

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

Guía para la configuración de elementos visuales de las interfaces gráficas de usuario de sistemas de entrenamiento procedimental basados en realidad mixta

Sara Maritza Gutiérrez Rondón

Trabajo de grado para optar al título de Magister en Innovación y Diseño

Director:

Luis Eduardo Bautista Rojas

Diseñador industrial, Magíster en Ingeniería de Sistemas e Informática y Doctor en Ciencias de la Computación

Grupo de investigación:

Interfaz

Universidad industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico – Mecánicas

Escuela de Diseño Industrial

Maestría en Innovación y Diseño

Bucaramanga, 2025

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

Dedicatoria

A mi madre y a mi padre, por no soltarme nunca. Por su apoyo emocional, psicológico y económico, y por acompañarme en cada etapa de este camino con amor, paciencia y fortaleza. Este logro también es suyo.

Tabla de Contenido

Introducción	15
1. Planteamiento del problema de investigación	17
1.1. Pregunta de diseño	19
2. Marco teórico.....	19
2.1. Realidad mixta.....	19
2.1.1. Uso de Realidad Mixta en el desarrollo del proyecto de investigación.....	21
2.2. Carga cognitiva	21
2.3. Atención visual.....	22
2.4. Interfaz gráfica de usuario.....	25
2.5. Evaluación de carga cognitiva mediante Eye-Tracking.....	25
2.5.1. Métricas de Eye-Tracking relacionadas con la carga cognitiva y la atención visual	26
3. Estado del arte.....	27
4. Objetivos.....	28
4.1. Objetivo general	28
4.2. Objetivos específicos.....	28
5. Hipótesis	29
6. Desarrollo Metodológico	29
7. Desarrollo Fase 1 - Revisión de literatura	30
8. Desarrollo Fase 2 – Experimentación.....	33
8.1. Consideraciones éticas	35
8.2. Objetivo del experimento	36
8.2.1. Objetivo específico	36
8.3. Hipótesis.....	37
8.4. Diseño experimental.....	37
8.5. Participantes	38
8.5.1. Perfil de los participantes.....	39
8.5.1.1. Criterios de inclusión y exclusión	39
8.5.1.2. Asignación a los grupos experimentales	39
8.6. Variables del estudio	39
8.6.1. Variable independiente	39
8.6.2. Variables dependientes	40

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

8.7.	Diseño de los estímulos visuales.....	40
8.8.	Instrumentos aplicados.....	41
8.9.	Procedimiento experimental.....	41
8.9.1.	Antes de la prueba.....	42
8.9.2.	Durante la prueba.....	42
8.9.3.	Después de la prueba.....	43
8.10.	Análisis de datos.....	44
8.10.1.	Primera comparación T1(Base) vs T2 (Color y contigüidad).....	45
8.10.2.	Segunda comparación T1(Base) vs T3 (Movimiento, Color y contigüidad).....	47
8.10.3.	Tercera comparación T1(Base) vs T4 (Parpadeo, Color y contigüidad).....	50
8.10.4.	Síntesis general de hallazgos del experimento.....	52
8.11.	Discusión de experimentación.....	54
9.	Desarrollo Fase 3.1 - Diseño.....	56
9.5.	Definición del problema.....	58
9.6.	Detección de necesidades y síntesis.....	60
9.7.	Idear.....	62
9.8.	Prototipar.....	64
9.8.1.	Características y objetivos del prototipo.....	65
9.8.2.	Principales hallazgos y decisiones.....	65
9.9.	Testear.....	66
10.	Desarrollo Fase 3.2 - Prueba y refinamiento.....	67
10.5.	Prototipado digital y desarrollo de branding.....	69
10.5.1.	Estructura del prototipo.....	69
10.5.2.	Lineamientos visuales y usabilidad.....	70
10.5.3.	Desarrollo de Branding.....	71
10.6.	Pruebas de la guía.....	71
10.6.1.	Validación con usuarios: Prueba piloto.....	72
10.6.2.	Validación con usuarios: Prueba extendida.....	74
10.7.	Análisis de datos.....	76
10.7.1.	Análisis de resultados – Percepción de usabilidad.....	80
10.7.2.	Análisis de resultados – Percepción de satisfacción.....	85
10.7.2.	Análisis cualitativo de Comentarios y recomendaciones de los participantes	
	90	
10.8.	Ajustes a la guía.....	92

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

11.	Discusión.....	94
12.	Conclusiones.....	97
13.	Limitaciones y trabajo futuro.....	100
14.	Recomendaciones	102
14.5.	Recomendaciones para la aplicación de la guía	102
14.6.	Recomendaciones para futuros estudios.....	103
	Bibliografía	105

Lista de Tablas

Tabla 1 Hallazgos artículos relevantes sobre elementos visuales, atención visual y carga cognitiva	27
Tabla 2 Formas de presentación de los elementos visuales.....	31
Tabla 3 Técnicas o elementos visuales para guiar la atención.....	32
Tabla 4 Variable independiente	39
Tabla 5 Variables independientes.....	40
Tabla 6 Preguntas test conocimiento previo	42
Tabla 7 Escala de carga cognitiva percibida	44
Tabla 8 Análisis aplicados	45
Tabla 9 Estadísticos Descriptivos Primera Comparación	45
Tabla 10 Comparaciones entre T1 y T2	46
Tabla 11 Estadísticos Descriptivos Segunda Comparación	47
Tabla 12 Comparaciones entre T1 y T3	48
Tabla 13 Estadísticos Descriptivos Tercera Comparación.....	50
Tabla 14 Comparaciones entre T1 y T4	50
Tabla 15 Necesidades y nivel de prioridad	61
Tabla 16 Requerimientos relacionados a la necesidad	62
Tabla 17 Coincidencia por pantalla	78
Tabla 18 Coincidencia por elemento visual.....	78
Tabla 19 Kappa de Cohen por Participante	79
Tabla 20 Nivel de Concordancia según Kappa de Cohen.....	80

Lista de Figuras

Figura 1 Continuo de virtualidad de Milgram. Tomado de (Milgram, 1999)	20
Figura 2 Ejemplos de implementación de aplicaciones de RM : (a) RM espacial con extensión virtual (b) y (c) RM espacial holográfica. Tomado de (Juraschek et al., 2018)	20
Figura 3 Teoría de la carga cognitiva según John Sweller.	22
Figura 4 Visión Binocular.....	23
Figura 5 Elementos de las interfaces de usuario. Basado en Galitz, 2007	25
Figura 6 Proceso de investigación aplicado.....	29
Figura 7 Esquema general del proceso para la Fase 1	31
Figura 8 Desarrollo Fase 2.....	35
Figura 9 Interfaz sin elementos visuales.....	40
Figura 10 Interfaz con los elementos color y contigüidad espacial	40
Figura 11 Desarrollo de actividad práctica en la prueba	42
Figura 12 Test de retención de conocimiento.....	43
Figura 13 Gráficos de cajas y bigotes de la comparación entre las variables dependientes de T1 y T2.....	46
Figura 14 Gráficos de cajas y bigotes de la comparación entre las variables dependientes de T1 y T3.....	48
Figura 15 Gráficos de cajas y bigotes de la comparación entre las variables dependientes de T1 y T4.....	51
Figura 16 Abordaje metodológico de la etapa de diseño.....	57
Figura 17 Actividad de Observación	59
Figura 18 Desarrollo Business Origami.....	61
Figura 19 Sesión Lluvia de Ideas.....	63
Figura 20 Prototipo de papel.....	65
Figura 21 Wireframe Inicio	66
Figura 22 Wireframe Contenido	66
Figura 23 Desarrollo Fase 3.2.....	68
Figura 24 Guía Visual Prototipada en Figma	70
Figura 25 Guía de elementos visuales	70
Figura 26 Logo RealMix.....	71
Figura 27 Pantalla con información para configuración de elementos visuales.....	72
Figura 28 Proceso de referencia.....	75
Figura 29 Formato para configuración de elementos visuales	75
Figura 30 Preferencia de uso frecuente de la guía	81
Figura 31 Percepción de complejidad de la guía	81
Figura 32 Percepción de facilidad de uso de la guía.....	81
Figura 33 Percepción de necesidad de apoyo técnico.....	82
Figura 34 Percepción sobre integración de funciones en la guía.....	82
Figura 35 Percepción de inconsistencias en la guía.....	83
Figura 36 Percepción sobre facilidad de aprendizaje de la guía.....	83

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

Figura 37	Percepción de complejidad en el uso de la guía.....	83
Figura 38	Confianza al utilizar la guía.....	84
Figura 39	Percepción sobre conocimientos previos necesarios.....	84
Figura 40	Claridad en las definiciones de elementos visuales.....	85
Figura 41	Visualización de ejemplos de elementos visuales en la guía	85
Figura 42	Claridad en la selección de elementos visuales.....	86
Figura 43	Funcionamiento del sistema durante la consulta de datos.....	86
Figura 44	Interactividad del usuario con el contenido de la guía	87
Figura 45	Lenguaje sencillo y familiar utilizado en la guía	87
Figura 46	Estructura de navegación jerárquica y sencilla en la guía.....	88
Figura 47	Legibilidad y navegación dinámica en la guía	88
Figura 48	Eficiencia en la recopilación de información para la configuración	88
Figura 49	Información sobre resultados esperables según el uso de elementos visuales	89
Figura 50	Sección de la guía rediseñada.....	93
Figura 51	Sección Dos de la guía rediseñada	93

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

Lista de Apéndices

Los apéndices están adjuntos y puede visualizarlos en la base de datos de la biblioteca UIS.

Apéndice A. Protocolo de revisión para el estado del arte

Apéndice B. Protocolo de revisión estructurada de literatura

Apéndice C. Ampliación del desarrollo Fase 2

Apéndice D. Consentimiento informado

Apéndice E. Desarrollo detallado de la guía mediante Design Thinking

Apéndice F. Información para la guía

Glosario

Dada la complejidad del tema abordado, es necesario comprender algunos conceptos relacionados con la investigación desarrollada.

- Ergonomía o Factores humanos: en el libro “An Introduction to Human Factors Engineering (Second Edition)” los autores Christopher Wickens, Sallie Gordon y Yili Liu, definen los factores humanos como la aplicación de principios psicológicos y fisiológicos a la ingeniería y el diseño de productos, procesos y sistemas (Wickens et al., 1998). El objetivo de estos es reducir el error humano, aumentar la productividad y mejorar la seguridad y la comodidad con un enfoque en la interacción entre el ser humano y el objeto de interés. Promueven un enfoque holístico y centrado en el ser humano para el diseño de sistemas de trabajo que considera lo físico, factores cognitivos, sociales, organizacionales y ambientales (Stanton, 2005).
- Conocimiento procedimental: se basa en lograr metas, operar con procedimientos específicos e incluir habilidades estratégicas como la resolución de problemas (McCormick, 1997). Se refiere a cómo se realiza una tarea específica, teniendo en cuenta métodos y procedimientos. En cuanto al entrenamiento procedimental, se refiere a la preparación mediante la práctica, para perfeccionar algún tipo de conocimiento procedimental específico.
- Realidad Mixta (RM): en el artículo “What Is Mixed Reality, Anyway? Considering the Boundaries of Mixed Reality in the Context of Robots” los autores se refieren a la RM como la fusión de mundos reales y virtuales para producir nuevos entornos y visualizaciones donde los objetos físicos y digitales coexisten e interactúan en tiempo real (Young et al., 2011a). La RM permite interacciones naturales e intuitivas en 3D entre humanos, computadores y entornos. Esta nueva realidad se basa en los avances en visión por computadora, procesamiento gráfico, tecnologías de visualización, sistemas de entrada y computación en la nube.

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

- Interfaz gráfica de usuario (IGU): es la parte de un sistema computacional y su software que las personas pueden ver, escuchar, tocar, hablar o comprender o dirigir. Posee generalmente dos componentes: entrada y salida. La entrada es cómo el usuario comunica sus necesidades o deseos al sistema. La salida es la forma en que el sistema transmite los resultados de sus cálculos y requisitos al usuario (Galitz, 2007a). Utiliza un conjunto de objetos gráficos para representar información y acciones disponibles del sistema.
- Carga cognitiva: se refiere a la cantidad de recursos de memoria de trabajo utilizada en el desarrollo de una tarea (Perkhofer & Lehner, 2019; Sweller et al., 2011a). La teoría de la carga cognitiva se centra en aumentar la eficiencia del aprendizaje de tareas complejas, entendiéndose como eficiencia el esfuerzo del alumno para recordar y comprender una determinada cantidad de contenido (Mostyn, 2012).
- Atención visual: sirve al menos para cuatro propósitos diferentes en el sistema visual, incluida la reducción de datos, selección de estímulos, mejora de estímulos, vinculación de características y reconocimiento (Evans et al., 2011). La atención visual permite a las personas seleccionar la información que es más relevante para la tarea que se está desarrollando. La complejidad y la sobrecarga de información caracterizan casi todos los entornos visuales, incluidos ejemplos críticos como cabinas de aviones o salas de operaciones de plantas de energía nuclear (Chun & Wolfe, 2001).
- Elementos conceptuales: son elementos no visibles, inexistentes pero que parecen estar presentes (Wong, 1982), son efímeros, ya que son utilizados únicamente para plasmar una idea, una posición o una dirección dentro de un determinado espacio visual, estos son el punto, la línea, el plano y el volumen.
- Elementos visuales: los elementos conceptuales pueden ser llevados a la realidad y crear elementos complejos y verdaderos, estos son la forma, la medida, el color y la textura, entre otros (Wong, 1982).

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

- Industrias 4.0: hace referencia a la cuarta revolución industrial, teniendo como elemento central la inteligencia artificial, sin embargo, el término se refiere colectivamente a una amplia gama de conceptos actuales, como las fábricas inteligentes, los sistemas ciberfísicos, la autoorganización, los nuevos sistemas en distribución y aprovisionamiento, los nuevos sistemas en el desarrollo de productos y servicios y las herramientas de simulación (entre las que se encuentran la realidad aumentada (RA), realidad virtual (RV) y RM), entre otros (Lasi et al., 2014).

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

Resumen

Título: Guía para la configuración de elementos visuales de las interfaces gráficas de usuario de sistemas de entrenamiento procedimental basados en realidad mixta*

Autora: Sara Maritza Gutiérrez Rondón**

Palabras Clave: Interfaces gráficas de usuario, entrenamiento procedimental, realidad mixta, elementos visuales.

Descripción:

El avance de las tecnologías inmersivas ha abierto nuevas oportunidades para mejorar la formación en procedimientos complejos mediante entornos de realidad mixta (RM). No obstante, la efectividad del aprendizaje en estos entornos depende en gran medida de cómo se dirige la atención del usuario y cómo se gestiona la carga cognitiva. Actualmente, existe una brecha en la investigación sobre qué elementos visuales facilitan el direccionamiento atencional en interfaces gráficas de usuario (IGU) diseñadas para RM. En este contexto, el presente proyecto tuvo como objetivo proponer una guía de apoyo para diseñadores de IGU, proporcionando criterios fundamentados para la configuración de elementos visuales orientados a mejorar la atención visual en sistemas de entrenamiento procedimental.

La investigación se desarrolló en cuatro fases: una revisión teórica para identificar los elementos visuales más relevantes; una fase experimental en la que se evaluó, mediante dos experimentos sucesivos, el efecto del color, la contigüidad, el movimiento y el parpadeo sobre variables como carga cognitiva externa, retención de la información y comportamiento visual; una fase de diseño en la que se desarrolló iterativamente una guía digital bajo el enfoque de Design Thinking; y una fase final de validación mediante pruebas de usabilidad con diseñadores.

Los resultados mostraron tendencias positivas en los grupos con intervención visual, aunque sin diferencias significativas. La guía obtuvo altos niveles de aceptación, lo que permite concluir que constituye una herramienta funcional y útil para orientar decisiones de diseño en interfaces inmersivas aplicadas al entrenamiento procedimental.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Diseño Industrial. Director: Luis Eduardo Bautista Rojas. PhD en Ciencias de la Comunicación.

Abstract

Title: Guide for the Configuration of Visual Elements in Graphical User Interfaces of Procedural Training Systems Based on Mixed Reality *

Author: Sara Maritza Gutiérrez Rondón **

Key Words: Graphical user interfaces, procedural training, mixed reality, visual elements.

Description:

The advancement of immersive technologies has opened new opportunities to improve training in complex procedures through mixed reality (MR) environments. However, the effectiveness of learning in these settings largely depends on how user attention is directed and cognitive load is managed. Currently, there is a gap in research regarding which visual elements facilitate attentional guidance in graphical user interfaces (GUIs) designed for MR. In this context, the objective of this project was to propose a support guide for GUI designers, providing evidence-based criteria for configuring visual elements aimed at enhancing visual attention in procedural training systems.

The research was conducted in four phases: a theoretical review to identify the most relevant visual elements; an experimental phase in which the effects of color, spatial contiguity, motion, and blinking were evaluated through two successive experiments, focusing on variables such as external cognitive load, information retention, and visual behavior; a design phase involving the iterative development of a digital guide based on the Design Thinking approach; and a final validation phase through usability testing with designers.

The results showed positive trends in the groups exposed to visual elements, although no statistically significant differences were found. The guide received high levels of acceptance, leading to the conclusion that it is a functional and useful tool for supporting design decisions in immersive interfaces applied to procedural training.

* Degree Work

** Faculty of Physical and Mechanical Engineering. Industrial Design. Advisor: Luis Eduardo Bautista Rojas, PhD in Communication Sciences.

Introducción

En el contexto de los avances tecnológicos impulsados por la Industria 4.0, el ámbito educativo ha experimentado transformaciones profundas que han redefinido la forma en que se conciben, desarrollan y aplican los procesos de enseñanza y aprendizaje. Tecnologías como la realidad virtual (RV), la realidad aumentada (RA) y, más recientemente, la realidad mixta (RM), han abierto nuevas posibilidades para diseñar experiencias de aprendizaje inmersivas, activas y personalizadas (Miranda et al., 2021; Mogoş et al., 2018). Su uso en el entrenamiento procedimental, en particular, ha demostrado ser eficaz para mejorar el rendimiento, reducir errores y aumentar la confianza de los aprendices en la ejecución de tareas complejas (Labovitz & Hubbard, 2020; Samadbeik et al., 2018).

Sin embargo, el potencial de estos entornos inmersivos puede verse limitado si no se consideran cuidadosamente los procesos cognitivos que subyacen a la experiencia de aprendizaje. La atención visual, como función cognitiva selectiva, cumple un papel fundamental en la organización de la percepción, la priorización de la información relevante y la toma de decisiones en tiempo real (Johnston & Dark, 1986; Posner et al., 1980). En entornos inmersivos como la RM, donde la cantidad de estímulos puede resultar abrumadora, el direccionamiento de la atención se vuelve un factor crítico para evitar la sobrecarga cognitiva y optimizar la adquisición de conocimientos (Soret et al., 2019).

Pese a su creciente aplicación en la educación, especialmente en campos como la medicina, la ingeniería o la psicología, aún son escasos los estudios que aborden de manera explícita cómo guiar la atención del usuario en estos entornos (Wen et al., 2024). Diversas investigaciones han reconocido que la efectividad de la RM depende, en gran medida, de cómo se estructura y presenta la información (Ejaz et al., 2019; Radianti et al., 2020), pero persiste un vacío en cuanto a la identificación de elementos visuales específicos que puedan facilitar esta función guiadora. Elementos como el color, la contigüidad espacial, el parpadeo o el

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

movimiento han sido utilizados en entornos 2D para facilitar la exploración visual y reducir la carga cognitiva, pero su comportamiento en entornos tridimensionales e inmersivos aún requiere mayor investigación (Liu et al., 2021).

En respuesta a esta problemática, el presente estudio se propuso proponer una guía de apoyo para diseñadores de interfaces gráficas de usuario (IGU), que ofrezca una fundamentación clara y aplicable para la configuración de elementos visuales en sistemas de entrenamiento procedimental implementados en RM, orientados al direccionamiento de la atención visual del usuario. Para ello, la investigación se estructuró en cuatro fases: (1) una revisión teórica para identificar los elementos visuales más relevantes, (2) el diseño y aplicación de un protocolo experimental para evaluar su impacto en variables como la carga cognitiva externa, la retención de información y el comportamiento visual, y (3) el desarrollo iterativo de la guía en sí y finalmente (4) la validación de la funcionalidad de la guía con diseñadores a través de pruebas de usabilidad y tareas simuladas de configuración visual.

De este modo, se abordaron de forma articulada los cuatro objetivos específicos: identificar los elementos visuales relevantes, evaluar su efectividad en contextos de RM, integrarlos en una herramienta de consulta orientada al diseño y validar su usabilidad en un caso de aplicación realista. Este enfoque permitió avanzar en la comprensión del rol de los elementos visuales en la atención inmersiva, y también generar un recurso aplicado con potencial de impacto en la práctica profesional del diseño instruccional en entornos inmersivos como la RM.

Este informe se organiza en catorce capítulos que recorren el proceso investigativo desde la formulación del problema hasta la validación de la propuesta. Los primeros capítulos abordan la introducción, el planteamiento del problema, el marco teórico y el estado del arte, proporcionando el sustento conceptual. Luego se presentan los objetivos, hipótesis y la

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

metodología, basada en cuatro fases: revisión de literatura, experimentación con elementos visuales, diseño de la guía y evaluación con usuarios.

A continuación, se desarrollan en detalle las fases metodológicas, seguidas de la discusión de resultados, conclusiones, limitaciones, recomendaciones y la bibliografía. Finalmente, los apéndices complementan la información con material de apoyo. Esta estructura permite una comprensión progresiva del proyecto, integrando teoría, práctica y validación en el contexto de la guía para la configuración de elementos visuales de las interfaces gráficas de usuario de sistemas de entrenamiento procedimental basados en realidad mixta.

1. Planteamiento del problema de investigación

Los avances tecnológicos derivados de la Industria 4.0 han impactado significativamente los entornos educativos, impulsando a las instituciones a adoptar metodologías innovadoras y herramientas tecnológicas emergentes (Miranda et al., 2021). En este contexto, la Educación 4.0 ha promovido la integración de tecnologías como laboratorios virtuales, plataformas interactivas, mundos 3D y simuladores, optimizando así la experiencia de aprendizaje (Méndez, 2012; Mogoş et al., 2018). La Realidad Virtual (RV), por ejemplo, ha demostrado reducir la ansiedad en entornos simulados, facilitar la comprensión y mejorar la retención del conocimiento, lo que repercute positivamente en la evaluación basada en competencias (Labovitz & Hubbard, 2020; Coxe et al., 2025; Lin et al., 2023).

Dentro de estas tecnologías emergentes, la Realidad Mixta (RM) ha mostrado un potencial particular para el entrenamiento procedimental, permitiendo la repetición de tareas, la manipulación directa de objetos virtuales y la simulación de contextos realistas. Estudios en medicina y otras disciplinas han evidenciado que el uso de RM mejora la precisión, reduce errores y acelera el proceso de formación (Samadbeik et al., 2018; Felsher et al., 2005). Sin embargo, para que estas ventajas se materialicen, es necesario que la información en los

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

entornos inmersivos sea presentada de forma clara y estructurada, permitiendo al usuario enfocar su atención en lo realmente relevante.

Uno de los principales desafíos en el uso de la RM para la enseñanza de procedimientos es el exceso de estímulos simultáneos, que puede generar sobrecarga cognitiva (Soret et al., 2019). En estos entornos, el aprendiz debe constantemente buscar, identificar y asociar información distribuida en el espacio tridimensional, lo que incrementa el esfuerzo mental requerido y puede dificultar el aprendizaje. Esta carga cognitiva extrínseca o externa, lejos de contribuir al proceso formativo, lo entorpece. Por tanto, es necesario incorporar mecanismos de direccionamiento atencional que orienten la mirada del usuario hacia los elementos clave de la tarea, facilitando el procesamiento de la información y reduciendo la carga mental innecesaria.

Aunque existen propuestas para el diseño de interfaces en entornos inmersivos (Ejaz et al., 2019), la mayoría se han centrado en la interacción general o la adquisición de conocimiento declarativo, dejando de lado el diseño de estrategias visuales específicas para guiar la atención. Como lo señalan Posner et al. (1980), la atención visual es un componente central en el procesamiento de información, y su adecuado direccionamiento es crucial para el aprendizaje efectivo en ambientes ricos en estímulos como la RM.

A pesar de que la investigación sobre RV en educación ha crecido, los estudios sobre RM siguen siendo limitados y se enfocan principalmente en casos de simulación, sin abordar de forma explícita cómo aplicar elementos visuales en una interfaz para dirigir la atención del usuario (Radianti et al., 2020). Esto evidencia una brecha crítica: no se han sistematizado ni definido claramente los elementos visuales más eficaces para guiar la atención del estudiante en tareas procedimentales dentro de entornos inmersivos.

Así, surge la necesidad de una guía que oriente a los diseñadores de interfaces gráficas de usuario (IGU) en la selección y configuración de elementos visuales con el fin de reducir la

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

carga cognitiva y mejorar el direccionamiento atencional en contextos de entrenamiento procedimental en RM.

Este proyecto se enfoca, por tanto, en responder a esa necesidad, proponiendo una guía basada en evidencia teórica y experimental que ayude a diseñar interfaces gráficas de usuario (IGU) más eficientes, centradas en el usuario y adaptadas a las exigencias cognitivas de los entornos inmersivos.

1.1. Pregunta de diseño

De acuerdo al planteamiento del problema, se llega a la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo realizar una configuración de elementos visuales de las IGU que permita direccionar la atención visual de los usuarios en entornos de entrenamiento procedimental desarrollados en RM?

2. Marco teórico

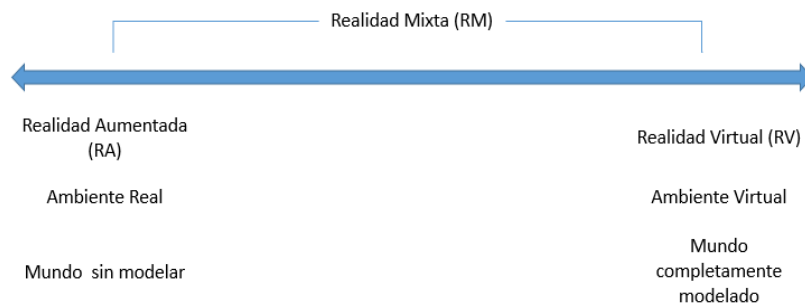
Durante las etapas iniciales del proyecto, es fundamental tener un conocimiento de las temáticas que se relacionan con el desarrollo de la investigación, ya que proporcionan los fundamentos necesarios para la ejecución de toda la metodología planteada. En el presente trabajo de investigación, se abarcan cuatro áreas principales: la realidad mixta, la teoría de la carga cognitiva, la atención visual y la interfaz gráfica de usuario. A lo largo del marco teórico, se presentarán las definiciones relacionadas con los temas mencionados anteriormente.

2.1. Realidad mixta

Para comprender la Realidad Mixta (RM), es fundamental diferenciar entre entornos reales y virtuales, lo que se ilustra en el Continuo de Virtualidad de Milgram (**Figura 1**) (Blass, 1999; Milgram & Kishino, 1994). En el extremo derecho se encuentra la Realidad Virtual (RV), un mundo completamente digital sin contacto con la realidad física. En el extremo izquierdo, los entornos reales pueden enriquecerse con elementos digitales, permitiendo la superposición de datos virtuales sobre el mundo físico.

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

Figura 1 Continuo de virtualidad de Milgram. Tomado de (Milgram, 1999)



Diferentes autores han definido la Realidad Mixta. (Young et al., 2011b) la describen como una aplicación de la interacción humano-computadora que combina elementos reales y virtuales. (Maas & Hughes, 2020) destacan que la RM integra el cuerpo humano con entornos físicos y digitales, mientras que (J. Y. C. Chen & Fragomeni, 2018) la definen como una tecnología que fusiona la realidad virtual y aumentada, permitiendo la interacción con objetos virtuales inteligentes dentro del entorno real.

En sí, la RM permite la incorporación y modificación de elementos virtuales en el mundo físico, facilitando la interacción en tiempo real entre ambos entornos. Gracias a los avances tecnológicos, sus aplicaciones han crecido en interfaces hombre-máquina, educación y formación. (Juraschek et al., 2018) destacan su potencial para mejorar la enseñanza y la comprensión de procesos y sistemas complejos.

Figura 2 Ejemplos de implementación de aplicaciones de RM : (a) RM espacial con extensión virtual (b) y (c) RM espacial holográfica. Tomado de (Juraschek et al., 2018)



La **Figura 2** muestra ejemplos de implementación de la RM. En (a), se observa una RM espacial con extensión virtual, donde se simula un proceso de producción en un entorno físico a escala. En (b), la RM espacial holográfica permite visualizar procesos invisibles a simple

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

vista, como el flujo de energía en un sistema. Esta tecnología facilita el aprendizaje al mostrar en tiempo real la relación entre los componentes del sistema.

Por último, en (c), la RM espacial holográfica se usa para visualizar estados de proceso e instrucciones de mantenimiento. En este caso, un HMD (dispositivo montado en la cabeza) recupera datos de una impresora 3D, guiando al usuario en tiempo real para su mantenimiento.

2.1.1. Uso de Realidad Mixta en el desarrollo del proyecto de investigación

La realidad mixta (RM) ha sido ampliamente adoptada en el entrenamiento procedimental, especialmente en sectores como la manufactura y la medicina, impulsada por los avances de la Industria 4.0. En el estudio de (Bottani et al., 2021), se diseñó un sistema portátil de RM para diagnóstico de fallas en líneas de embotellamiento, logrando mejoras significativas en seguridad, productividad y tiempos de respuesta. En el ámbito médico, (Hu et al., 2019) demostraron que estudiantes capacitados con RM para planificar procedimientos quirúrgicos obtuvieron mejores resultados en tiempos de ejecución, tasas de aprobación y comprensión espacial, en comparación con quienes recibieron formación tradicional.

La RM integra disciplinas como visión por computadora, procesamiento de señales e interfaces de usuario, y ha mostrado aplicaciones efectivas en sectores como la industria automotriz, medicina y educación (Costanza et al., 2009). Su capacidad para superponer información digital sobre el entorno real permite mejorar la interacción usuario-sistema y potenciar la adquisición de habilidades. En este contexto, su implementación en entornos de entrenamiento procedimental facilita una comprensión más clara de la información y un desempeño más efectivo en las tareas.

2.2. Carga cognitiva

El aprendizaje es un proceso cognitivo mediante el cual se adquieren, almacenan y aplican conocimientos. Según (Patayon et al., 2021), la integración de palabras e imágenes favorece un aprendizaje más profundo que el uso exclusivo del lenguaje verbal, ya que las

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

personas procesan información de forma limitada en cada canal y construyen representaciones mentales para interpretar los estímulos.

En este contexto, la carga cognitiva se convierte en un factor clave que influye en la eficacia del aprendizaje. La teoría de la carga cognitiva distingue tres tipos: la intrínseca, asociada a la complejidad del contenido; la pertinente, relacionada con la construcción y automatización de esquemas; y la externa, atribuida al diseño del material educativo (Korbach et al., 2018; Sweller et al., 2011b). La **Figura 3** representa estos componentes, según John Sweller. Dado que la memoria de trabajo es limitada, un exceso de carga cognitiva externa puede interferir con el procesamiento del contenido e impedir la comprensión (Mayer, 2002; Sweller et al., 2019). Un diseño instruccional inadecuado puede saturar los recursos cognitivos, afectando negativamente el aprendizaje.

Figura 3 Teoría de la carga cognitiva según John Sweller.



Por ello, es fundamental optimizar el diseño instruccional en las IGU para reducir la carga externa, permitiendo así que los recursos disponibles se enfoquen en procesar la carga intrínseca. Esta estrategia mejora la eficiencia del aprendizaje y facilita una mayor asimilación del conocimiento (Sweller, 2005; Sweller et al., 2011b).

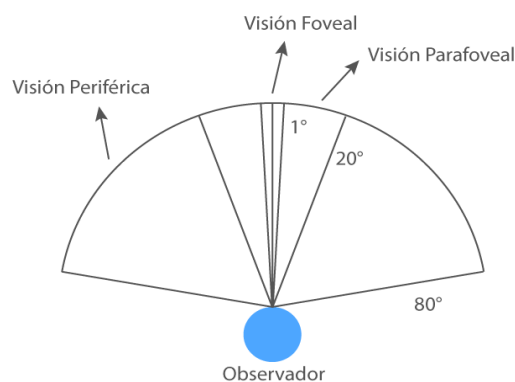
2.3. Atención visual

La atención visual es un conjunto de procesos cognitivos y fisiológicos que permiten seleccionar estímulos relevantes del entorno de manera eficiente. Estos procesos se distribuyen a lo largo de las vías visuales y en ambos hemisferios cerebrales, y no conforman un sistema

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

único, sino múltiples mecanismos especializados (Evans et al., 2011). Se distinguen dos componentes principales: el “qué” (el objeto atendido), relacionado con la visión foveal, y el “dónde” (la localización del estímulo), vinculado con la visión parafoveal o periférica (Duchowski, 2017), como se muestra en la **Figura 4**. La visión periférica permite detectar estímulos en el entorno, que luego son explorados en detalle mediante movimientos oculares hacia el centro del campo visual, lo que orienta y dirige la mirada hacia la información clave.

Figura 4 Visión Binocular



Estos mecanismos cumplen funciones esenciales como la selección de estímulos, amplificación de señales relevantes, integración de características visuales y reconocimiento (Evans et al., 2011). En el contexto del aprendizaje significativo, la atención visual permite al estudiante filtrar información, organizarla mentalmente y conectarla con conocimientos previos, generando representaciones mentales en la memoria de trabajo que favorecen la comprensión y la retención (Hwang et al., 2018).

En este sentido, la presentación visual de la información influye directamente en la activación y orientación de la atención. Diversos estudios neurocientíficos han demostrado que el uso estratégico de elementos visuales como el color, el movimiento o el parpadeo impacta la manera en que los estímulos son procesados y priorizados por el sistema visual.

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

Por ejemplo, (Andersen & Maier 2019) comprobaron que los colores rojo, azul y verde generan respuestas de guiado atencional, incluso en escenas visuales saturadas, al provocar cambios en los patrones de fijación y facilitar la identificación de objetivos. Asimismo, (Sun et al. 2021) demostraron que el uso de codificación por color en materiales educativos mejora el aprendizaje al disminuir la duración de las fijaciones, indicando una reducción de la carga cognitiva. Estos efectos se asocian a patrones de activación cortical más eficientes, según registros de EEG que mostraron mayor actividad en bandas theta y alfa, relacionadas con procesos de atención y memoria de trabajo.

Desde una perspectiva funcional, el color actúa como un estímulo saliente que guía de forma rápida la atención hacia elementos relevantes, facilitando el procesamiento inicial periférico y desencadenando movimientos sacádicos hacia la zona de interés (Posner et al., 1980; Duchowski, 2017). Esta orientación eficiente reduce la necesidad de búsqueda activa y disminuye la carga cognitiva extrínseca, es decir, el esfuerzo mental que no contribuye directamente al aprendizaje (Sweller et al., 2011).

Además del color, otros elementos visuales como el movimiento direccional o el parpadeo temporal han sido asociados con una mayor captación de atención y eficiencia en la tarea visual. En un entorno inmersivo de realidad virtual, (Liu et al. 2022) evidenciaron que los estudiantes dirigen su atención con mayor precisión hacia zonas destacadas mediante señales visuales dinámicas, lo que se tradujo en mejores resultados de aprendizaje y menores niveles de desorientación.

Por tanto, existe una convergencia entre la evidencia neurocientífica, cognitiva y aplicada, que respalda la utilidad de los elementos visuales como herramientas para el diseño instruccional. Su adecuada configuración permite optimizar la atención, reducir la sobrecarga cognitiva y, en consecuencia, mejorar la comprensión, retención y rendimiento del aprendiz,

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

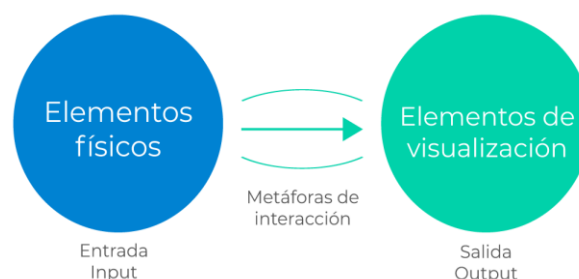
especialmente en entornos inmersivos donde la información está distribuida espacialmente y el riesgo de distracción es alto.

2.4. Interfaz gráfica de usuario

La interfaz gráfica de usuario (IGU) es fundamental en cualquier sistema informático, ya que facilita una interacción eficiente y satisfactoria entre el usuario y la computadora. Como único medio de comunicación entre ambos, su diseño forma parte del campo de estudio de la interacción humano-computadora (HCI). Los diseñadores de HCI deben considerar expectativas del usuario, limitaciones físicas y cognitivas, principios de percepción y procesamiento de información, así como restricciones del hardware y software.

La IGU abarca todos los elementos que el usuario puede ver, escuchar, tocar o comprender. Sus dos componentes principales son entrada (input) y salida (output), como se ilustra en la **Figura 5**. La entrada permite al usuario comunicar sus necesidades mediante dispositivos físicos, mientras que la salida presenta los resultados generados por el sistema (Galitz, 2007b).

Figura 5 Elementos de las interfaces de usuario. Basado en Galitz, 2007



El objetivo principal de las IGU es optimizar la eficacia y eficiencia de la interacción humano-computadora. A través del seguimiento de acciones, un sistema puede inferir las intenciones del usuario y reducir la necesidad de comandos explícitos (Agah & Tanie, 2000).

2.5. Evaluación de carga cognitiva mediante Eye-Tracking

El Eye-Tracking, o rastreo ocular, permite analizar métricas como fijaciones, movimientos sacádicos, dilatación pupilar y parpadeo, ofreciendo evidencia sobre la atención

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

visual voluntaria (Duchowski, 2017). Esta tecnología ha demostrado ser útil para medir la carga cognitiva en tareas visuales, auditivas, e-learning y visualización de interfaces (Zagermann et al., 2016). En el estudio *Best Practices in Eye Tracking Research*, se analizan las fijaciones y sacadas, consideradas unidades básicas en esta técnica (Carter & Luke, 2020).

Variaciones en la duración y cantidad de fijaciones, número de parpadeos y velocidad de sacadas reflejan niveles de carga cognitiva; aumentos en estas métricas indican mayor esfuerzo mental y demanda atencional (Keskin et al., 2020). Por ejemplo, las sacadas, que duran entre 30 y 80 ms, disminuyen su velocidad con el cansancio, y aumentan ante tareas complejas. Las fijaciones, de 200 a 300 ms o más, prolongan su duración cuando hay mayor procesamiento cognitivo (Duchowski, 2017; Zagermann et al., 2016).

2.5.1. Métricas de Eye-Tracking relacionadas con la carga cognitiva y la atención visual

La atención visual, objeto de estudio en educación, neurociencia y psicología, está influenciada por señales sensoriales que modulan la actividad neuronal y afectan procesos como memoria y vigilancia (Skaramagkas et al., 2023). En esta investigación se emplean cuatro métricas clave:

- **Duración de fijaciones:** Periodo en que la mirada permanece fija en un punto. Una mayor duración implica mayor esfuerzo en memoria de trabajo y dificultad para extraer información (S. Chen et al., 2011; García & Preis, 2004; Keskin et al., 2020; Zagermann et al., 2016).
- **Número de fijaciones:** Cantidad de veces que se fija la mirada sobre distintas áreas de un estímulo. Valores elevados sugieren búsquedas ineficientes y alta carga cognitiva (Keskin et al., 2020; Sharafi et al., 2015).
- **Velocidad sacádica:** Frecuencia de movimientos oculares entre fijaciones. Su disminución refleja fatiga, y su aumento, mayor complejidad de la tarea (S. Chen et al., 2011; García & Preis, 2004; Keskin et al., 2020).

3. Estado del arte

Con el propósito de comprender el estado actual del conocimiento sobre elementos visuales, carga cognitiva y atención en interfaces gráficas de usuario (IGU) para entornos inmersivos, se realizó una revisión de literatura exploratoria entre febrero y abril de 2021. La búsqueda se llevó a cabo en bases de datos académicas como Scopus, ScienceDirect, SpringerLink y IEEE Xplore, empleando combinaciones de palabras clave como "*cognitive load*", "*visual attention*", "*graphical user interface*", "*mixed reality*", "*training system*" y "*user interface design*". Se delimitaron los resultados a artículos publicados entre 2016 y 2021.

Tras una depuración por pertinencia temática, accesibilidad y calidad metodológica, se seleccionaron 14 artículos científicos para su análisis cualitativo, el desarrollo detallado se puede ver en el Apéndice A Protocolo de Revisión no estructurada para el Estado del Arte. Los textos fueron examinados con base en los siguientes criterios: tipo de entorno tecnológico (RA, RV, RM), objetivos del estudio, métricas evaluadas (retención, atención, carga cognitiva), tipo de usuarios, y elementos visuales implementados en las IGU, posteriormente se detecta que la información relevante para el proyecto se concentra principalmente en cuatro artículos, detalles importantes se presentan en la **Tabla 1** a continuación.

Tabla 1 Hallazgos artículos relevantes sobre elementos visuales, atención visual y carga cognitiva

Título del artículo	Hallazgos clave	Conclusiones principales
1. Graphic User Interface Design Principles for Designing Augmented Reality Applications (Ejaz et al., 2019)	Se identifican principios de diseño en RA como visibilidad, feedback, mapeo natural y reducción de carga cognitiva.	Es esencial diseñar interfaces predecibles y eficientes para evitar sobrecarga cognitiva. Se requieren estudios experimentales para validar los principios propuestos.
2. Cognitive Design Considerations for Augmented Reality (Hogg, 2012)	El diseño cognitivo debe considerar cómo el cerebro procesa estímulos visuales como color, forma y movimiento.	Comprender la cognición mejora la experiencia del usuario. Aplicar principios de percepción visual ayuda a diseñar sistemas de RA más intuitivos.
3. Attention Cueing as a Means to Enhance Learning from an Animation (de Koning et al., 2007)	Las señales visuales en animaciones complejas ayudan a dirigir la atención y optimizar el uso de la memoria de trabajo.	Las señales mejoran el aprendizaje al enfocar la atención en elementos relevantes y reducir la carga cognitiva externa.
4. Attention Guiding Techniques using Peripheral Vision and Eye Tracking for Feedback in Augmented-Reality-Based Assistance Systems (Renner & Pfeiffer, 2017)	Se evaluaron técnicas como flechas, ondas esféricas (SWAVE) y orientación basada en eye tracking para guiar la atención en RA.	Las flechas fueron más rápidas y efectivas, pero la técnica SWAVE demostró ser prometedora por su sutileza. Se confirma la efectividad de guías visuales adaptadas a la mirada para mejorar la atención en RA.

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

Los resultados de esta revisión evidencian que la mayoría de estudios se concentran en aplicaciones educativas y de entrenamiento, principalmente en contextos de realidad aumentada y virtual. Se destacan aportes sobre principios de diseño centrado en el usuario, estandarización de elementos de HCI y estrategias de aprendizaje activo. Sin embargo, aunque varios estudios abordan la mejora del rendimiento y comprensión mediante el diseño visual, pocos se enfocan explícitamente en la reducción de la carga cognitiva externa o en el direccionamiento atencional visual como eje central de análisis.

Asimismo, se identificó una escasez de propuestas que integren evaluaciones objetivas (como eye-tracking) con directrices específicas para la configuración visual de IGU en RM. Esto evidencia un vacío metodológico que justifica la necesidad de una guía práctica orientada a apoyar a diseñadores en la toma de decisiones sobre elementos visuales que favorezcan la atención y el procesamiento cognitivo en entornos inmersivos aplicados al entrenamiento procedimental.

4. Objetivos

4.1. Objetivo general

Proponer una guía de apoyo para diseñadores de interfaces gráficas de usuario IGU, proporcionando la fundamentación necesaria para la configuración de elementos visuales en sistemas de entrenamiento procedimental implementados en entornos de realidad mixta para el direccionamiento de la atención visual de los usuarios.

4.2. Objetivos específicos

- Identificar elementos visuales necesarios en las IGU que permitan el direccionamiento de atención visual durante el desarrollo de actividades de entrenamiento procedimental.
- Evaluar la efectividad de los elementos visuales aptos para su aplicación en sistemas de realidad mixta, logrando una selección de elementos visuales a implementar en las IGU de entrenamiento procedimental.

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

- Integrar los elementos visuales seleccionados en el desarrollo de una guía de apoyo para los diseñadores de IGU.
- Evaluar mediante un caso estudio la usabilidad de la guía propuesta y los resultados de direccionamiento de atención obtenidos.

5. Hipótesis

Hipótesis de Investigación (H1): La implementación de elementos visuales específicos (como color o movimiento) en un escenario de entrenamiento procedimental basado en Realidad Mixta reduce significativamente la carga cognitiva de los usuarios, en comparación con un entorno sin dichos elementos. Esta reducción se refleja en mejores métricas de atención visual obtenidas mediante eye tracking (menor número y duración de fijaciones y sacadas), menos errores y mayor eficacia en la tarea de aprendizaje.

Hipótesis Nula (H0): No existen diferencias estadísticamente significativas en la carga cognitiva, ni en el desempeño, entre los usuarios que entrenan en Realidad Mixta con elementos visuales y aquellos que lo hacen sin dichos elementos.

6. Desarrollo Metodológico

Esta investigación tuvo como propósito diseñar una guía de apoyo para diseñadores de interfaces gráficas de usuario (IGU), orientada a la configuración de elementos visuales en sistemas de entrenamiento procedimental implementados en entornos de realidad mixta (RM), con el fin de optimizar la experiencia de aprendizaje. El desarrollo del proyecto se estructuró en cuatro fases metodológicas, basadas en el libro *DRM: A Design Research Methodology* (Blessing & Chakrabarti, 2009). En la **Figura 6** se esquematiza el proceso metodológico aplicado.

Figura 6 Proceso de investigación aplicado

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM



En la Fase 1 se realizó una revisión sistemática de literatura, en la que se definió una ecuación de búsqueda y se aplicaron filtros para identificar artículos relevantes. Esta revisión permitió identificar y definir elementos visuales empleados para guiar la atención en entornos de realidad extendida, así como sus efectos en variables como carga cognitiva y retención.

La Fase 2 comprendió la selección de cuatro elementos visuales (color, contigüidad, movimiento y parpadeo), los cuales fueron evaluados mediante experimentos en IGU diseñadas en RM. Estas pruebas se desarrollaron de forma iterativa, permitiendo ajustar el diseño experimental, el tamaño de muestra y las métricas de atención visual.

Con base en los hallazgos, se desarrolló la guía (Fase 3.1) a través de un proceso de co-diseño con diseñadores IU, integrando información sobre los elementos visuales y su aplicación en entornos procedimentales. Finalmente, en la Fase 3.2, se evaluó la guía mediante tareas prácticas y encuestas de usabilidad y satisfacción con diseñadores de IGU, lo que permitió realizar ajustes finales.

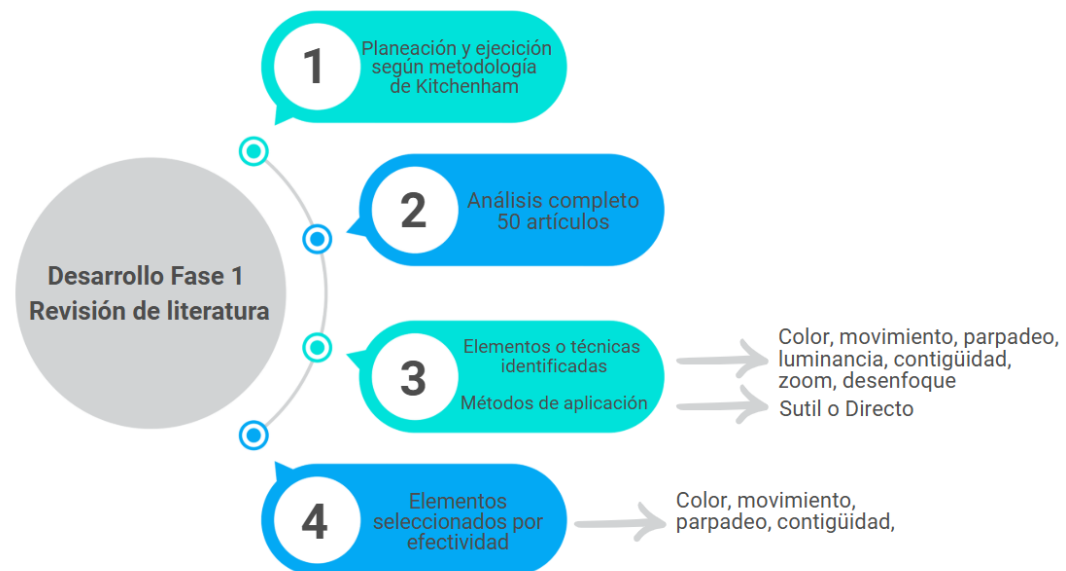
7. Desarrollo Fase 1 - Revisión de literatura

Con el fin de fundamentar el diseño de interfaces gráficas de usuario (IGU) orientadas al entrenamiento procedimental en entornos inmersivos, se realizó una revisión estructurada de

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

literatura. La pregunta de revisión fue: *¿Qué elementos visuales aplicables a las IGU pueden incrementar el direccionamiento de la atención visual del usuario durante un entrenamiento procedimental desarrollado en un entorno de RA, RV o RM?*. En la **Figura 7** a continuación se muestra el esquema general del proceso para la Fase 1.

Figura 7 Esquema general del proceso para la Fase 1



Se consultaron bases de datos como Web of Science, IEEE y Scopus, aplicando criterios de inclusión relacionados con estudios entre 2010 y 2023, centrados en la atención visual y carga cognitiva en entornos inmersivos. Se seleccionaron 50 artículos, cuyo análisis completo se encuentra detallado en el Apéndice B Protocolo de la revisión estructurada de literatura.

Los resultados se organizaron en dos categorías: (a) forma de presentación de los elementos visuales y (b) técnicas específicas para guiar la atención. La **Tabla 2** resume los estudios según el tipo de presentación utilizada:

Tabla 2 Formas de presentación de los elementos visuales

Tipo de presentación	Porcentaje de uso	Ejemplos de estudios representativos
Directa	77,3 % (17 de 22)	(Karacan, 2010), (Jamet, 2014), (Vogt, 2021)
Sutil	22,7 % (5 de 22)	(Grogork et al., 2018), (Bailey et al., 2009), (Lintu & Carbonell, 2009)

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

En cuanto a las técnicas o elementos visuales, se identificaron siete tipos principales, utilizados con diferentes combinaciones y niveles de efectividad, según el entorno y el objetivo de aprendizaje, mostrados en la **Tabla 3**:

Tabla 3 Técnicas o elementos visuales para guiar la atención

Técnica visual	Nº de estudios que la aplican	Efectividad reportada	Estudios destacados
Color	11	Alta	(Moon & Ryu, 2021), (Jarodzka et al., 2013)
Parpadeo	3	Alta	(Grogorick et al., 2018; Lintu & Carbonell, 2009)
Luminancia	7	Media	(Seif El-Nasr et al., 2009), (Bailey et al., 2009)
Movimiento	3	Alta	(Karacan, 2010), (Grogorick et al., 2017)
Zoom	1	Media-baja	(Grogorick et al., 2018)
Difuminado	5	Baja si se usa solo	(Jarodzka et al., 2013), (Hoffmann et al., 2008)
Contigüidad	3	Alta	(Strzys et al., 2018), (Vogt, 2021)

Conclusión de la revisión: En este capítulo se logró identificar los elementos visuales clave para el direccionamiento de la atención visual en interfaces gráficas de usuario (IGU) aplicadas a entrenamientos procedimentales en diferentes contextos de Realidad Extendida (RM, RV o RA). A partir de la revisión sistemática, se determinaron siete elementos visuales fundamentales: color, parpadeo, luminancia o foco atencional, movimiento, zoom, difuminado y contigüidad. Se presentó una descripción detallada de cada uno, explicando su funcionamiento y su aplicación en el direccionamiento de la atención, como también algunos resultados de estudios en los que se aplicaron estas técnicas, y ejemplos para comprender mejor las definiciones. Además, se analizaron las formas de uso, diferenciando entre la dirección atencional sutil e indirecta, donde los estímulos se presentan en el campo parafoveal o perifoveal, y la dirección atencional directa, que actúa dentro del campo foveal del usuario.

Adicionalmente, se identificó cuáles de estos elementos visuales generan mejores resultados en el direccionamiento de la atención visual, así como mayor efectividad en las medidas de procesamiento cognitivo. Los elementos con mejor desempeño fueron color, movimiento, parpadeo y contigüidad, por lo que en las siguientes secciones se trabajará con estos elementos, evaluando su impacto en entornos de RM y su aplicación en interfaces gráficas de usuario diseñadas para entrenamientos procedimentales.

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

La decisión de trabajar específicamente con los elementos color, contigüidad, movimiento y parpadeo se fundamentó en tres criterios principales: (1) la consistencia de los resultados empíricos reportados en la literatura revisada, (2) su viabilidad técnica de implementación en entornos de RM, y (3) su adecuación al contexto de entrenamiento procedimental, donde es crucial dirigir la atención del usuario hacia pasos o zonas clave sin sobrecargar visualmente el entorno.

El color, por ejemplo, ha sido ampliamente validado como un recurso eficaz para resaltar información relevante, guiando la atención de forma rápida y no intrusiva mediante el contraste con el entorno (Sun et al., 2021; Andersen & Maier, 2019). La contigüidad espacial contribuye a reducir la carga cognitiva extrínseca al presentar información relevante próxima al objeto de referencia, evitando la dispersión atencional (Sweller et al., 2011). El movimiento funciona como un estímulo saliente perceptivo que facilita la orientación visual hacia un objetivo, especialmente útil en entornos tridimensionales donde los objetos pueden ubicarse fuera del campo foveal inmediato (Renner & Pfeiffer, 2017). Finalmente, el parpadeo actúa como un disparador de atención automática, activando respuestas visuales reflejas útiles para tareas que requieren foco puntual en momentos determinados (Liu et al., 2022).

Por el contrario, elementos como el zoom, la luminancia o el difuminado, aunque conceptualmente prometedores, presentaron menor respaldo experimental en contextos inmersivos procedimentales, o bien, implicaban modificaciones espaciales más invasivas, difíciles de controlar sin generar desorientación o distracción. En consecuencia, se optó por aquellos elementos que demostraron mayor efectividad en guiar la atención, menor impacto en la carga cognitiva extrínseca y mayor adaptabilidad técnica en plataformas de desarrollo para realidad mixta.

8. Desarrollo Fase 2 – Experimentación

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

El objetivo principal de esta fase fue evaluar el efecto de la implementación de elementos visuales específicos —color, contigüidad espacial, parpadeo y movimiento— sobre la carga cognitiva externa experimentada por los usuarios al interactuar con una interfaz gráfica de usuario (IGU) diseñada para una actividad de aprendizaje procedimental en entornos de Realidad Mixta. Esta evaluación tuvo como propósito comprobar o refutar la hipótesis de que dichos elementos permiten reducir la carga cognitiva y, en consecuencia, mejorar el rendimiento atencional y la ejecución de tareas.

La selección de estos cuatro elementos visuales se fundamentó en los hallazgos obtenidos en la Fase 1, donde se realizó una revisión sistemática de literatura científica. Se priorizaron aquellos elementos que, de acuerdo con estudios recientes, presentan una mayor efectividad en el direccionamiento de la atención visual y una alta frecuencia de uso en entornos inmersivos o aumentados (Grogorick et al., 2017, 2018; Jarodzka et al., 2013; Moon & Ryu, 2021; Strzys et al., 2018; Vogt, 2021). En este sentido, se excluyeron otros elementos como la luminancia, el desenfoque y el zoom, dado que, aunque teóricamente viables, presentan limitaciones en cuanto a su implementación técnica o resultados inconsistentes en entornos tridimensionales. El experimento se desarrolló bajo un diseño cuasi-experimental, prospectivo y transversal, aplicado de forma presencial. Se implementó una metodología iterativa que comprendió las siguientes etapas:

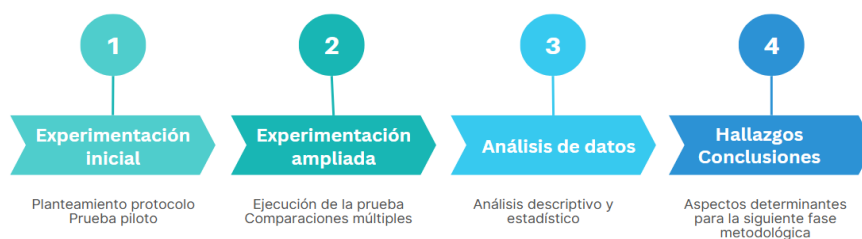
1. Diseño del protocolo experimental, basado en las hipótesis formuladas.
2. Ejecución de una prueba piloto, con el fin de ajustar la interfaz, las condiciones de visualización y los instrumentos de recolección de datos.
3. Ajustes técnicos y metodológicos, derivados de los resultados de la prueba piloto.
4. Desarrollo de la fase de experimentación ampliada, donde se aplicaron distintos tratamientos a grupos independientes, cada uno expuesto a una configuración diferente de elementos visuales (implementación o ausencia de los mismos).

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

5. Recolección y análisis de datos, tanto descriptivos como inferenciales, con base en indicadores de desempeño, métricas de atención visual (medidas mediante *eye tracking*) y percepción de carga cognitiva (instrumentos subjetivos).

En la **Figura 8** se presenta una visualización del proceso metodológico seguido en esta fase. Los detalles técnicos del diseño experimental, los instrumentos aplicados y los resultados específicos obtenidos se encuentran documentados en el Apéndice C – Ampliación del Desarrollo Fase 2. Esta etapa fue fundamental para generar evidencia empírica sobre el comportamiento de los elementos visuales seleccionados en el contexto de la tarea procedimental, sentando las bases para la construcción y validación de la guía que se desarrolla en la siguiente fase del proyecto.

Figura 8 Desarrollo Fase 2



8.1. Consideraciones éticas

La recolección de datos en esta investigación se realizó mediante herramientas como el seguimiento ocular (*eye tracking*), grabaciones de video y audio y la aplicación de cuestionarios digitales, sin que estas implicaran procedimientos invasivos o riesgos físicos evidentes. No obstante, se reconocieron y gestionaron de forma anticipada posibles efectos secundarios o molestias derivadas del uso de entornos inmersivos, como mareo, fatiga visual o desorientación, los cuales fueron mencionados en el proceso de consentimiento informado, aprobado por el Comité de Ética de la Universidad. Asimismo, se tuvo en cuenta la posibilidad de distracción momentánea del participante debido a la complejidad perceptual del entorno, situación que fue controlada mediante orientación por parte de la investigadora y sesiones iniciales de explicación del sistema.

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

Con base en el principio de no maleficencia, se priorizó el bienestar de los participantes, garantizando condiciones seguras de uso, tiempos de exposición controlados y acompañamiento continuo durante el desarrollo de la prueba experimental.

En relación con la privacidad de los datos recogidos mediante eye tracking, se aclaró a los participantes que dichos datos —como fijaciones, sacadas y trayectorias visuales— no permiten identificar personas y serían almacenados de forma codificada, usados únicamente con fines académicos y tratados conforme a la Ley 1581 de 2012 de protección de datos personales. Esta información fue detallada en el consentimiento informado, debidamente firmado por cada participante y disponible en el Apéndice D Consentimiento Informado.

El manejo de los datos personales y audiovisuales se realizó bajo estrictas medidas de confidencialidad y anonimato. Solo los investigadores tuvieron acceso a la información sensible, y ningún dato individual fue revelado en el informe final de la investigación. La participación fue completamente voluntaria, y se garantizó el derecho a retirarse del estudio en cualquier momento sin consecuencias.

Todo el proceso fue desarrollado conforme a los lineamientos éticos establecidos por el Comité de Ética de Investigaciones Científicas – CEINCI, respetando las normas nacionales e institucionales vigentes para la protección de los derechos de los participantes.

8.2. Objetivo del experimento

Identificar los niveles de carga cognitiva externa generados por una interfaz gráfica de usuario (IGU) diseñada para una actividad de aprendizaje en un entorno de realidad mixta, a partir del análisis de la implementación o no implementación de cuatro elementos visuales: color, contigüidad espacial, parpadeo y movimiento.

8.2.1. Objetivo específico

Determinar si la incorporación de elementos visuales en interfaces gráficas de usuario (color, contigüidad espacial, parpadeo y movimiento), en comparación con una interfaz sin

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

dichos elementos, tiene un efecto sobre la carga cognitiva externa experimentada por los usuarios durante la ejecución de una tarea de aprendizaje inmersiva.

8.3. Hipótesis

Se formularon las siguientes hipótesis de investigación con el fin de ser contrastadas estadísticamente:

- H1: Existe una diferencia estadísticamente significativa en las medidas de carga cognitiva externa entre los grupos que utilizan interfaces con elementos visuales (color, contigüidad espacial, parpadeo y movimiento) y el grupo control (sin elementos visuales).
- H2: Las medidas de carga cognitiva externa serán significativamente menores en los grupos que utilicen interfaces con elementos visuales en comparación con el grupo control, lo que indicaría un efecto positivo de dichos elementos en la optimización del procesamiento cognitivo de la información.

8.4. Diseño experimental

El experimento se estructuró como un estudio cuasi experimental, prospectivo y transversal, con un diseño unifactorial de grupos independientes. Se trabajó con cuatro grupos de participantes, asignados aleatoriamente, donde cada grupo fue expuesto a una versión diferente de una IGU diseñada para un entorno de RM.

Los grupos se diferenciaron únicamente por el tipo de tratamiento visual implementado en la interfaz:

- Grupo 1 (control): interfaz sin elementos visuales adicionales.
- Grupo 2: interfaz con elemento de color y contigüidad.
- Grupo 3: interfaz con color, contigüidad y movimiento.
- Grupo 4: interfaz con color, contigüidad y movimiento.

Todas las interfaces compartían la misma estructura base y contenido informativo. El

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

único elemento diferenciador era el estímulo visual añadido, que fue diseñado con base en los principios de atención visual y carga cognitiva reportados en la literatura revisada durante la fase 1 del proyecto.

8.5. Participantes

La muestra estuvo compuesta por 80 estudiantes universitarios del programa de Diseño Industrial de la Universidad Industrial de Santander. Los participantes fueron seleccionados por conveniencia, asegurando el cumplimiento de los siguientes criterios: tener entre 20 y 25 años, estar cursando entre quinto y décimo semestre, residir en el área metropolitana de Bucaramanga y no poseer conocimientos previos sobre el tema de entrenamiento procedimental presentado en la interfaz. Adicionalmente, se verificó que los participantes no presentaran deterioro cognitivo ni condiciones visuales que pudieran comprometer la calidad de los datos obtenidos mediante seguimiento ocular.

El tamaño de la muestra fue definido con base en una revisión de estudios experimentales previos en entornos de Realidad Aumentada y Mixta, donde se ha reportado que incluso con muestras reducidas (entre 6 y 10 participantes por estímulo) es posible obtener tendencias significativas y datos confiables respecto a carga cognitiva y atención visual (por ejemplo: Björn de Koning et al., 2007; Renner & Pfeiffer, 2017; Strzys et al., 2018). No obstante, con el objetivo de fortalecer la robustez del análisis estadístico y aumentar la representatividad, en esta investigación se optó por 20 participantes por condición experimental, lo cual permite un análisis comparativo más equilibrado entre tratamientos y favorece la observación de efectos diferenciales entre los elementos visuales evaluados.

Esta decisión responde también a la necesidad de garantizar mayor variabilidad individual en los patrones de atención, minimizando el riesgo de sesgo y aumentando la generalizabilidad de los hallazgos en contextos de entrenamiento procedimental en interfaces inmersivas.

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

8.5.1. Perfil de los participantes

8.5.1.1. Criterios de inclusión y exclusión

- Criterios de inclusión:
 - Estudiantes activos del programa de Diseño Industrial.
 - Edad entre 18 y 35 años.
 - Sin formación previa relacionada al entrenamiento procedimental.
- Criterios de exclusión:
 - Participantes menores de 18 o mayores de 35 años.
 - Personas con baja visión, daltonismo o tonalidades de iris incompatibles con el sistema de eye-tracking.
 - Diagnósticos de condiciones neurológicas o cognitivas como Parkinson, Alzheimer o trastornos del espectro autista.
 - Patologías que comprometan habilidades motoras o sensoriales.

8.5.1.2. Asignación a los grupos experimentales

Los participantes fueron asignados de forma aleatoria a los cuatro grupos experimentales, con una distribución de 20 personas por grupo. Cada grupo fue expuesto a una interfaz distinta, según el tipo de estímulo visual correspondiente al tratamiento experimental asignado.

8.6. Variables del estudio

Para responder a las hipótesis planteadas, se definieron las siguientes variables, agrupadas en independientes (**Tabla 4**) y dependientes (**Tabla 5**), con su respectiva descripción e instrumento de medición.

8.6.1. Variable independiente

Tabla 4 Variable independiente

Nombre	Descripción	Instrumento / Unidad de medición
Tipo de elemento visual	Tipo de estímulo visual implementado en la interfaz. Cinco niveles: sin elementos, color, parpadeo, movimiento.	Interfaz de realidad mixta en HoloLens 2 + Gafas SMI ETG

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

8.6.2. Variables dependientes

Tabla 5 Variables independientes

Nombre	Descripción	Instrumento / Unidad de medición
Duración de fijaciones	Tiempo (ms) durante el cual la mirada permanece fija en un punto.	Gafas SMI ETG + Software BeGaze
Número de fijaciones	Total de fijaciones realizadas durante la actividad.	Gafas SMI ETG + Software BeGaze
Número de sacadas	Total de movimientos oculares rápidos entre fijaciones.	Gafas SMI ETG + Software BeGaze
Tiempo de finalización	Duración total (segundos) para completar la tarea.	Registro manual / Software BeGaze
Número de aciertos	Cantidad de estructuras anatómicas correctamente identificadas.	Lista de verificación / Actividad práctica
Carga cognitiva subjetiva	Percepción del esfuerzo mental durante la tarea.	Escala de Klepsch + ítems de Cierniak (Likert 6p)
Carga cognitiva externa	Percepción del esfuerzo mental durante la tarea.	Escala de Klepsch + ítems de Cierniak (Likert 6p)

8.7. Diseño de los estímulos visuales

La actividad se diseñó con base en el proceso para realización de Frotis Sanguíneo (Fernández Algarra, 2009). Se realizó una síntesis de información y se diseñó la interfaz para ser presentada en un entorno de Realidad Mixta mediante pantallas adaptadas. En la **Figura 9** a continuación se muestra el diseño de la interfaz base, que no presenta ninguno de los elementos visuales.

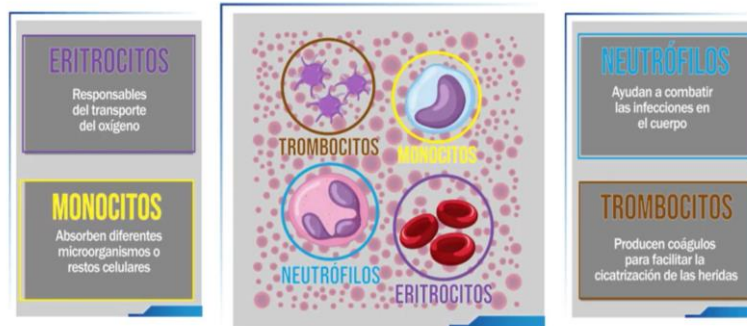
Figura 9 Interfaz sin elementos visuales



En la **Figura 10** a continuación se muestra la pantalla siguiente con elementos de color y contigüidad espacial.

Figura 10 Interfaz con los elementos color y contigüidad espacial

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM



Los cuatro tratamientos experimentales se diferenciaron únicamente por el tipo de elemento visual incorporado, manteniendo constante el contenido base y la estructura general.

8.8. Instrumentos aplicados

Durante la actividad experimental, se utilizaron los siguientes instrumentos:

- Gafas SMI ETG + Software BeGaze: para capturar métricas de atención visual mediante seguimiento ocular, estas gafas permiten la captación de datos de seguimiento ocular (fijaciones y sacadas) con el fin de comparar de forma objetiva las métricas relacionadas con la carga cognitiva y el direccionamiento de atención.
- Gafas HoloLens 2: para la visualización de los estímulos aumentados.
- Prueba de conocimiento previo: 2 ítems en escala Likert (1 a 5) sobre el nivel de conocimiento del procedimiento.
- Actividad práctica relacionada con el entrenamiento procedimental.
- Prueba de retención: validación del conocimiento adquirido.
- Escala de carga cognitiva percibida: basada en (Klepsch et al., 2017) y (Cierniak et al., 2009).

8.9. Procedimiento experimental

El protocolo experimental se desarrolló en sesiones individuales presenciales con una duración aproximada de 50 minutos por participante. La ejecución de la prueba se dividió en tres momentos: antes, durante y después de la visualización del estímulo inmersivo.

8.9.1. Antes de la prueba

Previo al inicio de la prueba, se proporcionó información detallada del estudio y se solicitó a cada participante firmar el consentimiento informado. Luego se aplicaron dos instrumentos de entrada:

- Test de conocimiento previo: compuesto por dos preguntas tipo Likert (escala de 1 a 5), que indagaban sobre el nivel de familiaridad del participante con el procedimiento de frotis sanguíneo, las preguntas se muestran en la **Tabla 6**. Este test permitió posteriormente la comparación con el postest proporcionando información sobre el aprendizaje del procedimiento.

Tabla 6 Preguntas test conocimiento previo

Ítem	Pregunta
1	¿Qué nivel de conocimiento considera que tiene sobre el procedimiento para la realización de frotis sanguíneo?
2	¿Ha realizado un frotis sanguíneo?

Luego de aplicar los instrumentos, se colocaron las gafas SMI ETG y se realizó la calibración de seguimiento visual de tres puntos. A continuación, se instalaron las HoloLens 2, se activó la interfaz correspondiente al grupo experimental, y se inició la grabación de datos oculares.

8.9.2. Durante la prueba

Durante esta fase, el participante exploró la interfaz de manera autónoma, observando las pantallas informativas sobre el procedimiento. Las pantallas se diseñaron con base en un protocolo clínico y presentaban información textual acompañada por indicaciones para la parte práctica de la prueba y gráficos, con variaciones según el tratamiento visual asignado.

Tras finalizar la visualización de la primera pantalla, los participantes debían realizar el frotis sanguíneo con portaobjetos y sangre falsa. **Figura 11**: Realización de frotis.

Figura 11 Desarrollo de actividad práctica en la prueba

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM



Posteriormente, en la segunda pantalla se visualizaba algunas de las células que se podrían ver en el análisis de la sangre, junto con sus funciones principales.

8.9.3. Después de la prueba

Luego de completar la actividad, se aplicaron los siguientes instrumentos de salida:

Prueba de retención de información





El test constaba de tres preguntas, la más relevante consistía en emparejar la célula con su función. Se muestra en la **Figura 12** el test aplicado. Este test permitió posteriormente la comparación con el test de conocimiento previo proporcionando información sobre el aprendizaje del procedimiento.

Figura 12 Test de retención de conocimiento

TEST DE RETENCIÓN DE CONOCIMIENTO

1. ¿Alguna vez ha realizado un frotis sanguíneo? Sí__No__

2. Por favor empareje cada célula con su respectiva función:

	Trombocitos	Responsables del transporte del oxígeno.
	Eritrocitos	Absorben diferentes microorganismos o restos celulares.
	Monocitos	Ayudan a combatir las infecciones del cuerpo.
	Neutrófilos	Producen coágulos para facilitar la cicatrización de las heridas.

Escala de carga cognitiva percibida (Klepsch et al., 2017 + Cierniak, 2009)

Escala tipo Likert de 1 a 6 mostrada en la **Tabla 7** (1 = Totalmente en desacuerdo, 6 = Totalmente de acuerdo). Esta escala permite determinar la Carga Cognitiva percibida por los

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

aprendices al enfrentar un entorno de entrenamiento procedimental.

Tabla 7 Escala de carga cognitiva percibida

Ítem	Enunciado
1	Para esta tarea fue necesario tener en cuenta muchas cosas al mismo tiempo.
2	Hice un esfuerzo, no solo para comprender varios detalles, sino para comprender el contexto general.
3	Me costó esfuerzo mental comprender el contenido de esta tarea.
4	Me sentí sobrecargado de información durante el desarrollo de la tarea.
5	Me resultó difícil concentrarme en la información que se presentaba.
6	En algunos momentos me sentí confundido sobre lo que debía hacer.
7	La tarea requirió toda mi capacidad de atención.
8	Me sentí exigido mentalmente al realizar esta actividad.
9	Me resultó difícil recordar toda la información que se me presentó.
10	Considero que esta tarea fue cognitivamente demandante.

8.10. Análisis de datos

El análisis estadístico se estructuró con base en el objetivo principal del estudio: determinar si la implementación de distintos elementos visuales (color, contigüidad, movimiento y parpadeo) en interfaces gráficas de usuario influye significativamente en diversas métricas de carga cognitiva y atención visual, en comparación con una interfaz base sin dichos elementos. Por esta razón, se estableció un enfoque de comparaciones por pares entre el grupo control (T1) y cada uno de los grupos experimentales (T2, T3, T4).

Para cada comparación y variable dependiente, se aplicaron pruebas estadísticas específicas, en función del cumplimiento de los supuestos de normalidad y homogeneidad:

- Se aplicó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk (Shapiro & Wilk, 1965) para cada grupo, con un nivel de significancia del 5% ($p < 0.05$).
- Se evaluó la homogeneidad de varianzas mediante el estadístico de Levene (Levene, 1961), también con un nivel de significancia del 5%.
- Si ambos supuestos se cumplían, se aplicó la prueba t de Student (Hernández Sampieri et al., 2014) para muestras independientes.
- Si no se cumplía alguno de los supuestos, se aplicó la prueba no paramétrica de Mann-Whitney U (Mann & Whitney, 1947).

El análisis se realizó por variable dependiente, con un total de seis métricas evaluadas: duración de fijaciones, número de fijaciones, número de sacadas, puntaje de retención, carga

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

cognitiva percibida y carga cognitiva externa (Cierniak et al., 2009; Klepsch et al., 2017). En todos los casos, se consideró como estadísticamente significativo un valor de $p < 0.05$.

En la **Tabla 8** a continuación se muestra la estructura del análisis.

Tabla 8 Análisis aplicados

Etapa del análisis	Descripción
Estadísticos descriptivos	Se analizó la media y la desviación estándar de las variables por tratamiento.
Verificación de normalidad	Se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk en cada grupo para determinar si la variable seguía una distribución normal.
Verificación de homogeneidad de varianzas	Se aplicó la prueba de Levene entre los dos grupos para comprobar si las varianzas eran homogéneas.
Selección de prueba inferencial	Si ambas condiciones se cumplían, se aplicó la prueba t de Student. En caso contrario, se utilizó la prueba no paramétrica de Mann-Whitney U.

Este enfoque metodológico asegura que cada comparación se adapte a las características estadísticas de los datos, maximizando la validez de los resultados. A continuación, se presentan los análisis correspondientes.

8.10.1. Primera comparación T1(Base) vs T2 (Color y contigüidad)

Estadísticos descriptivos

Tabla 9 Estadísticos Descriptivos Primera Comparación

Variable	Base (M ± DE)	Color (M ± DE)
Edad (años)	23.70 ± 4.00	21.50 ± 3.68
Número de fijaciones	731.60 ± 151.95	625.00 ± 188.91
Número de sacadas	688.55 ± 155.85	584.50 ± 185.38
Duración de fijaciones (ms)	2986.34 ± 361.81	2860.18 ± 266.40
Retención del conocimiento	4.40 ± 0.88	4.75 ± 0.64
Carga cognitiva percibida	31.40 ± 5.58	29.85 ± 4.61
Carga cognitiva externa	8.55 ± 3.02	6.60 ± 2.62

Los datos descriptivos mostrados en la **Tabla 9** reflejan que el grupo Color (T2) obtuvo en promedio mayor puntaje en retención del conocimiento, y mostró menores niveles de carga cognitiva (percibida y externa) en comparación con el grupo Base. También se observó un menor número de fijaciones y sacadas, lo que podría sugerir un procesamiento visual más eficiente. A continuación, se verificará la significancia de estas diferencias mediante análisis estadístico.

Comparaciones

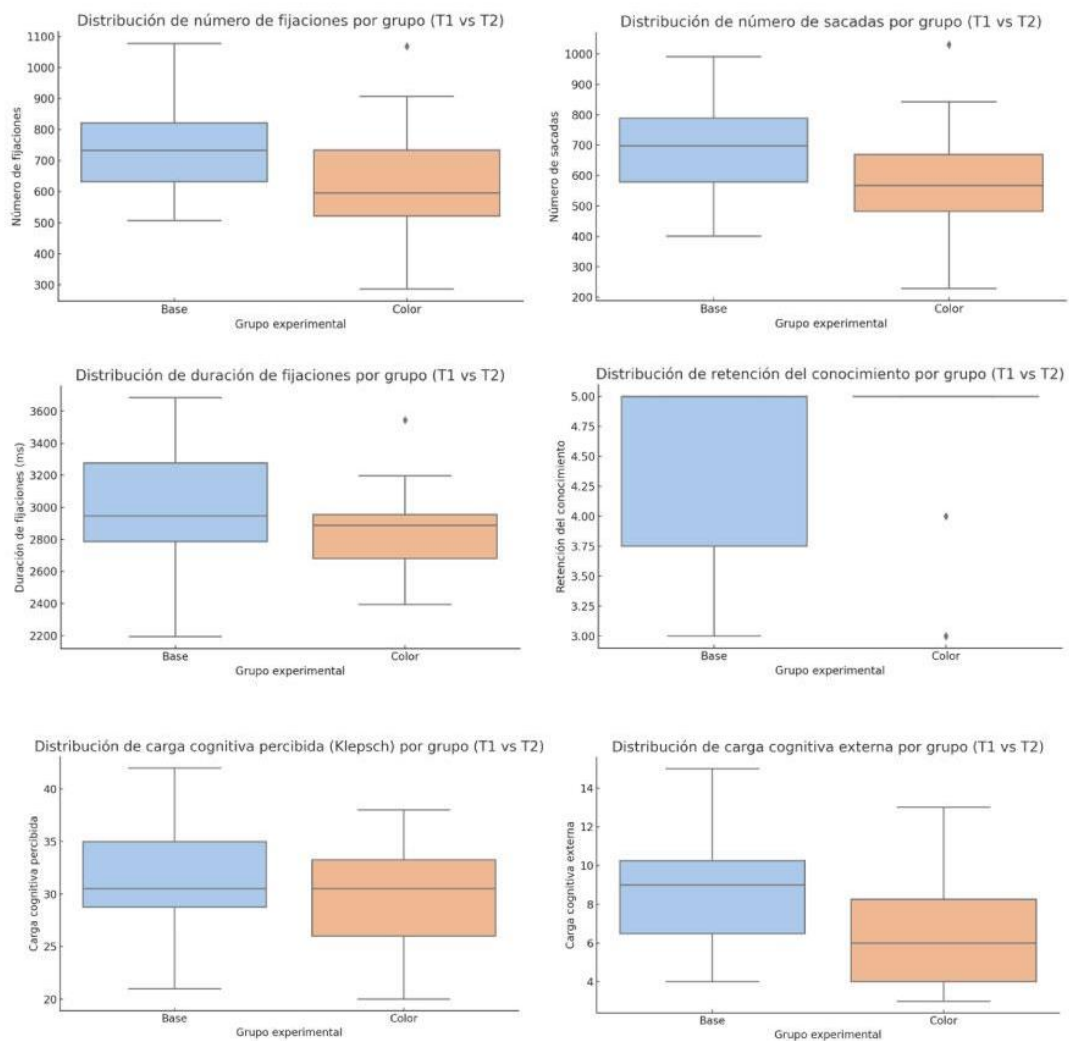
En la **Tabla 10** se muestra el resumen de las comparaciones entre los tratamientos T1 y T2 y la **Figura 13** muestran la distribución de los datos en los gráficos de cajas y bigotes.

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

Tabla 10 Comparaciones entre T1 y T2

Variable	Normalidad T1 (p)	Normalidad T2 (p)	Homogeneidad (p)	Prueba aplicada	p Comparación	Diferencia significativa
Número de fijaciones	0.4688	0.7770	0.6669	t de Student	0.0566	No (tendencia cercana)
Número de sacadas	0.8135	0.9381	0.7409	t de Student	0.0622	No (tendencia cercana)
Duración de fijaciones (ms)	0.9877	0.5557	0.1536	t de Student	0.2169	No
Retención del conocimiento	0.0000	0.0000	0.1590	U Mann-Whitney	0.1528	No
Carga cognitiva percibida	0.7809	0.6860	0.5623	t de Student	0.3443	No
Carga cognitiva externa	0.4092	0.1239	0.4184	t de Student	0.0354	Sí

Figura 13 Gráficos de cajas y bigotes de la comparación entre las variables dependientes de T1 y T2



En el análisis comparativo entre el grupo control (T1) y el grupo intervenido con tratamiento visual de color (T2), se observaron tendencias positivas en las variables de

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

comportamiento visual y carga cognitiva, aunque en la mayoría de los casos no se alcanzó significancia estadística, salvo en una.

- Número de fijaciones: No se encontraron diferencias significativas ($p = 0.0566$), pero los datos sugieren una tendencia hacia una menor cantidad de fijaciones en el grupo T2, lo que podría indicar una exploración visual más eficiente inducida por el color.
- Número de sacadas: Tampoco se hallaron diferencias significativas ($p = 0.0622$), aunque el grupo con color mostró una mediana levemente inferior, lo que sugiere un posible patrón de escaneo visual más controlado.
- Duración de fijaciones: No se observaron efectos significativos ($p = 0.2169$). Las distribuciones fueron similares entre grupos, aunque T2 presentó una leve reducción en la duración media.
- Retención del conocimiento: Los datos no mostraron diferencias significativas ($p = 0.1528$), pese a una mediana ligeramente mayor en el grupo con color. La alta concentración de puntajes iguales en uno de los grupos redujo la sensibilidad estadística.
- Carga cognitiva percibida: No se encontraron diferencias significativas ($p = 0.3443$). Ambos grupos presentaron patrones similares, con una ligera disminución en T2 que no alcanzó relevancia estadística.
- Carga cognitiva externa: Fue la única variable con diferencia significativa ($p = 0.0354$). El grupo T2 mostró una menor carga cognitiva externa, lo que sugiere que el uso de color ayudó a organizar mejor la información y facilitó el procesamiento visual durante el entrenamiento.

8.10.2. Segunda comparación T1(Base) vs T3 (Movimiento, Color y contigüidad)

Estadísticos descriptivos

Tabla 11 Estadísticos Descriptivos Segunda Comparación

Variable	T1 (Base)	T3 (Movimiento)
----------	-----------	-----------------

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

Edad (años)	23.70 ± 4.00	21.30 ± 2.56
Retención del conocimiento	4.40 ± 0.88	4.55 ± 0.94
Número de fijaciones	731.60 ± 151.95	651.95 ± 160.14
Número de sacadas	688.55 ± 155.85	598.15 ± 149.80
Duración de fijaciones (ms)	2986.34 ± 361.81	3100.03 ± 280.06
Carga cognitiva percibida	31.40 ± 5.58	27.95 ± 3.99
Carga cognitiva externa	8.55 ± 3.02	5.90 ± 1.77

El grupo Movimiento (T3) mostró en promedio menor carga cognitiva (percibida y externa), así como menos fijaciones y sacadas, lo que podría sugerir un procesamiento visual más eficiente. Además, se observa un leve aumento en la duración de fijaciones y una retención del conocimiento algo mayor. Procederemos a verificar estadísticamente estas observaciones variable por variable.

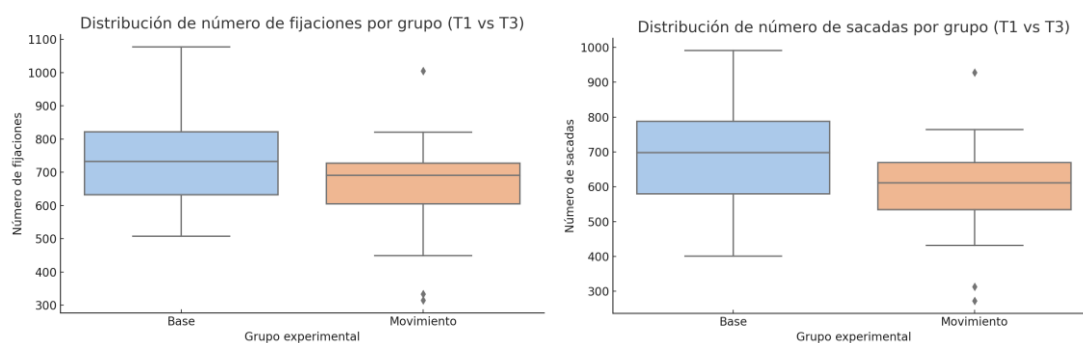
Comparaciones

En la **Tabla 12** se muestra el resumen de las comparaciones entre los tratamientos T1 y T3 y la **Figura 14** muestran la distribución de los datos en los gráficos de cajas y bigotes.

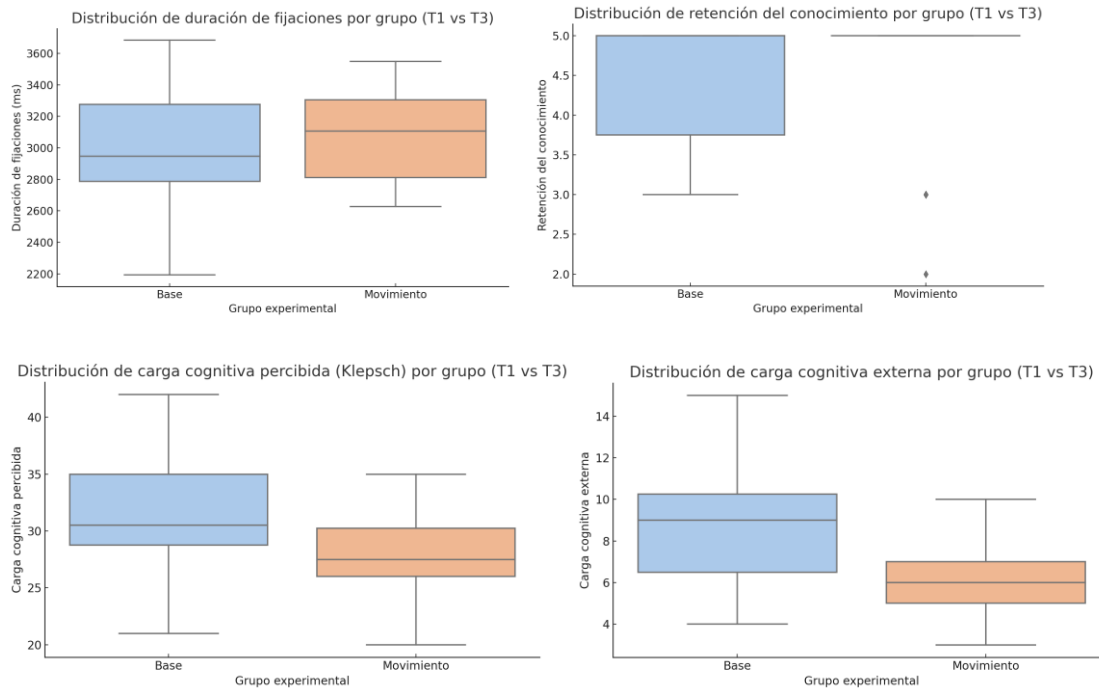
Tabla 12 Comparaciones entre T1 y T3

Variable	Normalidad T1 (p)	Normalidad T3 (p)	Homogeneidad (p)	Prueba aplicada	p Comparación	Diferencia significativa
Número de fijaciones	0.4688	0.1484	0.6371	t de Student	0.1149	No
Número de sacadas	0.8135	0.4502	0.5789	t de Student	0.0692	No (tendencia cercana)
Duración de fijaciones	0.9877	0.2254	0.3197	t de Student	0.2735	No
Retención del conocimiento	0.0000	0.0000	0.6068	U Mann-Whitney	0.4261	No
Carga cognitiva percibida	0.7809	0.8384	0.1621	t de Student	0.0303	Sí
Carga cognitiva externa	0.4092	0.0729	0.0134	Mann-Whitney U	0.0059	Sí

Figura 14 Gráficos de cajas y bigotes de la comparación entre las variables dependientes de T1 y T3



CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM



La comparación entre el grupo control (T1) y el grupo intervenido con elementos visuales en movimiento (T3) permitió identificar tendencias favorables en varias variables, con diferencias estadísticamente significativas en dos de ellas: carga cognitiva percibida y carga cognitiva externa.

- Número de fijaciones: No se hallaron diferencias significativas ($p = 0.1149$), aunque se evidenció una tendencia hacia una menor cantidad de fijaciones en el grupo T3, lo que sugiere un posible efecto del movimiento sobre la eficiencia del escaneo visual.
- Número de sacadas: El resultado fue cercano al umbral de significancia ($p = 0.0692$), con una mediana y dispersión inferiores en el grupo T3, lo que podría indicar una exploración visual más controlada inducida por el movimiento.
- Duración de fijaciones: No se encontraron diferencias significativas ($p = 0.2735$). Las distribuciones fueron similares entre grupos, con una ligera elevación de la mediana en T3, sin implicaciones concluyentes.
- Retención del conocimiento: No hubo diferencias significativas ($p = 0.4261$). Aunque el grupo T3 presentó una mediana ligeramente superior, la alta concentración de

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

puntajes cercanos al máximo dificultó la detección de efectos, posiblemente debido a un efecto de techo.

- Carga cognitiva percibida: Se encontró una diferencia estadísticamente significativa ($p = 0.0303$), con valores más bajos en el grupo T3. Esto sugiere que el uso de movimiento visual redujo la percepción subjetiva del esfuerzo mental requerido por la tarea.
- Carga cognitiva externa: También se observó una diferencia significativa ($p = 0.0059$), favorable al grupo T3. Los participantes con estímulos en movimiento reportaron una carga cognitiva externa menor, lo cual indica que esta técnica puede facilitar el procesamiento de la información en contextos inmersivos.

8.10.3. Tercera comparación T1(Base) vs T4 (Parpadeo, Color y contigüidad)

Estadísticos descriptivos Tercera Comparación

Tabla 13 Estadísticos Descriptivos Tercera Comparación

Variable	T1 (Base)	T4 (Parpadeo)
Edad (años)	23.70 ± 4.00	22.65 ± 5.04
Retención del conocimiento	4.40 ± 0.88	4.70 ± 0.73
Número de fijaciones	731.60 ± 151.95	587.10 ± 164.65
Número de sacadas	688.55 ± 155.85	543.75 ± 151.76
Duración de fijaciones (ms)	2986.34 ± 361.81	2913.55 ± 216.59
Carga cognitiva percibida	31.40 ± 5.58	31.20 ± 4.70
Carga cognitiva externa	8.55 ± 3.02	7.50 ± 2.40

Según los datos mostrados en la **Tabla 13**, en promedio el grupo T4 (Parpadeo) mostró una reducción en las medidas de atención visual (fijaciones y sacadas) y en la carga cognitiva externa, mientras que la retención del conocimiento fue ligeramente superior respecto al grupo Base. La carga cognitiva percibida fue prácticamente igual en ambos grupos. A continuación, verificaremos estas observaciones a través del análisis estadístico variable por variable.

Comparaciones

En la **Tabla 14** se muestra el resumen de las comparaciones entre los tratamientos T1 y T3 y la **Figura 15** muestran la distribución de los datos en los gráficos de cajas y bigotes.

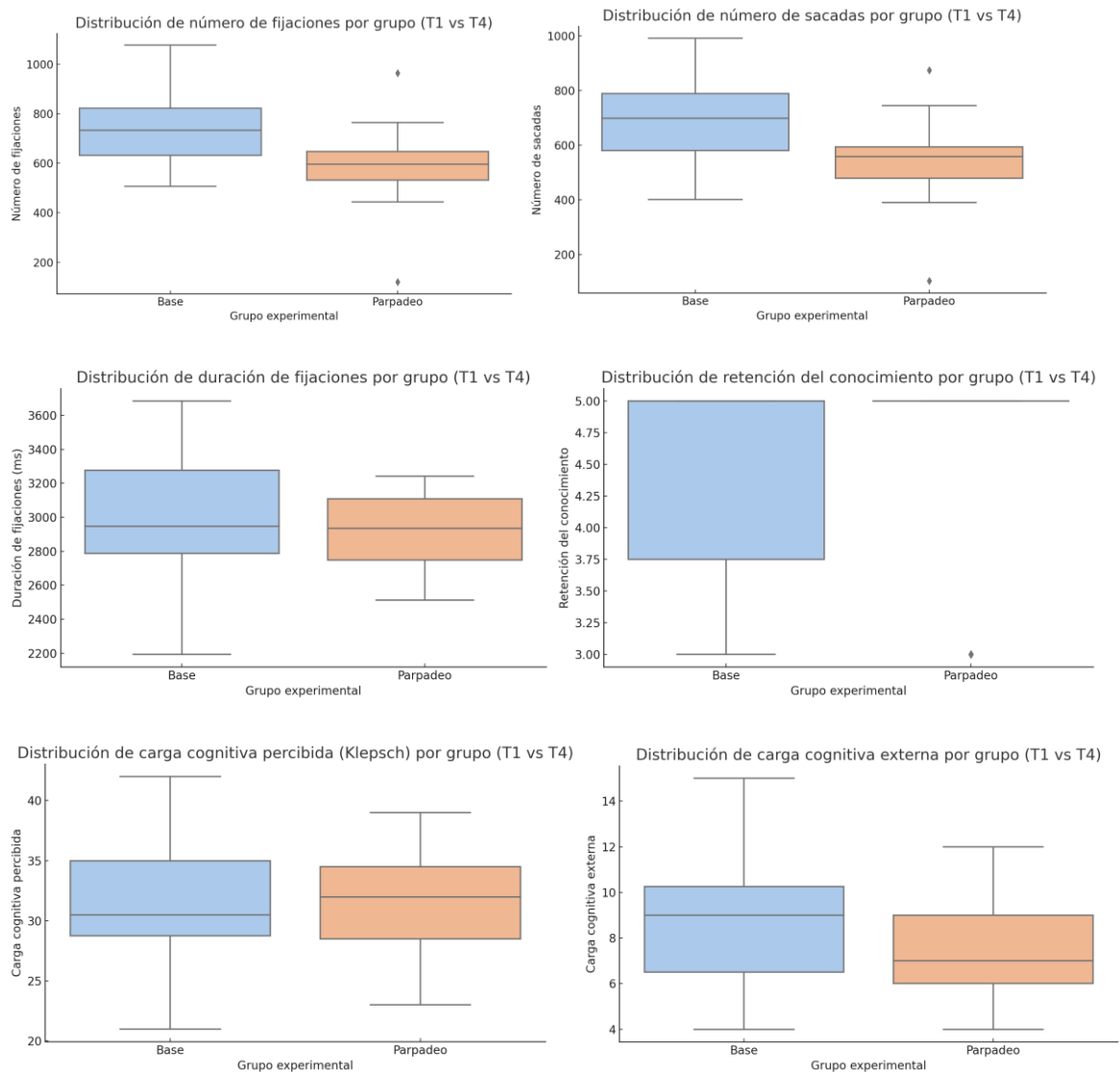
Tabla 14 Comparaciones entre T1 y T4

Variable	Normalidad T1 (p)	Normalidad T4 (p)	Homogeneidad (p)	Prueba aplicada	p Comparación	Diferencia significativa
----------	-------------------	-------------------	------------------	-----------------	---------------	--------------------------

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

Número de fijaciones	0.4688	0.0413	0.5167	U Mann-Whitney	0.0068	Sí
Número de sacadas	0.8135	0.0540	0.4281	t de Student	0.0050	Sí
Duración de fijaciones [ms]	0.9877	0.5643	0.0524	t de Student	0.4449	No
Retención del conocimiento	0.0000	0.0000	0.2494	UMann-Whitney	0.1911	No
Carga cognitiva percibida	0.7809	0.2164	0.6042	t de Student	0.903	No
Carga cognitiva externa	0.4092	0.2433	0.2874	t de Student	0.2304	No

Figura 15 Gráficos de cajas y bigotes de la comparación entre las variables dependientes de T1 y T4



La comparación entre el grupo control (T1) y el grupo intervenido con estímulo visual de parpadeo (T4) evidenció resultados estadísticamente significativos en las variables

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

relacionadas con el comportamiento visual, mientras que las variables asociadas a retención y carga cognitiva no mostraron diferencias significativas.

- Número de fijaciones: Se encontró una diferencia estadísticamente significativa ($p = 0.0068$), con un menor número de fijaciones en el grupo T4. Esto sugiere que el parpadeo podría favorecer un direccionamiento visual más eficiente, reduciendo la necesidad de múltiples fijaciones.
- Número de sacadas: También se observó una diferencia significativa ($p = 0.0050$), con valores más bajos en el grupo T4. Esta reducción indica una posible mejora en el enfoque visual, asociada a una menor necesidad de reorientación ocular.
- Duración de fijaciones: No se hallaron diferencias significativas ($p = 0.4449$). Las distribuciones fueron prácticamente iguales entre los grupos, indicando que el estímulo de parpadeo no afectó de forma relevante el tiempo medio de fijación.
- Retención del conocimiento: No se encontraron diferencias significativas ($p = 0.1911$), aunque se observó una leve tendencia hacia una mejor retención en T4. Sin embargo, el efecto de techo en las puntuaciones limitó la sensibilidad del análisis.
- Carga cognitiva percibida: El análisis no evidenció diferencias significativas ($p = 0.903$). Las distribuciones fueron casi idénticas, lo que sugiere que el parpadeo no modificó la percepción subjetiva del esfuerzo mental.
- Carga cognitiva externa: Tampoco se hallaron diferencias significativas ($p = 0.2304$). Aunque T4 presentó una mediana ligeramente inferior, el solapamiento entre rangos intercuartílicos fue amplio, lo que indica que el tratamiento no logró reducir consistentemente la carga externa bajo las condiciones experimentales.

8.10.4. Síntesis general de hallazgos del experimento

El experimento permitió evaluar comparativamente el efecto de tres elementos visuales—color, movimiento y parpadeo— en el comportamiento atencional, la carga cognitiva y la retención del conocimiento dentro de una tarea de entrenamiento procedimental en un entorno

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

de realidad mixta. Las comparaciones por pares con el grupo control (T1) revelaron efectos diferenciados según el tipo de tratamiento visual, aportando evidencia empírica sobre su potencial en el diseño de interfaces gráficas inmersivas.

En términos generales, el elemento de movimiento (T3) mostró el desempeño más consistente en cuanto a la reducción de carga cognitiva, con diferencias estadísticamente significativas tanto en la carga cognitiva percibida ($p = 0.0303$) como en la carga cognitiva externa ($p = 0.0059$). Estos hallazgos respaldan la hipótesis de que los estímulos dinámicos favorecen una organización más eficiente de la información, aliviando tanto el esfuerzo mental subjetivo como el procesamiento de estructuras visuales complejas.

Por su parte, el tratamiento de parpadeo (T4) generó efectos estadísticamente significativos en dos variables clave del comportamiento visual: número de fijaciones ($p = 0.0068$) y número de sacadas ($p = 0.0050$), indicando un direccionamiento atencional más eficaz y una reducción de movimientos oculares innecesarios. Estos resultados sugieren que el parpadeo puede funcionar como un estímulo de señalización efectivo en la focalización visual del usuario.

El uso de color (T2) mostró una diferencia significativa únicamente en la carga cognitiva externa ($p = 0.0354$), lo que sugiere que este elemento facilitó la organización perceptual de la interfaz y el acceso a la información relevante. Aunque no se obtuvieron diferencias significativas en las variables atencionales, los valores de p cercanos al umbral en fijaciones ($p = 0.0566$) y sacadas ($p = 0.0622$) evidencian una tendencia positiva que refuerza su utilidad.

No obstante, cabe resaltar que ninguno de los tratamientos generó efectos significativos sobre la retención del conocimiento, lo cual indica que, si bien los elementos visuales mejoran la eficiencia atencional y reducen la carga cognitiva, su impacto directo en el aprendizaje declarativo no fue concluyente en este contexto. Asimismo, la duración promedio de las

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

fijaciones se mantuvo estable entre los grupos, sin variaciones significativas, lo que sugiere que el tiempo que los usuarios permanecen fijando la mirada sobre un punto no se ve alterado sustancialmente por estos estímulos.

En conjunto, estos resultados destacan el potencial del movimiento y el parpadeo como estrategias efectivas de diseño atencional en las interfaces inmersivas para tareas de entrenamiento planteadas en este proyecto. Aunque el color también contribuye al procesamiento cognitivo, sus efectos parecen más vinculados a la carga externa que a los patrones visuales. Estos hallazgos apoyan la idea de que una configuración estratégica y combinada de elementos visuales podría optimizar la experiencia del usuario en contextos de aprendizaje basado en realidad mixta, especialmente cuando se busca minimizar el esfuerzo cognitivo y mejorar la focalización atencional durante la ejecución de procedimientos.

8.11. Discusión de experimentación

Los resultados obtenidos en esta fase experimental ofrecen evidencia empírica sobre el impacto diferenciado de ciertos elementos visuales —color, movimiento y parpadeo— en la atención visual y la carga cognitiva durante entrenamientos procedimentales en entornos de realidad mixta (RM). Si bien no se identificaron efectos concluyentes sobre la retención del conocimiento, los hallazgos refuerzan la importancia del diseño visual en la optimización del procesamiento cognitivo en interfaces gráficas de usuario (IGU).

Uno de los principales aportes de este estudio fue confirmar que el movimiento como estímulo visual dinámico pudo, en este escenario, reducir significativamente tanto la carga cognitiva percibida como la carga cognitiva externa. Esta evidencia coincide con lo planteado por (Mayer & Moreno, 2003) quienes destacaron que las señales dinámicas, al captar la atención y organizar la información de manera secuencial, reducen la sobrecarga en la memoria de trabajo. Asimismo, autores como (Colliot & Jamet, 2020) han demostrado que el

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

movimiento dirigido puede actuar como señal visual eficaz para resaltar información crítica en entornos inmersivos, favoreciendo la orientación del usuario sin interferir con la tarea principal.

Por otro lado, el tratamiento con parpadeo generó efectos significativos sobre el número de fijaciones y sacadas, lo que indica una mejora en la eficiencia del escaneo visual. Este resultado se alinea con estudios como el de (Grogorick et al., 2018), donde el parpadeo fue eficaz para atraer la atención en zonas específicas sin interrumpir el flujo cognitivo. Sin embargo, su efecto no fue suficiente para impactar la carga cognitiva, lo que sugiere que esta técnica actúa a un nivel principalmente perceptual, sin generar reorganización significativa del procesamiento de la información.

El uso del color evidenció un efecto positivo sobre la carga cognitiva externa, lo cual es coherente con investigaciones previas que destacan el papel del color como facilitador del agrupamiento visual, la codificación y la orientación atencional (Brünken et al., 2010; Moon & Ryu, 2021). No obstante, su impacto no fue contundente en otras métricas, posiblemente debido a la familiaridad del usuario con este tipo de señalización o a la saturación visual del entorno inmersivo (Sweller et al., 2011b).

En cuanto a la retención del conocimiento, los tratamientos visuales no mostraron efectos significativos. Este resultado sugiere que, si bien los elementos visuales pueden facilitar la navegación y reducir la carga cognitiva, no necesariamente se traducen en una mejora directa en el aprendizaje declarativo, tal como lo advierten, (Sweller et al., 2019; van Merriënboer & Sweller, 2005) quienes subrayan que la carga cognitiva debe mantenerse en equilibrio con el tipo de conocimiento y la tarea instruccional para generar transferencias significativas.

Además, la duración de las fijaciones no se modificó de forma significativa en ninguno de los grupos, lo cual es consistente con estudios como los de (Jarodzka et al., 2013), quienes han señalado que esta métrica es menos sensible a intervenciones visuales puntuales y puede estar más relacionada con el tipo de contenido y la experiencia previa del usuario.

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

En términos metodológicos, el presente estudio hace una contribución directa a la literatura sobre el diseño de interfaces inmersivas, limitada estrictamente a su propio marco experimental, al integrar medidas objetivas de comportamiento visual (eye-tracking), métricas de carga cognitiva y pruebas de aprendizaje. Este enfoque, caracterizado por un diseño experimental con control riguroso de variables, responde a la necesidad señalada por (Makransky & Mayer, 2022) de evaluar tecnologías inmersivas no solo por su atractivo visual, sino por su impacto real en los procesos de atención y cognición.

En síntesis, los hallazgos son intrínsecos a la configuración de este experimento y su validez se restringe al diseño de interfaz específica estudiada. Estos resultados respaldan la idea de que el diseño visual estratégico en el contexto de nuestra interfaz puede reducir el esfuerzo mental y optimizar la exploración visual, especialmente en tareas de carácter procedimental. La implementación del movimiento y el parpadeo como herramientas de señalización visual se perfila como una línea de interés derivada de este estudio para futuros diseños instruccionales de IGU en entornos de RM. Por su parte, el color continúa siendo un recurso valioso para organizar visualmente la información, si bien en el contexto específico de esta investigación se demostró que su impacto depende del contexto y del tipo de tarea.

9. Desarrollo Fase 3.1 – Diseño

Esta fase metodológica tiene como propósito el diseño de una guía orientada a apoyar a diseñadores de interfaces gráficas de usuario (IGU) en la selección de elementos visuales que potencien la atención visual en entornos de realidad mixta. Para ello, se adopta el enfoque del Design Thinking (Berengueres, 2013), una metodología ampliamente reconocida por su capacidad para generar soluciones innovadoras centradas en el usuario.

El Design Thinking se define como una metodología de innovación que integra de manera sistemática factores humanos, técnicos y comerciales en la resolución de problemas y

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

la creación de soluciones. Este enfoque combina intuición, razonamiento lógico, imaginación y pensamiento sistémico para explorar nuevas posibilidades y desarrollar productos u objetos que respondan a las necesidades reales de los usuarios (Pombo, Fatima & Tschimmel, Katja, 2005).

A través de un enfoque colaborativo e interdisciplinario, esta metodología permite articular estrategias creativas y analíticas mediante cinco etapas clave: definir el problema, búsqueda de necesidades y síntesis, idear, prototipar y testear (Brenner & Uebernickel, 2016). Estas fases estructuran el proceso de diseño de la guía desarrollado en este capítulo.

La elección de Design Thinking responde a experiencias exitosas reportadas en investigaciones aplicadas al entrenamiento en realidad extendida y educación, donde su implementación ha permitido desarrollar entornos más intuitivos, motivadores y efectivos para el aprendizaje. En estos estudios, se evidenció un aumento en la familiaridad, desempeño y compromiso de los usuarios (Korn et al., 2019; Videnovik et al., 2019).

A continuación, se presenta en la **Figura 16** un esquema gráfico del abordaje metodológico de Design Thinking adoptado en esta investigación.

Figura 16 Abordaje metodológico de la etapa de diseño



Etapas del proceso:

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

- Definir el problema: se plantea el desafío central del diseño, delimitando el problema de forma amplia para abrir el espectro de soluciones posibles e incentivar la innovación.
- Detección de necesidades y síntesis: se identifican las necesidades del usuario, diferenciando entre necesidades explícitas y latentes. Esta fase busca descubrir aspectos que los propios usuarios podrían no identificar claramente, y que son clave para generar soluciones significativas.
- Idear: se generan ideas de alto valor mediante dinámicas de creatividad, principalmente lluvia de ideas. Estas propuestas se derivan de las fases previas de definición y comprensión de necesidades.
- Prototipar: se construyen representaciones tangibles de las posibles soluciones para su evaluación preliminar.
- Testear: en esta etapa se somete el prototipo a la valoración de los usuarios, con el fin de obtener retroalimentación para refinar la solución. Esta última fase será abordada en el siguiente apartado metodológico (3.2 Validación de la guía propuesta), aunque se presentará una breve introducción de su propósito.

A continuación, se describen las actividades desarrolladas y los principales resultados y aportes de cada actividad, para revisar el contenido completo de esta Fase, ir al **Apéndice E Desarrollo detallado de la guía mediante Design Thinking.**

9.5. Definición del problema

La primera etapa del proceso de diseño de la guía consistió en identificar con precisión el desafío central que enfrentan los diseñadores de interfaces gráficas en contextos de realidad mixta (RM). A partir del análisis del contexto tecnológico y educativo actual, se reconoció como necesidad principal orientar el diseño de elementos visuales que mejoren el direccionamiento atencional y disminuyan la carga cognitiva en entornos inmersivos tridimensionales, especialmente en tareas de entrenamiento procedimental.

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

Uno de los hallazgos clave de esta fase fue la identificación del reto que representa la dispersión de la atención visual en contextos de realidad aumentada, virtual o mixta, donde la abundancia de estímulos puede dificultar la focalización en información relevante. Esto planteó la necesidad de una herramienta que no solo contenga lineamientos técnicos, sino que apoye la toma de decisiones visuales desde una perspectiva cognitiva y funcional.

Para enriquecer la comprensión del problema, se realizó una observación estructurada en el Semillero de Investigación “Diseño Interactivo” de la Escuela de Diseño Industrial (UIS). Esta actividad, desarrollada en un entorno académico con estudiantes trabajando en el diseño de una interfaz gráfica para un videojuego, permitió identificar comportamientos, criterios de decisión visual y patrones de organización informativa que son trasladables a la configuración de interfaces en realidad mixta.

Entre los hallazgos más relevantes de la observación destacan:

- La necesidad de establecer jerarquías visuales claras para guiar la navegación del usuario.
- La tendencia a sobrecargar las pantallas con información simultánea, dificultando la atención dirigida.
- La importancia de considerar la funcionalidad y estética en conjunto, evitando decisiones visuales aisladas del flujo de uso.

Estos hallazgos permitieron fundamentar la formulación del problema de diseño, alineando el desarrollo de la guía con las necesidades reales y prácticas de los diseñadores. Se concluyó que una solución efectiva debe integrar conocimientos técnicos, principios de percepción visual y comprensión de los procesos cognitivos implicados en entornos inmersivos. En la **Figura 17** a continuación se muestra la actividad de observación.

Figura 17 Actividad de Observación



9.6. Detección de necesidades y síntesis

En esta etapa se identificaron y jerarquizaron las necesidades específicas de los diseñadores de interfaces gráficas de usuario (IGU) que operan en contextos de realidad mixta. A partir de técnicas cualitativas aplicadas con profesionales y estudiantes de diseño industrial, se obtuvo una visión integral sobre sus prácticas, desafíos y expectativas frente al uso de elementos visuales en entornos inmersivos.

Principales hallazgos por herramienta

- Focus Groups: permitieron detectar necesidades clave como evitar la sobrecarga cognitiva, jerarquizar la información en pantalla, adaptar las interfaces al tipo de usuario, y utilizar una taxonomía visual clara. Los participantes expresaron la necesidad de contar con una guía sencilla pero robusta, que les ofreciera definiciones, reglas de uso y recomendaciones aplicables en procesos reales de diseño.
- Perfil persona: a través del arquetipo “Diego Rodríguez” se consolidó un perfil meta que permitió mantener un enfoque empático durante el proceso. Este perfil sintetizó motivaciones, frustraciones y condiciones reales del diseñador, aportando una guía clara para orientar el lenguaje, estructura y profundidad del contenido.
- Business Origami: esta técnica participativa permitió observar cómo los diseñadores estructuran sus decisiones visuales mediante la simulación tangible de flujos de trabajo. Se evidenció que la guía debía entenderse no como un manual técnico, sino como un

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

recurso estratégico que acompaña el diseño desde las fases iniciales de ideación, ayudando a tomar decisiones informadas a lo largo del proceso. En la **Figura 18** se muestra el desarrollo de esta actividad.

Un hallazgo común fue que los diseñadores no abordan la configuración de elementos visuales como un paso aislado, sino como parte de una lógica integral de diseño centrado en el usuario y en la experiencia completa. Esto consolidó la necesidad de que la guía tuviera un enfoque holístico, integrando contenido técnico, práctico y estratégico.

Figura 18 Desarrollo Business Origami



En esta segunda etapa del enfoque de Design Thinking, se procedió a identificar las necesidades clave de los diseñadores de interfaces gráficas de usuario (IGU) que trabajan en entornos de realidad mixta (RM). El objetivo fue traducir sus percepciones, retos y expectativas en insumos estratégicos para el diseño de la guía.

Síntesis jerárquica de necesidades

Las necesidades identificadas fueron organizadas en tres niveles de prioridad, como se muestra en la **Tabla 15**, estableciendo así el núcleo conceptual sobre el cual se estructurará la guía:

Tabla 15 Necesidades y nivel de prioridad

Nivel de prioridad	Necesidades clave
Primarias (esenciales)	Definiciones claras; reglas específicas; flujo amigable; jerarquía informativa; factores a considerar; resultados esperados.
Secundarias (útiles)	Diseño centrado en el proceso; mentalidad de diseño; resumen para consulta rápida.
Terciarias (de apoyo)	Procesos comunes; secciones temáticas por área de conocimiento.

Traducción de necesidades a requerimientos funcionales

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

Las necesidades fueron sistematizadas y traducidas en 15 requerimientos funcionales (mostrados en la **Tabla 16**) que guiarán el diseño final de la guía. Entre los aspectos destacados se incluyen:

- La inclusión de una taxonomía clara de elementos visuales (color, contigüidad, parpadeo y movimiento).
- Ejemplos contextualizados y estrategias prácticas de aplicación.
- Lenguaje accesible, estructura navegable y visualización dinámica.
- Adaptabilidad del contenido según la experiencia del usuario.
- Información clara sobre resultados esperables al aplicar cada elemento visual.

Tabla 16 Requerimientos relacionados a la necesidad

Núm	Requerimiento
1	La guía proporciona definiciones claras de los EV (contigüidad, color, parpadeo, movimiento).
2	La guía permite visualizar ejemplos de los diferentes EV.
3	La guía proporciona información que pueda ser interpretada por el diseñador para lograr configurar EV en la IGU.
4	La guía muestra información clara y específica que permite la selección adecuada de los EV en la IGU.
5	La guía permite un correcto funcionamiento del sistema durante todo el proceso de consulta de los datos.
6	La guía permite al usuario interactuar con el contenido.
7	La guía utiliza un lenguaje sencillo y similar al del usuario, con expresiones y palabras que resultan familiares.
8	La guía proporciona información que permite realizar el proceso de configuración de EV en diferentes IGU.
9	La guía debe optimizar el uso de recursos del sistema, evitando retrocesos en el proceso.
10	La guía presenta una estructura de navegación jerárquica y sencilla.
11	La guía permite acceder rápidamente a la información necesaria para que el diseñador realice la configuración de EV.
12	La guía debe disponer de elementos (fuentes, menú, etc.) legibles para su uso y que permitan una navegación dinámica y rápida.
13	La guía debe permitir la finalización de la recopilación de información que permita la configuración de EV. con eficiencia.
14	La guía le permite al diseñador identificar las etapas del proceso de configuración de EV.
15	La guía proporciona información sobre los resultados que se pueden esperar de acuerdo al uso de EV.

Esta fase permitió construir una visión empática, técnica y estratégica de las condiciones reales del diseño de IGU en realidad mixta. Se identificaron no solo componentes conceptuales clave, sino también características prácticas necesarias para garantizar que la guía sea un recurso útil, aplicable y centrado en el usuario. La información obtenida nutre directamente la fase de ideación, aportando las bases para definir la forma, los contenidos y la lógica estructural de la solución propuesta.

9.7. Idear

En esta etapa se transformaron las necesidades identificadas en la fase anterior en propuestas concretas de solución. A través de sesiones de trabajo colaborativo con diseñadores

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

industriales y estudiantes avanzados, como se muestra en la **Figura 19**, se generaron ideas clave sobre el formato, la estructura y el enfoque funcional que debería tener la guía para apoyar la configuración de elementos visuales en interfaces de RM.

Figura 19 Sesión Lluvia de Ideas



La técnica principal utilizada fue la lluvia de ideas, desarrollada en dos sesiones de 90 minutos, en las que participaron cuatro diseñadores de la Universidad Industrial de Santander. Estas sesiones propiciaron un intercambio fluido de experiencias, conocimientos y expectativas que derivó en la consolidación de una visión compartida sobre la utilidad y aplicación de la guía.

Principales hallazgos conceptuales y funcionales

Las ideas generadas se agruparon en cinco ejes que orientaron el diseño posterior del recurso:

1. Formato digital e interfaz accesible: se propuso que la guía se desarrolle en una plataforma web intuitiva, de navegación jerárquica, con secciones claras y elementos visuales interactivos.

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

2. Integración con herramientas de desarrollo: se sugirió la posibilidad de convertir la guía en un plugin compatible con motores de desarrollo de realidad mixta, lo cual facilitaría su consulta durante el flujo real de trabajo.
3. Guía como proceso asistido, no solo repositorio: se enfatizó que la guía debía funcionar como un acompañante del proceso de diseño, permitiendo seleccionar elementos visuales con base en condiciones contextuales, no solo presentar definiciones.
4. Ejemplos aplicados y herramientas preconfiguradas: se consideró fundamental incluir casos de uso y estrategias listas para usar que sirvan como punto de partida en diferentes contextos de entrenamiento procedimental.
5. Adaptabilidad a perfiles de usuario: se destacó la importancia de que la guía pueda adaptarse a distintos niveles de experiencia (principiante, experto), roles (diseñador, educador) y necesidades específicas, para garantizar su utilidad transversal.

Estas ideas respondieron a las necesidades detectadas, y también ampliaron la visión funcional del producto, consolidando una base sólida para el prototipado posterior. La diversidad de aportes permitió visualizar la guía como una herramienta flexible, contextualizada y con posibilidades de expansión, centrada en mejorar la toma de decisiones visuales en el diseño de interfaces inmersivas.

9.8. Prototipar

La etapa de prototipado tuvo como propósito materializar las propuestas conceptuales generadas en la fase de ideación, con el fin de explorar y evaluar su viabilidad estructural antes de avanzar hacia el desarrollo digital de la guía. En esta instancia se construyó un prototipo de baja fidelidad en papel, mostrado en la **Figura 20**, lo que permitió representar de forma tangible la estructura general, los componentes visuales y la lógica de navegación esperada.

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

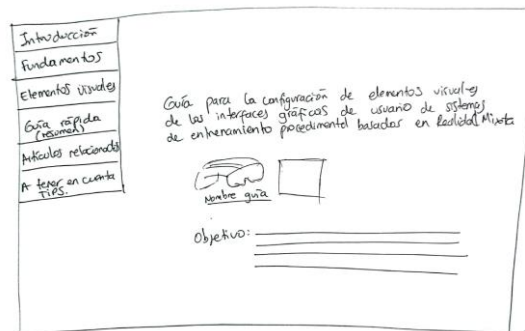
9.8.1. Características y objetivos del prototipo

El prototipo fue concebido como un boceto estructural dividido por secciones funcionales que reflejan la futura organización de la guía. Entre los elementos representados se incluyeron:

- Portada y menú de navegación
- Categorías principales: color, contigüidad, parpadeo y movimiento
- Apartados explicativos con definiciones, reglas de uso y criterios de aplicación
- Ejemplos ilustrativos y caminos de exploración para diferentes tipos de usuario

Este modelo físico permitió evaluar preliminarmente la claridad, jerarquía visual y secuencia del contenido, así como anticipar posibles problemas relacionados con la sobrecarga informativa, el orden lógico o la redundancia estructural.

Figura 20 Prototipo de papel



9.8.2. Principales hallazgos y decisiones

El uso del prototipo reveló varios aspectos clave:

- La disposición jerárquica de los contenidos fue valorada como intuitiva, lo que facilitó la localización rápida de secciones por parte de usuarios en pruebas informales.
- La segmentación temática por tipo de elemento visual fue percibida como útil para la consulta guiada y modular.
- Se identificaron oportunidades de mejora en la redacción de los apartados explicativos, particularmente en la simplificación del lenguaje técnico y la claridad de los ejemplos.

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

- Se confirmó la necesidad de incluir una sección de navegación rápida o resumen por tipo de tarea, aspecto que sería incorporado en las siguientes iteraciones del diseño.

En conjunto, el prototipo permitió consolidar una visión compartida del diseño final, facilitó la comunicación entre miembros del equipo y sirvió como base para la fase siguiente de testeo y validación digital. A partir de estas premisas se desarrollaron wireframes (mostrados en la **Figura 21** y **Figura 22**) para lograr una mejor claridad de cómo se iba a plantear la guía, representando la estructura inicial, la arquitectura de la información y la jerarquía visual en cuanto a títulos, subtítulos, contenidos, entre otros.

Figura 21 Wireframe Inicio

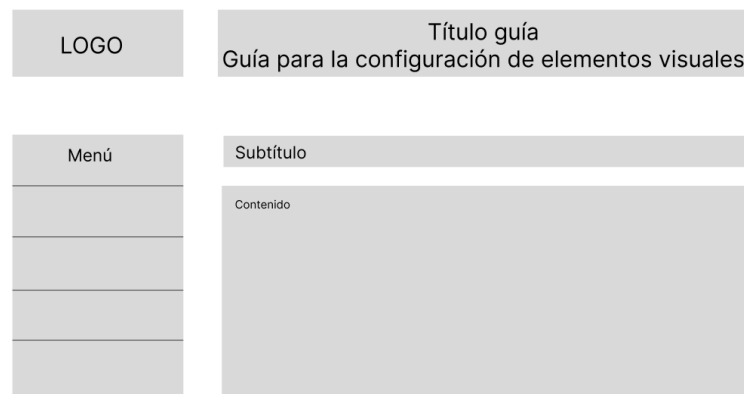
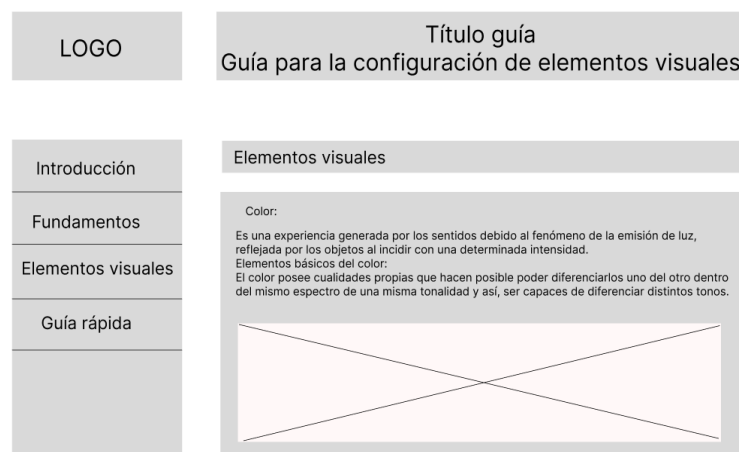


Figura 22 Wireframe Contenido



9.9. Testear

La fase de testeo representa el punto de retorno del proceso de Design Thinking hacia el usuario final, permitiendo confrontar las ideas prototipadas con la realidad de uso. Esta etapa

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

tiene como finalidad evaluar la viabilidad, claridad y funcionalidad de la solución propuesta, mediante pruebas con usuarios reales o expertos representativos del público objetivo.

En esta etapa, usuarios y actores clave interactúan con el prototipo, permitiendo validar las suposiciones realizadas durante el proceso y descubrir nuevos aspectos del problema. La retroalimentación obtenida se convierte en un insumo valioso tanto para la mejora del diseño como para el aprendizaje colectivo del equipo, facilitando una comprensión más profunda del desafío inicial.

Como parte de este proyecto, la fase de testeo se desarrolló como etapa final del proceso general de diseño de la guía, integrando los aprendizajes de todas las fases anteriores. En esta instancia se diseñó y presentó un prototipo digital funcional desarrollado en Figma, con el objetivo de evaluar no solo la estructura y contenido, sino también aspectos de usabilidad, navegabilidad y aplicabilidad en el contexto real de diseño de IGU.

Este prototipo fue sometido a pruebas con diseñadores gráficos e industriales con experiencia en diseño de interfaces, quienes interactuaron con la herramienta y brindaron retroalimentación cualitativa sobre su claridad, relevancia, funcionalidad y posibilidad de integración en procesos reales de trabajo. Las observaciones recopiladas durante esta fase permitieron identificar fortalezas y oportunidades de mejora, que serán clave en el desarrollo futuro de versiones refinadas y en su eventual implementación práctica.

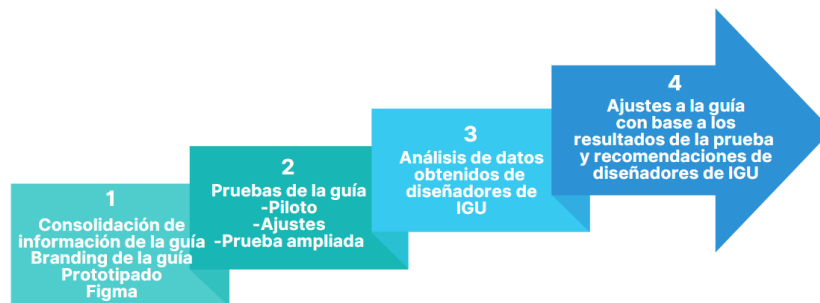
Cabe destacar que los resultados detallados de esta etapa, incluyendo el análisis de las pruebas, la retroalimentación de los participantes y los ajustes realizados a partir de esta evaluación, se desarrollan de forma amplia en la siguiente sección del documento (Desarrollo Fase 3.2 Validación de la guía propuesta).

10. Desarrollo Fase 3.2 - Prueba y refinamiento

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

La presente sección describe el proceso de validación de la guía diseñada para apoyar a diseñadores de interfaces gráficas de usuario (IGU) en la selección de elementos visuales que favorezcan la atención en entornos de realidad mixta. Esta fase correspondió al cierre metodológico del proyecto y se desarrolló en cuatro etapas consecutivas, combinando técnicas de prototipado, prueba con usuarios, análisis de datos y ajustes iterativos, el proceso de la fase se muestra en la **Figura 23**.

Figura 23 Desarrollo Fase 3.2



En la primera etapa, se elaboró un prototipo digital interactivo en Figma, tomando como base los insumos recopilados durante las fases anteriores del proceso de Design Thinking, así como los hallazgos experimentales de la Fase 2. Este prototipo incluyó los componentes fundamentales de la guía, su estructura visual, navegación y contenido preliminar. En paralelo, se diseñó el sistema de identidad visual (branding) de la guía, considerando aspectos como nombre, tipografía, paleta de colores, iconografía y estilo gráfico general, con el fin de asegurar coherencia comunicativa y funcionalidad visual.

La segunda etapa correspondió a la aplicación de pruebas con usuarios, dividida en dos momentos. Inicialmente, se implementó una prueba piloto con cuatro diseñadores de interfaces gráficas de usuario, quienes brindaron sugerencias sobre estructura, contenido y usabilidad. Con base en esta retroalimentación, se realizaron ajustes al prototipo y se diseñó una prueba ampliada. En esta fase extendida se contactaron 32 diseñadores, de los cuales 19 accedieron finalmente a participar. La prueba consistió en leer la guía, seleccionar los elementos visuales

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

que aplicarían a una interfaz gráfica básica y posteriormente responder una encuesta de evaluación sobre usabilidad y satisfacción percibida con la guía.

En la tercera etapa, se procedió al análisis de la información recopilada, integrando tanto los resultados de la encuesta como los patrones de uso observados en la prueba. Este análisis permitió identificar fortalezas, limitaciones y aspectos críticos que influían en la percepción y utilidad de la guía desde el punto de vista del usuario final.

Finalmente, en la cuarta etapa, se aplicaron una serie de ajustes y mejoras al prototipo, guiados por los resultados obtenidos y las recomendaciones de los diseñadores participantes. Estos cambios permitieron optimizar la experiencia de uso, afinar la navegación, fortalecer la claridad conceptual y reforzar la aplicabilidad de la guía a distintos contextos de diseño en realidad mixta.

10.5. Prototipado digital y desarrollo de branding

Como primer paso del proceso de validación, se desarrolló un prototipo funcional de la guía en formato digital, utilizando la herramienta Figma. Esta etapa tuvo como objetivo traducir el contenido esencial previamente sistematizado en una interfaz interactiva, accesible y visualmente coherente con las necesidades del público objetivo: diseñadores de interfaces gráficas de usuario (IGU) en contextos de realidad mixta.

10.5.1. Estructura del prototipo

El diseño se concibió como una página web tipo “onepage”, es decir, una única vista continua que agrupa todo el contenido sin enlaces que direccionen a otras secciones o subpáginas. Este formato facilita la navegación lineal, rápida y enfocada, eliminando fricciones en el acceso a la información, toda la información contenida en la guía se puede observar en el

Apéndice F Información de la guía.

El prototipo presenta los siguientes elementos principales:

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

- Encabezado fijo: Incluye el logotipo de la guía, titulado “RealMix”, posicionado en la parte superior izquierda de la pantalla.
- Menú de navegación anclado: Permite al usuario desplazarse rápidamente a secciones específicas de la guía; permanece visible mientras se navega.
- Efectos de interacción (Hover): Se implementó un efecto visual mediante el cual los elementos del menú cambian a color morado al pasar el puntero sobre ellos, sin necesidad de hacer clic. Esto aporta retroalimentación visual inmediata y mejora la experiencia de navegación. En la **Figura 24** se muestra el aspecto de la guía.

Figura 24 Guía Visual Prototipada en Figma



10.5.2. Lineamientos visuales y usabilidad

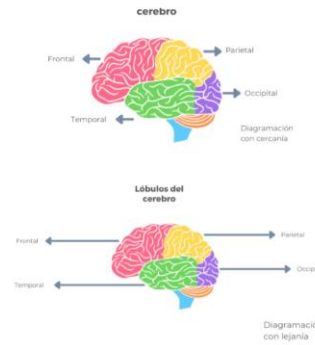
El diseño priorizó la claridad visual, la legibilidad y la accesibilidad, teniendo en cuenta los hallazgos de la fase de Detección de necesidades y síntesis. Para ello se definieron los siguientes criterios:

- Tipografía limpia y sin serifas, con alto contraste y tamaño adecuado para pantallas de escritorio.
- Uso de tablas, infografías e imágenes que apoyan el contenido textual y contribuyen a una comprensión más intuitiva.
- Estructura visual jerárquica que orienta al usuario a través del flujo de lectura sin distracciones innecesarias.

Otra sección de la guía se muestra en la **Figura 25**.

Figura 25 Guía de elementos visuales

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM



10.5.3. Desarrollo de Branding

De forma paralela al prototipo, se diseñó la identidad visual (branding) de la guía, lo cual incluyó:

- **Nombre:** RealMix, que alude a la naturaleza de la herramienta (realidad mixta + diseño visual).
- **Logotipo original:** Diseñado para representar de forma simbólica la integración entre tecnología y configuración, teniendo como principal elemento una llave de tuercas, como se muestra en la **Figura 26**.

Figura 26 Logo RealMix



- **Paleta cromática:** Tonos suaves de base neutra combinados con acentos morados y azulados para destacar acciones y elementos clave.
- **Estilo gráfico:** Consistente en todo el prototipo, con énfasis en la simplicidad, el profesionalismo y la facilidad de navegación.

10.6. Pruebas de la guía

Como parte de la tercera fase metodológica de este proyecto, se llevó a cabo un proceso de validación estructurado en cuatro partes, con el propósito de evaluar la funcionalidad, claridad y aplicabilidad de la guía diseñada para apoyar a diseñadores de interfaces gráficas en

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

la selección de elementos visuales. En primer lugar, se realizó una prueba piloto con cuatro diseñadores, la cual permitió identificar ajustes necesarios en el procedimiento y en el diseño de las tareas. Posteriormente, se aplicó una prueba extendida con una muestra más amplia de 19 diseñadores, quienes interactuaron con la guía aplicada a un nuevo caso (ensamble y limpieza de una aspiradora). A partir de estas experiencias, se recolectó información mediante formularios estructurados de evaluación, lo que dio paso a una tercera etapa de análisis de resultados, tanto cuantitativos como cualitativos. Finalmente, con base en la retroalimentación obtenida, se desarrollaron ajustes y mejoras finales en el prototipo de la guía, consolidando así una versión optimizada para su aplicación futura.

10.6.1. Validación con usuarios: Prueba piloto

Como parte del proceso de validación de la guía, se desarrolló una prueba piloto con diseñadores de interfaces gráficas de usuario (IGU), cuyo objetivo fue evaluar la claridad, funcionalidad y aplicabilidad de la guía en un contexto simulado de toma de decisiones. Esta etapa permitió anticipar posibles dificultades metodológicas y obtener retroalimentación preliminar que orientara el rediseño de la prueba extendida.

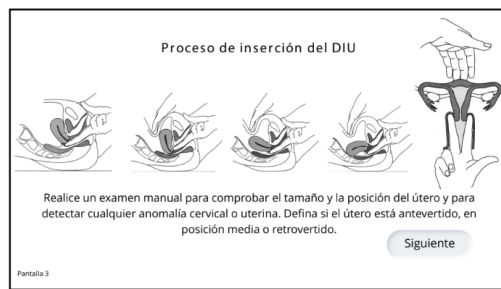
Diseño de la prueba piloto

La prueba fue estructurada en cinco pasos que los participantes debían desarrollar de forma remota, a partir de una interfaz básica y la versión digital de la guía diseñada en Figma.

1. Visualización de la interfaz base: Los participantes observaron una serie de pantallas que representaban los pasos del procedimiento de inserción de un Dispositivo Intrauterino (DIU), configuradas sin elementos visuales de apoyo. En la **Figura 27** a continuación, se muestra una de las pantallas con las respuestas de un diseñador.

Figura 27 Pantalla con información para configuración de elementos visuales

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM



Elemento/s a utilizar	Color, Contigüidad y movimiento
¿Dónde va a aplicar este/estos elemento/s? (Escriba, indique o señale)	Dividir la pantalla en 2, primero realizar movimiento de los dedos del proceso de las cuatro imágenes para llamar la atención de la persona y que le quede claro que debe hacer, cerca de esto colocar la información de cómo es el examen manual.
¿Por qué seleccionó este/estos elemento/s?	Es necesario que el estudiante observe la animación del procedimiento y que eso llame su atención. Si observa cómo es la animación estará más claro que debe realizar y su carga cognitiva disminuirá, además de como es un movimiento atraerá su atención.

2. Lectura de la guía: Se accedió a la guía digital disponible en Figma, utilizando instrucciones específicas para ajustar la visualización del contenido en pantalla.
3. Configuración aplicada: Con base en los objetivos establecidos para cada grupo de pantallas, se solicitó a los diseñadores aplicar los elementos visuales que consideraran pertinentes:
 - Pantallas 1 a 7: disminuir la carga cognitiva externa y aumentar la retención de la información.
 - Pantallas 8 a 10: aumentar la retención de la información y disminuir el número de fijaciones.
 - Pantallas 11 a 13: disminuir el número de sacadas.
4. Para ello, los participantes debían indicar qué elementos visuales utilizarían en cada sección (título, texto, gráfico o elementos adicionales), consignando sus decisiones en un formato anexo.
5. Evaluación de la guía: Posteriormente, se diligenció un cuestionario de evaluación orientado a medir la usabilidad, claridad, estructura y satisfacción general con la guía. El formulario fue alojado en línea mediante Google Forms.
6. Envío de resultados: Los participantes remitieron el consentimiento informado y los formatos de respuesta diligenciados a la investigadora responsable.

Resultados y observaciones

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

La prueba piloto se realizó con cuatro diseñadores, quienes completaron el ejercicio en su totalidad. A partir de sus respuestas, se identificaron algunos ajustes necesarios para mejorar la claridad del proceso y la efectividad de la recolección de datos:

- **Ambigüedad en la tarea de asignación:** Mientras dos participantes comprendieron correctamente la tarea y asignaron elementos visuales pertinentes, los otros dos dieron respuestas que no se ajustaban al objetivo del ejercicio, lo que evidenció la necesidad de mejorar la redacción y estructura del enunciado.
- **Propuesta de mejora:** Se sugirió reemplazar el formato abierto por un cuadro de selección estructurado, que permitiera marcar de forma clara y guiada si cada elemento visual sería o no utilizado en cada pantalla.
- **Duración de la prueba:** Los participantes manifestaron que el número total de pantallas (13) era elevado y que ello reducía la motivación y aumentaba el tiempo requerido para completar la tarea. Por tanto, se consideró reducir la extensión del ejercicio o seleccionar un procedimiento de entrenamiento más breve en futuras iteraciones.

10.6.2. Validación con usuarios: Prueba extendida

Tras la aplicación de la prueba piloto y el análisis de sus resultados, se procedió a ejecutar el experimento con una muestra ampliada, con el objetivo de confirmar si las tendencias observadas en las medidas de usabilidad y percepción de la guía se mantenían en un contexto con mayor robustez estadística.

Ajustes implementados

A partir de las recomendaciones obtenidas en la prueba piloto, se realizaron varios ajustes al procedimiento:

- **Rediseño del enunciado de la tarea** para mejorar la comprensión por parte de los participantes.

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

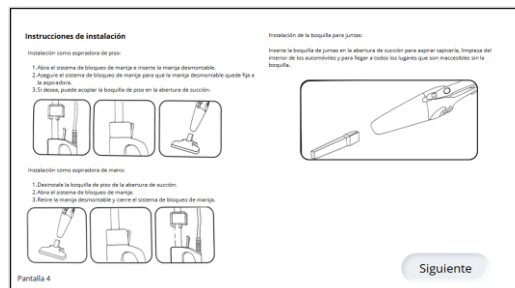
- Modificación del procedimiento de ejemplo: en lugar de la toma de muestra de DIU, se seleccionó el proceso de ensamble y limpieza de una aspiradora, permitiendo un flujo visual más breve y cotidiano.
- Se reemplazó el formato abierto por pantallas interactivas de selección, en las cuales los participantes indicaban si aplicarían cada uno de los elementos visuales y justificaban su decisión.

Proceso de la prueba

Se contactaron 32 diseñadores de interfaces gráficas, de los cuales 19 aceptaron y completaron la prueba. El procedimiento aplicado fue el siguiente:

1. Visualización del proceso de referencia: a cada participante se le presentó una serie de pantallas secuenciales que simulaban el proceso de ensamble y limpieza de una aspiradora. Estas pantallas estaban diseñadas sin elementos visuales destacados, como se muestra en la **Figura 28**.

Figura 28 Proceso de referencia



2. Aplicación de la guía: por cada pantalla funcional del proceso, se presentó una pantalla adicional donde el participante debía decidir si aplicar o no cada uno de los cuatro elementos visuales (color, contigüidad, parpadeo, movimiento) y justificar brevemente su elección. Como se muestra a continuación, en la **Figura 29**.

Figura 29 Formato para configuración de elementos visuales

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

Por favor diligencie el siguiente formato. Marque con una "X" o escriba, según corresponda		
¿Utilizaría el color?		
SI	No	
¿Dónde aplicaría este elemento? (Escriba acá o señale en la pantalla de la interfaz)		
¿Por qué seleccionó este elemento?		
¿Utilizaría la contigüidad?		
SI	No	
¿Dónde aplicaría este elemento? (Escriba acá o señale en la pantalla de la interfaz)		
¿Por qué seleccionó este elemento?		
¿Utilizaría el parpadeo?		
SI	No	
¿Dónde aplicaría este elemento? (Escriba acá o señale en la pantalla de la interfaz)		
¿Por qué seleccionó este elemento?		
¿Utilizaría el movimiento?		
SI	No	
¿Dónde aplicaría este elemento? (Escriba acá o señale en la pantalla de la interfaz)		
¿Por qué seleccionó este elemento?		

3. Evaluación de la guía: al finalizar la tarea de aplicación, los diseñadores completaron el mismo cuestionario de evaluación utilizado en la prueba piloto que medía dimensiones de usabilidad, satisfacción y percepción funcional de la guía.

Finalidad de la prueba

Esta prueba extendida permitió:

- Verificar si los ajustes metodológicos resolvían los problemas identificados en la fase piloto.
- Obtener una muestra más representativa de la comunidad de diseñadores de IGU, con diferentes niveles de experiencia.
- Validar la aplicabilidad y utilidad percibida de la guía en tareas simuladas de configuración visual.
- Recolectar datos suficientes para realizar un análisis cuantitativo y cualitativo de la experiencia de uso.

10.7. Análisis de datos

Con el propósito de evaluar el grado de alineación entre las decisiones tomadas por los diseñadores y las configuraciones visuales previstas por la investigadora, se desarrolló un análisis de concordancia basado en las respuestas obtenidas durante la prueba extendida.

Cada participante debía indicar, por pantalla, qué elementos visuales (color, contigüidad, parpadeo y movimiento) aplicaría en el diseño de una interfaz gráfica básica para un procedimiento simulado. Para cada una de estas pantallas, la investigadora había definido

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

previamente una combinación esperada de elementos visuales que, de acuerdo con los objetivos de la tarea (disminuir carga cognitiva, aumentar retención, optimizar atención visual), deberían ser aplicados.

A partir de estos datos, se construyó una matriz de análisis en la que se compararon, pantalla por pantalla, los elementos visuales seleccionados por los diseñadores frente a los elementos esperados, marcando para cada caso si hubo o no coincidencia. El análisis se realizó a nivel de elemento individual, es decir, cada decisión fue codificada como una elección dicotómica: aplicar (1) o no aplicar (0). Esto permitió identificar tanto concordancias completas (cuando un diseñador seleccionaba exactamente los mismos elementos previstos), como coincidencias parciales o divergencias.

Se calcularon los siguientes indicadores:

- Porcentaje de coincidencia global entre decisiones reales y esperadas.
- Porcentaje de coincidencia por elemento visual (color, contigüidad, parpadeo, movimiento).
- Índice de concordancia de Cohen (Kappa) (Carletta, 1996) entre la investigadora y los diseñadores, para estimar el grado de acuerdo más allá del azar.

Este enfoque permitió cuantificar el grado de alineación con la guía, y también identificar patrones de interpretación divergente, facilitando así la retroalimentación para el ajuste del contenido y enfoque de la herramienta.

Con el objetivo de evaluar en qué medida la guía orientó correctamente la toma de decisiones de los diseñadores, se realizó un análisis cuantitativo de coincidencia entre las configuraciones esperadas (establecidas por la investigadora) y las decisiones reales aplicadas por los participantes durante la prueba. Para cada pantalla del procedimiento simulado, los diseñadores indicaron si aplicarían o no los elementos visuales: color, contigüidad, movimiento y parpadeo. Estas respuestas fueron comparadas con las configuraciones previamente definidas

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

como deseables o esperadas. Para llevar a cabo el análisis de concordancia entre las decisiones esperadas y las tomadas por los diseñadores, se construyó una matriz binaria que codificó, para cada pantalla y cada participante, si la aplicación de los elementos visuales coincidía o no con lo previamente establecido por la investigadora. En esta matriz, cada coincidencia se marcó como “1” (decisión esperada y real coinciden) y cada divergencia como “0” (decisión no esperada). Esta codificación se aplicó a los cuatro elementos visuales considerados en el estudio: color, contigüidad, parpadeo y movimiento.

El análisis se realizó a nivel de elemento individual por pantalla, generando una matriz binaria que permitió calcular el porcentaje de coincidencia global, así como el porcentaje de coincidencia por pantalla (mostrado en la **Tabla 17**) y por tipo de elemento visual (en la **Tabla 18**). Esta información permitió establecer qué tan alineadas estuvieron las elecciones de los diseñadores con las recomendaciones previstas en la guía.

Tabla 17 Coincidencia por pantalla

Pantalla	Coincidencia (%)
Pantalla 1	60.53%
Pantalla 2	80.26%
Pantalla 3	71.05%
Pantalla 4	46.05%
Pantalla 5	61.84%
Pantalla 6	50.00%

Tabla 18 Coincidencia por elemento visual

Elemento visual	Coincidencia (%)
Color	78.95%
Contigüidad	59.65%
Movimiento	50.88%
Parpadeo	56.14%

El análisis arrojó una coincidencia global del 61.62%, lo que indica que, en promedio, los diseñadores tomaron decisiones alineadas con lo esperado en seis de cada diez casos. La coincidencia fue más alta en las pantallas 2 y 3 (80.26% y 71.05%, respectivamente), mientras que las pantallas 4 y 6 presentaron los niveles más bajos (46.05% y 50%), lo que sugiere que ciertas situaciones visuales generan mayor ambigüedad o diversidad de interpretación.

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

En cuanto a los elementos visuales, el color presentó la mayor tasa de coincidencia (78.95%), lo que indica que su aplicación es más intuitiva o ampliamente comprendida por los diseñadores. En contraste, el movimiento (50.88%) y el parpadeo (56.14%) mostraron niveles más bajos, lo cual podría estar relacionado con una mayor sensibilidad a su aplicación o con dudas respecto a su pertinencia según el contexto. La contigüidad presentó un nivel intermedio (59.65%).

Estos resultados evidencian que, si bien la guía ofreció una orientación efectiva en muchos casos, existen áreas donde los diseñadores interpretaron de forma distinta la necesidad de aplicar ciertos elementos visuales, lo cual brinda insumos clave para el ajuste y clarificación de la herramienta.

Análisis de concordancia – Índice Kappa de Cohen

Para evaluar de manera más rigurosa el nivel de concordancia entre las configuraciones visuales esperadas por la investigadora y las decisiones reales tomadas por los diseñadores durante la prueba extendida, se aplicó el índice Kappa de Cohen. Esta medida permite calcular el grado de acuerdo entre dos evaluadores categóricos —en este caso, la investigadora y cada participante—, considerando únicamente decisiones dicotómicas (aplicar o no aplicar un elemento visual). A diferencia del porcentaje de coincidencia simple, el índice Kappa estima el grado de acuerdo más allá del que se esperaría por azar, ofreciendo así una valoración más precisa y objetiva del alineamiento entre criterios. Los datos obtenidos por participante se muestran en la **Tabla 19** y el nivel de concordancia de acuerdo al valor, se muestra en la **Tabla 20**.

Tabla 19 Kappa de Cohen por Participante

Participante	Kappa de Cohen
P1	0.5294
P2	0.4706
P3	0.4444
P4	0.4118
P5	0.3871
P6	0.3529
P7	0.3218
P8	0.3056
P9	0.2941

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

P10	0.2647
P11	0.2353
P12	0.2000
P13	0.1765
P14	0.1471
P15	0.1176
P16	0.0882
P17	0.0588
P18	0.0294
P19	0.0000

El índice Kappa promedio entre todos los participantes fue de 0.2288, lo que corresponde a un nivel de concordancia baja.

Tabla 20 Nivel de Concordancia según Kappa de Cohen

Valor de Kappa	Nivel de concordancia
< 0.00	Ninguna o peor que azar
0.00 – 0.20	Leve
0.21 – 0.40	Baja
0.41 – 0.60	Moderada
0.61 – 0.80	Buena
0.81 – 1.00	Muy buena o excelente

Los resultados obtenidos a partir del índice Kappa de Cohen indican un nivel de concordancia global bajo (0.2288) entre las decisiones tomadas por los diseñadores y las configuraciones visuales esperadas. Aunque algunos participantes alcanzaron niveles de concordancia moderada (por encima de 0.40), la mayoría se ubicó en rangos bajos o leves. Esto sugiere que, si bien la guía pudo orientar parcialmente las decisiones de diseño, persisten diferencias en la forma en que los elementos visuales son interpretados o aplicados por los diseñadores, posiblemente debido a factores como ambigüedad en los criterios, experiencia previa, o variabilidad en la percepción de utilidad de cada elemento visual. Estos hallazgos proporcionan una base clave para realizar ajustes conceptuales y comunicativos en la guía, con el fin de aumentar la claridad, especificidad y alineación en su aplicación práctica.

10.7.1. Análisis de resultados – Percepción de usabilidad

a) Resultados generales usabilidad

El análisis de las respuestas del cuestionario de usabilidad revela una valoración mayoritariamente positiva de la guía por parte de los participantes, aunque con algunas áreas que podrían optimizarse.

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

- Uso potencial de la guía (pregunta 1): El 68.4% de los diseñadores (52.6% de acuerdo + 15.8% totalmente de acuerdo) manifestó que le gustaría usar la guía con frecuencia, lo que indica una buena aceptación general. Se muestran los resultados obtenidos en la **Figura 30**.

Figura 30 Preferencia de uso frecuente de la guía



- Percepción de complejidad (pregunta 2): Un 42.1% estuvo en desacuerdo con que la guía fuera innecesariamente compleja, y un 36.8% respondió "ni de acuerdo ni en desacuerdo", lo que muestra que, aunque la mayoría no la consideró compleja, existe una percepción mixta. Se muestran los resultados obtenidos en la **Figura 31**.

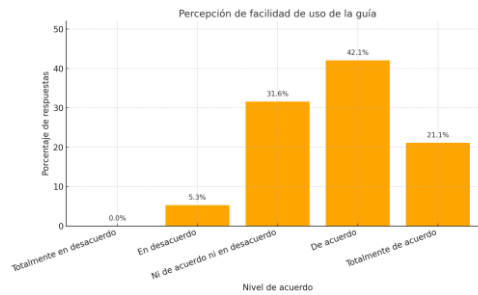
Figura 31 Percepción de complejidad de la guía



- Facilidad de uso (pregunta 3): El 73.7% estuvo de acuerdo o totalmente de acuerdo en que la guía es fácil de usar, lo cual refuerza su intuitividad y claridad operativa. Se muestran los resultados obtenidos en la **Figura 32**.

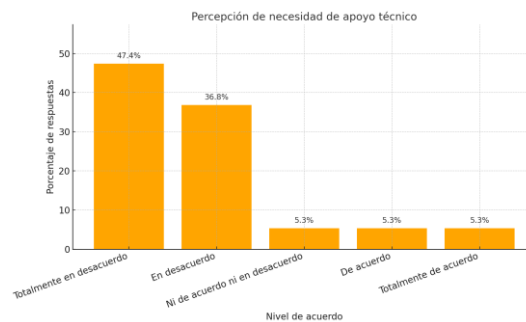
Figura 32 Percepción de facilidad de uso de la guía

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM



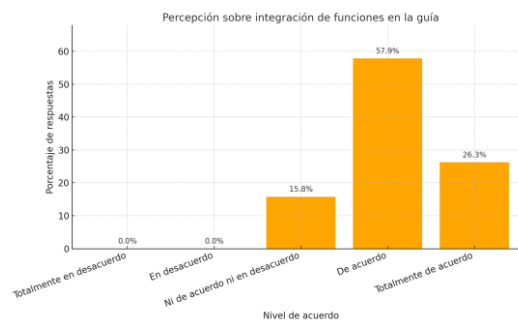
- Autonomía en el uso (pregunta 4): El 84.2% estuvo en desacuerdo o totalmente en desacuerdo con necesitar apoyo técnico, lo que sugiere que la guía es autoexplicativa y de bajo umbral de entrada. Se muestran los resultados obtenidos en la **Figura 33**.

Figura 33 Percepción de necesidad de apoyo técnico



- Integración funcional (pregunta 5): Un 84.2% consideró que las funciones de la guía están bien integradas, validando su coherencia estructural. Se muestran los resultados obtenidos en la **Figura 34**.

Figura 34 Percepción sobre integración de funciones en la guía



- Inconsistencias percibidas (pregunta 6): El 57.9% negó la existencia de inconsistencias, aunque un 36.8% expresó cierto desacuerdo, lo que indica que aún hay margen para

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

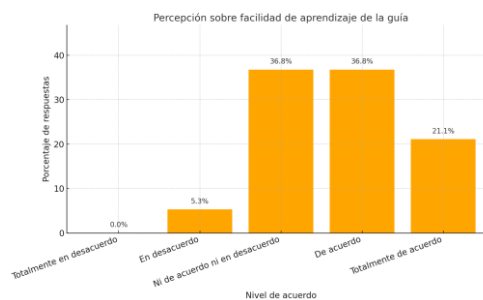
mejorar la homogeneidad del contenido. Se muestran los resultados obtenidos en la **Figura 35**.

Figura 35 Percepción de inconsistencias en la guía



- Curva de aprendizaje (pregunta 7): Un 57.9% coincidió en que la mayoría de diseñadores podría aprender a usar la guía rápidamente, validando su adaptabilidad para diferentes niveles de experiencia. Se muestran los resultados obtenidos en la **Figura 36**.

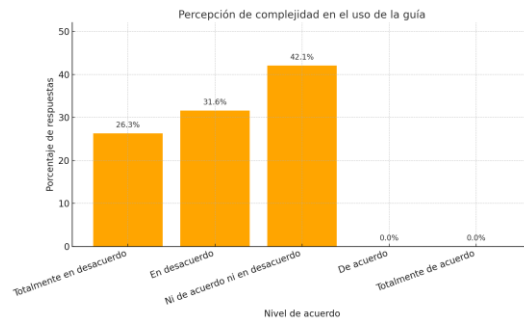
Figura 36 Percepción sobre facilidad de aprendizaje de la guía



- Complejidad de uso (pregunta 8): Aunque un 26.3% encontró la guía complicada, la mayoría de las respuestas se situó en desacuerdo o neutras, reforzando una percepción de dificultad moderada. Se muestran los resultados obtenidos en la **Figura 37**.

Figura 37 Percepción de complejidad en el uso de la guía

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM



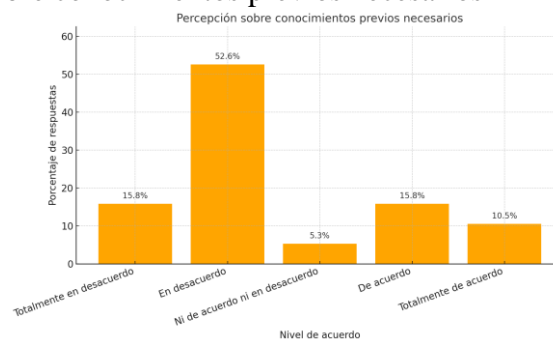
- Seguridad en el uso (pregunta 9): El 57.9% indicó sentirse seguro al usarla, lo que refuerza la percepción de autonomía y confianza. Se muestran los resultados obtenidos en la **Figura 38**.

Figura 38 Confianza al utilizar la guía



- Requerimiento previo de conocimientos (pregunta 10): El 68.4% consideró que no necesitaba aprender muchas cosas antes de utilizarla, lo cual valida su accesibilidad y simplicidad de adopción. Se muestran los resultados obtenidos en la **Figura 39**.

Figura 39 Percepción sobre conocimientos previos necesarios



b) Hallazgos generales usabilidad

- La guía obtuvo una alta puntuación en usabilidad general: facilidad de uso, autonomía, integración de funciones y potencial de uso futuro.

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

- Las áreas de mejora incluyen la claridad de ciertos contenidos y la consistencia del lenguaje, como se desprende de las preguntas sobre complejidad e inconsistencias.
- La percepción de que no se requiere acompañamiento técnico ni conocimientos previos refuerza su adecuación como herramienta práctica y accesible.

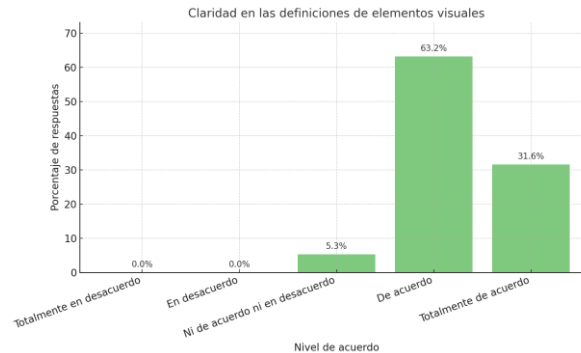
11.3.2. Análisis de resultados – Percepción de satisfacción

a) Resultados generales satisfacción

Las respuestas de los ítems 11 a 20 del cuestionario revelan una valoración altamente favorable respecto a la claridad, utilidad y estructura general de la guía. A continuación, se resumen los hallazgos por ítem:

- Claridad de definiciones (pregunta 11): El 94.8% de los participantes estuvo de acuerdo o totalmente de acuerdo en que la guía proporciona definiciones claras sobre los elementos visuales. Se muestran los resultados obtenidos en la **Figura 40**.

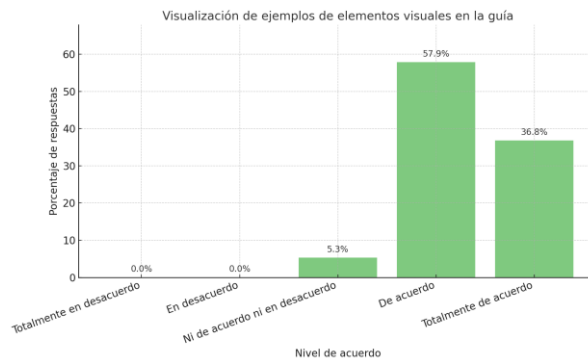
Figura 40 Claridad en las definiciones de elementos visuales



- Visualización de ejemplos (pregunta 12): Un 94.7% también consideró que la guía facilita ejemplos ilustrativos de los elementos, reforzando su carácter didáctico. Se muestran los resultados obtenidos en la **Figura 41**.

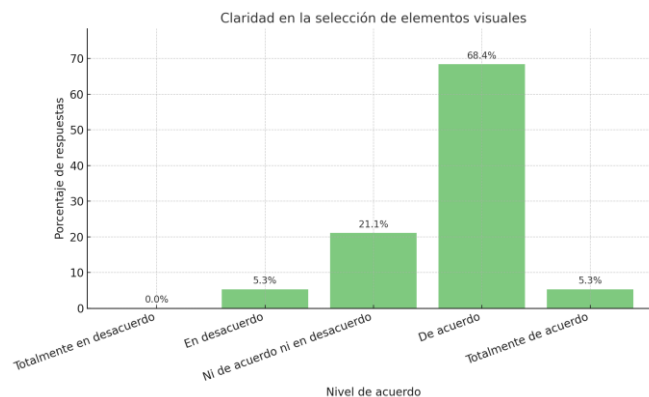
Figura 41 Visualización de ejemplos de elementos visuales en la guía

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM



- Claridad y especificidad de la información (pregunta 13): El 89.5% de los participantes afirmó que la guía brinda información clara y específica para la selección de elementos visuales. Se muestran los resultados obtenidos en la **Figura 42**.

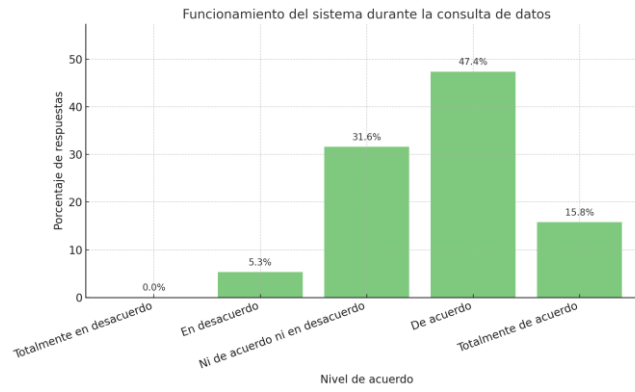
Figura 42 Claridad en la selección de elementos visuales



- Funcionamiento general del sistema (pregunta 14): Un 63.2% valoró positivamente el desempeño técnico de la guía, aunque un 31.6% permaneció neutral, lo que podría sugerir oportunidades de mejora en la presentación o navegación. Se muestran los resultados obtenidos en la **Figura 43**.

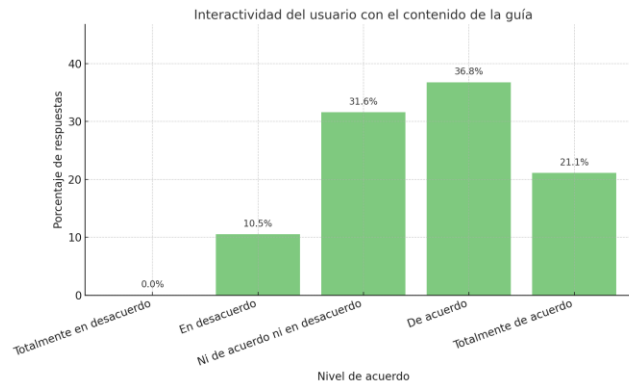
Figura 43 Funcionamiento del sistema durante la consulta de datos

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM



- Interactividad (pregunta 15): El 57.9% reconoció que la guía permite interacción con el contenido, mientras que un 31.6% se mantuvo neutro. Aunque la mayoría es favorable, el resultado indica espacio para enriquecer la experiencia interactiva. Se muestran los resultados obtenidos en la **Figura 44**.

Figura 44 Interactividad del usuario con el contenido de la guía



- Lenguaje accesible (pregunta 16): El 89.4% percibió que la guía utiliza un lenguaje sencillo y familiar, lo que valida su enfoque comunicativo claro y adaptado al usuario. Se muestran los resultados obtenidos en la **Figura 45**.

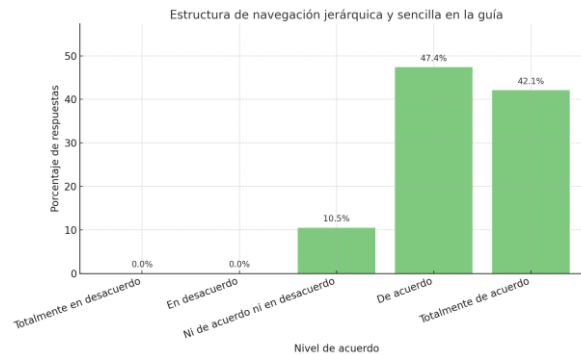
Figura 45 Lenguaje sencillo y familiar utilizado en la guía



CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

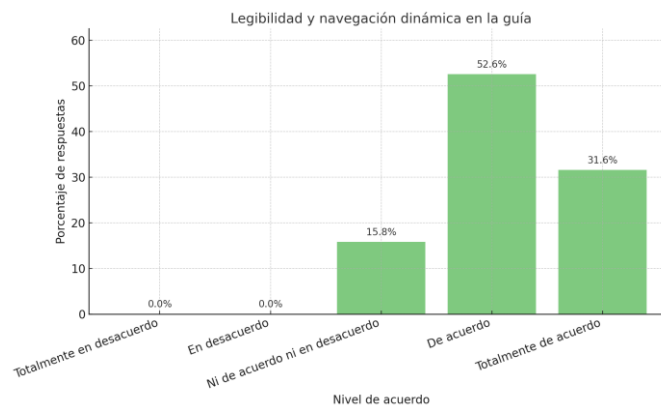
- Estructura jerárquica y navegación (pregunta 17): El 89.5% consideró que la guía presenta una estructura clara y jerarquizada, lo cual refuerza su facilidad de uso y organización visual. Se muestran los resultados obtenidos en la **Figura 46**.

Figura 46 Estructura de navegación jerárquica y sencilla en la guía



- Legibilidad y navegación ágil (pregunta 18): El 84.2% estuvo de acuerdo o totalmente de acuerdo en que los elementos visuales (fuentes, menús, etc.) facilitan la navegación. Se muestran los resultados obtenidos en la **Figura 47**.

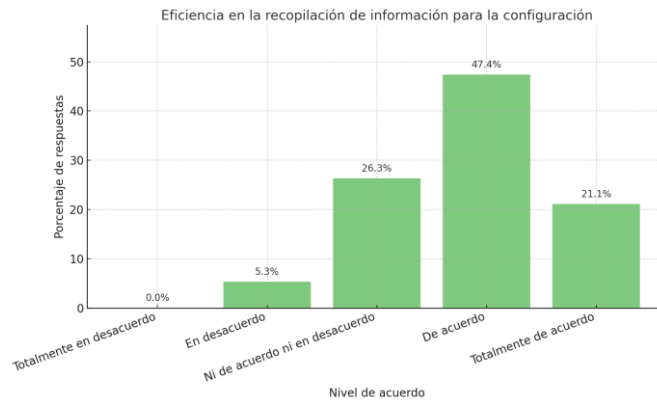
Figura 47 Legibilidad y navegación dinámica en la guía



- Eficiencia en la recopilación de información (pregunta 19): El 68.5% indicó que la guía permite finalizar eficientemente la consulta de elementos visuales, validando su utilidad práctica. Se muestran los resultados obtenidos en la **Figura 43**.

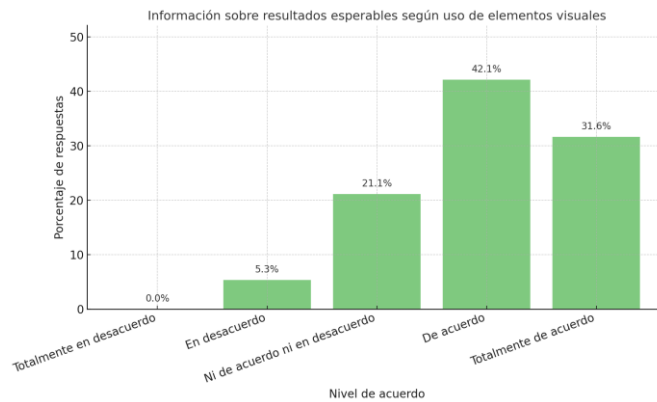
Figura 48 Eficiencia en la recopilación de información para la configuración

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM



- Claridad sobre los resultados esperados (pregunta 20): Un 73.7% señaló que la guía proporciona información comprensible sobre los efectos esperados del uso de los elementos visuales. Se muestran los resultados obtenidos en la **Figura 49**.

Figura 49 Información sobre resultados esperables según el uso de elementos visuales



b) Hallazgos generales satisfacción

- La guía fue altamente valorada en cuanto a claridad conceptual, estructura y accesibilidad.
- Las dimensiones de mayor reconocimiento fueron la precisión en las definiciones, la navegación jerárquica y el lenguaje amigable.
- Algunos aspectos, como la interactividad y la visualización de resultados esperados, aunque bien evaluados, presentan oportunidades de fortalecimiento.

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

- La percepción general de los participantes sugiere que la guía cumple satisfactoriamente con su propósito de ser una herramienta clara, práctica y útil para apoyar el diseño de interfaces gráficas en contextos de realidad mixta.

10.7.2. Análisis cualitativo de Comentarios y recomendaciones de los participantes

Con el fin de enriquecer el proceso de validación, se incluyó una pregunta abierta para que los participantes compartieran observaciones, sugerencias o recomendaciones sobre la guía. A partir del análisis temático de los comentarios, se identificaron seis grandes categorías:

1. Claridad del lenguaje y carga teórica

Varios participantes señalaron que, si bien las definiciones eran técnicamente correctas, el lenguaje utilizado resultaba en algunos casos demasiado técnico o denso, especialmente para un primer acercamiento. Algunos sugirieron reducir la carga teórica o dividir el contenido por niveles o necesidades del usuario.

"El lenguaje utilizado aún sigue siendo muy técnico y se me dificultó identificar cuáles elementos impactan más o menos."

"¿Requiere el diseñador ser experto en aprendizaje procedimental o solo necesita entender los elementos?"

2. Uso de ejemplos visuales y recursos gráficos

Una de las sugerencias más frecuentes fue la inclusión de más ejemplos visuales e ilustraciones que muestren cómo aplicar los elementos visuales en diferentes contextos. Se mencionó, en particular, la necesidad de clarificar elementos como la contigüidad y el parpadeo mediante gráficos dinámicos o comparativos.

"Añadiría más ejemplos gráficos, sobre todo para el concepto de contigüidad."

"Me gustaría ver en cada elemento el impacto de una forma más gráfica o fácil de entender."

3. Interactividad y usabilidad digital

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

Aunque la versión prototipo fue funcional, se propusieron mejoras en la experiencia de navegación y en la forma de presentar la guía. Se sugirió el uso de herramientas como búsqueda por palabras clave, menús emergentes, multimedia interactiva, animaciones o recursos IA.

"Sería útil incluir más guías interactivas, priorizando lo visual y reduciendo el texto."

"Agregar el ícono de búsqueda de palabras para localizar contenido específico."

4. Organización y estructura del contenido

Algunos participantes comentaron que el volumen de contenido podía ser abrumador y propusieron resumir, reorganizar o adaptar la presentación del material. Se propuso estructurar por necesidades del usuario o por escenarios de aplicación más concretos.

"¿Cómo se podría resumir un poco más o segmentar la información de acuerdo a la necesidad?"

"Material 3 en su guía expone un ejemplo de uso correcto e incorrecto, eso sería interesante integrarlo."

5. Presentación visual y legibilidad

Se hicieron recomendaciones sobre el tamaño de letra, el diseño de interfaz en distintos dispositivos y el contraste visual. Algunos señalaron que en pantallas pequeñas ciertos contenidos no se leían bien o que el entorno de Figma resultaba limitado para simular interacción real.

"Mejorar el tamaño de letra del contenido."

"Quizás hubiese sido mejor otra forma de presentación que Figma, que es limitada para la interacción."

6. Evaluación positiva general

Pese a las observaciones, una parte de los comentarios expresó satisfacción con el contenido, la utilidad de la guía y el valor del ejercicio propuesto.

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

"Muy buena guía teniendo en cuenta los elementos visuales."

"Me gustó bastante el ejercicio, bastante práctico y éxitos."

Los comentarios reflejan una valoración positiva del propósito y utilidad de la guía, al tiempo que señalan oportunidades claras de mejora en términos de claridad comunicativa, presentación visual, adaptabilidad y dinamismo interactivo. Estas sugerencias resultan fundamentales para la iteración final del diseño y para fortalecer la experiencia del usuario en futuras versiones.

10.8. Ajustes a la guía

Con base en los resultados obtenidos durante la prueba extendida y en los comentarios cualitativos proporcionados por los diseñadores participantes, se realizaron ajustes estructurales y de contenido orientados a fortalecer la funcionalidad, claridad y aplicabilidad de la guía. Estos ajustes respondieron tanto a los hallazgos cuantitativos —referentes a la usabilidad y la satisfacción percibida— como a las sugerencias del análisis cualitativo. Entre los principales cambios implementados se destacan los siguientes:

- Reducción de la cantidad de texto:

Se eliminaron fragmentos extensos o redundantes de texto explicativo, priorizando la economía del lenguaje y facilitando una lectura ágil. Se reorganizó el contenido para facilitar su comprensión de forma secuencial y práctica.

- Enfoque en los efectos de cada elemento visual:

Se reforzó la descripción funcional de cada recurso gráfico, especificando qué impacto esperado tiene sobre el procesamiento cognitivo. Por ejemplo, se aclaró que ciertos elementos como el color o la contigüidad pueden aumentar la retención de información o reducir el número de fijaciones visuales.

- Ejemplos aplicados orientados a objetivos de diseño:

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

Se incluyeron ejemplos concretos sobre qué elementos utilizar para disminuir medidas de procesamiento cognitivo (como el número de sacadas o la duración de fijaciones), y cuáles favorecen una mejor comprensión o retención de la información en entornos de realidad mixta.

- Síntesis y claridad de la información:

Se reorganizó el contenido según temas o necesidades del usuario, evitando fragmentaciones innecesarias y favoreciendo una estructura jerárquica clara, que facilite una consulta eficiente y orientada a la acción.

- Mayor visualización mediante recursos gráficos:

Se transformaron secciones extensamente textuales en infografías, tablas visuales y diagramas funcionales, priorizando la comunicación visual sobre la discursiva, tal como lo solicitaron múltiples participantes.

Estos ajustes contribuyen a fortalecer la experiencia de usuario, mejorar la comprensión del impacto de los elementos visuales y consolidar la guía como un recurso didáctico, funcional e intuitivo. La versión optimizada resultante se encuentra disponible en prototipo de Figma, incorporando tanto los contenidos ajustados como la identidad gráfica consolidada a lo largo del proyecto, se muestran en la **Figura 50** y **Figura 51** algunos ajustes realizados a la guía.

Figura 50 Sección de la guía rediseñada



Figura 51 Sección Dos de la guía rediseñada

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM



La información recopilada para el diseño de la guía se encuentra disponible en un documento de texto en el siguiente enlace:

<https://docs.google.com/document/d/1MAko40Q7r-E9n0wUBJ3w5rdInUgimovS-6VXztO4r4g/edit?usp=sharing>

Se pueden detallar los ajustes realizados en el **prototipo de Figma**, disponible en:

<https://www.figma.com/proto/wvpGIZrqzIrKgDOJYZNew1/RealMix--Copy-?node-id=1-676&p=f&t=p24NpRSrmnOjzXAY-1&scaling=min-zoom&content-scaling=fixed&page-id=0%3A1&starting-point-node-id=1%3A676>

Asimismo, los detalles de la herramienta se encuentran disponibles en un **vídeo explicativo** en el siguiente enlace:

https://drive.google.com/file/d/1MsYguJkJJzvZ_TZF8dyR_KPpyXdtcJaB/view?usp=sharing

11. Discusión

Esta investigación tuvo como propósito fundamental evaluar el impacto del uso de elementos visuales —color, contigüidad, parpadeo y movimiento— sobre el procesamiento cognitivo en tareas de aprendizaje en realidad mixta. Además, se buscó desarrollar una guía metodológica que orientara a diseñadores de interfaces gráficas en la selección adecuada de dichos elementos. La discusión de los hallazgos se centra en dos ejes principales: por un lado,

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

la interpretación de los resultados obtenidos exclusivamente en la fase experimental; y por otro, la validación de la guía como una herramienta de apoyo en contextos de diseño.

Eje 1: Hallazgos Específicos de la Fase Experimental

En lo que respecta a la fase experimental, si bien las comparaciones estadísticas entre los grupos no arrojaron diferencias significativas en la mayoría de las variables dependientes, los análisis descriptivos mostraron mejoras sostenidas en tendencias medias. En particular, variables como el número de fijaciones, la duración de las fijaciones, la carga cognitiva percibida y la retención de la información tendieron a mejorar en los grupos que utilizaron elementos visuales respecto al grupo base. Este comportamiento es inherente a la configuración de esta muestra y este diseño, y sugiere que, aunque la significancia estadística no se haya alcanzado —posiblemente debido a factores como el tamaño de la muestra o la heterogeneidad en los estilos de exploración visual—, los elementos visuales sí ejercen una influencia positiva moderada sobre el procesamiento cognitivo, en línea con lo planteado por (Mayer & Moreno, 2003) en su teoría del aprendizaje multimedia y por (Paas et al., 2010) sobre el rol de los recursos visuales para optimizar la carga cognitiva externa.

Asimismo, debe tenerse en cuenta que el entorno de realidad mixta en el que se desarrolló la experiencia experimental podría haber introducido una carga cognitiva elevada para todos los participantes. Como señalan (Makransky & Mayer, 2022), los entornos inmersivos tienden a incrementar la carga perceptual. En este tipo de contextos, el impacto de los elementos visuales puede no ser tan inmediato ni tan marcado como en entornos 2D tradicionales, donde estudios previos han demostrado una mayor eficacia de estos recursos (Makransky et al., 2019).

A pesar de ello, los hallazgos no deben ser leídos como un desacierto metodológico, sino como una manifestación del carácter complejo del comportamiento visual en entornos inmersivos, como la realidad mixta. El análisis detallado de cada variable mostró que los grupos

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

con tratamiento presentaban tendencias más favorables que el grupo base, lo que nos permite concluir, en el contexto de este estudio, que los elementos visuales cumplen un rol relevante. Si bien su efecto puede depender de variables de esta investigación (como el tipo de tarea, el diseño de la interfaz, el tiempo de exposición o la experiencia previa del usuario), los datos obtenidos aquí son un punto de partida para que futuras investigaciones puedan realizar comparaciones entre usuarios expertos e inexpertos. La generalización de estos resultados a otros contextos de RM debe realizarse con cautela.

Eje 2: Validación y Aplicabilidad de la Guía

En relación con el segundo eje de análisis, la validación de la guía con diseñadores profesionales y en formación arrojó resultados altamente positivos. La mayoría de los participantes coincidió en que la guía es fácil de usar, clara en sus definiciones y útil para la toma de decisiones durante el proceso de diseño. Las puntuaciones altas en las dimensiones de usabilidad y satisfacción, así como el índice promedio de coincidencia entre las decisiones esperadas y las decisiones tomadas por los usuarios, reflejan una buena alineación entre los objetivos propuestos y la experiencia de uso real de la herramienta.

Asimismo, los comentarios cualitativos permitieron identificar aspectos claves para el rediseño y optimización del material mostrado en la guía. Por ejemplo, la necesidad de reducir la carga teórica y priorizar explicaciones orientadas a la acción; incorporar más ejemplos visuales que ilustren el impacto de cada elemento sobre variables como la retención o la atención visual; así como mejorar el formato gráfico y la navegabilidad del contenido. Estas observaciones coinciden con estudios recientes que subrayan que las guías de diseño deben ser altamente accesibles, visualmente claras y adaptables a las necesidades reales de los usuarios (Lallemand & Koenig, 2017).

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

El proceso de reestructuración de la guía a partir de estas recomendaciones permitió mejorar su estructura y funcionalidad, y también evidenció el valor del enfoque iterativo, colaborativo y centrado en el usuario propuesto por el Design Thinking. Este enfoque metodológico permitió combinar datos empíricos, experiencias de uso reales y sensibilidad hacia el contexto de aplicación, logrando al final una guía más coherente con las expectativas y necesidades del usuario final que en este caso es el diseñador de IGU (Videnovik et al., 2019).

En definitiva, los resultados de esta investigación permiten concluir que, aunque el impacto exacto de los elementos visuales sobre el procesamiento cognitivo en entornos de realidad mixta requiere aún más investigación empírica con validez externa más amplia, la guía desarrollada representa una herramienta pertinente y eficaz para orientar a diseñadores en la toma de decisiones informadas. Su validación en contextos reales y su evolución a partir de la retroalimentación de usuarios la consolidan como un aporte significativo al diseño en contextos educativos e inmersivos, sirviendo como marco de referencia metodológico para futuros estudios en el área.

12. Conclusiones

El trabajo desarrollado tuvo como objetivo central proponer una guía de apoyo para diseñadores de interfaces gráficas de usuario (IGU), orientada a la configuración de elementos visuales que favorezcan el direccionamiento de la atención visual en sistemas de entrenamiento procedimental desarrollados en entornos de realidad mixta (RM). A lo largo del estudio, se integraron enfoques teóricos, metodológicos y aplicados, permitiendo la construcción de una herramienta innovadora, y también la evaluación de su funcionalidad y pertinencia desde una perspectiva centrada en la investigación en diseño.

En relación con el primer objetivo específico, se logró identificar de forma clara y fundamentada los elementos visuales con mayor potencial para guiar la atención visual en tareas instruccionales. A partir del análisis de literatura científica y de estudios aplicados en el

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

campo del diseño de interfaces y del aprendizaje multimedia, se hallaron los elementos color, contigüidad espacial, movimiento, parpadeo, luminancia o foco atencional, zoom y difuminado, los cuales han demostrado su utilidad en la activación de la atención y en la facilitación del procesamiento visual, los cuales se filtraron para finalmente continuar trabajando con los elementos que demostraban en la teoría lograr mejores resultados, como lo son el color, la contigüidad espacial, el movimiento y el parpadeo. Esta selección fue validada no solo por su sustento empírico, sino también por su viabilidad de implementación técnica en entornos de realidad mixta, donde el diseño debe adaptarse a las demandas perceptivas del usuario y a la tridimensionalidad del entorno.

El segundo objetivo se abordó mediante el diseño de un protocolo experimental cuasi-experimental y transversal que permitió evaluar la efectividad de los elementos visuales en tareas de entrenamiento procedimental. A través de dos experimentos sucesivos (uno exploratorio con muestra reducida y otro ampliado con mayor número de participantes), se midieron variables de atención visual (como número y duración de fijaciones, y número de sacadas), desempeño cognitivo (retención de la información) y carga cognitiva (perceptiva y externa). Si bien los análisis estadísticos no evidenciaron diferencias significativas entre los grupos experimentales, los datos descriptivos mostraron tendencias consistentes de mejoría en los grupos que utilizaron elementos visuales, particularmente en variables relacionadas con la eficiencia atencional y la retención. Este hallazgo sugiere que, aunque los efectos de estos elementos pueden no ser drásticos o inmediatos, su influencia es sutil pero positiva, en especial cuando se aplican de manera estratégica y en función del objetivo de aprendizaje.

Para cumplir con el tercer objetivo, se diseñó una guía para la configuración de elementos visuales en IGU, estructurada bajo los principios del Design Thinking, metodología que permitió una aproximación empática, iterativa y colaborativa al problema de diseño, teniendo como principal base el acompañamiento de diseñadores industriales que se

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

desempeñan en su ámbito profesional como diseñadores de IGU. Durante este proceso se identificaron necesidades reales de los diseñadores, se generaron soluciones creativas, se prototipó un recurso funcional y se sometió a prueba mediante validación con usuarios reales. La guía resultante incluye definiciones conceptuales claras de los elementos visuales seleccionados – color, contigüidad, movimiento y parpadeo–, y también recomendaciones específicas, ejemplos aplicados y criterios orientados a la acción, lo que facilita su uso tanto por diseñadores expertos como por perfiles en formación. Además, su diseño en formato digital navegable (Figma) le confiere versatilidad, accesibilidad y potencial de mejora continua.

Finalmente, en respuesta al cuarto objetivo, se llevó a cabo una validación de la guía mediante un estudio de caso aplicado con diseñadores, quienes resolvieron una tarea práctica de configuración visual y posteriormente evaluaron la herramienta a través de un cuestionario de usabilidad y satisfacción. Los resultados mostraron niveles altos de aceptación, facilidad de uso y claridad conceptual. La mayoría de los diseñadores coincidió en que la guía es comprensible, útil para orientar decisiones de diseño, y que podría integrarse fácilmente a su flujo de trabajo. No obstante, los análisis también evidenciaron áreas de mejora, como la necesidad de simplificar aún más el lenguaje técnico, incorporar más ejemplos visuales y reducir la densidad de texto, estas recomendaciones fueron aplicadas para lograr una guía más adaptada a las necesidades de los diseñadores. El índice de concordancia Kappa, calculado entre las decisiones esperadas y las reales tomadas por los diseñadores, mostró un valor bajo, lo cual indica que la guía orienta, pero no determina de forma unívoca la toma de decisiones, reflejando la flexibilidad interpretativa inherente al proceso de diseño.

En conjunto, los resultados de esta investigación específica permiten establecer dos conclusiones fundamentales. Primero, si bien los hallazgos empíricos sobre el impacto de los elementos visuales se restringen estrictamente a la interfaz y a la muestra analizadas, estos datos brindaron el soporte contextual y empírico necesario para el desarrollo de la guía.

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

Segundo, y como principal aporte de este trabajo, la guía desarrollada representa una herramienta válida, funcional y pertinente para apoyar el diseño de interfaces gráficas de usuario en entornos de realidad mixta, especialmente en contextos educativos y de entrenamiento procedimental.

La integración de evidencia científica, la validación interna a través de datos del estudio y la retroalimentación directa de usuarios garantiza que la propuesta no solo sea teóricamente sólida, sino también adaptada a las necesidades reales del ejercicio profesional del diseño. Este trabajo contribuye, por tanto, a la generación de conocimiento aplicado en el campo del diseño instruccional inmersivo, y la guía sirve como una base metodológica y práctica para futuras investigaciones y desarrollos en el ámbito del diseño centrado en el usuario.

13. Limitaciones y trabajo futuro

Como en toda investigación aplicada, este estudio presenta limitaciones metodológicas y contextuales que deben ser consideradas al interpretar los resultados y al proyectar nuevas investigaciones en el campo del diseño de interfaces gráficas para entornos de realidad mixta. Es crucial señalar que las conclusiones extraídas de este trabajo son válidas exclusivamente para el diseño experimental y la muestra analizada, y no pueden generalizarse a otros entornos, tareas o poblaciones.

Una primera limitación se relaciona con el tamaño de muestra empleado en los experimentos. Aunque se desarrollaron dos fases (exploratoria y ampliada), el número de participantes por grupo fue relativamente reducido, lo cual pudo afectar la potencia estadística de las pruebas inferenciales. Esto explica en parte la ausencia de diferencias significativas, a pesar de observarse tendencias positivas en las variables analizadas. Estudios futuros podrían

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

ampliar la muestra, diversificar los perfiles de los usuarios e incluir una mayor heterogeneidad en términos de edad, experiencia previa en RM y familiaridad con el diseño de IGU.

En segundo lugar, el entorno de aplicación —la realidad mixta— introduce variables difíciles de controlar, tales como el nivel de inmersión, la saturación sensorial y la forma de interacción tridimensional, lo cual puede generar una carga cognitiva elevada que atenúe el efecto de los elementos visuales aplicados. Futuros estudios podrían comparar el comportamiento de estos elementos en distintos entornos de visualización, como pantallas tradicionales, realidad virtual o proyecciones aumentadas, para evaluar posibles diferencias en su impacto.

Una tercera limitación está vinculada con la complejidad del diseño experimental, especialmente en lo relativo a la tarea aplicada. Si bien se definieron objetivos claros para cada tratamiento, la naturaleza procedimental del contenido y la forma de presentar la información visual podrían haber influido en la interpretación de los elementos. Sería recomendable en futuras investigaciones incluir controles más estrictos sobre la duración de la exposición, el orden de presentación de los estímulos y la caracterización de las tareas cognitivas.

Una cuarta limitación se relaciona con el alcance y la validez externa, los hallazgos experimentales se limitan intrínsecamente a las condiciones específicas de este estudio, es decir, a la configuración particular de la interfaz inmersiva, a los elementos visuales seleccionados y al tipo de tarea procedimental evaluada. Por lo tanto, no es posible afirmar que los resultados de la investigación son directamente replicables o aplicables a cualquier otro diseño de IGU o a diferentes contextos de Realidad Mixta.

En cuanto al proceso de validación de la guía, si bien los resultados fueron positivos, se observó que el índice de concordancia entre lo esperado y lo ejecutado por los diseñadores

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

fue bajo, lo que puede indicar ambigüedades en la formulación de las recomendaciones o variaciones interpretativas legítimas del proceso de diseño. Este hallazgo abre una línea de trabajo interesante para explorar nuevas formas de representar visualmente las sugerencias, así como para analizar el impacto de la guía en escenarios reales de aplicación, más allá de entornos simulados.

Finalmente, el análisis se centró exclusivamente en cuatro elementos visuales, seleccionados por su relevancia teórica y aplicabilidad. Sin embargo, existen otros factores visuales —como la luminancia, el desenfoque, la escala, la opacidad o el uso del sonido direccional— que también pueden desempeñar un papel importante en el direccionamiento de la atención. Investigar combinaciones más complejas o adaptativas de elementos visuales podría enriquecer las estrategias de diseño de IGU en entornos inmersivos.

En conjunto, las limitaciones planteadas no reducen el valor de los aportes alcanzados, sino que, por el contrario, señalan con claridad las condiciones bajo las cuales estos resultados son válidos y las oportunidades de desarrollo que se abren para futuros trabajos en este campo.

14. Recomendaciones

Como resultado del desarrollo y validación de esta investigación, se formulan las siguientes recomendaciones, dirigidas tanto a diseñadores e implementadores de interfaces gráficas de usuario en entornos inmersivos, como a investigadores interesados en continuar el estudio de los elementos visuales en el diseño instruccional en realidad mixta.

14.5. Recomendaciones para la aplicación de la guía

- Se recomienda utilizar la guía como una herramienta de apoyo durante las etapas iniciales del diseño de IGU, especialmente al momento de definir cómo orientar

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

visualmente al usuario en tareas que exigen procesamiento secuencial o atención selectiva.

- Es aconsejable que los diseñadores consulten la guía no de forma lineal, sino adaptándola al tipo de tarea, usuario y objetivo cognitivo, priorizando los apartados que se ajusten a sus necesidades (por ejemplo, retención de información, reducción de carga cognitiva externa o atención sostenida).
- Para facilitar su integración en flujos reales de trabajo, se sugiere incorporar la guía en entornos de diseño colaborativo, talleres de prototipado o procesos de validación interna dentro de equipos multidisciplinares.
- Dada la alta valoración recibida en cuanto a usabilidad, pero también las sugerencias de mejora, se recomienda continuar ajustando su contenido hacia un formato más visual, interactivo y segmentado por niveles de complejidad, con rutas rápidas para usuarios expertos y explicaciones ampliadas para quienes se enfrentan por primera vez a entornos inmersivos.

14.6. Recomendaciones para futuros estudios

- Se sugiere ampliar el número de participantes y diversificar los perfiles en futuros experimentos, incluyendo usuarios finales de los sistemas (por ejemplo, aprendices o profesionales en entrenamiento) para observar el impacto de los elementos visuales en situaciones reales.
- Sería pertinente realizar comparaciones entre diferentes entornos tecnológicos (realidad virtual, aumentada y mixta) para evaluar cómo varía el comportamiento de los elementos visuales en función del medio y del nivel de inmersión.
- Se recomienda estudiar el efecto de combinaciones de elementos visuales o su activación progresiva, dado que el impacto puede depender no solo del tipo de estímulo,

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

sino también de su interacción con otros elementos visuales y del momento en el que se presenta.

- Futuros desarrollos pueden integrar evaluaciones longitudinales, en las que se observe si el uso continuado de la guía contribuye a una mejor toma de decisiones, mejora de interfaces diseñadas y aumento del desempeño del usuario final en tareas instruccionales.
- Finalmente, se recomienda explorar la incorporación de inteligencia artificial o motores de recomendación visual, que permitan automatizar sugerencias de configuración de elementos visuales a partir de patrones cognitivos y objetivos pedagógicos definidos.

Bibliografía

- Agah, A., & Tanie, K. (2000). Intelligent graphical user interface design utilizing multiple fuzzy agents. *Interacting with Computers*, 12(5), 529-542. [https://doi.org/10.1016/S0953-5438\(99\)00022-3](https://doi.org/10.1016/S0953-5438(99)00022-3)
- Al-Tikriti, M. N. (s. f.). *Embedding Mixed-Reality Laboratories into E-Learning Systems for Engineering Education*. Recuperado 28 de mayo de 2025, de <http://www.imanagerpublications.com>
- Andersen, T. S., & Maier, M. (2019). *The attentional guidance of individual colours in increasingly complex visual scenes. Proceedings of the 20th Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2018)* (Vol. 822, pp. 103–114). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-96083-8_12
- Bailey, R., McNamara, A., Sudarsanam, N., & Grimm, C. (2009). Subtle gaze direction. *ACM Trans. Graph.*, 28(4), 100:1-100:14. <https://doi.org/10.1145/1559755.1559757>
- Berengueres, J. (2013). *The Brown Book of Design Thinking*. <https://books.apple.com/us/book/the-brown-book-of-design-thinking/id761406970>
- Blass, T. (1999). The Milgram Paradigm after 35 years: Some things we now know about obedience to authority. *Journal of Applied Social Psychology*, 29(5), 955-978. <https://doi.org/10.1111/j.1559-1816.1999.tb00134.x>
- Blessing, L. T. M., & Chakrabarti, A. (2009). *DRM, a Design Research Methodology*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-84882-587-1>
- Bottani, E., Longo, F., Nicoletti, L., Padovano, A., Tancredi, G. P. C., Tebaldi, L., Vetrano, M., & Vignali, G. (2021). Wearable and interactive mixed reality solutions for fault diagnosis and assistance in manufacturing systems: Implementation and testing in an aseptic bottling line. *Computers in Industry*, 128, 103429. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2021.103429>

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

- Brenner, W., & Uebernickel, F. (Eds.). (2016). *Design Thinking for Innovation*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-26100-3>
- Brünken, R., Seufert, T., & Paas, F. (2010). Measuring Cognitive Load. En J. L. Plass, R. Brünken, & R. Moreno (Eds.), *Cognitive Load Theory* (pp. 181-202). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511844744.011>
- Carletta. (1996). *Assessing agreement on classification tasks: The kappa statistic*. <https://web.archive.org/web/20120526213354/http://acl.ldc.upenn.edu/J/J96/J96-2004.pdf>
- Carter, B. T., & Luke, S. G. (2020). Best practices in eye tracking research. *International Journal of Psychophysiology*, 155, 49-62. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2020.05.010>
- Chen, J. Y. C., & Fragomeni, G. (Eds.). (2018). *Virtual, Augmented and Mixed Reality: Interaction, Navigation, Visualization, Embodiment, and Simulation: 10th International Conference, VAMR 2018, Held as Part of HCI International 2018, Las Vegas, NV, USA, July 15-20, 2018, Proceedings, Part I* (Vol. 10909). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-91581-4>
- Chen, S., Epps, J., Ruiz, N., & Chen, F. (2011). Eye activity as a measure of human mental effort in HCI. *Proceedings of the 16th international conference on Intelligent user interfaces*, 315-318. <https://doi.org/10.1145/1943403.1943454>
- Chun, M., & Wolfe, J. (2001). Visual Attention. En E. B. Goldstein (Ed.), *Blackwell Handbook of Perception* (pp. 2-335). Blackwell.
- Cierniak, G., Scheiter, K., & Gerjets, P. (2009). Explaining the split-attention effect: Is the reduction of extraneous cognitive load accompanied by an increase in germane cognitive load? *Computers in Human Behavior*, 25(2), 315-324. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2008.12.020>

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

- Colliot, T., & Jamet, É. (2020). Effects of self-generated graphic organizers on learning depend on in-task guidance. *Journal of Computer Assisted Learning*, 36(5), 646-655. <https://doi.org/10.1111/jcal.12434>
- Costanza, E., Kunz, A., & Fjeld, M. (2009). Mixed Reality: A Survey. En D. Lalanne & J. Kohlas (Eds.), *Human Machine Interaction: Research Results of the MMI Program* (pp. 47-68). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-00437-7_3
- Coxe, F. R., Stauffer, T. P., & Ast, M. P. (2025). Virtual Reality Simulation in Orthopedic Surgery Education Improves Immediate Procedural Skill and Knowledge Acquisition, But Evidence on Cost-Effectiveness and Skill Retention Remains Lacking. *Current Reviews in Musculoskeletal Medicine*. <https://doi.org/10.1007/s12178-025-09973-8>
- Duchowski, A. T. (2017). *Eye Tracking Methodology*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-57883-5>
- Ejaz, A., Ali, D. S. A., Ejaz, M. Y., & Siddiqui, D. F. A. (2019). Graphic User Interface Design Principles for Designing Augmented Reality Applications. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA)*, 10(2), Article 2. <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2019.0100228>
- Evans, K. K., Horowitz, T. S., Howe, P., Pedersini, R., Reijnen, E., Pinto, Y., Kuzmova, Y., & Wolfe, J. M. (2011). Visual attention. *WIREs Cognitive Science*, 2(5), 503-514. <https://doi.org/10.1002/wcs.127>
- Felsher, J. J., Olesevich, M., Farres, H., Rosen, M., Fanning, A., Dunkin, B. J., & Marks, J. M. (2005). Validation of a flexible endoscopy simulator. *American Journal of Surgery*, 189(4), 497-500. <https://doi.org/10.1016/j.amjsurg.2005.01.008>
- Fernández Algarra, C. (2009). Citología del frotis sanguíneo. *Argos: Informativo Veterinario*, 110 (JUL-AGO), 58-59.

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

- Fraser, D. W., Marder, T. J., deBettencourt, L. U., Myers, L. A., Kalymon, K. M., & Harrell, R. M. (2020). Using a Mixed-Reality Environment to Train Special Educators Working With Students With Autism Spectrum Disorder to Implement Discrete Trial Teaching. *Focus on Autism and Other Developmental Disabilities*, 35(1), 3-14. <https://doi.org/10.1177/1088357619844696>
- Galitz, W. O. (2007a). *The essential guide to user interface design: An introduction to GUI design principles and techniques* (3rd ed). Wiley Pub.
- Galitz, W. O. (2007b). *The essential guide to user interface design: An introduction to GUI design principles and techniques* (3rd ed). Wiley Pub.
- García, V., & Preis, A. (2004). *AdELE: A Framework for Adaptive E-Learning through Eye Tracking*. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/228983539_AdELE_A_Framework_for_Adaptive_E-Learning_through_Eye_Tracking
- Grogorick, S., Albuquerque, G., Tauscher, J.-P., & Magnor, M. (2018). Comparison of Unobtrusive Visual Guidance Methods in an Immersive Dome Environment. *ACM Trans. Appl. Percept.*, 15(4), 27:1-27:11. <https://doi.org/10.1145/3238303>
- Grogorick, S., Stengel, M., Eisemann, E., & Magnor, M. (2017). Subtle gaze guidance for immersive environments. *Proceedings of the ACM Symposium on Applied Perception*, 1-7. <https://doi.org/10.1145/3119881.3119890>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación*. McGraw Hill España. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=775008>
- Hoffmann, R., Baudisch, P., & Weld, D. S. (2008). Evaluating visual cues for window switching on large screens. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 929-938. <https://doi.org/10.1145/1357054.1357199>

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

- Hu, H., Feng, X., Shao, Z., Xie, M., Xu, S., Wu, X., & Ye, Z. (2019). Application and Prospect of Mixed Reality Technology in Medical Field. *Current Medical Science*, 39(1), 1-6. <https://doi.org/10.1007/s11596-019-1992-8>
- Hwang, W.-Y., Li, Y.-H., & Shadiey, R. (2018). Exploring effects of discussion on visual attention, learning performance, and perceptions of students learning with STR-support. *Computers & Education*, 116, 225-236. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2017.09.015>
- Jamet, E. (2014). An eye-tracking study of cueing effects in multimedia learning. *Computers in Human Behavior*, 32, 47-53. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2013.11.013>
- Jarodzka, H., van Gog, T., Dorr, M., Scheiter, K., & Gerjets, P. (2013). Learning to see: Guiding students' attention via a Model's eye movements fosters learning. *Learning and Instruction*, 25, 62-70. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2012.11.004>
- Johnston, W. A., & Dark, V. J. (1986). Selective attention. *Annual Review of Psychology*, 37, 43-75. <https://doi.org/10.1146/annurev.ps.37.020186.000355>
- Juraschek, S. P., Daya, N., Appel, L. J., Miller, E. R., McEvoy, J. W., Matsushita, K., Ballantyne, C. M., & Selvin, E. (2018). Orthostatic Hypotension and Risk of Clinical and Subclinical Cardiovascular Disease in Middle-Aged Adults. *Journal of the American Heart Association*, 7(10), e008884. <https://doi.org/10.1161/JAHA.118.008884>
- Kamhi-Stein, L. D., Lao, R. S., & Issagholian, N. (2020). The Future Is Now: Implementing Mixed-Reality Learning Environments as a Tool for Language Teacher Preparation. *TESL-EJ*, 24(3). <https://eric.ed.gov/?id=EJ1275837>
- Karacan, U. (2010). Change detection in desktop virtual environments: An eye-tracking study | Request PDF. *ResearchGate*. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2010.04.002>

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

- Keskin, M., Ooms, K., Dogru, A. O., & De Maeyer, P. (2020). Exploring the Cognitive Load of Expert and Novice Map Users Using EEG and Eye Tracking. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(7), Article 7. <https://doi.org/10.3390/ijgi9070429>
- King, B., & Smith, C. P. (2018). Mixed-reality Learning Environments: What Happens When You Move from a Laboratory to a Classroom? *International Journal of Research in Education and Science*, 577-594. <https://doi.org/10.21890/ijres.428961>
- Klepsch, M., Schmitz, F., & Seufert, T. (2017). Development and Validation of Two Instruments Measuring Intrinsic, Extraneous, and Germane Cognitive Load. *Frontiers in Psychology*, 8, 1997. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01997>
- Korbach, A., Brünken, R., & Park, B. (2018). Differentiating Different Types of Cognitive Load: A Comparison of Different Measures. *Educational Psychology Review*, 30(2), 503-529. <https://doi.org/10.1007/s10648-017-9404-8>
- Korn, O., Buchweitz, L., Rees, A., Bieber, G., Werner, C., & Hauer, K. (2019). Using Augmented Reality and Gamification to Empower Rehabilitation Activities and Elderly Persons. A Study Applying Design Thinking. En T. Z. Ahram (Ed.), *Advances in Artificial Intelligence, Software and Systems Engineering* (pp. 219-229). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-94229-2_21
- Labovitz, J., & Hubbard, C. (2020). The Use of Virtual Reality in Podiatric Medical Education. *Clinics in Podiatric Medicine and Surgery*, 37(2), 409-420. <https://doi.org/10.1016/j.cpm.2019.12.008>
- Lallemand, C., & Koenig, V. (2017, octubre). How Could an Intranet be Like a Friend to Me?: Why Standardized UX Scales Don't Always Fit. *Proceedings of the European Conference on Cognitive Ergonomics 2017*. European Conference on Cognitive Ergonomics 2017. <https://doi.org/10.1145/3121283.3121288>

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

- Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H.-G., Feld, T., & Hoffmann, M. (2014). Industry 4.0. *Business & Information Systems Engineering*, 6(4), 239-242. <https://doi.org/10.1007/s12599-014-0334-4>
- Levene, H. (1961). *Robust tests for equality of variances*. <https://www.semanticscholar.org/paper/Robust-tests-for-equality-of-variances-Levene/3eb99d37fef7c5b23ea3ecb4e1a7de65b0af59ed>
- Lin, W., Chen, L., Xiong, W., Ran, K., & Fan, A. (2023). *Measuring the Sense of Presence and Learning Efficacy in Immersive Virtual Assembly Training* (No. arXiv:2312.10387). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2312.10387>
- Lintu, A., & Carbonell, N. (2009). *Gaze Guidance through Peripheral Stimuli*. <https://inria.hal.science/inria-00421151>
- Liu, R., Xu, X., Yang, H., Li, Z., & Huang, G. (2021). Impacts of Cues on Learning and Attention in Immersive 360-Degree Video: An Eye-Tracking Study. *Frontiers in Psychology*, 12, 792069. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.792069>
- Maas, M. J., & Hughes, J. M. (2020). Virtual, augmented and mixed reality in K–12 education: A review of the literature. *Technology, Pedagogy and Education*, 29(2), 231-249. <https://doi.org/10.1080/1475939X.2020.1737210>
- Makransky, G., & Mayer, R. E. (2022). Benefits of Taking a Virtual Field Trip in Immersive Virtual Reality: Evidence for the Immersion Principle in Multimedia Learning. *Educational Psychology Review*, 34(3), 1771-1798. <https://doi.org/10.1007/s10648-022-09675-4>
- Makransky, G., Terkildsen, T. S., & Mayer, R. E. (2019). Adding immersive virtual reality to a science lab simulation causes more presence but less learning. *Learning and Instruction*, 60, 225-236. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2017.12.007>

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

- Mann, H. B., & Whitney, D. R. (1947). On a Test of Whether one of Two Random Variables is Stochastically Larger than the Other. *The Annals of Mathematical Statistics*, 18(1), 50-60. <https://doi.org/10.1214/aoms/1177730491>
- Mayer, R. E. (2002). *TABLE I DEFINITIONS OF KEY TERMS* Term Definition Example.
- Mayer, R. E., & Moreno, R. (2003). Nine Ways to Reduce Cognitive Load in Multimedia Learning. *Educational Psychologist*, 38(1), 43-52. https://doi.org/10.1207/S15326985EP3801_6
- McCormick, R. (1997). Conceptual and Procedural Knowledge. *International Journal of Technology and Design Education*, 7(1), 141-159. <https://doi.org/10.1023/A:1008819912213>
- Méndez, D. M. (2012). *El aprendizaje cooperativo y la enseñanza tradicional en el aprendizaje de la física.*
- Milgram, P., & Kishino, F. (1994). (PDF) A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays. *ResearchGate*. https://www.researchgate.net/publication/231514051_A_Taxonomy_of_Mixed_Reality_Visual_Displays
- Miranda, J., Navarrete, C., Noguez, J., Molina-Espinosa, J.-M., Ramírez-Montoya, M.-S., Navarro-Tuch, S. A., Bustamante-Bello, M.-R., Rosas-Fernández, J.-B., & Molina, A. (2021). The core components of education 4.0 in higher education: Three case studies in engineering education. *Computers & Electrical Engineering*, 93, 107278. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2021.107278>
- Mogoş, R.-I., Bodea, C.-N., Dascălu, M.-I., Safonkina, O., Lazarou, E., Trifan, E.-L., & Nemoianu, I. V. (2018). *TECHNOLOGY ENHANCED LEARNING FOR INDUSTRY 4.0 ENGINEERING EDUCATION.*

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

- Moon, J., & Ryu, J. (2021). The effects of social and cognitive cues on learning comprehension, eye-gaze pattern, and cognitive load in video instruction. *Journal of Computing in Higher Education*, 33(1), 39-63. <https://doi.org/10.1007/s12528-020-09255-x>
- Mostyn, G. R. (2012). *Cognitive Load Theory: What It Is, Why It's Important for Accounting Instruction and Research*. https://www.researchgate.net/publication/284620026_Cognitive_Load_Theory_What_It_Is_Why_It's_Important_for_Accounting_Instruction_and_Research
- Ogueta, M. I. G. (1991). Atención y sus cambios en el espacio visual. *Cognitiva*. <https://www.semanticscholar.org/paper/Atenci%C3%B3n-y-sus-cambios-en-el-espacio-visual-Ogueta/2ccc0307c17f7a9f7c664ddb969a58e0683f910c>
- Orland, M. D., Patetta, M. J., Wieser, M., Kayupov, E., & Gonzalez, M. H. (2020). Does Virtual Reality Improve Procedural Completion and Accuracy in an Intramedullary Tibial Nail Procedure? A Randomized Control Trial. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 478(9), 2170-2177. <https://doi.org/10.1097/CORR.0000000000001362>
- Paas, F., van Gog, T., & Sweller, J. (2010). Cognitive load theory: New conceptualizations, specifications, and integrated research perspectives. *Educational Psychology Review*, 22(2), 115-121. <https://doi.org/10.1007/s10648-010-9133-8>
- Patayon, U., Gallegos, J. M., Mack, P., Bacabis, R., & Vicente, C. (2021). Signaling and Pacing: A Comparative Study on Evidence Based Stimuli using an Eye Tracking Device. *Procedia Computer Science*, 179, 313-320. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.011>
- Perkhofer, L., & Lehner, O. (2019). Using Gaze Behavior to Measure Cognitive Load. *Lecture Notes in Information Systems and Organization*, 73-83.
- Pombo, Fatima & Tschimmel, Katja. (2005). *Sapiens and Demens in Design Thinking—KU Leuven*.

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

https://kuleuven.limo.libis.be/discovery/fulldisplay/lirias1915769/32KUL_KUL:Lirias

- Posner, M. I., Snyder, C. R., & Davidson, B. J. (1980). Attention and the detection of signals. *Journal of Experimental Psychology: General*, *109*(2), 160-174. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.109.2.160>
- Radianti, J., Majchrzak, T. A., Fromm, J., & Wohlgenannt, I. (2020). A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda. *Computers & Education*, *147*, 103778. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103778>
- Samadbeik, M., YAAGHOBI, D., BASTANI, P., ABHARI, S., REZAEI, R., & GARAVAND, A. (2018). The Applications of Virtual Reality Technology in Medical Groups Teaching. *Journal of Advances in Medical Education & Professionalism*, *6*(3), 123-129.
- Seif El-Nasr, M., Vasilakos, A., Rao, C., & Zupko, J. (2009). Dynamic Intelligent Lighting for Directing Visual Attention in Interactive 3-D Scenes. *IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games*, *1*(2), 145-153. <https://doi.org/10.1109/TCIAIG.2009.2024532>
- Shapiro, S. S., & Wilk, M. B. (1965). An analysis of variance test for normality (complete samples)†. *Biometrika*, *52*(3-4), 591-611. <https://doi.org/10.1093/biomet/52.3-4.591>
- Sharafi, Z., Shaffer, T., Sharif, B., & Guéhéneuc, Y.-G. (2015). Eye-Tracking Metrics in Software Engineering. *2015 Asia-Pacific Software Engineering Conference (APSEC)*, 96-103. <https://doi.org/10.1109/APSEC.2015.53>
- Skaramagkas, V., Giannakakis, G., Ktistakis, E., Manousos, D., Karatzanis, I., Tachos, N., Tripoliti, E., Marias, K., Fotiadis, D. I., & Tsiknakis, M. (2023). Review of Eye

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

- Tracking Metrics Involved in Emotional and Cognitive Processes. *IEEE Reviews in Biomedical Engineering*, 16, 260-277. <https://doi.org/10.1109/RBME.2021.3066072>
- Soret, R., Charras, P., Hurter, C., & Peysakhovich, V. (2019). Attentional orienting in virtual reality using endogenous and exogenous cues in auditory and visual modalities. *Proceedings of the 11th ACM Symposium on Eye Tracking Research & Applications*, 1-8. <https://doi.org/10.1145/3317959.3321490>
- Stanton, N. (Ed.). (2005). *Handbook of human factors and ergonomics methods*. CRC Press.
- Strzys, M. P., Kapp, S., Thees, M., Klein, P., Lukowicz, P., Knierim, P., Schmidt, A., & Kuhn, J. (2018). Physics holo.lab learning experience: Using Smartglasses for Augmented Reality labwork to foster the concepts of heat conduction. *European Journal of Physics*, 39(3), 035703. <https://doi.org/10.1088/1361-6404/aaa8fb>
- Sun, Z., Xie, H., Jiao, Q., & He, W. (2021). Color coding and working memory: An EEG study of cognitive load reduction. *Frontiers in Psychology*, 12, 773328. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.773328>
- Sweller, J. (2005). Implications of Cognitive Load Theory for Multimedia Learning. En *The Cambridge handbook of multimedia learning* (pp. 19-30). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511816819.003>
- Sweller, J., Ayres, P., & Kalyuga, S. (2011a). *Cognitive Load Theory*. Springer New York. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8126-4>
- Sweller, J., Ayres, P., & Kalyuga, S. (2011b). *Cognitive Load Theory*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8126-4>
- Sweller, J., van Merriënboer, J. J. G., & Paas, F. (2019). Cognitive Architecture and Instructional Design: 20 Years Later. *Educational Psychology Review*, 31(2), 261-292. <https://doi.org/10.1007/s10648-019-09465-5>

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

- Tang, Y. M., Au, K. M., Lau, H. C. W., Ho, G. T. S., & Wu, C. H. (2020). Evaluating the effectiveness of learning design with mixed reality (MR) in higher education. *Virtual Reality*, 24(4), 797-807. <https://doi.org/10.1007/s10055-020-00427-9>
- van Merriënboer, J. J. G., & Sweller, J. (2005). Cognitive Load Theory and Complex Learning: Recent Developments and Future Directions. *Educational Psychology Review*, 17(2), 147-177. <https://doi.org/10.1007/s10648-005-3951-0>
- Videnovik, M., Vold, T., Kiønig, L., & Trajkovik, V. (2019). Design Thinking Methodology for Increasing Quality of Experience of Augmented Reality Educational Games. *2019 18th International Conference on Information Technology Based Higher Education and Training (ITHET)*, 1-9. <https://doi.org/10.1109/ITHET46829.2019.8937385>
- Vogt, A. (2021). Learning in Virtual Reality: Bridging the Motivation Gap by Adding Annotations. *ResearchGate*. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.645032>
- Wen, P., Lu, F., & Mohamad Ali, A. Z. (2024). Using attentional guidance methods in virtual reality laboratories reduces students' cognitive load and improves their academic performance. *Virtual Reality*, 28(2), 110. <https://doi.org/10.1007/s10055-024-01012-0>
- Wickens, C. D., Gordon, S. E., & Liu, Y. (1998). *An introduction to human factors engineering*. Longman.
- Wong, W. (1982). *Fundamentos del diseño bi- y tri-dimensional*. Gustavo Gili.
- Young, J., Sharlin, E., & Igarashi, T. (2011a). What Is Mixed Reality, Anyway? Considering the Boundaries of Mixed Reality in the Context of Robots. En X. Wang (Ed.), *Mixed Reality and Human-Robot Interaction* (pp. 1-11). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-0582-1_1
- Young, J., Sharlin, E., & Igarashi, T. (2011b). What Is Mixed Reality, Anyway? Considering the Boundaries of Mixed Reality in the Context of Robots. En X. Wang (Ed.), *Mixed*

CONFIGURACIÓN DE IGU ORIENTADAS A EP EN RM

Reality and Human-Robot Interaction (pp. 1-11). Springer Netherlands.

https://doi.org/10.1007/978-94-007-0582-1_1

Zagermann, J., Pfeil, U., & Reiterer, H. (2016). Measuring Cognitive Load using Eye Tracking Technology in Visual Computing. *Proceedings of the Sixth Workshop on Beyond Time and Errors on Novel Evaluation Methods for Visualization*, 78-85.

<https://doi.org/10.1145/2993901.2993908>