0.49        |
| <i>systems</i>      | 81.82                | 110               | 0.48        |
| <i>tracker</i>      | 90.91                | 36                | 0.48        |
| <i>evaluate</i>     | 90.91                | 28                | 0.47        |
| <i>application</i>  | 81.82                | 73                | 0.46        |
| <i>conducted</i>    | 81.82                | 47                | 0.44        |
| <i>applications</i> | 72.73                | 79                | 0.42        |
| <i>assessment</i>   | 72.73                | 31                | 0.38        |
| <i>experimental</i> | 72.73                | 27                | 0.38        |
| <i>evaluating</i>   | 72.73                | 20                | 0.38        |

## Anexo B - Estudios Primarios

Este Anexo muestra los estudios primarios obtenidos a partir del SMS. En la Tabla B.1, para cada uno de los estudios se reporta el título, lugar y tipo de publicación.

Tabla B.1: Lista de los estudios primarios seleccionados.

| <b>Autores</b>  | <b>Título de la Publicación</b>  | <b>Lugar de Publicación</b>   | <b>Año</b> | <b>Tipo de Publicación</b> |
|---|--|---|------------|----------------------------|
| Agustín Francesa-Alfaro, Pedro Leiva-Chinchilla, Mario Chacón-Rivas, and Cesar Garita | User-friendly instructional design tool to facilitate course planning          | 2016 XI Latin American Conference on Learning Objects and Technology (LACLO'16), San Carlos, Costa Rica, pages 1-9            | 2016       | Conferencia                |
| Jiuqiang Fu   | Usability evaluation of software store based on eye-tracking technology        | 2016 IEEE Information Technology, Networking, Electronic and Automation Control Conference, Chongqing, China, pages 1116-1119 | 2016       | Conferencia                |
| Rafal Michalski   | Eye tracking based experimental study on basic digital control panel usability | 2016 Third European Network Intelligence Conference (ENIC'16), Wrocław, Poland, pages 145-152                                 | 2016       | Conferencia                |

...

...continuación

| <b>Autores</b>   | <b>Título de la Publicación</b>  | <b>Lugar de Publicación</b>  | <b>Año</b> | <b>Tipo de Publicación</b> |
|--|--|--|------------|----------------------------|
| Fatih Özding, Hakan Tüzün, Esin Ergün, Fatma Bayrak, and Ayşe Kula | Usability testing of a three-dimensional library orientation game  | In: M. A. Garcia-Ruiz (ed.). Games User Research. A Case Study Approach (chapter 4), 1st Edition, pages 77-95. New York, A K Peters/CRC Press.   | 2016       | Capítulo de Libro          |
| Hanne Sørum  | Design of public sector websites: Findings from an eye tracking study emphasizing visual attention and usability metrics | In: Kö A. and Francesconi, E. (eds.). Electronic Government and the Information Systems Perspective. EGOVIS 2016 (pages 169-181). Lecture Notes in Computer Science, vol 9831. Springer, Cham. | 2016       | Capítulo de Libro          |
| Paweł Weichbroth, Krzysztof Redlarski, and Igor Garnik             | Eye-tracking web usability research  | 2016 Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedC-SIS'16), Gdansk, Poland, pages 1681-1684   | 2016       | Conferencia                |

...

...continuación

| <b>Autores</b>                                     | <b>Título de la Publicación</b>   | <b>Lugar de Publicación</b>  | <b>Año</b> | <b>Tipo de Publicación</b> |
|--|---|--|------------|----------------------------|
| Yixiang Wu, Jianxin Cheng, and Xinhui Kang         | Study of smart watch interface usability evaluation based on eye-tracking                 | In: Marcus A. (eds.). Design, User Experience, and Usability: Technological Contexts. DUXU 2016 (pages 98-109). Lecture Notes in Computer Science, vol 9748. Springer, Cham. | 2016       | Capítulo de Libro          |
| Serap Yağmur and Murat Perit Çakır                 | Usability evaluation of a dynamic geometry software mobile interface through eye tracking | In: Zaphiris P., Ioannou A. (eds.). Learning and Collaboration Technologies. LCT 2016 (pages 763-402). Lecture Notes in Computer Science, vol 9753. Springer, Cham.          | 2016       | Capítulo de Libro          |
| Emad Bataineh, Basel Al Mourad, and Fazouzi Kamoun | Usability analysis on dubai e-government portal using eye tracking methodology            | 2017 Computing Conference, London, UK, pages 591-600   | 2017       | Conferencia                |
| Beste Kaysi and Yasemin Topaloglu                  | Competitive usability testing of student information systems with eye tracking method     | 2017 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence (CS-CI'17), Las Vegas, NV, USA, pages 951-956  | 2017       | Conferencia                |

...

...continuación

| Autores   | Título de la Publicación   | Lugar de Publicación  | Año  | Tipo de Publicación |
|---|--|---|------|---------------------|
| Duygu Mutlu-Bayraktar   | Usability evaluation of social media web sites and applications via eye-tracking method                    | In: S. Hai-Jew (ed.). Social Media Data Extraction and Content Analysis (chapter 4), 1st Edition, pages 85-112. Hershey, PA, USA, IGI Global.   | 2017 | Capítulo de Libro   |
| Zengyao Yang, Yu Zhang, Meng Li, and Tianning Chen  | The comparison study of usability test methodology based on eye-tracking technology                        | In: Long S. and Dhillon, B.S. (eds.). Man-Machine-Environment System Engineering. MMESE 2017 (pages 763-772). Lecture Notes in Electrical Engineering, vol 456. Springer, Cham.                     | 2018 | Capítulo de Libro   |
| Nima Ahmadi, Matthew R Romoser, Lindsay M Guarnieri, Theresa G Kry, and Emily I Porter-Fyke | Application of eye tracking technology in naturalistic usability assessment of an academic library website | In: Ahram T., Falcão C. (eds.). Advances in Usability, User Experience and Assistive Technology. AHFE 2018 (pages 729-740). Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 794. Springer, Cham. | 2018 | Capítulo de Libro   |

...

...continuación

| Autores  | Título de la Publicación  | Lugar de Publicación  | Año  | Tipo de Publicación |
|--|---|---|------|---------------------|
| Magdalena Borys and Marek Milosz   | Mobile application usability testing in quasireal conditions-the synergy of using different methods | 2018 11th International Conference on Human System Interaction (HSI'18), Gdansk, Poland, pages 362-368  | 2018 | Conferencia         |
| Julia Falkowska, Barbara Kilijańska, Janusz Sobecki, and Katarzyna Zerka | Microinteractions of forms in web based systems usability and eye tracking metrics analysis         | In: Nunes I. (eds.). Advances in Human Factors and Systems Interaction. AHFE 2018 (pages 164-174). Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 781. Springer, Cham.              | 2018 | Capítulo de Libro   |
| Canqun He, Jiafeng Gu, Zhangyu Ji, and Xu Yang                           | Comparative study on the usability of navigation style in iteration process of mobile software      | In: Marcus A., Wang W. (eds.). Design, User Experience, and Usability: Designing Interactions. DUXU 2018 (pages 586-602). Lecture Notes in Computer Science, vol 10919. Springer, Cham. | 2018 | Capítulo de Libro   |

...

...continuación

| <b>Autores</b>  | <b>Título de la Publicación</b>   | <b>Lugar de Publicación</b>  | <b>Año</b> | <b>Tipo de Publicación</b> |
|---|---|--|------------|----------------------------|
| A Ezgi İlhan  | Eye-tracking to enhance usability: A race game  | In: Arai K., Kapoor S., Bhatia R. (eds.). Intelligent Systems and Applications. IntelliSys 2018 (pages 201-214). Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 868. Springer, Cham. | 2018       | Capítulo de Libro          |
| Matthias Kuhnel, Luisa Seiler, Andrea Honal, and Dirk Ifenthaler  | Mobile learning analytics in higher education: Usability testing and evaluation of an app prototype | Interactive Technology and Smart Education (ITSE), 15(4):332-347   | 2018       | Revista                    |
| Paulo Realpe-Muñoz, César A Collazos, Julio Hurtado, Toni Granollers, Jaime Muñoz-Arteaga, and Jaime Velasco-Medina | Eye tracking-based behavioral study of users using e-voting systems                                 | Computer Standards & Interfaces, 55:182-195  | 2018       | Revista                    |
| Melanie Tomaschko and Markus Hohenwarter  | Usability evaluation of a mobile graphing calculator application using eye tracking                 | In: Zaphiris P., Ioannou A. (eds.). Learning and Collaboration Technologies. LCT 2018 (pages 180-190). Lecture Notes in Computer Science, vol 10924. Springer, Cham.                     | 2018       | Capítulo de Libro          |

...

...continuación

| Autores  | Título de la Publicación   | Lugar de Publicación  | Año  | Tipo de Publicación |
|--|--|---|------|---------------------|
| Junjie Xu, Ying-Wang, and Fuqiang Lv                               | Availability test of automated teller machine based on eye-tracking data   | 2018 11th International Symposium on Computational Intelligence and Design (ISCID'18), Hangzhou, China, pages 161-164   | 2018 | Conferencia         |
| Marcos Souza and Fracimar Maciel                                   | Adding eye tracking data collection to smartphone usability evaluation: a comparison between eye tracking processes and traditional techniques | In: Ahram T.Z., Falcão C. (eds.). Advances in Usability, User Experience and Assistive Technology. AHFE 2018 (pages 272-282). Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 794. Springer, Cham. | 2019 | Capítulo de Libro   |
| Azam Majooni, Amir Akhavan, and Dietmar Offenhuber                 | An eye-tracking study on usability and efficiency of blackboard platform   | In: Di Bucchianico G. (ed.). Advances in Design for Inclusion. AHFE 2018 (pages 281-289). Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 776. Springer, Cham.                                     | 2019 | Capítulo de Libro   |
| Mona Bartling, Bernd Resch, Anton Eitzinger, and Leo Zurita-Arthos | A multi-national human-computer interaction evaluation of the public participatory GIS GeoCitizen  | GI Forum, 7(1):18-39  | 2019 | Revista             |

...

...continuación

| <b>Autores</b>   | <b>Título de la Publicación</b>  | <b>Lugar de Publicación</b>   | <b>Año</b> | <b>Tipo de Publicación</b> |
|--|--|---|------------|----------------------------|
| Hwayoung Cho, Dakota Powell, Adrienne Pichon, Lisa M Kuhns, Robert Garofalo, and Rebecca Schnall | Eye-tracking retrospective think-aloud as a novel approach for a usability evaluation  | International journal of medical informatics, 129:366-373   | 2019       | Revista                    |
| Mária Babicsné Horváth, Károly Hercegi, and Tamás Fergencs                                       | Comparison of digital human model-based ergonomic software using eye-tracking methodology - presenting pilot usability tests | In: Duffy V. (eds.). Digital Human Modeling and Applications in Health, Safety, Ergonomics and Risk Management. Human Body and Motion. HCII 2019 (pages 22-32). Lecture Notes in Computer Science, vol 11581. Springer, Cham. | 2019       | Capítulo de Libro          |
| Huubin Jin, Yawei Liu, Xiaomeng Mu, Mingxia Ma, and Jing Zhang                                   | Usability evaluation and improvement of mission planner uav ground control system's interface                                | International Journal of Performance Engineering, 15(10):2726-2734  | 2019       | Revista                    |
| AP Nugraha, Rolando, MA Puspasari, and DH Syai-fullah  | Usability evaluation for user interface re-design of financial technology application  | IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, volume 505, article 012101, pages 1-8   | 2019       | Conferencia                |

...

...continuación

| <b>Autores</b>  | <b>Título de la Publicación</b>  | <b>Lugar de Publicación</b>  | <b>Año</b> | <b>Tipo de Publicación</b> |
|---|--|--|------------|----------------------------|
| Maria Rigou, Spiros Sirmakessis, Raquel Ventura, Alberto Fernández, Christos P Antonopoulos, and Nikolaos Voros | Designing user interfaces for the elderly  | In: Karkaletsis V., Konstantopoulos S., Voros N., Annicchiarico R., Dagioglou M., Antonopoulos C. (eds.). RADIO-Robots in Assisted Living (pages 113-148). Springer, Cham.                         | 2019       | Capítulo de Libro          |
| Jiahui Wang, Pavlo Antonenko, Mehmet Celepkolu, Yerika Jimenez, Ethan Fieldman, and Ashley Fieldman             | Exploring relationships between eye tracking and traditional usability testing data            | International Journal of Human-Computer Interaction, 35(6):483-494   | 2019       | Revista                    |
| Dan Wu and Shuang Xu  | How users gaze and experience on digital humanities platform?: A model of usability evaluation | In: Taylor N., Christian-Lamb C., Martin M., Nardi B. (eds.). Information in Contemporary Society. iConference 2019 (pages 547-553). Lecture Notes in Computer Science, vol 11420. Springer, Cham. | 2019       | Capítulo de Libro          |

...

...continuación

| Autores  | Título de la Publicación   | Lugar de Publicación  | Año  | Tipo de Publicación |
|--|--|---|------|---------------------|
| Le Zhang, Qing-Xing Qu, Wen-Yu Chao, and Vincent G Duffy | Investigating the combination of adaptive uis and adaptable uis for improving usability and user performance of complex UIs  | International Journal of Human-Computer Interaction, 36(1):82-94  | 2020 | Revista             |
| Mária Babicsné-Horváth and Károly Hercegf                | The difficulties in usability testing of 3-dimensional software applying eye-tracking methodology-presented via two case studies of evaluation of digital human modelling software | In: Duffy V.G. (ed.). Digital Human Modeling and Applications in Health, Safety, Ergonomics and Risk Management. Human Communication, Organization and Work. HCII 2020 (pages 311-321). Lecture Notes in Computer Science, vol 12199. Springer, Cham. | 2020 | Capítulo de Libro   |
| Quincy Conley, Yvonne Earnshaw, and Grayley McWatters    | Examining course layouts in blackboard: using eye-tracking to evaluate usability in a learning management system   | International Journal of Human-Computer Interaction, 36(4):373-385  | 2020 | Revista             |

...

...continuación

| <b>Autores</b>  | <b>Título de la Publicación</b>   | <b>Lugar de Publicación</b>  | <b>Año</b> | <b>Tipo de Publicación</b> |
|---|---|--|------------|----------------------------|
| Ilia Maslov and Shahrokh Nikou  | Usability and UX of learning management systems: An eye-tracking approach   | 2020 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC'20), Cardiff, UK, pages 1-9 | 2020       | Conferencia                |
| Marek Milosz and Magdalena Chmielewska  | Usability testing of e-government online services using different methods-a case study  | 2020 13th International Conference on Human System Interaction (HSI'20), Tokyo, Japan, pages 142-146               | 2020       | Conferencia                |
| Alan Quimbita, Andrés Pupiales, and Graciela Guerrero   | Proposal to improve the usability of social networks using eye tracking: A study to optimize internal communication in the university context | 2020 15th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI'20), Seville, Spain, pages 1-6         | 2020       | Conferencia                |
| Baqar Ali Zardari, Zahid Hussain, Aijaz Ahmed Arain, Wajid H Rizvi, and Muhammad Saleem Vighio    | QUEST e-learning portal: Applying heuristic evaluation, usability testing and eye tracking  | Universal Access in the Information Society, pages 1-13  | 2020       | Revista                    |
| Cigdem Altin Gumussoy, Aycan Pekpazar, Mustafa Esengun, Ayse Elvan Bayraktaroglu, and Gokhan Ince | Usability evaluation of TV interfaces: Subjective evaluation vs. objective evaluation   | International Journal of Human-Computer Interaction, pages 1-19  | 2021       | Revista                    |

...

...continuación

| <b>Autores</b>   | <b>Título de la Publicación</b>  | <b>Lugar de Publicación</b>   | <b>Año</b> | <b>Tipo de Publicación</b> |
|--|--|---|------------|----------------------------|
| Ana Guerberof Arenas, Joss Moor-kens, and Sharon O'Brien                             | The impact of trans-lation modality on user experience: an eye-tracking study of the microsoft word user interface | Machine Transla-tion, 35:205-237  | 2021       | Revista                    |
| Mona Bartling, Bernd Resch, San-dra Trösterer, and Anton Eitzinger                   | Evaluating PPGIS usability in a multi-national field study combining quali-tative surveys and eye-tracking         | The Cartographic Journal, pages 1-16  | 2021       | Revista                    |
| A Benabid Najjar, Areej Al-Wabil, Manar Hosny, Wea' am AlRashed, and Arwa Alru-baian | Usability evalua-tion of optimized single-pointer arabic keyboards using eye tracking                              | Advances in Human-Computer Interaction, 2021, Article ID 6657155, pages 1-14  | 2021       | Revista                    |
| Mária Megyeri and Bálint Szabó   | Investigating the ef-fectiveness of user onboarding solutions with eye tracking: A case study on paint 3D          | Ergonomics in De-sign: The Quarterly of Human Factors Applications, pages 1-8 | 2021       | Revista                    |
| Andrew A Tawfik, Jessica Gatewood, Jaclyn J Gish-Lieberman, and Andrew J Ham-pton    | Toward a definition of learning experien- ce design  | Technology, Know-ledge and Learning, pages 1-26                               | 2021       | Revista                    |

...

...continuación

| <b>Autores</b>                     | <b>Título de la<br/>Publicación</b>   | <b>Lugar de<br/>Publicación</b>  | <b>Año</b> | <b>Tipo de<br/>Publicación</b> |
|------------------------------------|---|--|------------|--------------------------------|
| Jian Zhou, Lan Zhang, and Fang Jia | Improvement of spinning machine monitoring interface based on eye tracking experiment | In: Rebelo F. (eds.). Advances in Ergonomics in Design. AHFE 2021 (pages 239-246). Lecture Notes in Networks and Systems, vol 261. Springer, Cham. | 2021       | Capítulo de Libro              |

# Anexo C - Especificaciones de las Evaluaciones de Usabilidad con *Eye Tracker*

En el presente Anexo se presentan las especificaciones de los *eye trackers* utilizados en los estudios primarios. El entorno para la realizar las pruebas, *eye tracker*, puntos de calibración y la cantidad de participantes utilizados se muestran en la Tabla C.1.

Tabla C.1: Lista con las especificaciones de las pruebas de usabilidad.

| Referencia                           | Entorno para las Pruebas | <i>Eye Tracker</i> |        | Puntos de Calibración | Cantidad de Participantes |
|--------------------------------------|--------------------------|--------------------|--------|-----------------------|---------------------------|
|                                      |                          | Marca              | Modelo |                       |                           |
| Francesa-Alfaro <i>et al.</i> [2016] | N/D                      | N/D                | N/D    | N/D                   | 6                         |
| Fu [2016]                            | N/D                      | Tobii Pro          | X120   | N/D                   | 10                        |
| Michalski [2016]                     | Aislado                  | SMI                | RED500 | 2                     | 50                        |
| Özdiñç <i>et al.</i> [2016]          | Laboratorio              | N/D                | N/D    | N/D                   | 3                         |
| Sørum [2016]                         | Laboratorio              | Tobii Pro          | X2-30  | N/D                   | 16                        |
| Weichbroth <i>et al.</i> [2016]      | N/D                      | Tobii Pro          | TX300  | N/D                   | 43                        |
| Wu <i>et al.</i> [2016]              | N/D                      | SMI                | N/D    | 5                     | 10                        |
| Yağmur y Çakır [2016]                | N/D                      | Tobii Pro          | X2-60  | N/D                   | 10                        |
| Bataineh <i>et al.</i> [2017]        | Laboratorio              | Tobii Pro          | T120   | N/D                   | 45                        |

...

...continuación

| Referencia                        | Entorno para las Pruebas | Eye Tracker |           | Puntos de Calibración | Cantidad de Participantes |
|-----------------------------------|--------------------------|-------------|-----------|-----------------------|---------------------------|
|                                   |                          | Marca       | Modelo    |                       |                           |
| Kaysi y Topaloglu [2017]          | Laboratorio              | Tobii Pro   | X2-60     | N/D                   | 20                        |
| Mutlu-Bayraktar [2017]            | Laboratorio              | SMI         | iView X   | N/D                   | 10                        |
| Yang <i>et al.</i> [2018]         | Laboratorio              | SMI         | RED250    | N/D                   | 20                        |
| Ahmadi <i>et al.</i> [2018]       | N/D                      | Tobii Pro   | Glasses 2 | N/D                   | 10                        |
| Borys y Milosz [2018]             | Laboratorio              | SMI         | ETG2.0    | N/D                   | 6                         |
| Falkowska <i>et al.</i> [2018]    | Laboratorio              | Tobii Pro   | TX300     | N/D                   | 20                        |
| He <i>et al.</i> [2018]           | N/D                      | Tobii Pro   | X120      | 5                     | 20                        |
| İlhan [2018]                      | Laboratorio              | Tobii Pro   | 1750      | N/D                   | 10                        |
| Kuhnel <i>et al.</i> [2018]       | N/D                      | N/D         | N/D       | N/D                   | 7                         |
| Realpe-Muñoz <i>et al.</i> [2018] | Laboratorio              | Tobii Pro   | T120      | N/D                   | 18                        |
| Tomaschko y Hohenwarter [2018]    | N/D                      | Tobii Pro   | X2-60     | N/D                   | 9                         |
| Xu <i>et al.</i> [2018]           | N/D                      | Tobii Pro   | X120      | N/D                   | 21                        |
| Souza y Maciel [2018]             | N/D                      | N/D         | N/D       | N/D                   | 20                        |
| Majooni <i>et al.</i> [2018]      | N/D                      | Tobii Pro   | X60       | N/D                   | N/D                       |
| Bartling <i>et al.</i> [2019]     | N/D                      | N/D         | N/D       | N/D                   | 20                        |
| Cho <i>et al.</i> [2019]          | N/D                      | Tobii Pro   | X2-30     | 9                     | 20                        |
| Horváth <i>et al.</i> [2019]      | N/D                      | Tobii Pro   | T120      | N/D                   | 6                         |

...

...continuación

| Referencia                          | Entorno para las Pruebas | Eye Tracker |                         | Puntos de Calibración | Cantidad de Participantes |
|-------------------------------------|--------------------------|-------------|-------------------------|-----------------------|---------------------------|
|                                     |                          | Marca       | Modelo                  |                       |                           |
| Jin <i>et al.</i> [2019]            | N/D                      | EyeSo       | N/D                     | N/D                   | 8                         |
| Nugraha <i>et al.</i> [2019]        | Laboratorio              | N/D         | N/D                     | N/D                   | 22                        |
| Rigou <i>et al.</i> [2019]          | N/D                      | Tobii Pro   | Glasses, T60, X60, X120 | N/D                   | N/D                       |
| Wang <i>et al.</i> [2019]           | N/D                      | Eyelink     | 1000                    | 13                    | 35                        |
| Wu y Xu [2019]                      | Laboratorio              | Tobii Pro   | X3-120                  | N/D                   | 40                        |
| Zhang <i>et al.</i> [2020]          | N/D                      | Tobii Pro   | TX300                   | N/D                   | 105                       |
| Babicsné-Horváth y Hercegi [2020]   | N/D                      | Tobii Pro   | T120                    | N/D                   | 8                         |
| Conley <i>et al.</i> [2020]         | Laboratorio              | Tobii Pro   | X2-30                   | N/D                   | 28                        |
| Maslov y Nikou [2020]               | N/D                      | SMI         | iView RED-m             | 9                     | 6                         |
| Milosz y Chmielewska [2020]         | N/D                      | Tobii Pro   | TX300                   | N/D                   | 6                         |
| Quimbita <i>et al.</i> [2020]       | N/D                      | N/D         | N/D                     | N/D                   | 12                        |
| Zardari <i>et al.</i> [2020]        | Laboratorio              | Tobii Pro   | X-30                    | N/D                   | 20                        |
| Altin Gumussoy <i>et al.</i> [2021] | N/D                      | SMI         | ETG                     | N/D                   | 38                        |
| Arenas <i>et al.</i> [2021]         | N/D                      | Tobii Pro   | T60 XL                  | 9                     | 84                        |
| Bartling <i>et al.</i> [2021]       | N/D                      | Dikablis    | N/D                     | N/D                   | 20                        |

...

...continuación

| Referencia                          | Entorno para las Pruebas | <i>Eye Tracker</i> |        | Puntos de Calibración | Cantidad de Participantes |
|-------------------------------------|--------------------------|--------------------|--------|-----------------------|---------------------------|
|                                     |                          | Marca              | Modelo |                       |                           |
| Benabid Najjar <i>et al.</i> [2021] | N/D                      | N/D                | N/D    | N/D                   | 12                        |
| Megyeri y Szabó [2021]              | N/D                      | Tobii Pro          | N/D    | N/D                   | 18                        |
| Tawfik <i>et al.</i> [2021]         | N/D                      | Tobii Pro          | N/D    | N/D                   | 9                         |
| Zhou <i>et al.</i> [2021]           | Laboratorio              | Tobii Pro          | 4C     | N/D                   | 24                        |