

Association for Information Systems

AIS Electronic Library (AISeL)

CONF-IRM 2022 Proceedings

International Conference on Information
Resources Management (CONF-IRM)

10-2022

Eyetracking para el estudio de la carga cognitiva y su relación con el desempeño académico enfocado al área de matemáticas Uso de herramientas de EyeTracking para evaluar la calidad de interfaces al resolver un ejercicio digital

Angel Villegas Ortiz

Eduardo Rodríguez López

Francisco Álvarez Rodríguez

Follow this and additional works at: <https://aisel.aisnet.org/confirm2022>

This material is brought to you by the International Conference on Information Resources Management (CONF-IRM) at AIS Electronic Library (AISeL). It has been accepted for inclusion in CONF-IRM 2022 Proceedings by an authorized administrator of AIS Electronic Library (AISeL). For more information, please contact elibrary@aisnet.org.

12. Eyetracking para el estudio de la carga cognitiva y su relación con el desempeño académico enfocado al área de matemáticas

Uso de herramientas de EyeTracking para evaluar la calidad de interfaces al resolver un ejercicio digital

Angel Villegas Ortíz
Universidad Autónoma de Aguascalientes
A1235190@edu.uaa.mx

Eduardo Rodríguez López
Universidad Autónoma de Aguascalientes
emlopez@correo.uaa.mx

Francisco Álvarez Rodríguez
Universidad Autónoma de Aguascalientes
fjalvar@correo.uaa.mx

Abstract

This research compared the effect on cognitive load of exposing participants to items commonly used in academic assessments in order to establish what type of layout and items optimize information acquisition by allowing the participant to use working memory only for the given exercise without being altered by irrelevant information. To analyze the gaze patterns, an aid system was used and analyzed with gaze tracking tools to objectively find the best layout for presenting academic information.

This study aimed to generate a precedent in the development and objective analysis of interface designs for academic purposes, thus improving student learning and teacher knowledge sharing.

Keywords: EyeTracking, Usabilidad, Carga Cognitiva, Atención Visual, Desempeño Académico, Matemáticas.

1. Introducción

Durante la modalidad de clases a distancia todos los actores del ámbito académico tuvieron que adaptarse al uso intensivo de las nuevas tecnologías para adaptar sus temarios a las herramientas disponibles. Dentro de las áreas en las que se ha podido observar un decaimiento en la calidad del aprendizaje por parte de los alumnos es el de las matemáticas (Ponce et al., 2014). La falta de herramientas para remplazar un aspecto básico de las clases presenciales, como lo es el pizarrón para expresar conceptos matemáticos, ha expuesto las carencias de los sistemas internos de las instituciones educativas, así como de los softwares de gran distribución.

Para analizar objetivamente el uso y capacidad que poseen cuatro interfaces pensadas para realizar evaluaciones matemáticas, cada una con diferente disposición de sus elementos se plantea usar las métricas cuantitativas de las tecnologías de seguimiento de mirada y sustituir metodologías de pruebas de usabilidad convencionales.

En esta investigación se busca establecer un antecedente para futuros trabajos y, mediante el desarrollo de pruebas y versiones, mejorar la calidad de los sistemas de aplicación de evaluaciones, a la par que intenta encontrar una relación entre la usabilidad del sistema con la carga cognitiva presentada por el usuario.

2. Planteamiento y Justificación

Debido a los nuevos métodos de enseñanza y aprendizaje que tuvieron que ser improvisados por motivos de la pandemia de COVID-19 fue evidente la dificultad que experimentaron los docentes para aplicar sus métodos de enseñanza, por consiguiente, se tuvo una pobre retención de contenidos y bajo desempeño académico por parte de los estudiantes (V. Martínez, 2017).

De acuerdo con (Ponce et al., 2014) existen varios factores que conllevan a un alto índice de reprobación en las áreas de matemáticas básicas en la gran mayoría de las facultades de México, sin embargo, dentro de los principales se encuentran que, los alumnos perciben que sus calificaciones no aprobatorias se deben a carencias del docente al utilizar niveles altos de carga cognitiva, el poco uso de herramientas didácticas, emplear un lenguaje matemático que los alumnos lo perciben complejo y que no se les imparten los temas apropiados en la etapa de bachiller. Además de lo recién mencionado, existen otros factores que entorpecen o ensucian la cantidad y calidad de información. Según (Parodi & Julio, 2016) se puede concluir que la disposición de la información es casi igual de importante que la información en sí. Las maneras en que puede verse afectada la memoria de trabajo pueden ser desde un logotipo en la parte superior de la interfaz, el tipo y tamaño de la letra, imágenes de apoyo, títulos y subtítulos, entre otros.

Si bien hay una amplia documentación acerca de las disposiciones en páginas web y atención visual, hay pocas fuentes que relacionan lo anterior con la docencia y el desempeño académico en el corto plazo (Ponce et al., 2014). Según (Martínez, 2017) la principal desventaja que hasta esa fecha se percibía era la poca diversidad de cursos virtuales enfocados al área de matemáticas. También se menciona que parte fundamental del desinterés de los estudiantes es la pobre comunicación y elementos de diseño de software para intercambiar ideas de una abstracción matemática necesaria para un nivel de licenciatura.

Por otro lado, de acuerdo con (Sancho-Vinuesa & Pérez-Navarro, 2009) clarifica que en una ecuación matemática de los temarios vistos habitualmente a nivel licenciatura, contienen en su mayoría caracteres que no están presentes en el teclado y muchos otros que no es posible representarlos mediante ningún símbolo computacional. Como se mencionó anteriormente, en este trabajo se busca determinar el grado de mejora de un sistema para ofrecer respuestas en un ambiente de evaluación didáctica comparando la disposición y cantidad de elementos de cuatro diseños propuestos. Es decir, se propuso clarificar si la adición de elementos como botones, listas desplegadas, barras de botones o tablas de símbolos, mejoran ampliamente la percepción del software del usuario y, por ende, la calidad de sus respuestas.

Para poder analizar objetivamente los efectos de los elementos didácticos indispensables para realizar a cabo una prueba mediante las herramientas *Tobii Pro Lab* y *Tobii Pro Nano* se diseñaron dos primeras disposiciones en la que una mostrara exclusivamente conceptos teóricos mientras que en la otra mostrara ejemplos referentes al tema del ejercicio, ambas a la par del ejercicio. Los diseños de ambas disposiciones permiten analizar a detalle el comportamiento de la mirada y la capacidad de los elementos para brindar información de valor. Para mejorar el alcance del análisis de estos elementos se desarrolló un tercer diseño que contuviera tanto conceptos teóricos como ejemplos a la par del ejercicio. De esta manera es posible cotejar de que elementos se está extrayendo más y mejor información.

Para entender el grado de afectación de la presencia de elementos distractores en las disposiciones se planteó una cuarta disposición adicional a las ya mencionadas pensada para elevar los niveles de carga cognitiva y estudiar los efectos de la abrumadora cantidad de elementos en los patrones de mirada del estudiante.

Mediante las métricas que ofrecen los softwares de ET (siglas en inglés de “Eye Tracking”) es posible obtener las veces que se posó la mirada en cada elemento de la interfaz para generar un conteo de visitas que indique cuáles elementos fueron los más importantes y los que menos influyen en la recopilación

de información por parte del estudiante. Una vez analizada esta data y con los resultados de pruebas de usabilidad y observaciones del investigador se plantea generar un diseño de disposición de elementos que optimice la recogida de información para resolver un ejercicio. También se busca estudiar la viabilidad de implementar herramientas para establecer un canal de comunicación para intercambiar nociones matemáticas.

Dicho lo anterior se recopilaron los conceptos que permiten conocer los aspectos más importantes al analizar la atención visual de un estudiante frente a estímulos digitales y poder manipularla implementando o suprimiendo elementos hasta mejorar la calidad de las respuestas entregadas.

3. Compendio de Conceptos Claves

Antes de plantear métodos de desarrollo y aplicación de las disposiciones planteadas es preciso abordar conceptos importantes para tener la certeza que el ejercicio seleccionado exponga a los participantes a un esfuerzo tal que permita observar peculiaridades a la hora de cambiar los elementos alrededor de dicho ejercicio. Según (Duchowski, T, 2017) para poder entender la relación de los elementos en pantalla con la carga cognitiva se hace énfasis en la capacidad de procesamiento del cerebro humano en niveles de memoria de trabajo para evaluar el nivel de esfuerzo necesario que aplica una persona expuesta a información visual y a su vez lo cotejan con experiencias pasadas que fundamenta el conocimiento anteriormente adquirido. Así pues, los conceptos que permitieron seleccionar el ejercicio, así como realizar hipótesis sobre los posibles resultados fueron los siguientes:

Atención Visual: Según (Gonzales & Velázquez, 2012) se entiende como el proceso cognitivo que facilita la detección de estímulos en una escena visual compleja. La atención visual se ve afectada por la presencia de los elementos simultáneos. La excesiva presencia de elementos tiende a reducir el nivel de atención al detalle (Parodi & Julio, 2016).

Memoria operativa (Memoria de trabajo): Tiene la característica de ser muy limitada tanto en la cantidad de información que es capaz de procesar simultáneamente como en la volatilidad de los contenidos. Según (Ustároz & Grandi, 2016) en este proceso cognitivo la información visual (acompañada de demás estímulos sensoriales) es recabada y concentrada para posteriormente ser cotejada por la memoria a largo plazo.

Memoria a largo plazo: La memoria a largo plazo se centra en la utilización de experiencias previas para dar forma a la información que es percibida por los sentidos humanos y posteriormente preparada para su interpretación en la memoria a corto plazo (Ustároz & Grandi, 2016).

Carga cognitiva: La teoría de la carga cognitiva sugiere que el conocimiento se almacena en la memoria a largo plazo en forma de esquemas. Un esquema es una estructura general de conocimiento utilizada para la comprensión. La dificultad con la que la información se presenta es clave para aumentar el tiempo y la complejidad con la que la memoria busca los esquemas específicos para dar entendimiento a un tema (Andrade-Lotero, 2012). Factores como la cantidad y ubicación de elementos de información afectan directamente la capacidad de la memoria de trabajo de encontrar semejanzas entre la información presentada con los conocimientos o experiencias previamente adquiridas.

Sobrecarga cognitiva: (Tarouco, 2006) defiende que nuestro cerebro tiene una capacidad limitada para procesar información, y a la vez, que no se ha establecido límite sobre cuánta información podemos procesar simultáneamente. Es decir, el cerebro humano puede procesar una gran cantidad de información, pero hay que tener en cuenta su propia estructura para facilitar su procesamiento, sino la sobrecarga aparece y la entrada de información se imposibilita. Esta capacidad está íntimamente relacionada con la memoria de trabajo.

De acuerdo con (Moreno-Armella, 2013) *“Los símbolos matemáticos co-evolucionan con sus referentes matemáticos y la objetividad semiótica inducida hace viable que se les comparta en una comunidad de*

práctica". Lo que hace referencia a que los límites del aprendizaje o enseñanza de la matemática están estrechamente ligados a las herramientas de las que se dispone para instaurar un canal de comunicación que sirva para transmitir nociones matemáticas.

4. Metodología

Una vez abordado lo anterior se bosquejó un método experimental que mediante iteraciones y análisis de sus fases mantuviera un alto nivel de objetividad para generar pruebas aptas para su estudio y análisis de patrones de mirada. La capacidad iterativa con la que se dotó al diseño experimental permitió someter a las cuatro disposiciones a varios escrutinios y aplicarles constantes mejoras para determinar sus capacidades para brindar información y, mediante la selección de los mejores elementos generar nuevas disposiciones de estudio incrementando sus capacidades de usabilidad y como herramientas académicas.

Para poder generar las pruebas se desarrolló un sistema que mostrara las disposiciones al participante y guardar las respuestas que brinden estos. Lo anterior, aunado a las herramientas de *Tobii Pro*, permitieron generar n número de pruebas para cotejar los comportamientos al analizar la interfaz y forzar un nivel específico de carga cognitiva independientemente de la escolaridad o carrera del participante.

4.1 Diseño y Protocolo Experimental

Respondiendo a las necesidades de encontrar los diseños más óptimos para la aplicación de evaluaciones se planteó un método experimental que consistió en fases de Diseño de disposiciones, desarrollo de sistema, pruebas del sistema y aplicación de pruebas experimentales. En la Figura 1 se muestra el diagrama del método experimental que fue planteado para cubrir los requerimientos antes mencionados.

Para generar pruebas óptimas y analizar el uso de los elementos de cada disposición y su efecto directo en el participante se revisaron los trabajos de (Díaz Herráez & Varona, 2017; López Orozco et al., 2019) en las cuáles se toma un tamaño de muestra alrededor de 50 participantes para evaluar las primeras reacciones de los individuos al estímulo presentado. Sin embargo, para fines de esta investigación se hace énfasis en el desempeño general del individuo al ser expuesto a una mayor cantidad de estímulos y durante tiempo mucho más prolongados. Este enfoque, aunado a la manipulación de la carga cognitiva dificulta el análisis de cada uno de los eventos de la mirada que están presentes en una actividad con varios elementos.

Según (Florián et al., 2010) con una cantidad de 5 usuarios es posible determinar el agrado de usuario al usar una plataforma, si bien este enfoque únicamente brinda comentarios subjetivos por parte del *tester* se dotará de las herramientas de seguimiento de mirada para determinar el uso objetivo de la aplicación, proponiendo un primer tipo de análisis de usabilidad objetiva.

Mencionado lo anterior se generó un perfil para crear la muestra de la prueba dónde se escogió a estudiantes de pregrado en los que en sus planes de estudio se impartiera al menos un curso de matemáticas básicas o álgebra superior. No se hizo distinción por etnicidad, religión, orientación sexual, preferencias políticas, etc. Las pruebas experimentales fueron diseñadas para durar no más de 20 minutos incluyendo la etapa de calibración y sólo después de leer y firmar la carta de consentimiento informado (Véase Apéndice D). Para analizar el uso de las interfaces por pruebas de usabilidad se generaron un total de diez pruebas separadas entre las disposiciones 1, 2 y 3 y únicamente la disposición 4 para las cuales participaron tres mujeres y siete hombres. Una vez teniendo la muestra se siguió el protocolo experimental representado en la Figura 2.

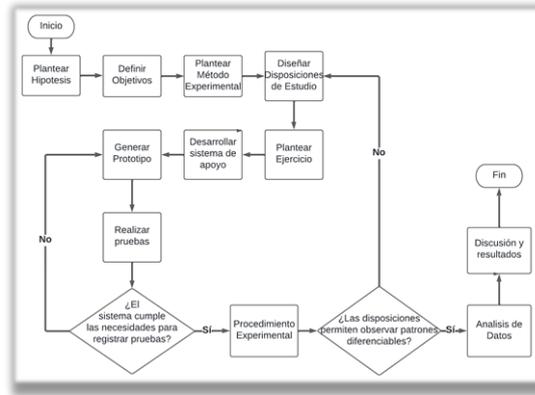


Figura 1: Diagrama de método experimental (Fuente: Elaboración propia, 2022)

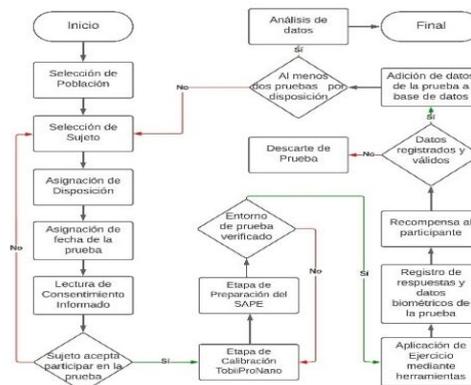


Figura 2: Protocolo Experimental para pruebas (Elaboración Propia, 2022)

4.2 Diseño de Disposiciones

Para observar los diferentes comportamientos de los participantes al realizar el ejercicio se diseñaron las disposiciones de forma tal que las secciones fueran altamente diferenciadas. Cada elemento de los diseños debía contar con un propósito preestablecido para que posteriormente el análisis de las métricas brindadas por las herramientas de ET permitiera determinar el grado de uso y capacidad para presentar información de valor o, por el caso contrario, que tanto afectan a la carga cognitiva los elementos distractores.

Para tener datos diferenciados de los patrones de mirada se diseñaron disposiciones con y sin elementos distractores. Los contenidos teóricos también fueron separados para determinar el formato más óptimo para contener y obtener información.

4.2.1 Propuesta de Disposición de Elementos

Como anteriormente se mencionó, los diseños de las distribuciones fueron planteados para obtener información sobre los patrones, cantidad de fijaciones y porcentajes de tiempo que los participantes mostraban en la prueba. Teniendo en cuenta que el ejercicio seleccionado será implementado con base a su capacidad para establecer una carga cognitiva nivelada para todos los participantes. Las cuatro disposiciones planteadas pueden verse en la Figura 3.

TEORÍA	EJERCICIO	EJEMPLO	EJERCICIO
TEORÍA	EJERCICIO	TITULO	LOGO
		IMAGEN LLAMATIVA	EJERCICIO
EJEMPLO		TEORIA	
		EJEMPLO	

Figura 3: Conjunto de disposiciones de estudio planteadas
(Fuente: Elaboración propia, 2022)

4.2.2 Selección de Ejercicio

Para poder determinar los efectos producidos por las diferentes disposiciones en los usuarios se seleccionó un ejercicio extraído de un examen extraordinario basado en el contenido de la materia de Matemáticas Básicas brindado por el departamento de Matemáticas y Física de la Universidad Autónoma de Aguascalientes. El ejercicio debía cumplir con las características de poder ser representado de manera gráfica para poder tener lecturas que permitieran descubrir patrones de mirada al recorrer la pantalla en busca de información. Tomando en cuenta el nivel de carga cognitiva que se piensa aplicar se seleccionó un ejercicio referente a la teoría y operaciones de conjuntos. Esta rama de ejercicios y conocimientos es ampliamente impartida en la mayoría de programas de estudios de licenciatura, por lo que, los resultados pueden ser ampliamente analizados y aplicados a muchos centros académicos. El ejercicio seleccionado se representa en la Figura 4.

4.2.3 Diseño de Elementos del sistema

La principal característica por la que se seleccionó el ejercicio relacionado con conjuntos y el diagrama de Venn-Euler fue su capacidad para representar en un espacio limitado gran cantidad de información útil para resolverlo. Gracias a esto, es posible estimar la carga cognitiva del participante al ir añadiendo elementos de apoyo o de distracción. Como se observa en la Figura 5 el ejercicio propuesto es capaz de representar cuatro conjuntos y sus elementos, una operación de conjuntos (área verde) y las instrucciones del problema,

Sean
 $C = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10\}$, $C = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10\}$,
 $D = \{3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27, 30\}$,
 $S = \{1, 4, 8, 12, 16, 20, 24, 28\}$ y
 $T = \{2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30\}$
 conjuntos.
 Determine el conjunto $((D \cap S) \cup C) - T$ y haga su diagrama de Venn Euler

Figura 4: Ejercicio Extraído de Examen Extraordinario
(Fuente: Elaboración Propia, 2022)

Para comparar los grados de utilización y eficacia de los elementos de teoría y ejemplos para brindar información útil para resolver el ejercicio se desarrollaron imágenes cuyo contenido consta de los

conocimientos básicos del tema mencionado, dichos conceptos y ejemplos fueron obtenidos de un compendio de teoría de la materia de matemáticas básicas impartidas en la UNAM (Montiel et al., 2005). Estos elementos son representados en la Figura 6.

Para la cuarta disposición dónde es necesario forzar una alta carga cognitiva se dispusieron elementos adicionales para añadir información sin valor para dar solución al ejercicio. Elementos como un título, logotipo de la institución y una imagen llamativa aunada a un texto de antecedentes históricos referentes a la teoría de conjuntos fueron los seleccionados para intentar crear distractores visuales que empañaran la claridad de la información en pantalla.

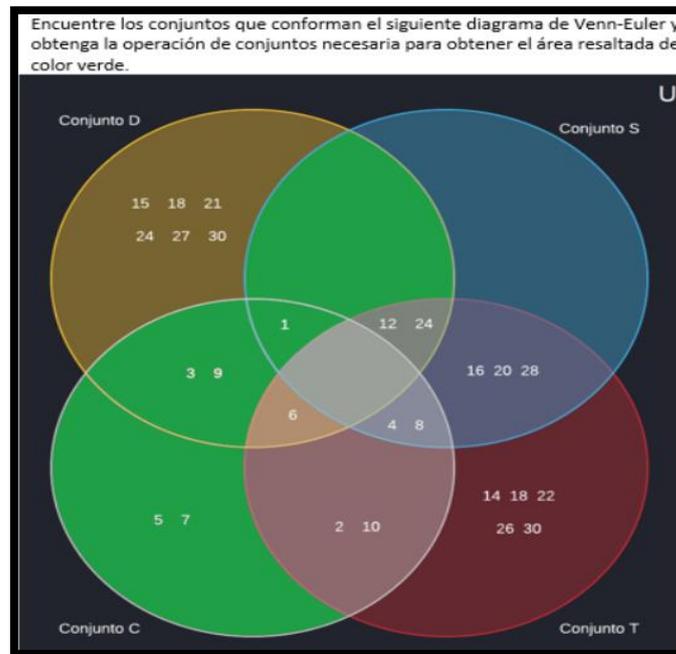


Figura 5: Ejercicio Propuesto para estudio.
(Fuente: Elaboración Propia, 2022)

4.3 Metodologías propuestas para desarrollo y pruebas del software.

Como se mencionó en la sección 2 de Compendio de Conceptos Clave, existe una correlación entre la calidad del canal de comunicación para intercambiar nociones matemáticas con el nivel de entendimiento entre dos individuos (Moreno-Armella, 2013). Planteado lo anterior se buscó una solución que partiera desde el diseño del software enfocado en la docencia.

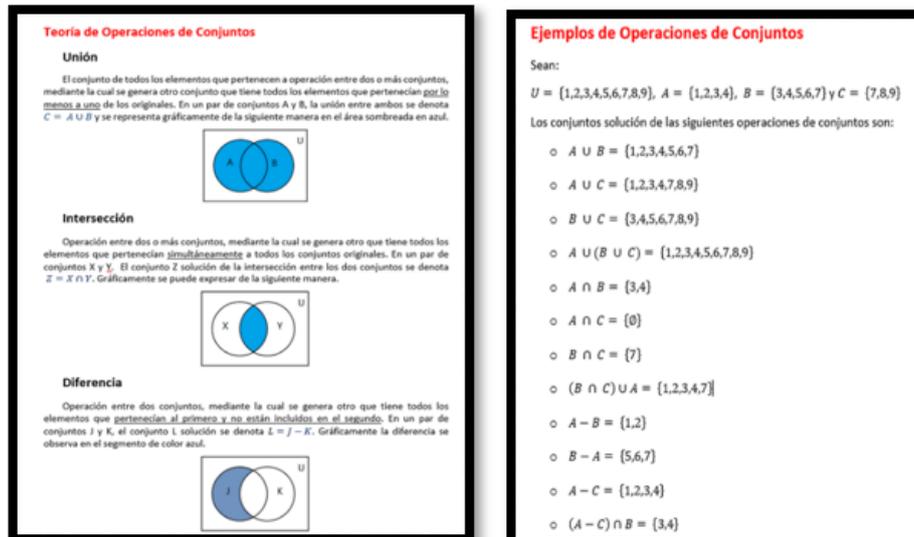


Figura 6: Elementos teóricos diseñados para las pruebas.
(Fuente: Elaboración propia, 2022)

Para generar un software mediante el esquema de UML primero se diseñaron los diagramas pertinentes a los requerimientos. Una vez que se han modelado se comenzó la primera iteración del desarrollo con el fin de recabar información proveniente de las pruebas unitarias, de **integración y especialmente las de usabilidad** (Gómez et al., 2013; Paucar Ati, 2017; Prieto Álvarez et al., 2015) para proponer un esquema de desarrollo para sistemas futuros. Este modelo de versiones permite al único desarrollador tener la certeza de que los procesos se cumplen a la par que el sistema se va dotando de los elementos pertinentes para llevar a cabo pruebas y analizar las métricas brindadas por las herramientas de ET.

Dotando al sistema de un modelo en espiral e incremental se optó por tomar dos iteraciones de desarrollo altamente diferenciadas entre sí. La primera contempló los aspectos vitales del sistema mientras que la segunda permitió el análisis intensivo del uso del sistema y la implementación de mejoras y modificaciones que fueran adaptando al sistema cada vez más para evaluaciones académicas mientras que la segunda iteración se analizaron las principales debilidades de usabilidad del sistema con el fin de perfeccionar el diseño de las disposiciones. A su vez, fue la etapa dónde se implementó una herramienta vital para el establecimiento de un canal de comunicación para transmitir nociones matemáticas: la barra de botones. Dicho elemento fue respaldado por los comentarios de pruebas de usabilidad una iteración anterior.

Continuando con la aplicación de la metodología en espiral, paulatinamente se fue construyendo un sistema que permitiera realizar pruebas válidas aunadas a las herramientas de ET mediante la aplicación de tres principales fases para cada iteración de desarrollo del sistema. Las pruebas de usabilidad e integración fueron realizadas por el investigador con el fin de presentar versiones avanzadas para las pruebas de usabilidad. Según (Florián et al., 2010) recabar información de usabilidad usando conceptos binarios no clarifica la verdadera facilidad de uso del software. Por lo cual se propuso una tabla de comentarios (véase Apéndice A) que, aunado a una valoración cuantitativa establecida por el investigador permite realizar observaciones que potencien el análisis del sistema y por consiguiente enfoquen los requerimientos de la siguiente iteración para mejorar la capacidad del sistema para su fin planteado. En la segunda iteración se aplicó una Tabla de Verificación de Pruebas y Secuencias (Véase Apéndice B) que, además de comprobar el seguimiento del proceso experimental también recogió observaciones del uso del software por parte del investigador, así como los comentarios que el

participante realizó al usar el sistema en tiempo real en un intento inicial para establecer una relación entre la objetividad de los datos biométricos con la subjetividad de los comentarios de cada participante.

5. Resultados

Gracias a la utilización de las herramientas de *Tobii Pro Lab* fue posible acceder a las métricas y patrones del participante mientras realizó la prueba. Para comparar objetivamente el grado de utilidad de cada elemento y por ende, del diseño en general se extrajeron los mapas de calor de las fijaciones que cada participante realizó sobre la disposición de estudio que le fue asignada con el fin de filtrar los niveles de atención visual para cada diseño planteado (Figura 7). Para cuantificar el nivel de utilidad y uso a través de la prueba se generó la Figura 8 dónde es posible consultar el número total de visitas a cada elemento de las disposiciones.

Con el fin de establecer una relación entre la capacidad de los elementos para brindar información de valor con las respuestas generales de las disposiciones se implementó una Tabla de Respuestas y Tiempos de la prueba (Véase Apéndice D), dónde para fines de éste trabajo no se revisó a fondo la redacción de los dos aspectos que se solicitaban para dar una respuesta correcta y completa del ejercicio, en su lugar, se tomó como base la presencia del par de aspectos solicitados por el ejercicio para inferir el grado que cada disposición cuenta para desplegar toda la información necesaria para una respuesta. El primer aspecto (expresar conjuntos D, S, C y T) fue registrada en 5 de las 10 pruebas. El segundo aspecto solicitado (operación de conjuntos necesaria para obtener el área resaltada de color verde) fue expresado en 8 de las 10 pruebas mientras que en sólo 4 de las 10 se expresaron ambos aspectos solicitados en el ejercicio.

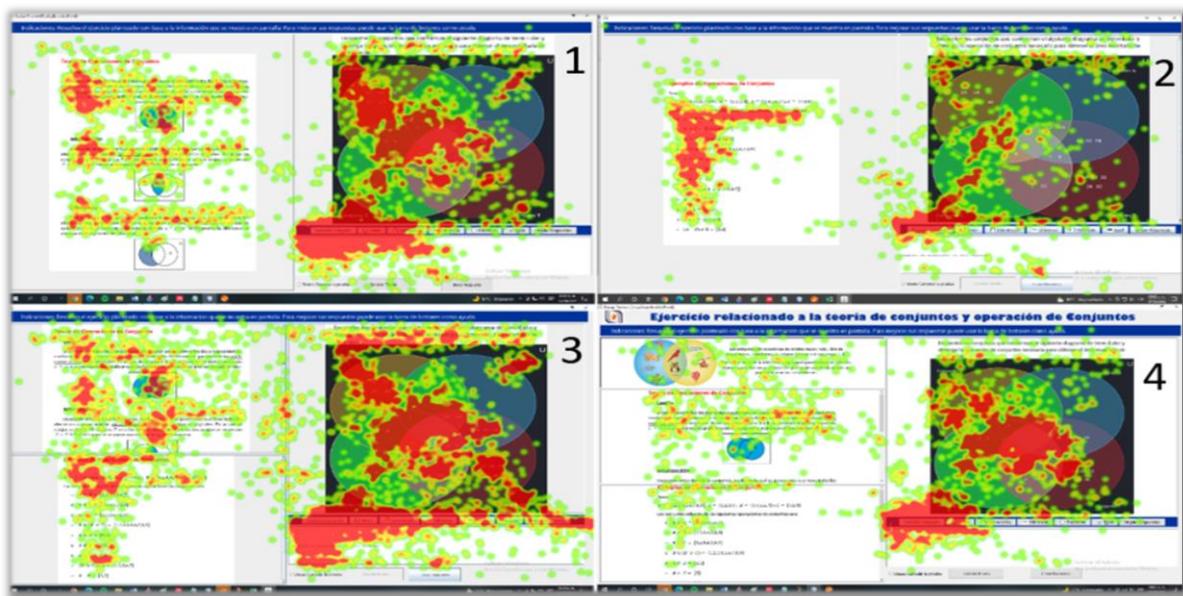
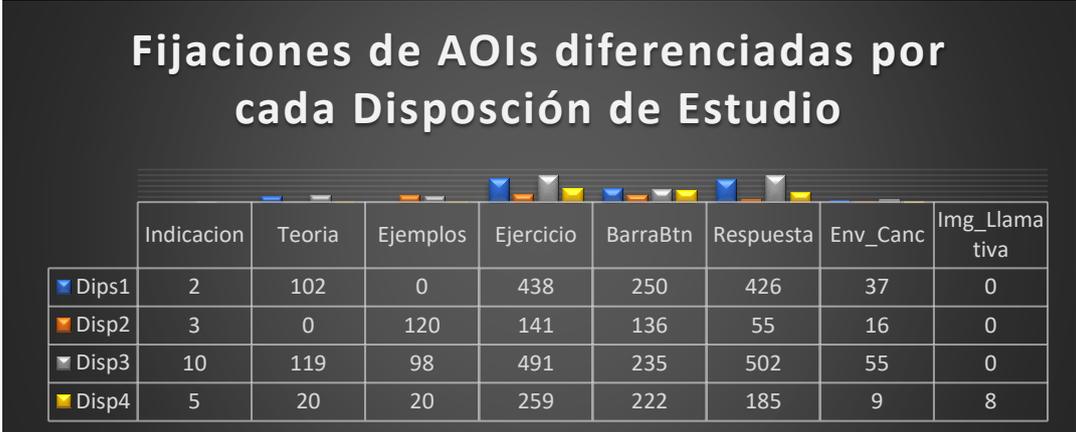


Figura 7: Mapas de Calor del Conjunto de Disposiciones
(Fuente: Elaboración Propia, 2022)

Fijaciones de AOIs diferenciadas por cada Disposición de Estudio



	Indicacion	Teoria	Ejemplos	Ejercicio	BarraBtn	Respuesta	Env_Canc	Img_Llamativa
■ Dips1	2	102	0	438	250	426	37	0
■ Disp2	3	0	120	141	136	55	16	0
■ Disp3	10	119	98	491	235	502	55	0
■ Disp4	5	20	20	259	222	185	9	8

Figura 8: Conteo de Fijaciones a cada elemento filtrado por disposición.
(Fuente: Elaboración propia, 2022)

5. Discusiones

Con base en (Díaz Herráez & Varona, 2017; López Orozco et al., 2019; L. Martínez, 2021) se realizó un análisis interpretativo de los diferentes resultados de las pruebas. En la Figura 7 de mapas de calor es posible determinar que el contenido teórico de las disposiciones 1 y 2 fue altamente revisado a comparación de la disposición 3 que presentaba a la par los conceptos teóricos y ejemplos. La poca utilización de estos elementos al presentarse juntos indica que la memoria de trabajo a corto plazo comenzaba a saturarse al intentar manejar mayores volúmenes de información, por lo que se centró en el análisis del ejercicio desestimando en gran medida el uso de los contenidos teóricos. Apoyando esta teoría, al observar la disposición 4, que fue pensada para sobrecargar cognitivamente al participante, presenta el área resaltada de rojo (área con mayor cantidad de fijaciones) exclusivamente en los elementos de ejercicio, barra de botones y zona de respuesta.

Observando el uso general de las disposiciones se pudo inferir que la barra de botones no fue en su totalidad un elemento de relevancia al buscar métodos para expresar una respuesta. Aunado a la comparativa de elementos más visitados por disposición es que se plantea la hipótesis de que la memoria de trabajo “descarta” automáticamente elementos para tener capacidad de procesamiento libre. Analizando los patrones de mirada y estudiando trabajos como los de (Martínez Gutiérrez, 2008; Parodi & Julio, 2016) se puede inferir que la barra de botones no es percibida como un elemento útil para resolver el ejercicio después del primer escrutinio general de la mirada sobre la interfaz.

Cotejando lo anterior con las respuestas se puede deducir que la disposición 2 que mostraba únicamente ejemplos de conjuntos resultó ser una fuente muy pobre para expresar información relevante para el entendimiento del tema. Por otro lado, la disposición 3 que presentaba tanto teoría como ejemplos fue la que obtuvo la mayor ratio de cumplimiento de los requisitos solicitados por el ejercicio y con una mejor calidad de las respuestas. También es la que presenta una mayor concentración de atención visual dentro del ejercicio y las áreas más importantes de la prueba. Es por esto que la disposición 3 fue seleccionada como la mejor opción para añadir una barra de botones mejorada y en una mejor ubicación. Generando así una disposición de estudio base para una posterior investigación.

Gracias a la utilización de herramientas de seguimiento de mirada para analizar la usabilidad de un sistema se observaron ventajas importantes con respecto a métodos más convencionales de pruebas (como la tabla de usabilidad planteada en la primera iteración) o la continua implementación de mejoras por parte del desarrollador. El análisis de los datos brindados y el estudio del comportamiento en tiempo

real y posterior análisis de datos cuantitativos permitieron inferir con una alta precisión la capacidad del sistema para ser usado conforme a su fin planteado. Tomando en cuenta lo anterior y combinándolo con la propuesta de desarrollar sistemas diseñados para la docencia, es importante destacar que este estudio hizo uso del software para presentar un único ejercicio, por lo tanto, las variaciones de la carga cognitiva fueron diferenciables. Sin embargo, la necesidad por nivelar la carga cognitiva con los elementos y diseño de la disposición por cada tema a impartir a nivel licenciatura presenta un gran reto para el diseñador de software.

6. Conclusiones

Debido que la capacidad de procesamiento del cerebro tiene mecanismos para evaluar la relevancia de los elementos en pantalla es evidente que la utilización previa de las herramientas permite inferir el uso de las mismas (Tarouco, 2006). Cuando un estudiante se enfrenta a una evaluación en un ambiente desconocido para él, provoca un esfuerzo cognitivo extra para lograr identificar los elementos de dónde pueda obtener más y mejor información útil. Aunado a la “desatención auto inducida” que resulta muy beneficiosa para la no saturación de la memoria de trabajo, pero complica notablemente los estándares para el diseño de evaluaciones en medios digitales.

Dado que en el particular caso del área de las matemáticas la mayoría del contenido esquematizado, es decir aprendido, por el estudiante es producto de la presentación del docente es preciso fomentar la aplicación de herramientas de comunicación de conceptos desde la etapa de la impartición de los temas. Mientras el alumno más se relacione con las herramientas para expresar conceptos matemáticos más fácil le será relacionarlo con los temas vistos en clase. El uso reiterativo de las herramientas y su aplicación en la respuesta ayudan a identificar al estudiante los elementos más importantes incluso si son excluidos del primer recorrido de la mirada mejorando así tanto su interacción a través del canal cómo la aplicación del conocimiento a evaluar.

Esta investigación se centró en generar una primera aproximación a la aplicación de tecnologías biométricas en procesos de ingeniería de software para garantizar la calidad del producto. Para trabajos futuros se plantea expandir las capacidades del sistema propuesto para diseñar evaluaciones de diversos tópicos matemáticos mientras que se crean escalas como cantidad de reactivos, complejidad asociada al tema, dificultades para representación de notación, resultados de pruebas de usabilidad objetiva, entre otros para mitigar los efectos negativos de la carga cognitiva en el estudiante al ser expuesto a los elementos de cada disposición.

Referencias

- Andrade-Lotero, L. (2012). Teoría de la carga cognitiva, diseño multimedia y aprendizaje: un estado del arte. *Revista Internacional de Investigación En Educación*, 5(10), 75–92.
<http://magisinvestigacioneducacion.javeriana.edu.co/>
- Díaz Herráez, V., & Varona, P. (2017). *Estudio de la precisión de los dispositivos de eye-tracking para la evaluación de patrones de lectura* [Universidad Autónoma de Madrid].
<http://hdl.handle.net/10486/679804>
- Duchowski, A. (2017). *Eye Tracking Methodology* (3rd ed.). Springer Nature.
<https://doi.org/10.1007/978-3-319-57883-5>

- Florián, B. E., Solarte, O., & Reyes, J. M. (2010). Propuesta para incorporar evaluación y pruebas de usabilidad dentro de un proceso de desarrollo de software. *Revista EIA*, 13, 123–141.
- Gómez, D., Jústiz, D., & Delgado, M. (2013). *Unit Tests of Software in a University Environment*. 17(1), 69–77.
- Gonzales, L., & Velázquez, J. D. (2012). Una aplicación Herramientas de Eye-Tracking para Analizar las Preferencias de Contenido de los Usuarios de Sitios Web. *Revista de Ingeniería de Sistemas*.
- López Orozco, F., Florencia Juárez, R., & Medina Franco, J. A. (2019). *Retroatimentación implícita de relevancia de textos durante la búsqueda de información mediante eyetracking*.
- Martínez Gutiérrez, F. (2008). Eyetracking y usabilidad: Claves de investigación en los procesos de lectura en línea. *Revista de Comunicación de La SEECI*, 0(16), 98. <https://doi.org/10.15198/seeci.2008.16.98-114>
- Martínez, L. (2021). Casos exploratorios aplicados a partir de distintos diseños metodológicos: eye-tracking fijo y online. *Communication & Methods*, 3(2), 125–141. <https://doi.org/10.35951/v3i2.136>
- Martínez, V. (2017). Educación presencial versus educación a distancia. *La Cuestión Universitaria*, 9, 108–116. <http://webcast.berkeley.edu>
- Montiel, G., Hernández, F., Rocha, S., Escobar, J., Hernández, J., Ledesma, B., & Morales, I. (2005). *Apuntes para la asignatura de Matemáticas Básicas*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Moreno-Armella, L. (2013). La semiótica y lo digital: dominios coextensivos. *Cuadernos de Investigación y Formación En Educación Matemática.*, 11, 339–348. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/cifem/article/view/14736>
- Parodi, G., & Julio, C. (2016). ¿Dónde se posan los ojos al leer textos multisemióticos disciplinares? Procesamiento de palabras y gráficos en un estudio experimental con eye tracker. *Revista Signos*, 49, 149–183. <https://doi.org/10.4067/S0718-09342016000400008>
- Paucar Ati, E. (2017). *Desarrollo de pruebas unitarias automáticas para el sistema web escolarístico del instituto tecnológico superior stanford*.
- Ponce, B., Grado, C., & García, M. (2014). Reprobación en matemáticas básicas. *XVII Congreso Internacional Sobre Innovaciones En Docencia e Investigación En Ciencias Económico Administrativas*.
- Prieto Álvarez, C. G., Figueroa Martínez, J., & Moreno, M. (2015). *Adaptación de las Metodologías Tradicionales Cascada y Espiral para la Inclusión de Evaluación Inicial de Usabilidad en el Desarrollo de Productos de Software en México*. Universidad Tecnológica de la Mixteca.
- Sancho-Vinuesa, T., & Pérez-Navarro, A. (2009). *Problems Posed by Mathematical Notation in E-Learning: Transcription and Edition of Formulae*. <http://www.openmath.org/>
- Tarouco, L. (2006). *Alfabetización visual para reducir la sobrecarga cognitiva en un material educativo digital*.
- Ustárroz, J., & Grandi, F. (2016). Sobre la memoria de trabajo y la memoria declarativa: propuesta de una clarificación conceptual. *Cuadernos de Neuropsicología Panamerican Journal of Neuropsychology*, 10, 13–31. <https://doi.org/10.7714/CNPS/10.3.201>

Apéndice

Apéndice A: Tabla 1: Tabla propuesta para análisis de usabilidad.

<https://1drv.ms/b/s!AtWNvmUnixWzgZoylosts8J8F6wPEw?e=UXXj70>

Apéndice B: Tabla 2: Tabla propuesta para verificación de pruebas y secuencias.

<https://1drv.ms/b/s!AtWNvmUnixWzgZox9pyiO2Yka81Neg?e=LwfE2w>

Apéndice C: Tabla 3: Tabla propuesta para Respuestas y Tiempos de la prueba.

<https://1drv.ms/b/s!AtWNvmUnixWzgZowyHFNP-Rp6WhhDg?e=nhWwiE>

Apéndice D: Repositorio Consentimiento Informado, Herramientas y Ficha Técnica.

<https://1drv.ms/u/s!AtWNvmUnixWzgZ1TWhyklwD0M2jQNw?e=XowdiF>