

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 por la Universidad Industrial de Santander

Grupo de investigación: Interfaz

Universidad industrial de Santander  
Facultad de Ingenierías Físico – Mecánicas  
Escuela de Diseño Industrial  
Maestría en Innovación y Diseño

Bucaramanga, 2025

## **Apéndices**

### **Apéndice A. Protocolo de revisión para el estado del arte**

#### **Objetivo de la revisión**

Establecer un panorama del estado actual del conocimiento sobre los elementos visuales en interfaces gráficas de usuario (IGU) en entornos inmersivos, con especial énfasis en su influencia sobre la atención visual y la carga cognitiva durante entrenamientos procedimentales basados en realidad aumentada (RA), realidad virtual (RV) y realidad mixta (RM).

#### **Tipo de revisión**

Revisión exploratoria no estructurada de literatura científica.

#### **Periodo de revisión**

Febrero a abril de 2021.

#### **Bases de datos consultadas**

- Scopus
- ScienceDirect
- SpringerLink
- IEEE Xplore

#### **Estrategia de búsqueda**

Se utilizaron combinaciones booleanas de palabras clave en inglés, enfocadas en tres núcleos temáticos principales:

1. Atención visual: "visual attention"
2. Carga cognitiva: "cognitive load"

3. Interfaces y entornos inmersivos: "graphical user interface", "user interface design", "augmented reality", "mixed reality", "training system"

Ejemplos de combinaciones utilizadas:

- "cognitive load" AND "graphical user interface" AND "augmented reality"
- "visual attention" AND "mixed reality" AND "training system"
- "user interface design" AND "cognitive load" AND "training"

### **Criterios de inclusión**

- Artículos publicados entre 2016 y 2021.
- Estudios centrados en aplicaciones educativas o de entrenamiento procedimental.
- Investigaciones que incluyeran métricas asociadas a la atención visual o carga cognitiva.
- Textos escritos en inglés o español.
- Accesibilidad al texto completo a través de licencias institucionales.

### **Criterios de exclusión**

- Artículos con baja calidad metodológica o sin validación empírica.
- Estudios centrados exclusivamente en videojuegos u otros fines recreativos.
- Documentos duplicados entre bases de datos.

### **Proceso de selección**

1. Revisión de títulos y resúmenes para evaluar pertinencia temática.
2. Revisión del texto completo para verificar cumplimiento de criterios.
3. Registro en matriz de análisis con variables como:
  - Entorno tecnológico (RA, RV, RM)

- Objetivo del estudio
- Variables evaluadas (retención, atención, carga cognitiva)
- Tipo de usuario
- Elementos visuales presentes en la IGU

### Número de artículos seleccionados

14 artículos científicos.

### Método de análisis

Se aplicó un análisis cualitativo basado en codificación manual y comparación entre estudios, orientado a identificar patrones, vacíos investigativos y contribuciones clave para el diseño de IGU en sistemas de entrenamiento inmersivo.

### Limitaciones del protocolo

- Al tratarse de una revisión exploratoria no sistemática, no se aplicó un protocolo tipo PRISMA.
- Puede haber sesgos por disponibilidad de recursos bibliográficos o por exclusión de literatura gris.

### Principales documentos y hallazgos

N	Documento	Contexto	Hallazgos	Conclusiones
1	Graphic User Interface Design Principles for Designing Augmented Reality Applications (Ejaz et al., 2019)	En la formación de la RA se combinan la percepción, interacción y renovación. Para lograr una mayor interactividad, se deben considerar principios de diseño que involucren la parte física de la interfaz, los gráficos virtuales y el sonido. Los diseñadores de interfaces cuentan con una variedad de información y técnicas para mejorar el rendimiento y la facilidad de uso. Es necesario combinarlos de forma adecuada para lograr una experiencia de usuario efectiva y satisfactoria.	La realidad aumentada es una tecnología emergente que presenta nuevos desafíos para la interfaz de usuario. Sin embargo, existen principios de diseño y usabilidad comunes que se pueden aplicar a las interfaces gráficas de usuario en realidad aumentada, tomando en cuenta los estándares generales de HCI.  Estos principios incluyen affordance, visibilidad y mapeo natural, esfuerzo físico bajo, capacidad de aprendizaje, satisfacción, realimentación, tolerancia al error, reducción de la carga cognitiva, flexibilidad y simplicidad.  Centrándonos en la carga cognitiva.	La investigación propone principios de diseño para sistemas e interfaces de realidad aumentada (RA) con el fin de hacerlos más interactivos y comprensibles para los usuarios, identificando los principales problemas que estos enfrentan al interactuar con ellos. La investigación se encuentra en una etapa inicial y los principios y pautas de diseño propuestos pueden ser desarrollados más a fondo. Generar o sugerir

			<p>Tenemos que:</p> <p>La reducción de la carga cognitiva es esencial para evitar la sobrecarga cognitiva en los usuarios, lo que puede resultar en una disminución en los efectos del aprendizaje. El diseño de la interfaz debe ser eficiente y predecible.</p>	<p>principios que mejoren los sistemas de RA es una tarea difícil. Es importante realizar estudios de experimentación para validar los datos obtenidos.</p>
2	<p>Cognitive Design Considerations for Augmented Reality (Hogg, 2012)</p>	<p>El artículo discute la tecnología de RA y su capacidad para facilitar operaciones complejas. Se destaca la importancia del diseño pensando en el usuario para que las aplicaciones de RA sean efectivas. Además, se discuten las consideraciones de diseño cognitivo en la creación de aplicaciones de RA.</p>	<p>Comprender la cognición y cómo el cerebro interpreta a través de los sentidos es un primer paso importante. Las consideraciones de diseño cognitivo informan los principios de un buen diseño y pueden tomar lo complejo y hacerlo más manejable. Entre las consideraciones se encuentran: el proceso cognitivo de la visión, color, Gestalt, ilusiones perceptuales, desorden cognitivo, herramientas para la sobrecarga cognitiva, aplicaciones de cognición y realidad aumentada.</p>	<p>Las herramientas bien diseñadas no solo pueden facilitar la forma en que se hacen las cosas, sino que también pueden marcar una diferencia en la calidad de vida. Los diseñadores de aplicaciones de RA son prudentes al considerar los problemas cognitivos y los comportamientos humanos al crear aplicaciones que se adapten mejor al usuario. La atención al diseño puede marcar la diferencia en la calidad de la experiencia del usuario y el éxito de la aplicación de RA. Como diseñador, es importante comprender cómo piensa el usuario y hacerlo relevante.</p>
3	<p>Attention Cueing as a Means to Enhance Learning from an Animation (Bjo' Rn B. de Koning, Huib K. Tabbers &amp; Paas, 2007)</p>	<p>Las animaciones son útiles para mostrar procesos complejos y se cree que tienen ventajas sobre los gráficos estáticos, especialmente para la enseñanza. Sin embargo, se sabe poco sobre cómo se procesan cognitivamente las animaciones y cómo adaptarlas para un aprendizaje más efectivo. Por lo tanto, se necesita un estudio sistemático de los procesos cognitivos implicados en el aprendizaje mediante animaciones.</p>	<p>Señalización se define como la adición de información no relacionada con el contenido que resalta ciertos aspectos importantes. Aunque se sabe que las señales son efectivas en los textos, hay pocos estudios sobre su efecto en otros recursos de aprendizaje. Se han obtenido resultados mixtos sobre el efecto de las señales en la carga cognitiva, pero se cree que pueden disminuir la carga externa y optimizar la carga relacionada. Este estudio se enfocó en determinar si agregar una señal visual a una animación compleja del sistema cardiovascular mejoraría los resultados de aprendizaje. Basado en la Teoría de la Carga Cognitiva, se predijo que las señales visuales reducirían la carga externa y mejorarían la efectividad de la animación como recurso de aprendizaje.</p>	<p>Se confirmó que las señales mejoran el rendimiento al aprender a dirigir la atención a aspectos relevantes y asignar los recursos de la memoria de trabajo de manera más eficiente. Los aprendices se beneficiaron de las señales y formaron esquemas más coherentes. No obstante, es incierto si los resultados de la experimentación se aplican a animaciones más largas, con narraciones, varios procesos y velocidades variables.</p>
4	<p>Attention Guiding Techniques using Peripheral Vision and Eye Tracking for Feedback in Augmented-Reality-Based Assistance Systems (Renner &amp; Pfeiffer, 2017)</p>	<p>Los sistemas actuales de RA basados en gafas inteligentes tienen un campo de visión limitado, lo que dificulta guiar la atención del usuario. Este problema se aborda en un proyecto de investigación que presenta señales para guiar la atención a través de la visión periférica y técnicas de guía que se adaptan a los movimientos oculares del usuario. Estas técnicas se evaluaron en una configuración de RA simulada en una configuración de HMD de RV y se encontró que son efectivas para guiar la atención del usuario en condiciones de</p>	<p>Entre las técnicas de orientación y guía de atención utilizadas tradicionalmente, se encuentran: Visualización estacionaria como línea de base, embudo de atención y uso de flechas.</p> <p>Se proponen dos nuevos métodos para guiar la atención en sistemas de realidad aumentada con gafas inteligentes. El primero es la guía basada en ondas esféricas (SWAVE), que utiliza una esfera centrada en la cabeza del usuario para representar ondas que se propagan hacia el objetivo. El segundo método es la orientación adaptativa utilizando la información de la mirada, que ajusta la orientación según la dirección o distancia de la mirada hacia el objetivo.</p>	<p>Se evaluaron diferentes técnicas de guía basadas en RA, incluyendo la técnica de guía SWAVE que utiliza ondas esféricas y la adaptación de la orientación según la dirección actual de la mirada. Se combinaron las técnicas con un resaltado 3D in situ y se aplicó Eye Tracking. La técnica de orientación basada en flechas fue la más rápida y mejor valorada por los participantes, aunque la guía SWAVE también mostró resultados</p>

		"mirada fuera de la pantalla". Sin embargo, se necesitan más investigaciones para determinar si estas técnicas también son efectivas en animaciones más largas o narrativas y en diferentes velocidades de reproducción.		similares. Se propone la guía SWAVE como una alternativa interesante, ya que es más sutil que la flecha y se podría mejorar su visualización en el borde de la pantalla AR.
--	--	--	--	---

## **Apéndice B Protocolo de revisión estructurada de literatura**

### **Objetivo de la revisión**

Identificar, categorizar y analizar los elementos visuales implementados en interfaces gráficas de usuario (IGU) en entornos de realidad aumentada (RA), realidad virtual (RV) y realidad mixta (RM), que puedan incrementar el direccionamiento de la atención visual del usuario durante entrenamientos procedimentales.

### **Pregunta de revisión**

¿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?

### **Tipo de revisión**

Revisión estructurada de literatura científica, basada en el método de revisión sistemática de literatura propuesto por Kitchenham (2004), adaptado a los objetivos del presente proyecto.

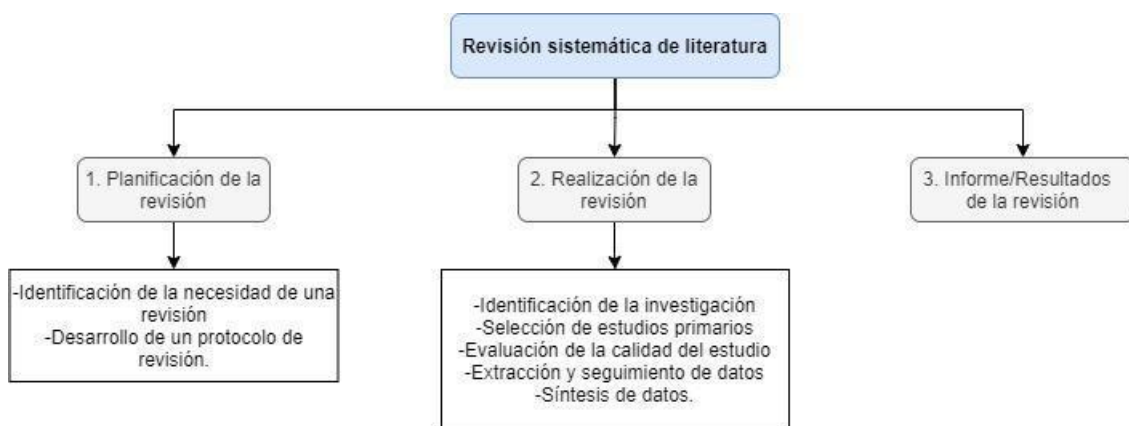
### **Modelo metodológico**

Este estudio consistió en una revisión sistemática de la literatura, basada en las directrices originales propuestas por Kitchenham en 2004. La autora define la revisión sistemática como "un medio de evaluar e interpretar toda la investigación disponible relevante para una pregunta de investigación, área temática o fenómeno de interés en particular". Para llevar a cabo una revisión sistemática, se requieren varias actividades discretas que pueden dividirse

en tres fases principales: planificación, realización e informe de la revisión. La Figura 1 muestra un gráfico de las fases de la metodología de revisión.

La planeación y ejecución de la revisión contemplan tres grandes etapas:

1. **Planificación de la revisión**
2. **Conducción de la revisión**
3. **Reporte de resultados**



*Figura Etapas de la revisión estructurada de literatura según el modelo de Kitchenham (2004), adaptado al contexto de la presente investigación.*

### **Bases de datos consultadas**

- Web of Science
- IEEE Xplore
- Scopus

### **Periodo de búsqueda**

Enero a abril de 2023.

### **Estrategia de búsqueda**

En primer lugar se detectaron las palabras clave.

A	B	C	D
<b>Relacionado con la tecnología utilizada</b>	<b>Relacionado con el tipo de aplicación</b>	<b>Relacionado con el problema a resolver</b>	<b>Relacionado con la señalización visual</b>
Virtual Reality Augmented Reality Mixed Reality	procedural training Training Teaching Learning	Attention Attentional shift Switching of attention Split attention	Cueing Cueing Effects Visual cue Signaling Visual element

Se aplicaron combinaciones booleanas de palabras clave en inglés, priorizando términos relacionados con atención visual, carga cognitiva, diseño de interfaces y entornos inmersivos.

Algunas combinaciones utilizadas fueron:

- "Virtual Reality" AND "procedural training" AND "Attention" AND "Cueing"
- "Augmented Reality" AND "Training" AND "Attentional shift" AND "Visual cue"
- "Mixed Reality" AND "Learning" AND "Split attention" AND "Signaling"
- "Virtual Reality" AND "Teaching" AND "Attention" AND "Visual element"
- "Augmented Reality" AND "procedural training" AND "Switching of attention" AND "Cueing Effects"
- "Mixed Reality" AND "Training" AND "Attention" AND "Visual cue"
- "Virtual Reality" AND "Learning" AND "Attentional shift" AND "Signaling"
- "Augmented Reality" AND "Teaching" AND "Split attention" AND "Visual element"
- "Mixed Reality" AND "procedural training" AND "Attention" AND "Visual cue"
- "Virtual Reality" AND "Training" AND "Attention" AND "Cueing Effects"

### **Criterios de inclusión**

- Artículos científicos publicados entre 2010 y 2023.
- Estudios con enfoque empírico o experimental.
- Investigaciones centradas en entrenamiento, educación o procesos de aprendizaje en RA, RV o RM.

- Estudios que evaluaran la atención visual y/o la carga cognitiva.
- Artículos escritos en inglés o español.

### Criterios de exclusión

- Publicaciones orientadas exclusivamente a videojuegos o simulaciones con fines recreativos.
- Estudios sin evaluación empírica ni validación experimental.
- Artículos sin acceso a texto completo.
- Documentos duplicados entre bases de datos.

### Proceso de selección y análisis

A través de este proceso de búsqueda de artículos se muestran resultados observados en la Tabla sin someterse a ningún tipo de filtro:

#### Documentos encontrados

Ebsco	486
Web of Science	172
Scopus	440
IEEE	150
<b>Total</b>	<b>1248</b>

A partir de este momento se realiza un filtrado por ventana de tiempo, tipo de documento y áreas del conocimiento como se muestra a continuación:

<b>Ventana de tiempo</b>	20 años (2001-2021)
<b>Tipo de documento</b>	Artículos, documentos de revisión, libros.
<b>Áreas del conocimiento</b>	Medicina, psicología, sistemas de computación e información, educación, ciencias multidisciplinares, medicina informática, ciencias del comportamiento, ingeniería multidisciplinaria, ergonomía, ciencias sociales, procesos cognitivos, aprendizaje y demás relacionadas.

#### Artículos encontrados luego de aplicar primer filtro

Ebsco	91
-------	----

Web of Science	149
Scopus	145
IEEE	34
<b>Total</b>	<b>419</b>

De la búsqueda se obtienen 419 artículos los cuales se distribuyen como se muestra en la Tabla 4 y posteriormente se realiza un filtro a partir de lectura de títulos, teniendo en cuenta criterios de inclusión y exclusión previamente establecidos, para lo cual se obtienen 46 artículos que podrían responder la pregunta de investigación. A partir de la selección por lectura de títulos y resúmenes, se identifican 27 artículos que podrían aportar a la solución de la pregunta de investigación, posteriormente a través de la lectura de los artículos seleccionados, se realiza una recopilación de 23 artículos relacionados por bola de nieve, los cuales realizan aportes de peso para esta revisión, el esquema general de la revisión de puede observar en la siguiente Figura.

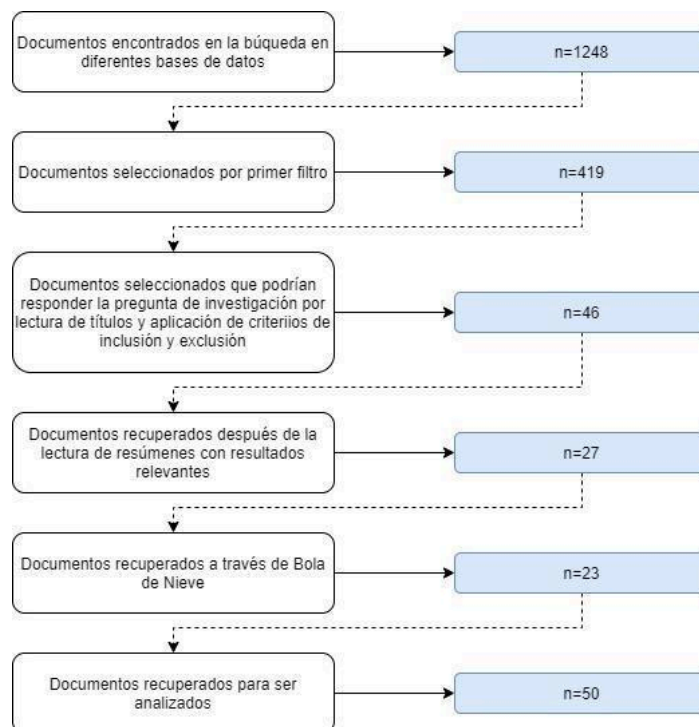


Figura 2 Esquema general de la revisión. Realización propia

### Realización de la revisión

Para el análisis de los documentos obtenidos, se realizó una revisión manual y lectura completa de título, palabras clave, resumen, contenido, discusión y conclusiones, de los 50 artículos seleccionados. Finalmente, para el propósito de la investigación los títulos que se tuvieron en cuenta se muestran a continuación en la Tabla 5:

Tabla 5 Documentos analizados

N°	Título	Autor/Año	Tipo de estudio/ Documento	Muestra
1	Change detection in desktop virtual environments: An eye-tracking study	(Karacan et al., 2010)	Experimentación	128 participantes (75 mujeres y 53 hombres) con edades entre 18 y 35 años
2	Comparison of Unobtrusive Visual Guidance Methods in an Immersive Dome Environment	(Grogorick et al., 2018)	Experimentación	102 participantes (71 hombres y 31 mujeres) con edades entre 19 y 42 años
3	Empirical Study on the Optimization Strategy of Subject Metro Design Based on Virtual Reality	(Wu, 2018)	Experimentación	30 participantes con edades entre 18 y 35 años
4	FixationNet: Forecasting Eye Fixations in Task-Oriented Virtual Environments	(Hu et al., 2021)	Experimentación	27 participantes (15 hombres y 12 mujeres) con edades entre 17 y 32 años
5	Learning to infer human attention in daily activities	(Nan et al., 2020)	Revisión de literatura no estructurada	N/A
6	Physics holo.lab learning experience: using smartglasses for augmented reality labwork to foster the concepts of heat conduction	(Strzys et al., 2018)	Experimentación	59 participantes
7	Saliency in VR: How do people explore virtual environments?	(Sitzmann et al., 2018)	Experimentación	122 participantes (92 hombres, 30 mujeres) con edades entre 17 y 59 años
8	SalNet360: Saliency maps for omni-directional images with CNN	(Monroy et al., 2018)	Experimentación	40 mapas de prominencia emparejados con datos de seguimiento ocular y movimientos de cabeza
9	The Effects of Social and Cognitive Cues on Learning Comprehension, Eye-Gaze Pattern, and Cognitive Load in Video Instruction	(Moon & Ryu, 2020)	Experimentación	64 participantes (45 mujeres y 19 hombres) con una edad media de 22.55
10	The importance of operator knowledge in evaluating virtual reality cue fidelity	(Meusel et al., 2019)	Experimentación	14 agricultores con al menos dos años de experiencia, con edades entre 31 y 40 años
11	The virtual tourist: cognitive strategies and differences in Navigation and map use while exploring an imaginary city	(Török et al., 2018)	Experimentación	62 participantes incluidas sus reacciones verbales y los datos de seguimiento ocular
12	Visual design guidelines for improving learning from dynamic and interactive digital text	(Jin, 2013)	Experimentación	146 participantes (35 hombres y 111 mujeres)
13	Gravitational Laws of Focus of Attention	(Zanca et al., 2020)	Experimentación	6 conjuntos de datos disponibles públicamente (fijaciones, videos e imágenes)
14	Measuring the Impacts of Virtual Reality Games on Cognitive Ability Using EEG Signals and Game Performance Data	(Wan et al., 2021)	Experimentación	20 participantes (14 hombres y 6 mujeres) con una edad media de 22.85
15	Attention cueing as a means to enhance learning from an animation	(Björn B. de Koning, Huib K. Tabbers & Paas, 2007)	Experimentación	40 participantes (10 hombres y 30 mujeres) con edades entre 19 y 33 años.
16	An Empirical Pipeline to Derive Gaze Prediction Heuristics for 3D Action Games	(Bernhard et al., 2010)	Experimentación	20 participantes.
17	How cues of what can be done in a virtual world influence learning: An affordance perspective	(Goel et al., 2013)	Experimentación	174 participantes con edad promedio de 21 años.

18	Screen Captures to Support Switching Attention	(Gellevij & Van Der Meij, 2002)	Experimentación	42 participantes (6 hombres y 36 mujeres).
19	Contextual-Cueing beyond the Initial Field of View—A Virtual Reality Experiment	(Marek & Pollmann, 2020)	Experimentación	19 participantes (11 mujeres y ocho hombres).
20	Development of virtual reality and stereo-panoramic environments for construction safety training	(Rahmalan et al., 2020)	Experimentación	53 participantes.
21	Discipline vs guidance: comparison of visual engagement approaches in immersive virtual environments	(Lee et al., 2021)	Experimentación	30 participantes (13 mujeres, 17 hombres) con una edad promedio de 27,8 años.
22	Human field of regard, field of view, and attention bias	(Jang et al., 2016)	Experimentación	54 participantes (10 mujeres y 44 hombres) con una edad promedio de 30.25
23	Influence of reward learning on visual attention and eye movements in a naturalistic environment: A virtual reality study	(Bourgeois et al., 2018)	Experimentación	41 participantes (20 hombres y 21 mujeres) con edades entre 18 y 37 años.
24	Get Your Guidance Going: Investigating the Activation of Spatial Priors for Efficient Search in Virtual Reality	(Beitner et al., 2021)	Experimentación	30 participantes (21 mujeres y 9 hombres) con edades entre 18 y 41 años
25	Keeping it real: Looking beyond capacity limits in visual cognition	(Kristjánsson & Draschkow, 2021)	Revisión de literatura no estructurada	N/A
26	Learning in Virtual Reality: Bridging the Motivation Gap by Adding Annotations	(Vogt et al., 2021)	Experimentación	61 participantes (21 hombres y 40 mujeres) con edades entre 19 y 52 años.
27	Predicting user visual attention in virtual reality with a deep learning model	(Li et al., 2021)	Experimentación	15 participantes.
28	The Principles of Psychology	(James, 1890)	Libro	N/A
29	Subtle Gaze Guidance for Immersive Environments	(Grogorick et al., 2017)	Experimentación	26 participantes (8 mujeres y 18 hombres) con edades entre 22 y 48 años.
30	The Effect of Task on Visual Attention in Interactive Virtual Environments	(Hadnett-Hunter et al., 2019)	Experimentación	19 participantes (12 hombres y 7 mujeres) con una edad media de 21,9.
31	Dynamic Intelligent Lighting for Directing Visual Attention in Interactive 3-D Scenes	(El-Nasr et al., 2009)	Experimentación	16 participantes.
32	What Attributes Guide the Deployment of Visual Attention and How Do They Do It?	(Wolfe & Horowitz, 2004)	Revisión de literatura no estructurada	N/A
33	A Cognitive Theory of Multimedia Learning: Implications for Design Principles	(Mayer, 2012)	Revisión de literatura no estructurada	N/A
34	A meta-analysis of how signaling affects learning with media	(Schneider et al., 2018)	Revisión bibliográfica estructurada	95 estudios.
35	Attention Guidance Strategies for Supporting Learning from Dynamic Visualizations	(Björn & Jarodzka, 2017)	Capítulo de libro	N/A
36	Attributes of Subtle Cues for Facilitating Visual Search in Augmented Reality	(Lu et al., 2014)	Experimentación	26 participantes (9 mujeres y 17 hombres) con edad media de 27.6.
37	Evaluating Visual Cues for Window Switching on Large Screens	(Hoffmann et al., 2008)	Experimentación	10 participantes.
38	Control Of Goal-Directed And Stimulus-Driven Attention In The Brain	(Corbetta & Shulman, 2002)	Revisión de literaruta no estructurada	N/A
39	An eye-tracking study of cueing effects in multimedia learning	(Jamet, 2014)	Experimentación	32 participantes (22 mujeres y 10 hombres) con una edad media de 22,4 años.
40	Five factors that guide attention in visual search	(Wolfe & Horowitz, 2017)	Revisión de literaruta no estructurada	N/A
41	Gaze Guidance through Peripheral Stimuli	(Lintu, 2009)	Experimentación	10 participantes.
42	Goal Directed Visual Search Based On Color Cues: Co-Operative Effects Of Top-Down & Bottom-Up Visual Attention	(Gaborski et al., 2003)	Experimentación	10 participantes.
43	Guiding attention in controlled real-world environments	(Booth et al., 2013)	Experimentación	20 participantes (16 hombres y mujeres) con edades entre 18 y 29 años.

44	Learning to see: Guiding students' attention via a Model's eye movements fosters learning	(Jarodzka et al., 2013)	Experimentación	72 participantes (50 mujeres y 22 hombres) con edad media de 22.83 años.
45	Misleading contextual cues: How do they affect visual search?	(Manginelli & Pollmann, 2009)	Experimentación	25 participantes (15 mujeres y 10 hombres) con una edad promedio de 24,5 años.
46	Nine Ways to Reduce Cognitive Load in Multimedia Learning	(Mayer & Moreno, 2003)	Revisión de literaruta no estructurada	N/A
47	Spotlight: directing users' attention on large displays	(Khan et al., 2005)	Experimentación	12 participantes (8 hombres y 4 mujeres) con edades entre 22 y 45 años.
48	Subtle Gaze Direction	(Bailey et al., 2009)	Experimentación	10 participantes (5 hombres y 5 mujeres)
49	Visual Guidance with Unnoticed Blur Effect	(Hata et al., 2016)	Experimentación	15 participantes (12 hombres y 3 mujeres) con edades entre 22 y 28 años.
50	The Signaling (or Cueing) Principle in Multimedia Learning	(van Gog, 2014)	Revisión de literaruta no estructurada	N/A

## Organización de resultados

- **Tabla.** Tipos de presentación visual con porcentaje de uso y estudios representativos.
- **Tabla.** Técnicas visuales para guiar la atención, número de estudios, efectividad y ejemplos destacados.

## Número de artículos analizados

50 artículos científicos.

## Método de análisis

Análisis temático y comparativo, basado en codificación manual. Los resultados se organizaron según entorno inmersivo, tipo de técnica visual y efectos reportados sobre la atención visual y carga cognitiva.

## Limitaciones del protocolo

- Aunque se aplicó el enfoque estructurado de Kitchenham, no se siguió la totalidad del protocolo PRISMA.
- Variabilidad metodológica entre estudios incluidos, tanto en las métricas de atención como en los entornos experimentales.

## Resultados

A continuación, se muestran los resultados obtenidos a través de la revisión estructurada de literatura.

### **Forma de presentación de los elementos que pueden impulsar la guía visual ante el campo visual de los usuarios**

En general, la implementación de elementos que guían la atención visual se divide en dos categorías: (a) el uso de elementos activos que se presentan directamente en el campo visual del usuario y son obvios, y (b) el uso de elementos sutiles que pasan desapercibidos ya que se presentan fuera del área foveal. En ambas categorías, se pueden presentar elementos que añaden información a las escenas visuales y dirigen la mirada del usuario hacia el área informativa. La mayoría de las intervenciones existentes son formas de guía visual, como flechas 3D, efectos de resaltado y efectos de parpadeo (Lee et al., 2021). También se pueden utilizar métodos que eliminan información de la escena visual, como difuminar gradualmente la imagen en la pantalla hasta el umbral en el que los espectadores son conscientes de la modulación de la pantalla, mientras que la región donde se debe guiar la atención de los espectadores permanece sin difuminar (Hata et al., 2016). La Tabla 6 muestra los estudios en los que se utilizaron estas dos formas de presentación de los elementos para guiar la atención visual. Además, la Figura 7 muestra que la presentación directa de los elementos se utiliza con mayor frecuencia que la presentación sutil, ya que en el 77,27% (17 documentos) de los casos se utilizaron elementos de forma directa y en el 22,73% (5 documentos) se utilizaron elementos de forma sutil.

#### Uso de forma de presentación directa y sutil

Directa	(Karacan et al., 2010), (Wu, 2018), (Strzys et al., 2018), (Moon & Ryu, 2020), (Meusel et al., 2019), (Jin, 2013), (Zanca et al., 2020), (Bjõrn B. de Koning, Huib K. Tabbers & Paas, 2007), (Bernhard et al., 2010), (Vogt et al., 2021), (El-Nasr et al., 2009), (Hoffmann et al., 2008), (Jamet, 2014), (Booth et al., 2013), (Jarodzka et al., 2013), (Khan et al., 2005), (Hata et al., 2016).
---------	--

Sutil	(Grogorick et al., 2018), (Grogorick et al., 2017), (Lu et al., 2014), (Lintu, 2009), (Bailey et al., 2009).
-------	--

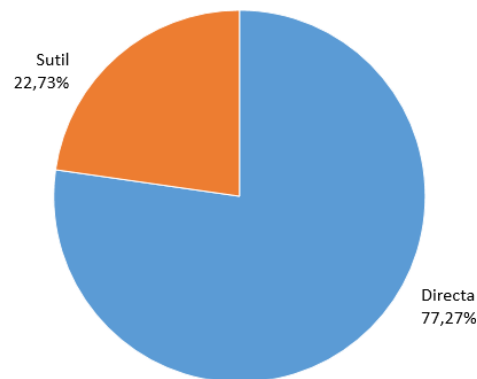


Figura Formas de presentación de elementos

(a) El uso de elementos de forma activa o directa se refiere a que se presentan dentro del campo foveal o cerca de las áreas de interés del usuario (Karacan et al., 2010). Los ojos pueden percibir los detalles de la imagen solo en un 2° región foveal, debido a una rápida caída de la agudeza espacial hacia la periferia de la fovea (Bernhard et al., 2010), por lo que es más probable que el usuario detecte cambios de contenido en las escenas visuales que tienen dentro del centro de un foco visual en posiciones como 0°, 10°, 13° y 14° que la información que se presenta en la región periférica del campo visual (Hu et al., 2021).

(b) El uso de elementos de forma sutil, la característica clave que se utiliza con frecuencia en este tipo de guía de atención es la reducción gradual de la agudeza visual del ojo humano en el campo de visión periférica (Grogorick et al., 2018). Se pueden realizar manipulaciones sutiles en la periferia, las cuales en ocasiones llegan a pasar desapercibidas para el observador, pero aun así influir en su comportamiento visual (Grogorick et al., 2017).

Independientemente de que el objetivo deseado esté en el campo de visión actual, el usuario necesita realizar una búsqueda visual ya que los límites en el procesamiento visual hacen que sea imposible reconocer todo a la vez. La búsqueda implica dirigir la atención a los

objetos que podrían ser el objetivo, y esto se facilita a través de la implementación de los elementos visuales.

### Técnicas visuales para la guía de la atención

A través del análisis de los documentos seleccionados, se detectan las siguientes técnicas de elementos visuales para guiar la atención observadas en la Tabla 7, donde se puede observar la relación con los estudios donde fueron aplicadas. Más adelante se realiza una descripción de cada una, así como los posibles resultados de su aplicación.

Técnicas o elementos visuales para la guía de atención

<b>Color</b>	(Grogorick et al., 2018), (Wu, 2018), (Moon & Ryu, 2020), (Meusel et al., 2019), (Jin, 2013), (Bernhard et al., 2010), (Grogorick et al., 2017), (Hoffmann et al., 2008), (Jamet, 2014), (Jarodzka et al., 2013), (Bailey et al., 2009).
<b>Parpadeo</b>	(Grogorick et al., 2018), (Hoffmann et al., 2008), (Lintu, 2009).
<b>Luminancia o Foco atencional</b>	(Grogorick et al., 2018), (Zanca et al., 2020), (Bjõrn B. de Koning, Huib K. Tabbers & Paas, 2007), (Grogorick et al., 2017), (El-Nasr et al., 2009), (Booth et al., 2013), (Khan et al., 2005), (Bailey et al., 2009).
<b>Movimiento</b>	(Karacan et al., 2010), (Grogorick et al., 2017), (El-Nasr et al., 2009).
<b>Zoom</b>	(Grogorick et al., 2018).
<b>Difuminado</b>	(Grogorick et al., 2018), (Hoffmann et al., 2008), (Lintu, 2009), (Jarodzka et al., 2013), (Hata et al., 2016).
<b>Contigüidad</b>	(Strzys et al., 2018), (Moon & Ryu, 2020), (Vogt et al., 2021).

### Color

Se utiliza el color como una forma de codificación de estímulos para guiar la atención de los usuarios hacia diferentes elementos en la escena visual. En estudios como los realizados por Grogorick et al. (2018), Moon y Ryu (2020), Jin (2013), Bernhard et al. (2010), Grogorick et al. (2017), Hoffmann et al. (2008), Jamet (2014) y Jarodzka et al. (2013), se utiliza el color para destacar elementos importantes a través de técnicas como el resaltado de color, la presentación de elementos en color azul o rojo, el uso de elementos de colores cálidos sobre fondos fríos, entre otras. Estas técnicas logran influir positivamente en

aspectos centrales del procesamiento de información, como la selección visual de información a través de un estímulo relevante y la organización e integración de la información con el conocimiento previo. Además, se demostró que el uso del color guía efectivamente la atención visual de los participantes durante los procesos de instrucción (Moon y Ryu, 2020). En la Figura X se muestra una escena con este elemento aplicado.

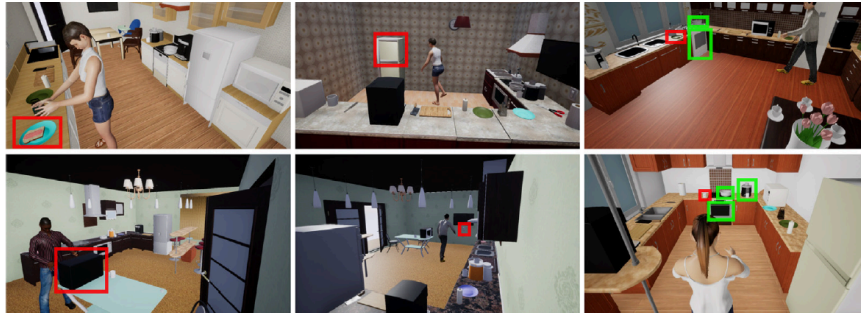


Figura Objetos atencionales indicados como cuadros delimitadores rojos o verdes, tomado de (Nan et al., 2020)

## Parpadeo

Por lo general, esta técnica se utiliza en conjunto con el color, como se muestra en la Figura X, presentando formas de un color determinado que aparecen y desaparecen en lapsos específicos. Un ejemplo es el estudio "Comparison of Unobtrusive Visual Guidance Methods in an Immersive Dome Environment" realizado por Grogorick et al. (2018), donde se presenta un punto rojo en una ubicación específica para dirigir la atención del usuario, con una duración de 120 ms presentando el estímulo durante 120 ms cada dos segundos. Algunos investigadores, como Hoffmann et al. (2008) y Lintu (2009), han aplicado esta técnica llegando a la conclusión de que su uso mejora la eficiencia de la visualización de la escena al reducir la latencia de respuesta a los estímulos y lograr dirigir la mirada del usuario al objetivo.

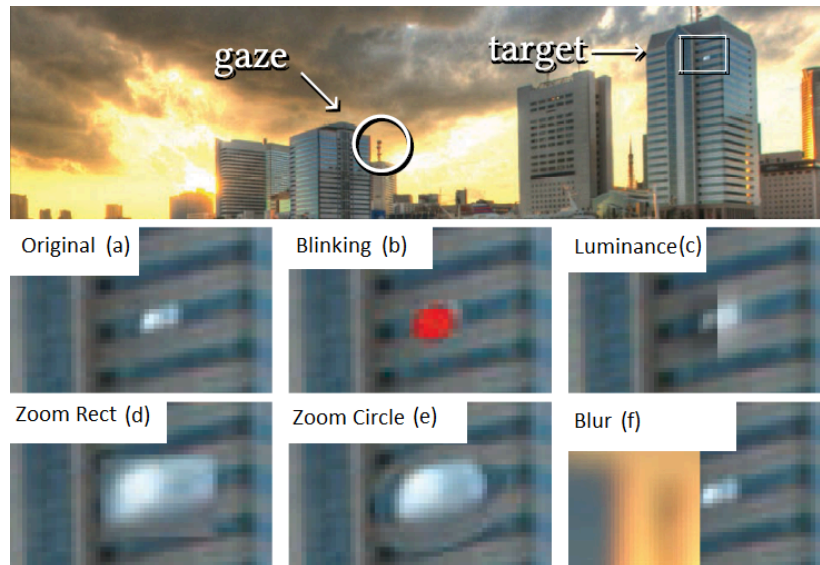


Figura Dirección de visualización inicial dentro de un panorama de 360°, con el punto de mirada actual (●) y el área objetivo (□) resaltados (arriba). (a) Blanco original. (b) Círculo rojo que aparece y desaparece en lapsos. (c) La intensidad del estímulo aumentó y muestra ambos estados (oscuro y brillante) uno al lado del otro. (d) y (e) Ampliación local a una región de imagen objetivo rectangular o circular. (f) El primer plano muestra regiones borrosas (mirada) y no borrosas (objetivo) una al lado de la otra. Tomado de (Grogorick et al., 2018)

### **Luminancia o Foco atencional**

Esta técnica funciona como una señal visual que enfoca la atención del usuario, ya sea oscureciendo el resto del escenario y destacando la parte a enfocar o aumentando el nivel de luz en el objetivo, como se muestra en la Figura a continuación. Se ha utilizado en varios estudios, como los realizados por (Grogorick et al., 2018), (Bjo" Rn B. de Koning, Huib K. Tabbers & Paas, 2007), (Grogorick et al., 2017), (El-Nasr et al., 2009), (Booth et al., 2013), (Khan et al., 2005), (Bailey et al., 2009). Se ha encontrado que el uso de la luminancia de

forma sutil atrae la mirada del espectador, alterando el patrón de visualización.



Figura Técnica de luminancia en una gran pantalla del tamaño de una pared

En uno de los estudios (Björn B. de Koning, Huib K. Tabbers & Paas, 2007) los resultados indicaron que el uso del estímulo fue exitoso para mejorar el rendimiento y que, al dirigir la atención a los aspectos relevantes de la animación, los recursos de la memoria de trabajo pudieron asignarse para aprender de manera más eficiente.

### **Movimiento**

El uso del movimiento de ciertos objetos para guiar la atención del usuario se aplica cambiando la posición de un objeto o realizando recorridos, y también se utiliza acompañado de color, como se pudo detallar en el análisis del estudio "Subtle Gaze Guidance for Immersive Environments" realizado por Grogorick et al. (2017), se muestra un ejemplo de este elemento en la Figura de abajo. Esta técnica también se ha utilizado acompañada de luminancia, como en un estudio desarrollado por El-Nasr et al. (2009), en ambos estudios se concluye una efectividad de la técnica, logrando que el usuario dirija la mirada a objetivos ocultos o que mantenga el flujo de atención constante en un objetivo en movimiento.

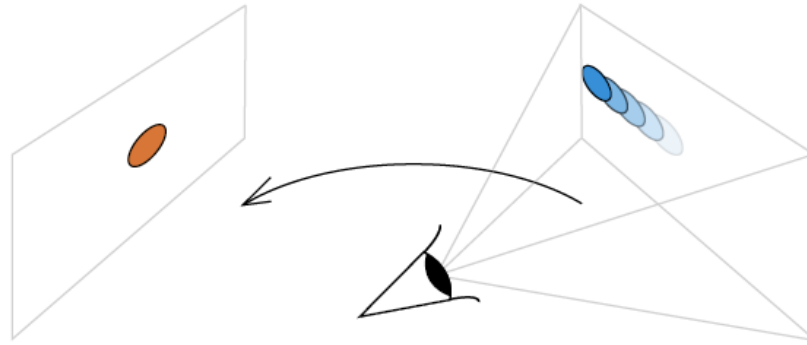


Figura Movimiento. El estímulo (azul) sale del campo de visión del usuario para inducir una rotación de la cabeza hacia el objetivo (naranja). Tomado de (Grogorick et al., 2017)

### **Zoom**

El efecto de zoom se refiere a la magnificación local del punto objetivo, ya sea dentro de un marco rectangular, un marco circular o alguna forma específica, dependiendo del diseño del elemento. Esta técnica fue utilizada en el estudio desarrollado por (Grogorick et al., 2018), y se puede ver una ilustración de esta técnica en la Figura que ilustra el parpadeo (d) y (e).

### **Difuminado**

Esta técnica consiste en un filtrado espacial que reduce el nivel de detalle de la región no objetivo, dejando el espacio o segmento de la escena visual al que se espera que el usuario dirija su atención completamente claro. Esta técnica fue aplicada en el estudio realizado por (Grogorick et al., 2018), como se ve en la Figura que ilustra el parpadeo (f), donde se comparó con otras técnicas utilizadas como el color, el parpadeo, el zoom y la luminancia. En este caso, los autores no recomiendan su uso, ya que, en comparación con la efectividad obtenida por las otras técnicas, sólo presenta un 20% de efectividad en comparación con el 70% de las otras técnicas analizadas. Por el contrario, en estudios (Hoffmann et al., 2008) (Lintu, 2009) (Jarodzka et al., 2013) donde se utilizó como técnica mixta junto con el uso de color y/o parpadeo, se obtuvieron mejores resultados en cuanto a la guía de la mirada.

## Contigüidad

La contigüidad espacial se refiere a la presentación de la información directamente encima o al lado de un objeto, lo que podría suponer una reducción de carga cognitiva de los estudiantes de tal manera que una fracción mayor de la memoria a corto plazo puede usarse durante el proceso cognitivo del aprendizaje (Strzys et al., 2018). Un ejemplo de su aplicación se muestra en la Figura X.

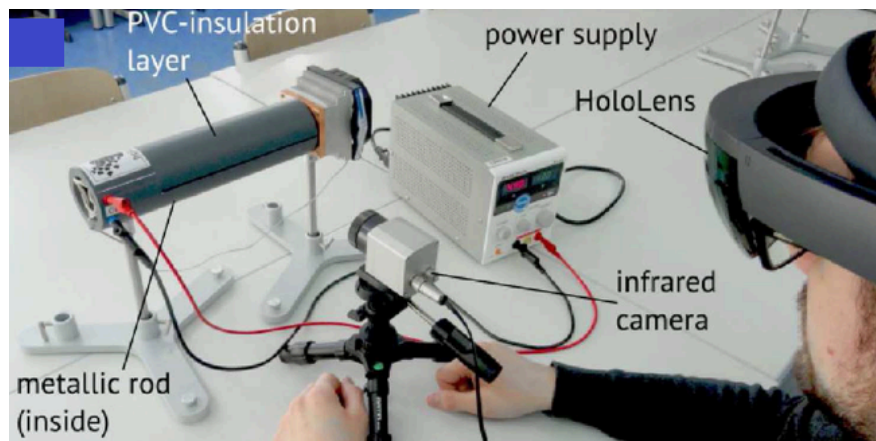


Figura 13 Técnica de contigüidad espacial

## Conclusión de la revisión

La revisión estructurada de literatura permitió identificar y sistematizar los principales elementos visuales que inciden en el direccionamiento de la atención visual dentro de interfaces gráficas de usuario (IGU) orientadas a entrenamientos procedimentales en entornos de Realidad Extendida (RA, RV y RM). Esta exploración, guiada por una metodología rigurosa y fundamentada en el enfoque de Kitchenham, arrojó como resultado la identificación de siete elementos visuales clave: color, parpadeo, luminancia (o foco atencional), movimiento, zoom, difuminado y contigüidad espacial.

Cada uno de estos elementos fue analizado en profundidad, considerando su funcionamiento, los mecanismos perceptuales que activa, y los contextos específicos en los

que ha sido aplicado. Asimismo, se incorporaron ejemplos representativos y resultados experimentales extraídos de los estudios revisados, lo que facilitó una comprensión más precisa de su utilidad y pertinencia en el diseño de interfaces inmersivas.

Uno de los aportes significativos de esta revisión fue la diferenciación entre dos tipos de estrategias atencionales: la dirección atencional directa, que se sitúa dentro del campo foveal del usuario y suele implicar estímulos visuales evidentes o prominentes; y la dirección atencional sutil o indirecta, que actúa en el campo periférico o parafoveal, apoyándose en señales más discretas pero igualmente eficaces bajo ciertas condiciones. Esta clasificación resulta útil para tomar decisiones de diseño basadas en los objetivos de aprendizaje y el nivel de carga cognitiva deseado.

Adicionalmente, se evidenció que no todos los elementos visuales tienen la misma efectividad. Aquellos que mostraron mejores resultados tanto en términos de direccionamiento atencional como de eficiencia cognitiva fueron el color, el movimiento, el parpadeo y la contigüidad. Estos elementos demostraron una alta capacidad para guiar la atención hacia zonas de interés, facilitar la comprensión de la información y reducir la sobrecarga cognitiva externa. En contraste, elementos como el zoom y el difuminado presentaron niveles de efectividad más variables, dependiendo del tipo de tarea y del diseño de la interfaz.

Con base en estos hallazgos, se definieron los cuatro elementos visuales con mayor potencial para ser evaluados en profundidad en las fases experimentales subsiguientes del proyecto. Su análisis permitirá valorar de forma empírica su impacto en variables clave como la carga cognitiva percibida, la retención de información y el comportamiento visual de los usuarios en contextos de realidad mixta, contribuyendo a la construcción de una guía fundamentada para el diseño de IGU en sistemas de entrenamiento procedimental.

## **Referencia**

Kitchenham, B. (2004). *Procedures for Performing Systematic Reviews*. Joint Technical Report, Keele University and National ICT Australia Ltd.

## **Apéndice C. Ampliación del desarrollo Fase 2**

### **Etapa 1: Primer experimento con estímulos visuales en realidad mixta**

Como punto de partida de la segunda fase de esta investigación, se llevó a cabo un primer experimento con el propósito de evaluar el impacto de distintos elementos visuales sobre la carga cognitiva externa en un entorno de realidad mixta. El estudio adoptó un diseño cuasi experimental, prospectivo y transversal, aplicado de forma presencial, y se enfocó en una actividad de aprendizaje relacionada con el procedimiento de toma de muestra de citología cérvico-uterina.

La muestra estuvo compuesta por 40 estudiantes del programa de Diseño Industrial, quienes fueron asignados aleatoriamente a cinco grupos experimentales (n=8 por grupo). Cada grupo fue expuesto a una versión diferente de una interfaz gráfica de usuario (IGU) inmersiva desarrollada para las gafas Microsoft HoloLens 2 que se pueden observar en la Figura X, cuyo contenido era idéntico en todos los casos, con excepción del elemento visual implementado:

- Grupo 1: Control (sin elemento visual)
- Grupo 2: Color
- Grupo 3: Contigüidad espacial
- Grupo 4: Movimiento
- Grupo 5: Parpadeo



Figura 1 Gafas Microsoft Hololens 2

La actividad experimental consistió en una tarea de exploración visual dentro del entorno aumentado, seguida por una prueba práctica de identificación de estructuras anatómicas utilizando un modelo físico del aparato reproductor femenino. Durante la interacción con la interfaz, se registraron datos a través de un sistema de seguimiento ocular SMI Eye Tracking Glasses (ETG) Figura 2, permitiendo recolectar métricas como duración de fijaciones, número de sacadas, velocidad sacádica y número total de fijaciones. Adicionalmente, se midió el tiempo de finalización de la tarea, el número de aciertos en la prueba de retención, y la carga cognitiva percibida mediante la escala de Klepsch (2017) complementada con ítems de Cierniak (2009).



Figura 2 Gafas SMI Eye-tracking

El diseño de los estímulos y pantallas de la interfaz se basó en el *Protocolo para la toma, conservación y transporte de citologías cérvico-uterinas* de la Universidad Industrial

de Santander (ver Anexo 2), adaptado gráficamente al entorno aumentado. Las configuraciones específicas de cada tratamiento visual fueron las siguientes:

- Discontigüidad: el texto y la referencia anatómica se presentaron al frente, mientras que el modelo 3D se ubicó a 45° hacia la izquierda, fuera del campo foveal, exigiendo movimientos de cabeza.
- Contigüidad: el texto y el modelo 3D se posicionaron en proximidad dentro del campo parafoveal, evitando esfuerzos de orientación visual.
- Movimiento: el modelo anatómico se desplazó horizontalmente (izquierda a derecha) en un ciclo continuo de 1 segundo.
- Parpadeo: la figura anatómica aparecía y desaparecía en ciclos de 1 segundo, generando un efecto de intermitencia.

Para el análisis de los datos del primer experimento se estableció un enfoque de comparaciones por pares, contrastando el grupo base (T1) con cada uno de los tratamientos experimentales (T2: color, T3: contigüidad, T4: movimiento y T5: parpadeo). Para cada variable dependiente se aplicaron pruebas estadísticas específicas según el cumplimiento de los supuestos: se utilizaron pruebas de normalidad (Shapiro-Wilk) y homogeneidad de varianzas (Levene), y con base en estos resultados se aplicó la prueba t de Student o la prueba no paramétrica de Mann-Whitney U, según correspondiera. Se consideró un nivel de significancia estadística de  $p < 0.05$ . Aunque se observaron diferencias en las medias entre condiciones, no se obtuvieron resultados estadísticamente significativos para la mayoría de las variables, lo cual motivó una revisión crítica del diseño experimental y dio lugar a las siguientes etapas metodológicas de esta fase.

El detalle completo del protocolo experimental se encuentra en el Anexo 4 junto con las pantallas visualizadas por los participantes. La Figura X a continuación, muestra una parte del desarrollo de la prueba con una participante.

## Resultados y Análisis de datos

Dado que el objetivo central del experimento fue evaluar si la implementación de diferentes elementos visuales generaba cambios significativos en variables asociadas a la atención visual, el desempeño y la carga cognitiva, se optó por realizar comparaciones por pares entre el grupo control (T1) y cada uno de los grupos experimentales (T2 a T5). Esta estrategia permitió identificar los efectos particulares de cada tratamiento sobre las variables analizadas, en lugar de realizar un análisis global.

Para cada comparación (T1 vs T2, T1 vs T3, T1 vs T4, T1 vs T5), se siguió el siguiente procedimiento por variable dependiente:

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.

### Comparación T1 y T2 (Base vs Color)

#### Estadísticos descriptivos

Variable	T1 (Base)	T2 (Color)
Edad (media ± DE)	21.75 ± 2.82	20.62 ± 2.00
Duración de fijaciones (ms)	257.28 ± 14.04	277.39 ± 32.60
Número de fijaciones	1377.25 ± 223.96	1174.75 ± 431.42
Número de sacadas	1234.12 ± 191.95	1031.62 ± 462.74
Velocidad sacádica (°/s)	77.01 ± 17.13	73.39 ± 6.96
Tiempo total (ms)	469563.98 ± 63629.64	501519.05 ± 67117.05
Retención (puntaje)	4.88 ± 0.99	4.38 ± 1.51
Carga cognitiva (Klepsch)	32.62 ± 4.07	35.38 ± 5.15

Los estadísticos descriptivos muestran ciertas diferencias entre el grupo control (T1) y el grupo con tratamiento de color (T2) en varias de las variables analizadas. En promedio, el grupo T2 presentó mayores valores en la duración de fijaciones y tiempos totales más elevados, lo que podría sugerir un procesamiento más detallado de la información. Sin embargo, también mostró menores valores en el número de fijaciones y sacadas, lo que podría indicar un direccionamiento visual más eficiente. En cuanto al desempeño, el grupo T1 obtuvo un puntaje levemente superior en la prueba de retención, mientras que el grupo T2 reportó una mayor carga cognitiva percibida. Estas tendencias permiten observar patrones iniciales entre ambos grupos, aunque es necesario evaluar su significancia estadística a través de las pruebas inferenciales correspondientes.

### Comparativo

Variable	p Shapiro T1	p Shapiro T2	Normalidad T1	Normalidad T2	p Levene	Homogeneidad	Prueba aplicada	p Comparación	Diferencia significativa
Duración de fijaciones	0.694	0.031	Sí	No	0.312	Sí	U Mann-Whitney	0.083	No
Número de fijaciones	0.186	0.212	Sí	Sí	0.203	Sí	t de Student	0.258	No
Número de sacadas	0.945	0.029	Sí	No	0.180	Sí	U Mann-Whitney	0.958	No

Velocidad sacádica	0.284	0.066	Sí	Sí	0.017	No	U Mann-Whitney	0.958	No
Tiempo total	0.327	0.539	Sí	Sí	0.882	Sí	t de Student	0.345	No
Retención del conocimiento	0.567	0.149	Sí	Sí	0.441	Sí	t de Student	0.168	No
Carga cognitiva percibida	0.493	0.222	Sí	Sí	0.862	Sí	t de Student	0.120	No

Ninguna comparación resultó estadísticamente significativa. Sin embargo, se observó una tendencia marginal en la duración de fijaciones ( $p = 0.083$ ), lo que podría indicar un posible efecto del uso del color como guía visual. El grupo T2 también mostró una mayor carga cognitiva percibida en promedio, aunque la diferencia no fue significativa.

### Comparación T1 y T3 (Base vs Contigüidad)

#### Estadísticos descriptivos

Variable	T1 (Base)	T3 (Contigüidad)
Edad (media $\pm$ DE)	21.75 $\pm$ 2.82	22.00 $\pm$ 2.62
Duración de fijaciones (ms)	257.28 $\pm$ 14.04	251.99 $\pm$ 47.05
Número de fijaciones	1377.25 $\pm$ 223.96	1181.38 $\pm$ 494.17
Número de sacadas	1234.12 $\pm$ 191.95	1081.00 $\pm$ 448.37
Velocidad sacádica ( $^{\circ}$ /s)	77.01 $\pm$ 17.13	91.10 $\pm$ 40.11
Tiempo total (ms)	469563.98 $\pm$ 63629.64	481995.86 $\pm$ 130146.06
Retención (puntaje)	4.88 $\pm$ 0.99	5.75 $\pm$ 0.46
Carga cognitiva percibida	32.62 $\pm$ 4.07	34.62 $\pm$ 6.09

Los datos descriptivos muestran que el grupo T3 (contigüidad) presentó en promedio un mayor puntaje en la prueba de retención y una mayor velocidad sacádica. También mostró menor número de fijaciones y sacadas, lo cual podría interpretarse como un patrón visual más enfocado o eficiente. No obstante, también reportó una mayor carga cognitiva percibida, lo

que sugiere que el tratamiento puede haber exigido un mayor esfuerzo mental. Estas tendencias serán contrastadas a continuación mediante análisis inferenciales.

## Comparativo

Variable	p Shapiro T1	p Shapiro T3	Normalidad T1	Normalidad T3	p Levene	Homogeneidad	Prueba aplicada	p Comparación	Diferencia significativa
Duración de fijaciones	0.694	0.615	Sí	Sí	0.067	Sí	t de Student	0.765	No
Número de fijaciones	0.186	0.003	Sí	No	0.499	Sí	U Mann-Whitney	0.645	No
Número de sacadas	0.945	0.000	Sí	No	0.463	Sí	U Mann-Whitney	0.878	No
Velocidad sacádica	0.284	0.002	Sí	No	0.571	Sí	U Mann-Whitney	0.574	No
Tiempo total	0.327	0.063	Sí	Sí	0.243	Sí	t de Student	0.812	No
Test de retención	0.156	0.032	Sí	No	0.764	Sí	U Mann-Whitney	0.955	No
Carga Cognitiva Percibida	0.343	0.45	Sí	Sí	0.843	Sí	t de Student	0.546	No

En la comparación entre el grupo base (T1) y el grupo con tratamiento de contigüidad (T3), ninguna de las diferencias observadas alcanzó significación estadística. Aunque los datos descriptivos sugerían un mejor desempeño en retención y un patrón visual más eficiente en T3, los resultados inferenciales no confirmaron estas diferencias.

Cabe destacar que varias variables no cumplieron el criterio de normalidad en el grupo T3, por lo cual se aplicaron pruebas no paramétricas (Mann-Whitney U) en la mayoría de los casos. A pesar de esto, todas las comparaciones arrojaron p-valores superiores a 0.05, indicando que las diferencias encontradas podrían deberse a la variabilidad natural de los datos.

## Comparación T1 y T4 (Base vs Movimiento)

### Estadísticos descriptivos

Variable	T1 (Base)	T4 (Movimiento)
Edad (media ± DE)	21.75 ± 2.82	20.75 ± 4.56
Duración de fijaciones (ms)	257.28 ± 14.04	277.97 ± 59.13
Número de fijaciones	1377.25 ± 223.96	1005.88 ± 449.40
Número de sacadas	1234.12 ± 191.95	941.88 ± 467.91
Velocidad sacádica (°/s)	77.01 ± 17.13	69.28 ± 10.38
Tiempo total (ms)	469563.98 ± 63629.64	491554.11 ± 160186.63
Retención (puntaje)	4.88 ± 0.99	4.75 ± 1.16
Carga cognitiva percibida	32.62 ± 4.07	33.88 ± 4.02

En esta comparación, el grupo con tratamiento de movimiento (T4) muestra, en promedio, una menor cantidad de fijaciones y sacadas, lo que podría indicar un mayor enfoque atencional. También se observa una ligera disminución en la velocidad sacádica y un leve aumento en la duración de fijaciones. Aunque las medias de retención y carga cognitiva percibida son similares entre grupos, el grupo T4 presenta un leve aumento en carga cognitiva. Estas observaciones descriptivas serán validadas mediante análisis estadísticos en la siguiente sección.

### Resumen comparativo

Variable	p Shapiro T1	p Shapiro T4	Normalidad T1	Normalidad T4	p Levene	Homogeneidad	Prueba aplicada	p Comparación	Diferencia significativa
Duración de fijaciones	0.694	0.808	Sí	Sí	0.004	No	Mann-Whitney U	0.382	No
Número de fijaciones	0.186	0.079	Sí	Sí	0.318	Sí	t de Student	0.055	No
Número de sacadas	0.945	0.199	Sí	Sí	0.154	Sí	t de Student	0.124	No
Velocidad sacádica	0.284	0.301	Sí	Sí	0.110	Sí	t de Student	0.293	No
Tiempo total	0.327	0.025	Sí	No	0.304	Sí	U Mann-Whitney	0.798	No
Retención del conocimiento	0.156	0.032	Sí	No	0.764	Sí	U Mann-Whitney	0.955	No

Carga cognitiva percibida	0.343	0.450	Sí	Sí	0.843	Sí	t de Student	0.546	No
---------------------------	-------	-------	----	----	-------	----	--------------	-------	----

En esta comparación no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre el grupo base (T1) y el grupo con tratamiento de movimiento (T4). Sin embargo, la variable número de fijaciones presentó un valor de p cercano al umbral de significancia ( $p = 0.055$ ), lo que podría indicar una tendencia en la reducción de fijaciones en el grupo con movimiento. Las demás variables mostraron diferencias descriptivas, pero no significativas. En algunos casos, como en la duración de fijaciones, no se cumplió el supuesto de homogeneidad, lo cual se tuvo en cuenta aplicando la prueba no paramétrica correspondiente.

### Comparación T1 y T5 (Base vs Parpadeo)

#### Estadísticos descriptivos

Variable	T1 (Base)	T5 (Parpadeo)
Edad (media $\pm$ DE)	21.75 $\pm$ 2.82	20.00 $\pm$ 2.20
Duración de fijaciones (ms)	257.28 $\pm$ 14.04	287.38 $\pm$ 33.02
Número de fijaciones	1377.25 $\pm$ 223.96	1326.75 $\pm$ 247.41
Número de sacadas	1234.12 $\pm$ 191.95	1185.88 $\pm$ 244.78
Velocidad sacádica ( $^{\circ}$ /s)	77.01 $\pm$ 17.13	71.03 $\pm$ 24.67
Tiempo total (ms)	469563.98 $\pm$ 63629.64	482078.69 $\pm$ 98578.78
Retención (puntaje)	4.88 $\pm$ 0.99	5.25 $\pm$ 0.46
Carga cognitiva percibida	32.62 $\pm$ 4.07	32.50 $\pm$ 6.52

En comparación con el grupo base, los participantes del grupo con tratamiento de parpadeo (T5) presentaron un mayor tiempo de fijación, así como ligeramente menor número de fijaciones y sacadas, lo cual podría indicar una atención más concentrada. También se observó un leve aumento en el puntaje de retención del conocimiento, sin variaciones

relevantes en la carga cognitiva percibida. Estas diferencias descriptivas serán contrastadas a continuación mediante análisis estadísticos.

### Comparativo

Variable	p Shapiro T1	p Shapiro T5	Normalidad T1	Normalidad T5	p Levene	Homogeneidad	Prueba aplicada	p Comparación	Diferencia significativa
Duración de fijaciones	0.694	0.004	Sí	No	0.256	Sí	U Mann-Whitney	0.024	Sí
Número de fijaciones	0.186	0.911	Sí	Sí	0.742	Sí	t de Student	0.675	No
Número de sacadas	0.945	0.683	Sí	Sí	0.732	Sí	t de Student	0.668	No
Velocidad sacádica	0.284	0.001	Sí	No	0.981	Sí	U Mann-Whitney	0.227	No
Tiempo total	0.327	0.251	Sí	Sí	0.513	Sí	t de Student	0.767	No
Retención del conocimiento	0.156	0.050	Sí	Sí	0.372	Sí	t de Student	0.145	No
Carga cognitiva percibida	0.343	0.343	Sí	Sí	0.284	Sí	t de Student	0.955	No

La comparación entre el grupo base (T1) y el grupo con tratamiento de parpadeo (T5) muestra una diferencia estadísticamente significativa en la variable de duración de fijaciones ( $p = 0.024$ ), indicando que los estímulos con parpadeo podrían estar generando un efecto en la forma en que se distribuye la atención visual. El resto de las variables no presentó diferencias significativas, aunque en el caso de retención, el p-valor se aproximó al umbral convencional ( $p = 0.145$ ), lo cual podría explorarse en estudios con mayor potencia.

El análisis comparativo entre el grupo control (T1) y los distintos tratamientos visuales (T2 a T5) permitió identificar patrones relevantes en las variables de atención visual, desempeño en la tarea y carga cognitiva percibida.

En general, la mayoría de las comparaciones no mostraron diferencias estadísticamente significativas, lo cual sugiere que, bajo las condiciones de este experimento, la implementación de elementos visuales como color, contigüidad, movimiento o parpadeo no

generó un impacto robusto en las métricas evaluadas. Sin embargo, se observaron tendencias interesantes en algunas condiciones específicas, que permiten abrir líneas de interpretación para futuras investigaciones.

En la comparación T1 vs T2 (color), se identificó una tendencia marginal en la duración de fijaciones ( $p = 0.083$ ), lo que sugiere que este elemento podría haber inducido un cambio en el foco atencional, aunque sin alcanzar significancia estadística.

En la comparación T1 vs T3 (contigüidad), no se encontraron diferencias significativas, aunque descriptivamente se observó una mejora en el puntaje de retención del conocimiento, que no fue confirmada estadísticamente.

En la comparación T1 vs T4 (movimiento), la variable número de fijaciones presentó un p-valor cercano a la significancia ( $p = 0.055$ ), lo cual puede interpretarse como una posible reducción del escaneo visual en este grupo.

Finalmente, en la comparación T1 vs T5 (parpadeo), se encontró una diferencia estadísticamente significativa en la duración de fijaciones ( $p = 0.024$ ), lo que sugiere que este tratamiento sí generó un efecto sobre la forma en que los participantes distribuyeron su atención visual. En términos generales, estos hallazgos refuerzan la idea de que los elementos visuales podrían influir de manera diferencial según su tipo, siendo el parpadeo el único que mostró un efecto significativo.

Por otro lado, también se plantea una hipótesis importante relacionada con el medio en el que se desarrolló la actividad: la realidad mixta (RM). Es posible que este entorno, por su complejidad perceptiva e interacción multisensorial, imponga una carga cognitiva elevada, lo cual disminuye la eficacia de los elementos visuales diseñados para reducir el esfuerzo mental. En estudios previos, la efectividad de estos elementos ha sido documentada en

contextos como pantallas de computador, proyecciones con videobeam e incluso entornos de realidad virtual (RV), pero los resultados no son necesariamente transferibles de forma directa a la RM, donde los estímulos compiten en un espacio tridimensional inmersivo.

A partir de estos hallazgos, se propone realizar una revisión rápida de literatura especializada, con el fin de identificar:

- Qué medidas de procesamiento cognitivo son más sensibles en entornos aumentados o inmersivos.
- Cuál ha sido su comportamiento típico frente a intervenciones similares.
- Qué tamaños muestrales se han utilizado en estudios comparables.

Este enfoque permitirá resolver el interrogante que surge a partir de los resultados obtenidos en esta primera aplicación experimental, y avanzar en la comprensión de cómo los elementos visuales impactan el procesamiento de la información en interfaces diseñadas para entornos de realidad mixta.

## **Etapa 2: Revisión no estructurada**

A partir de los resultados obtenidos en el primer experimento, se consideró pertinente realizar una revisión de literatura con el fin de identificar posibles elementos que permitieran fortalecer el diseño metodológico de una nueva intervención experimental. Esta revisión tuvo como objetivo principal analizar cómo se han implementado elementos visuales para guiar la atención en estudios previos, especialmente en contextos digitales o inmersivos, y qué tipo de resultados se han obtenido en relación con la carga cognitiva externa y el direccionamiento visual. En total se revisaron 14 artículos científicos, seleccionados por su relevancia temática y metodológica. Para cada estudio se extrajo información relacionada con:

- Los elementos visuales utilizados como guías atencionales (por ejemplo, color, movimiento, parpadeo, contigüidad espacial);
- El perfil y tamaño de la muestra de participantes;
- Las métricas empleadas para evaluar atención visual o carga cognitiva (tales como registros de eye-tracking, tiempos de respuesta, niveles de acierto y escalas subjetivas);
- Y los resultados reportados, con énfasis en la efectividad o no de los estímulos visuales aplicados.

En la Tabla se muestran los documentos analizados

Estudio/Fecha	Elemento	Muestra	Métricas	Resultados
An eye movement analysis of the spatial contiguity effect in multimedia learning 2012	Contigüidad espacial	25 por tratamiento (50 total)	transiciones integradoras Transiciones de texto a diagrama Transiciones correspondientes Proporción de transiciones correspondientes Proporción de fijaciones en el diagrama Proporción de fijaciones en el texto Tiempo total de fijación en el diagrama (seg) Tiempo total de fijación en el texto (seg) Duración y número de Fijaciones y sacadas	En las medidas de procesamiento cognitivo durante el aprendizaje, los grupos integrados realizaron significativamente más movimientos oculares del texto al diagrama y viceversa y significativamente más movimientos oculares del texto a la parte correspondiente del diagrama que los grupos separados. Se obtuvieron los mismos resultados para las medidas del resultado del aprendizaje.
Role of subjective and objective measures of cognitive processing during learning in explaining the spatial contiguity effect 2019	Contigüidad espacial	39 por tratamiento (78)	Porcentaje de tiempo dedicado al texto; porcentaje de tiempo dedicado a ilustraciones relevantes; porcentaje de tiempo dedicado a ilustraciones no relevantes y porcentaje de tiempo dedicado fuera de las AOI. Duración de fijaciones y sacadas. Autoinforme de cantidad percibida de esfuerzo mental.	El grupo integrado pasó significativamente más tiempo mirando el texto ( $d = 0,64$ ), pero significativamente menos tiempo mirando ilustraciones irrelevantes ( $d = 1,10$ ), y reportó un nivel significativamente menor de carga extraña ( $d = 0,57$ ).
Distance Matters: Spatial Contiguity Effects as Trade-Off between Gaze Switches and Memory Load 2012	Contigüidad espacial	22 por tratamiento (44)	Número de fijaciones y sacadas.	Menos cambios de mirada al aumentar la distancia entre las imágenes, lo que sugiere un mayor uso de la memoria de trabajo.
An Eye-Tracking Analysis of Spatial Contiguity Effect in Educational Animations 2015	Contigüidad espacial	6 (12)	Test de retención, duración de fijaciones, número de fijaciones,	Diferencias significativas en la duración de las fijaciones. Este resultado indicó que los participantes en el grupo espacial (contiguo) dedicaron más tiempo al texto relevante que los participantes en el grupo no espacial.

Using Eye Tracking to Analyze the Effects of Spatial Contiguity in MOOC Video Subtitles 2021	Contigüidad espacial	14 (28)	Test de retención, test de transferencia, número de fijaciones, duración de fijaciones, gaze map.	Diferencias significativas en la duración de las fijaciones. Este trabajo no es suficiente para indicar que la posición de presentación de los subtítulos tiene un efecto significativo en el rendimiento.
An eye-tracking study of how color coding affects multimedia learning 2009	Color (fucsia, azul, verde, naranja, rojo y morado)	22 (44)	Lugar de fijación del ojo, duración media de las fijaciones, número de fijaciones y tiempo total de fijación	Diferencias significativas (menor cantidad de tiempo) al encontrar palabras clave de términos relacionados con la tarea. No hubo diferencia significativa entre la duración promedio de la fijación para los dos grupos, ni en el tiempo total de fijación. Las duraciones promedio de fijación más largas se asociaron con un mejor rendimiento de transferencia. El grupo de codificación por color tuvo mejores resultados de transferencia y retención. La duración de la fijación no fue un predictor significativo de las calificaciones subjetivas de dificultad del material de aprendizaje
Calorie disclosure and color-coding on QSR menus: A multi-method approach using eye-tracking technology, groupin g and surveys 2018	Color (verde, amarillo y rojo)	20 (40)	Heat map. Número de fijaciones	No hubo diferencias significativas en el número de fijaciones para el tratamiento con color, sin embargo, hubo mejores selecciones de comida.
Effects of different nutrition labels on visual attention and accuracy of nutritional quality perception – Results of an experimental eye-tracking study 2020	Color (verde, amarillo, rojo)	25 (50)	Tiempo de permanencia, número de fijaciones y duración promedio de la fijación.	Hubo diferencias significativas en el número de fijaciones, el tiempo de permanencia y en la duración promedio de las fijaciones. Todas las medidas fueron menores para el tratamiento planteado por el investigador. Esto indica mejores resultados en el tiempo de procesamiento al percibir la información nutricional. La codificación por colores permite a los consumidores sacar conclusiones más rápido.
Processing and Integrating Multimodal Material – The Influence of Color-Coding 2005	Color (fucsia, azul, amarillo y verde)	10 (20)	Tiempo total de experimento. Duración y número de fijaciones.	Los sujetos del grupo de color fueron significativamente más rápidos en el procesamiento del material. Duración y número de fijaciones son significativamente menores para el tratamiento con color. Las pruebas de retención no muestran diferencias significativas, sin embargo, los sujetos expuestos al tratamiento de color respondieron más rápido.
Studying the expertise reversal of the multimedia signaling effect at a process level: evidence from eye tracking 2019	Color (azul y verde)	38 (76)	(a) recuento de fijación en textos, (b) recuento de fijación en imágenes, (c) el tiempo hasta la primera fijación de textos, (d) el tiempo hasta la primera fijación de imágenes y (e) el número de transiciones entre textos e imágenes. Número y duración de fijaciones. Para la carga cognitiva se midió: -Diámetro pupilar. -Escala subjetiva. (Germánica y externa).	Hubo una diferencia significativa en el tiempo que se demoraban los participantes en mirar la imagen correspondiente al texto. Siendo menor el tiempo del tratamiento con color. No hubo diferencias significativas para la carga cognitiva.

User Performance and Reading Strategies for Metro Maps: An Eye Tracking Study 2016	Color (azul, amarillo, rojo, verde)	20 (40)	<p>Tiempo total de la tarea. Longitud de sacadas. Duración promedio de fijaciones.</p> <p>La longitud sacádica promedio se puede utilizar para categorizar el movimiento ocular. Los valores más grandes indican un movimiento ocular más exploratorio. Los valores más pequeños podrían corresponder a una mayor dificultad de la tarea.</p> <p>La duración media de la fijación se utilizó como indicador de la profundidad del procesamiento cognitivo. Los valores altos normalmente significan que un participante investigó un área más detenidamente, ya que la tarea lo ha demandado o debido a un alto grado de complejidad. Los valores más bajos, que ocurren en un área restringida en combinación con una longitud sacádica promedio pequeña, podrían ser un indicador de estrés.</p>	<p>Hubo diferencia significativa en el tiempo de finalización de la tarea, siendo más rápida la codificación por color. Hubo diferencias significativas en la longitud de las sacadas y la duración de las fijaciones.</p> <p>Los participantes usan un movimiento ocular más exploratorio (mayor longitud de movimientos sacádicos) y pueden identificar información relevante más fácilmente mientras usan mapas de colores.</p>
Change detection in desktop virtual environments: An eye-tracking study 2010	Movimiento	16 (128)	<p>Tiempo promedio de fijación del ojo para un solo objeto. Comparando expertos e inexpertos.</p> <p>Los objetos: -Aparecían. -Desaparecían. -Desplazaban. -Reemplazaban.</p>	<p>Hubo diferencias en la atención visual a los cambios dependiendo de la familiarización con el ambiente. los usuarios expertos notaban más rápido el cambio.</p> <p>La condición de objeto nuevo fue el tipo de cambio que más atrajo la mirada de los participantes en los dos grupos. Siguiendo en el orden de Reemplazado, Desplazado y Eliminado.</p>
Subtle Gaze Guidance for Immersive Environments 2017	Movimiento	17 ppe	Tiempo de fijación al target.	<p>Hubo diferencia significativa en el tiempo de la fijación al target cuando se utilizaba la guía con movimiento. Cuando no se usaba 37 segundos. Cuando se usaba 8 segundos.</p>
Comparison of Unobtrusive Visual Guidance Methods in an Immersive Dome Environment 2018	Parpadeo	8 (102)	<p>Tiempo de fijación al target. Comparan 6 métodos diferentes de guiar la atención: -Sin guía -Parpadeo con color -Luminancia local -Círculo zoom -Rectángulo zoom -Difuminar</p>	<p>Se obtuvieron los mejores resultados (tiempos más cortos de fijación al target) con: Parpadeo con color Círculo zoom Rectángulo zoom Sin diferencias significativas entre ellos. Con diferencias con los otros tres métodos. Siendo el más efectivo el Rectángulo zoom.</p>

Como parte de este análisis, se elaboró una tabla resumen que consolida el número de estudios que utilizaron cada tipo de elemento visual y la muestra promedio por estímulo, con el fin de contar con una base comparativa para la reestructuración del nuevo experimento.

Esta tabla se presenta a continuación:

Elemento	Estudios	Muestra promedio por estímulo
Contigüidad	5	21

Color	6	23
Movimiento	2	17
Parpadeo	2 (1)	8

*Nota: En el caso del parpadeo, uno de los estudios reporta resultados combinados con otros estímulos, lo cual se indica entre paréntesis.*

Esta información permitió identificar tendencias relevantes sobre el uso de elementos visuales en estudios previos y establecer referentes empíricos para tomar decisiones informadas sobre el rediseño del estímulo experimental, la redefinición de métricas más sensibles y la ampliación del tamaño muestral. El detalle completo de los estudios revisados, así como las variables y resultados reportados, se presenta en el Anexo 5.

A partir de los hallazgos obtenidos en la revisión de literatura, se establecieron una serie de ajustes metodológicos para el diseño de un nuevo experimento que permitiera observar de forma más sensible el efecto de los elementos visuales en la atención y la carga cognitiva externa en contextos de realidad mixta.

En esta nueva propuesta experimental se conservará la estructura general del diseño anterior (grupos independientes, tarea de aprendizaje guiada, evaluación por eye-tracking y escalas), pero se ajustaron los tratamientos y se redefinieron las variables dependientes prioritarias, de acuerdo con lo reportado en la literatura especializada y los patrones más consistentes en los estudios revisados.

En cuanto a los tratamientos, se optó por aplicar los elementos visuales de forma más notoria y combinada con la contigüidad de campo, dado que este aspecto fue recurrente en los artículos con resultados positivos. Además, se mantuvo un grupo control con una interfaz base sin ningún elemento de guía visual. Las variables dependientes seleccionadas se

centraron en aquellas más sensibles al direccionamiento atencional (duración y número de fijaciones, número de sacadas), complementadas por indicadores de desempeño y percepción cognitiva.

La configuración general propuesta para este nuevo estudio es la siguiente:

Elemento	VARIABLES DEPENDIENTES	Otras variables a analizar
Base (sin contigüidad, sin color, sin movimiento ni parpadeo)	Duración y número de fijaciones, número de sacadas	Test de retención y escala subjetiva de carga percibida
Color (utilizado con contigüidad de campo)	Duración y número de fijaciones, número de sacadas	Test de retención y escala subjetiva de carga percibida
Movimiento (utilizado con color y contigüidad de campo)	Duración y número de fijaciones, número de sacadas	Test de retención y escala subjetiva de carga percibida
Parpadeo (utilizado con color y contigüidad de campo)	Duración y número de fijaciones, número de sacadas	Test de retención y escala subjetiva de carga percibida

Este planteamiento busca responder de manera más precisa a la hipótesis sobre el impacto de los elementos visuales en el procesamiento cognitivo en realidad mixta, abordando los vacíos identificados en el primer experimento y fortaleciendo la capacidad del diseño para detectar posibles efectos diferenciales.

### **Etapas 3: Reformulación del experimento**

Con base en los hallazgos de la primera etapa experimental y en los resultados de la revisión no estructurada de literatura, se planteó una reconfiguración del diseño experimental, orientada a fortalecer la sensibilidad del estudio frente al efecto de los elementos visuales. Uno de los cambios más importantes consistió en modificar el contenido del estímulo visualizado por los participantes: en lugar de trabajar con el procedimiento de toma de citología cérvico-uterina, se optó por un nuevo procedimiento del área biomédica, igualmente perteneciente al dominio del aprendizaje procedimental, pero más adecuado para una implementación estructurada en entornos de realidad mixta.

En este nuevo estudio, el procedimiento presentado correspondió al frotis sanguíneo, una técnica común en contextos de formación en laboratorio clínico. Este procedimiento

permitió un rediseño más controlado de la interfaz aumentada, facilitando la implementación precisa de los elementos visuales definidos en la fase de revisión.

Antes de realizar el experimento completo, se llevó a cabo una prueba piloto, cuyo objetivo fue validar el funcionamiento de la interfaz, verificar la adecuación de las variables e instrumentos, y explorar posibles diferencias preliminares entre condiciones experimentales. La prueba piloto se desarrolló con una muestra reducida, utilizando los mismos tratamientos definidos previamente (color, movimiento, parpadeo y condición base).

Los resultados de la prueba piloto confirmaron los hallazgos previos: no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos, aunque sí se evidenciaron tendencias en las medias que sugerían posibles efectos sutiles de los tratamientos visuales. Esta observación respaldó la decisión de avanzar con la ejecución del experimento completo, esta vez con una muestra ampliada, manteniendo la lógica de grupos independientes y las métricas definidas.

### **Planteamiento de nuevo experimento**

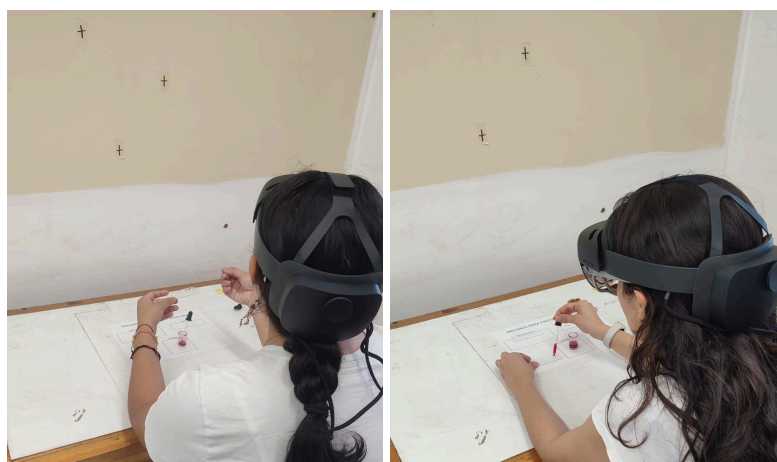
Con base en los resultados del primer experimento y en una revisión de literatura especializada, se desarrolló un segundo estudio experimental orientado a evaluar el efecto de elementos visuales en la carga cognitiva externa dentro de un entorno de realidad mixta, permitiendo determinar si los resultados previos se mantienen y concluir si el tamaño de la muestra y la configuración de los elementos visuales eran un factor determinante en que no se hallaran diferencias significativas en el experimento anterior. En esta ocasión, se rediseñó tanto el estímulo como la estructura de los tratamientos, utilizando como contenido instruccional el procedimiento de elaboración de un frotis sanguíneo, representado en una interfaz aumentada visualizada mediante gafas HoloLens.

El experimento incluyó dos fases: una prueba piloto con 12 participantes y una aplicación ampliada con 80 participantes, distribuidos aleatoriamente en cuatro grupos experimentales. Cada grupo fue expuesto a una interfaz distinta según el tratamiento visual aplicado: grupo control (sin elementos), color con contigüidad, color con contigüidad y movimiento, y color con contigüidad y parpadeo.

Las variables dependientes fueron registradas mediante tecnología de eye-tracking (duración y número de fijaciones, número de sacadas), una prueba de retención de conocimiento aplicada en formato pre y post-test, y una escala subjetiva de carga cognitiva percibida (escala de Klepsch). Para el análisis de los datos de la prueba piloto se estableció un enfoque basado en comparaciones por pares entre el grupo control (T1) y cada uno de los grupos experimentales (T2: color, T3: movimiento, T4: parpadeo). Para cada variable, se aplicaron pruebas de normalidad (Shapiro-Wilk) y homogeneidad de varianzas (Levene), y en función de estos resultados se utilizó la prueba t de Student o la prueba no paramétrica de Mann-Whitney U, según correspondiera. Se consideró un nivel de significancia estadística de  $p < 0.05$ . El protocolo detallado, junto con las pantallas utilizadas y los instrumentos aplicados, se encuentra consignado en el Anexo 6, este protocolo se utilizó tanto para la prueba piloto como para la prueba extendida.

### **Prueba Piloto**

Una vez aplicada la prueba piloto con una muestra de 12 participantes, se procedió al análisis de los datos obtenidos con el objetivo de evaluar el comportamiento de las variables dependientes y validar la pertinencia del diseño experimental. Esta fase permitió identificar posibles efectos preliminares de los tratamientos visuales sobre las medidas de atención, desempeño y carga cognitiva, así como afinar el protocolo antes de su implementación a gran escala.



## Comparación T1 y T2 (Base y Color con contigüidad)

### Estadísticos descriptivos

Variable	Base (M ± DE)	Color (M ± DE)
Edad (años)	24.33 ± 5.03	19.67 ± 0.58
Número de fijaciones	569.00 ± 7.00	455.00 ± 160.60
Número de sacadas	518.33 ± 16.65	417.67 ± 172.08
Duración de fijaciones (ms)	2961.69 ± 190.43	2889.86 ± 569.65
Conocimiento previo (escala)	0.67 ± 0.58	0.67 ± 1.15
Retención del conocimiento	4.67 ± 0.58	5.00 ± 0.00
Carga cognitiva percibida	34.00 ± 7.55	27.67 ± 4.51
Carga cognitiva externa	9.00 ± 5.29	6.67 ± 5.51

Los valores descriptivos sugieren que el grupo T2 (Color) mostró, en promedio, menor carga cognitiva (percibida y externa) y mayor retención del conocimiento, aunque con mayor dispersión en las medidas visuales como número de fijaciones y sacadas. Estas observaciones iniciales serán verificadas mediante análisis estadísticos inferenciales.

### Comparación

Variable	p Shapiro T1	p Shapiro T2	Normalidad T1	Normalidad T2	p Levene	Homogeneidad	Prueba aplicada	p Comparación	Diferencia significativa
Número de fijaciones	1.000	0.835	Sí	Sí	0.138	Sí	t de Student	0.287	No
Número de sacadas	0.463	0.610	Sí	Sí	0.201	Sí	t de Student	0.370	No

Duración de fijaciones (ms)	0.027	0.186	No	Sí	0.493	Sí	U Mann-Whitney	0.700	No
Conocimiento previo	0.000	0.000	No	No	0.678	Sí	U Mann-Whitney	1.000	No
Retención del conocimiento	0.000	1.000	No	Sí	0.374	Sí	U Mann-Whitney	0.505	No

En esta comparación piloto, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre el grupo control (T1) y el grupo con tratamiento de color (T2) en ninguna de las variables analizadas. Aunque descriptivamente el grupo T2 mostró mejores valores en carga cognitiva y retención, estas diferencias no alcanzaron significancia estadística. Cabe señalar que en algunas variables, como la duración de fijaciones y el conocimiento previo, no se cumplió el supuesto de normalidad, lo que refuerza la necesidad de una muestra más amplia para garantizar estabilidad en los resultados.

### **Comparación T1 y T3 (Base y Movimiento con color y contigüidad)**

#### **Estadísticos descriptivos**

Variable	Base (M ± DE)	Movimiento (M ± DE)
Edad (años)	24.33 ± 5.03	20.67 ± 1.53
Número de fijaciones	569.00 ± 7.00	687.33 ± 348.23
Número de sacadas	518.33 ± 16.65	640.67 ± 334.81
Duración de fijaciones (ms)	2961.69 ± 190.43	3157.11 ± 372.95
Conocimiento previo (escala)	0.67 ± 0.58	1.00 ± 0.00
Retención del conocimiento	4.67 ± 0.58	5.00 ± 0.00
Carga cognitiva percibida	34.00 ± 7.55	28.67 ± 3.79
Carga cognitiva externa	9.00 ± 5.29	6.00 ± 1.00

El grupo Movimiento presenta en promedio mayor número de fijaciones y sacadas, así como una duración de fijación ligeramente mayor. Al igual que con el grupo Color, la carga cognitiva (percibida y externa) es menor, y se observa una retención del conocimiento ligeramente superior. Estas observaciones serán verificadas mediante pruebas de significancia a continuación.

### **Comparación**

Variable	p Shapiro T1	p Shapiro T3	Normalidad T1	Normalidad T3	p Levene	Homogeneidad	Prueba aplicada	p Comparación	Diferencia significativa
Número de fijaciones	1.000	0.740	Sí	Sí	0.144	Sí	t de Student	0.588	No
Número de sacadas	0.463	0.600	Sí	Sí	0.184	Sí	t de Student	0.562	No
Duración de fijaciones (ms)	0.027	0.814	No	Sí	0.462	Sí	U Mann-Whitney	1.000	No
Conocimiento previo	0.000	1.000	No	Sí	0.374	Sí	U Mann-Whitney	0.505	No
Retención del conocimiento	0.000	1.000	No	Sí	0.374	Sí	U Mann-Whitney	0.505	No

Tampoco se hallaron diferencias estadísticamente significativas entre el grupo base y el grupo con tratamiento de movimiento. Aunque descriptivamente T3 presentó valores más altos en retención y menor carga cognitiva, las pruebas estadísticas no evidenciaron diferencias robustas. Esto podría estar relacionado con el tamaño de la muestra (n=3 por grupo), lo que limita la potencia del análisis. Aun así, estos resultados permiten observar una tendencia coherente con lo hallado en T2.

### Comparación T1 y T4 (Base y Parpadeo con color y contigüidad)

#### Estadísticos descriptivos

Variable	Base (M ± DE)	Parpadeo (M ± DE)
Edad (años)	24.33 ± 5.03	20.67 ± 2.52
Número de fijaciones	569.00 ± 7.00	619.00 ± 36.86
Número de sacadas	518.33 ± 16.65	561.33 ± 15.50
Duración de fijaciones (ms)	2961.69 ± 190.43	2923.84 ± 233.39
Conocimiento previo (escala)	0.67 ± 0.58	0.67 ± 1.15
Retención del conocimiento	4.67 ± 0.58	5.00 ± 0.00
Carga cognitiva percibida	34.00 ± 7.55	27.67 ± 5.51
Carga cognitiva externa	9.00 ± 5.29	6.67 ± 3.06

Los valores del grupo Parpadeo (T4) presentan una tendencia similar a los tratamientos anteriores: menor carga cognitiva (percibida y externa) y mayor retención del conocimiento, aunque nuevamente con alta dispersión y tamaño muestral reducido.

Procedemos a verificar estadísticamente estas diferencias.

## Comparación

Variable	p Shapiro T1	p Shapiro T4	Normalidad T1	Normalidad T4	p Levene	Homogeneidad	Prueba aplicada	p Comparación	Diferencia significativa
Número de fijaciones	1.000	0.312	Sí	Sí	0.354	Sí	t de Student	0.082	No
Número de sacadas	0.463	0.309	Sí	Sí	0.926	Sí	t de Student	<b>0.031</b>	<b>Sí</b>
Duración de fijaciones (ms)	0.027	0.290	No	Sí	0.837	Sí	U Mann-Whitney	0.700	No
Conocimiento previo	0.000	0.000	No	No	0.678	Sí	U Mann-Whitney	1.000	No
Retención del conocimiento	0.000	1.000	No	Sí	0.374	Sí	U Mann-Whitney	0.505	No

En esta comparación se observó una diferencia estadísticamente significativa en la variable número de sacadas ( $p = 0.031$ ), indicando que el tratamiento con parpadeo podría influir en una exploración visual más concentrada o enfocada. Esta es la única variable que mostró un efecto significativo entre todos los tratamientos analizados en la prueba piloto. El resto de las variables no presentó diferencias significativas, aunque el número de fijaciones estuvo cerca del umbral ( $p = 0.082$ ), lo cual podría explorarse con una muestra mayor.

La prueba piloto se desarrolló con el objetivo de explorar preliminarmente el efecto de distintos elementos visuales (color, movimiento y parpadeo) sobre el procesamiento visual, el desempeño y la carga cognitiva en una tarea de aprendizaje mediada por realidad mixta. Cada tratamiento fue comparado directamente con el grupo base (sin elementos visuales), analizando ocho variables mediante pruebas estadísticas adaptadas al comportamiento de los datos.

Aunque la mayoría de las variables no evidenciaron diferencias estadísticamente significativas, se observaron algunas tendencias descriptivas coherentes con lo reportado en la literatura:

En los tres grupos con elementos visuales (color, movimiento, parpadeo) se evidenció, de forma consistente, una menor carga cognitiva percibida y externa, así como niveles más altos de retención del conocimiento en comparación con el grupo base. Sin embargo, estas diferencias no alcanzaron significancia estadística, con excepción de una:

El grupo Parpadeo (T4) presentó una reducción estadísticamente significativa en el número de sacadas ( $p = 0.031$ ), lo cual sugiere una posible mejora en la eficiencia del escaneo visual con este tipo de estímulo. El número de fijaciones también mostró una tendencia marginalmente significativa ( $p = 0.082$ ) en este mismo grupo, lo cual refuerza la hipótesis de que el parpadeo podría favorecer el direccionamiento de la atención.

Cabe destacar que el tamaño reducido de la muestra por grupo ( $n = 3$ ) representa una limitación importante, afectando la potencia estadística de las pruebas. A pesar de ello, esta fase piloto permitió refinar los instrumentos, validar el protocolo experimental y detectar patrones relevantes que justifican la realización de un segundo experimento con una muestra más amplia y mayor control experimental.

Esta prueba piloto fue diseñada con el propósito de verificar si los resultados obtenidos en el primer experimento (citología cérvico-uterina) podían estar influenciados por errores en el diseño del estímulo, la tarea o el tamaño muestral. Al implementar un nuevo procedimiento (frotis sanguíneo) y reajustar algunos elementos visuales, se esperaba observar efectos más evidentes sobre el procesamiento cognitivo. No obstante, los resultados obtenidos fueron similares a los del experimento anterior, con diferencias no significativas en la mayoría de las variables. Esto sugiere que, más allá del contenido específico del estímulo o del rediseño experimental, podrían existir características propias del medio —la realidad mixta— que imponen una carga cognitiva alta que dificulta la detección de efectos diferenciales. Por esta razón, se considera pertinente avanzar con una prueba ampliada, con

una muestra más robusta y ajustes metodológicos, para verificar de forma más concluyente el comportamiento de las variables cognitivas en entornos aumentados.

### **Prueba ampliada**

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 atención visual, desempeño y carga cognitiva se mantenían en un contexto con mayor robustez estadística. Esta nueva fase incluyó la participación de 80 personas, distribuidas equitativamente en cuatro grupos experimentales, cada uno expuesto a un tipo distinto de tratamiento visual: color y contigüidad (T2), movimiento + color + contigüidad (T3), y parpadeo + color + contigüidad (T4), en comparación con un grupo base sin elementos visuales (T1). El diseño experimental, el contenido del estímulo (procedimiento de frotis sanguíneo), y las tareas asignadas se mantuvieron consistentes con la prueba piloto, garantizando la continuidad metodológica.

El análisis de los datos se desarrolló siguiendo la misma estructura metodológica adoptada en las fases anteriores, basada en comparaciones por pares entre el grupo base (T1) y cada uno de los tratamientos. Para cada variable dependiente se verificaron los supuestos de normalidad (mediante la prueba de Shapiro-Wilk) y homogeneidad de varianzas (mediante la prueba de Levene). En función del cumplimiento de estos supuestos, se aplicaron pruebas inferenciales correspondientes: t de Student cuando se cumplieran ambos supuestos, o Mann-Whitney U en caso contrario. Este enfoque permitió analizar de manera precisa el efecto de cada tratamiento visual sobre variables como duración y número de fijaciones, número de sacadas, velocidad sacádica, retención del conocimiento, y carga cognitiva (percibida y externa). A continuación, se presentan los resultados obtenidos en esta segunda fase del estudio.



## Primera comparación T1(Base) vs T2 (Color y contigüidad)

### Estadísticos descriptivos

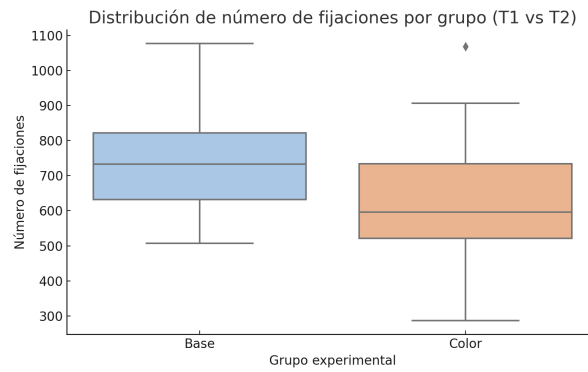
Variable	Base (M ± DE)	Color (M ± DE)
Edad (años)	23.70 ± 4.00	21.50 ± 3.68
Número de fijaciones	731.60 ± 151.95	625.00 ± 188.91
Número de sacadas	688.55 ± 155.85	584.50 ± 185.38
Duración de fijaciones (ms)	2986.34 ± 361.81	2860.18 ± 266.40
Retención del conocimiento	4.40 ± 0.88	4.75 ± 0.64
Carga cognitiva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

Los datos descriptivos 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

#### Número de fijaciones

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)

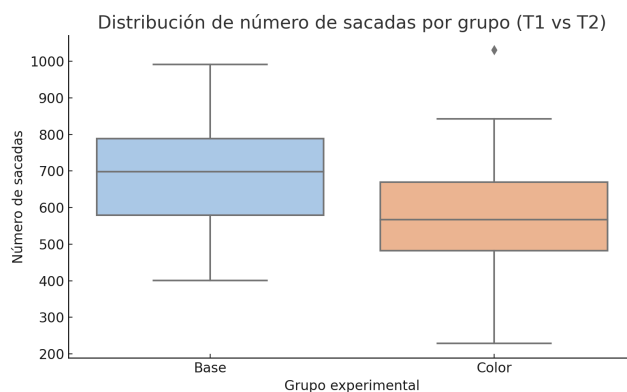


El análisis estadístico de la variable número de fijaciones entre el grupo control (T1) y el grupo con tratamiento de color (T2) mostró que ambos grupos presentan distribuciones normales ( $p = 0.4688$  para T1;  $p = 0.7770$  para T2) y varianzas homogéneas ( $p = 0.6669$ ), lo cual permitió aplicar la prueba t de Student para muestras independientes. El resultado de la comparación no fue estadísticamente significativo ( $p = 0.0566$ ), aunque se encuentra muy cercano al umbral de significancia ( $p < 0.05$ ), lo que sugiere una posible tendencia hacia una menor cantidad de fijaciones en el grupo T2.

Esta observación se ve respaldada visualmente por el gráfico de cajas y bigotes, donde se aprecia que el grupo Color tiende a presentar valores inferiores en la mediana de fijaciones, junto con una mayor variabilidad en comparación con el grupo Base. Estos hallazgos podrían estar indicando un patrón de exploración visual más eficiente inducido por el tratamiento visual, aunque se requiere mayor evidencia para confirmar esta tendencia.

### Número de sacadas

Variable	Normalidad T1 (p)	Normalidad T2 (p)	Homogeneidad (p)	Prueba aplicada	p Comparación	Diferencia significativa
Número de sacadas	0.8135	0.9381	0.7409	t de Student	0.0622	No (tendencia cercana)

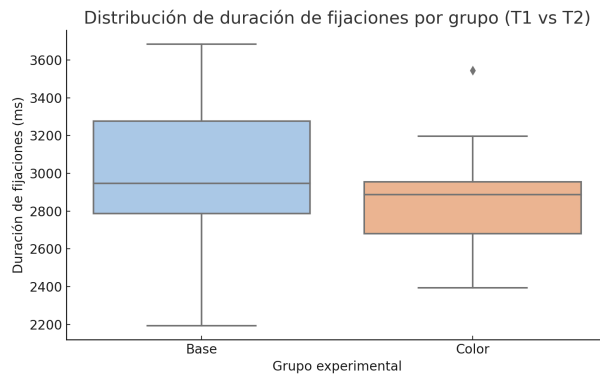


En la comparación entre los grupos T1 (Base) y T2 (Color), los resultados de las pruebas de supuestos indicaron que ambas distribuciones cumplen con los criterios de normalidad ( $p = 0.8135$  para T1 y  $p = 0.9381$  para T2), y que las varianzas son homogéneas ( $p = 0.7409$ ). Por ello, se aplicó la prueba t de Student, la cual arrojó un p-valor de 0.0622, sin alcanzar significancia estadística. Sin embargo, al igual que en la variable anterior, el resultado se encuentra cercano al umbral de significancia ( $p < 0.05$ ).

El gráfico de cajas refuerza esta observación al mostrar que, aunque el grupo Color presenta una menor mediana de sacadas, la diferencia no es lo suficientemente marcada para considerarse estadísticamente significativa. Esta tendencia sugiere que el tratamiento visual basado en color podría estar asociado a una exploración visual más controlada, aunque se requiere mayor potencia estadística para confirmarlo.

### Duración de Fijaciones

Variable	Normalidad T1 (p)	Normalidad T2 (p)	Homogeneidad (p)	Prueba aplicada	p Comparación	Diferencia significativa
Duración de fijaciones (ms)	0.9877	0.5557	0.1536	t de Student	0.2169	No

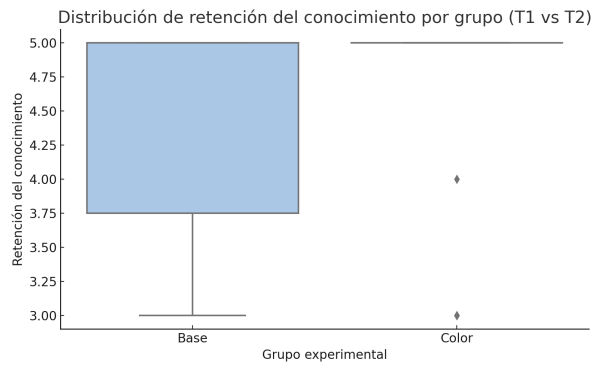


La comparación de la duración de fijaciones entre los grupos T1 y T2 mostró que ambos conjuntos de datos cumplían con los supuestos de normalidad ( $p = 0.9877$  para T1;  $p = 0.5557$  para T2) y homogeneidad de varianzas ( $p = 0.1536$ ), por lo que se aplicó la prueba t de Student. El resultado no fue estadísticamente significativo ( $p = 0.2169$ ), lo cual indica que, bajo estas condiciones, el tratamiento de color no generó un efecto claro sobre el tiempo que los participantes mantuvieron la mirada fija sobre un punto de interés.

El gráfico de cajas refleja distribuciones similares en ambos grupos, con medianas próximas y solapamiento entre los rangos intercuartílicos. Aunque el grupo T2 muestra una ligera reducción en la duración promedio de fijaciones, esta diferencia no es suficiente para establecer un efecto concluyente.

### Retención del conocimiento

Variable	Normalidad T1 (p)	Normalidad T2 (p)	Homogeneidad (p)	Prueba aplicada	p Comparación	Diferencia significativa
Retención del conocimiento	0.0000	0.0000	0.1590	U Mann-Whitney	0.1528	No

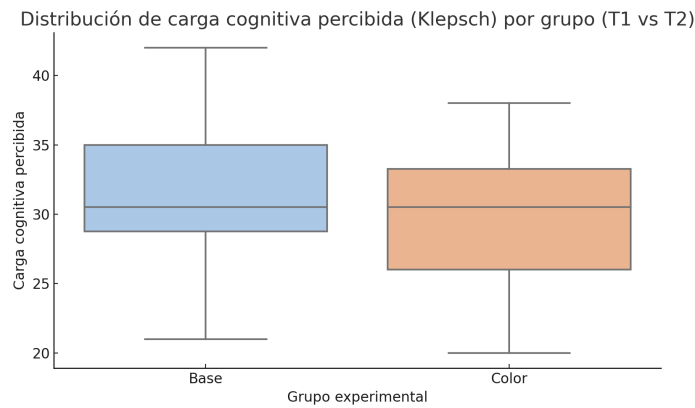


La comparación de los puntajes de retención del conocimiento entre los grupos T1 (Base) y T2 (Color) evidenció que ambos conjuntos de datos violan el supuesto de normalidad ( $p = 0.0000$  para ambos), por lo que se optó por aplicar la prueba no paramétrica de Mann-Whitney U. El resultado obtenido no fue estadísticamente significativo ( $p = 0.1528$ ), lo cual indica que, en este caso, el tratamiento con color no generó un efecto concluyente sobre la capacidad de los participantes para retener la información visualizada.

El gráfico de cajas y bigotes refuerza este hallazgo: aunque el grupo T2 presenta una mediana levemente superior, lo que sugiere una tendencia hacia una mejor retención, la dispersión de los datos y el solapamiento de los rangos intercuartílicos entre los grupos hacen que esta diferencia no sea robusta desde el punto de vista estadístico. Además, la ausencia de caja visible en uno de los grupos se debe a que varios participantes obtuvieron exactamente el mismo puntaje, lo que refleja una concentración elevada de respuestas correctas y limita la sensibilidad del análisis para detectar diferencias sutiles.

### Carga cognitiva

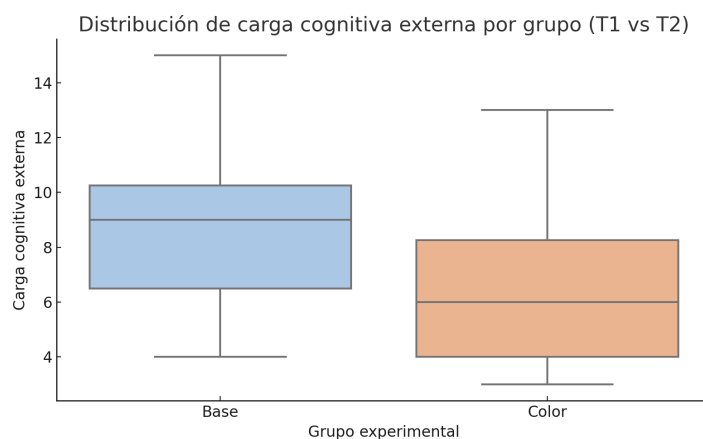
Variable	Normalidad T1 (p)	Normalidad T2 (p)	Homogeneidad (p)	Prueba aplicada	p Comparación	Diferencia significativa
Carga cognitiva percibida	0.7809	0.6860	0.5623	t de Student	0.3443	No



La comparación de la carga cognitiva percibida entre los grupos T1 y T2 mostró que los datos de ambas condiciones cumplen con los supuestos de normalidad ( $p = 0.7809$  para T1 y  $p = 0.6860$  para T2) y presentan varianzas homogéneas ( $p = 0.5623$ ), por lo que se aplicó la prueba t de Student. El análisis no arrojó diferencias estadísticamente significativas ( $p = 0.3443$ ), lo que sugiere que el tratamiento de color no tuvo un efecto claro en la percepción subjetiva del esfuerzo mental requerido por la tarea. En el gráfico de cajas se observa que ambos grupos presentan distribuciones similares, con medianas cercanas y una dispersión moderada en los puntajes. Aunque el grupo T2 mostró una ligera disminución en los valores promedio, esta diferencia no fue suficiente para establecer un efecto robusto en la carga cognitiva percibida.

### Carga Cognitiva Externa

Variable	Normalidad T1 (p)	Normalidad T2 (p)	Homogeneidad (p)	Prueba aplicada	p Comparación	Diferencia significativa
Carga cognitiva externa	0.4092	0.1239	0.4184	t de Student	0.0354	Sí



El análisis estadístico mostró que ambas condiciones cumplen con los supuestos de normalidad ( $p = 0.4092$  para T1;  $p = 0.1239$  para T2) y presentan varianzas homogéneas ( $p = 0.4184$ ), por lo cual se aplicó la prueba t de Student. El resultado fue estadísticamente significativo ( $p = 0.0354$ ), lo cual indica que el grupo con tratamiento de color (T2) experimentó una menor carga cognitiva externa en comparación con el grupo control (T1).

Esta diferencia se refleja claramente en el gráfico de cajas, donde se observa que la mediana del grupo T2 es más baja, y la dispersión de los datos es también menor. Esto sugiere que el uso de color en la interfaz de entrenamiento facilitó la comprensión y organización del contenido visual, reduciendo el esfuerzo cognitivo requerido para procesar la información.

### **Hallazgos primera comparación T1(Base) vs T2 (Color y contigüidad)**

Los resultados de la comparación entre el grupo control (T1) y el grupo con tratamiento de color (T2) evidencian tendencias consistentes en favor del uso del color como elemento visual para guiar la atención y reducir la carga cognitiva. Si bien la mayoría de las variables no mostraron diferencias estadísticamente significativas, se observaron valores de  $p$  cercanos al umbral de significancia en el número de fijaciones ( $p = 0.0566$ ) y el número de sacadas ( $p = 0.0622$ ), lo que sugiere una posible mayor eficiencia atencional en el grupo T2.

En cuanto al desempeño, el grupo T2 obtuvo un puntaje promedio ligeramente superior en retención del conocimiento, aunque esta diferencia no fue estadísticamente significativa. Tampoco se detectaron diferencias relevantes en la carga cognitiva percibida.

Sin embargo, el análisis de la carga cognitiva externa arrojó un resultado estadísticamente significativo ( $p = 0.0354$ ), indicando que los participantes del grupo con tratamiento de color experimentaron un menor esfuerzo cognitivo derivado de la organización del contenido en la interfaz. Este hallazgo respalda la hipótesis de que el uso de elementos visuales como el color puede facilitar el procesamiento de la información en entornos de realidad mixta.

### **Segunda comparación T1(Base) vs T3 (Movimiento, Color y contigüidad)**

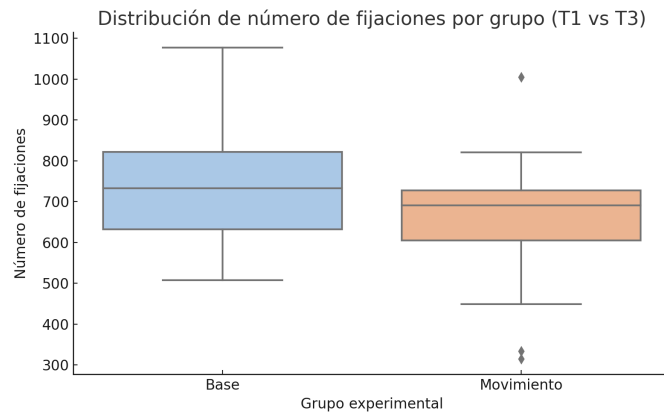
#### **Estadísticos descriptivos**

<b>Variable</b>	<b>T1 (Base)</b>	<b>T3 (Movimiento)</b>
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.

#### **Número de fijaciones**

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

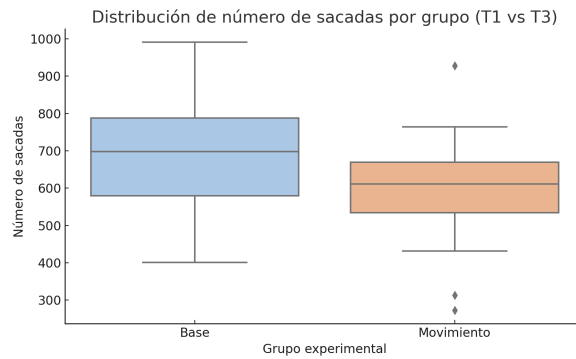


La comparación del número de fijaciones entre el grupo control (T1) y el grupo con tratamiento de movimiento (T3) mostró que ambos conjuntos de datos cumplen con el supuesto de homogeneidad de varianzas ( $p = 0.6371$ ). Aunque la normalidad no fue perfecta en el grupo T3 ( $p = 0.1484$ ), sí fue aceptable en ambos grupos, por lo que se procedió con la prueba t de Student. El análisis no evidenció una diferencia estadísticamente significativa ( $p = 0.1149$ ), aunque se observó una tendencia hacia la reducción del número de fijaciones en el grupo con movimiento.

El gráfico de cajas y bigotes respalda esta observación: la mediana en T3 es ligeramente más baja, y la dispersión es comparable entre grupos. Estos resultados sugieren que la inclusión de elementos en movimiento podría estar asociada a una ligera reducción del esfuerzo visual, aunque los datos actuales no permiten confirmarlo con significancia estadística.

### Número de sacadas

Variable	Normalidad T1 (p)	Normalidad T3 (p)	Homogeneidad (p)	Prueba aplicada	p Comparación	Diferencia significativa
Número de sacadas	0.8135	0.4502	0.5789	t de Student	0.0692	No (tendencia cercana)

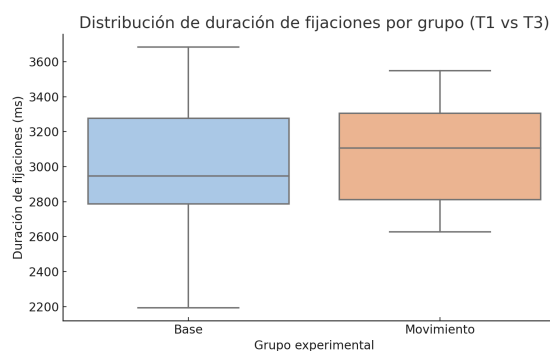


El análisis estadístico para la variable número de sacadas mostró que ambos grupos cumplen con los supuestos de normalidad ( $p = 0.8135$  para T1 y  $p = 0.4502$  para T3) y presentan varianzas homogéneas ( $p = 0.5789$ ). Por tanto, se utilizó la prueba t de Student, la cual arrojó un resultado cercano al umbral de significancia ( $p = 0.0692$ ), sin llegar a ser concluyente.

El gráfico de cajas muestra que el grupo Movimiento (T3) tiene una mediana inferior y menor dispersión que el grupo Base, lo que sugiere una tendencia hacia una exploración visual más eficiente. Aunque la diferencia no es estadísticamente significativa, estos resultados se alinean con las hipótesis teóricas sobre el impacto de los elementos en movimiento en la focalización visual del usuario.

### Duración de las fijaciones

Variable	Normalidad T1 (p)	Normalidad T3 (p)	Homogeneidad (p)	Prueba aplicada	p Comparación	Diferencia significativa
Duración de fijaciones	0.9877	0.2254	0.3197	t de Student	0.2735	No

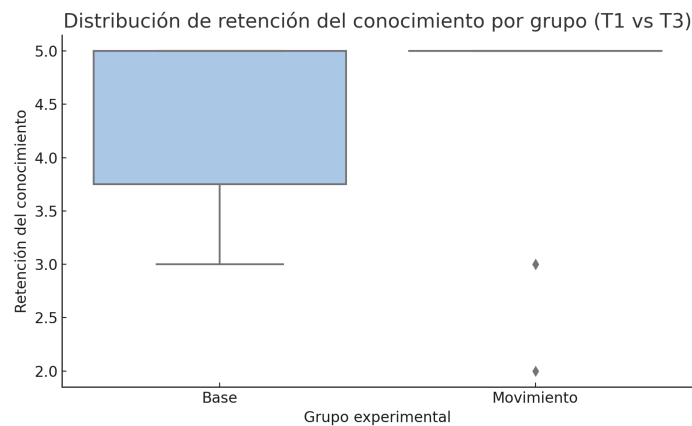


El análisis estadístico reveló que los datos de ambos grupos cumplen con los supuestos de normalidad ( $p = 0.9877$  para T1;  $p = 0.2254$  para T3) y presentan varianzas homogéneas ( $p = 0.3197$ ). Por lo tanto, se aplicó la prueba t de Student, cuyo resultado no mostró una diferencia estadísticamente significativa ( $p = 0.2735$ ).

El gráfico de cajas y bigotes muestra que, aunque el grupo Movimiento (T3) presenta una mediana ligeramente superior, las distribuciones de ambos grupos son bastante similares y con solapamiento considerable en sus rangos intercuartílicos. Estos datos sugieren que el uso de movimiento como guía visual no alteró de manera relevante el tiempo promedio de fijación visual, al menos en las condiciones específicas de este experimento.

### Retención del conocimiento

Variable	Normalidad T1 (p)	Normalidad T3 (p)	Homogeneidad (p)	Prueba aplicada	p Comparación	Diferencia significativa
Retención del conocimiento	0.0000	0.0000	0.6068	U Mann-Whitney	0.4261	No

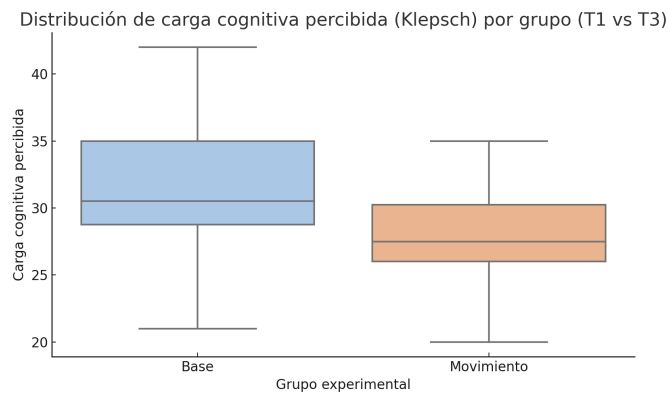


Ambos grupos presentaron distribuciones no normales en esta variable ( $p = 0.0000$  para T1 y T3), por lo que se aplicó la prueba no paramétrica de Mann-Whitney U. El resultado indicó que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre ambos grupos ( $p = 0.4261$ ), aunque el grupo Movimiento (T3) presentó una media ligeramente superior.

El gráfico de cajas evidencia una alta concentración de valores cercanos al máximo posible, especialmente en el grupo T3, lo que sugiere un posible efecto de techo en esta medida. Aunque se observa una leve diferencia en las medianas, la superposición de los rangos intercuartílicos y la limitada variabilidad restringen la posibilidad de detectar diferencias significativas en esta condición.

### Carga cognitiva percibida

Variable	Normalidad T1 (p)	Normalidad T3 (p)	Homogeneidad (p)	Prueba aplicada	p Comparación	Diferencia significativa
Carga cognitiva percibida	0.7809	0.8384	0.1621	t de Student	0.0303	Sí



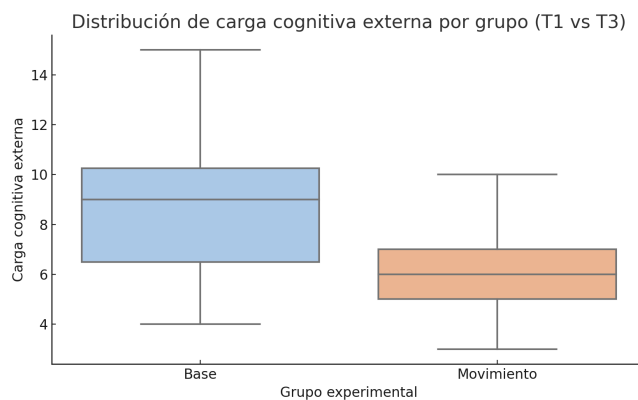
Los resultados de las pruebas de supuestos confirmaron que los datos de ambos grupos cumplen con la normalidad ( $p = 0.7809$  para T1;  $p = 0.8384$  para T3) y presentan varianzas homogéneas ( $p = 0.1621$ ), por lo que se utilizó la prueba t de Student. El análisis arrojó una diferencia estadísticamente significativa ( $p = 0.0303$ ), indicando que los participantes del grupo Movimiento reportaron una carga cognitiva percibida significativamente menor que los del grupo Base.

Este hallazgo se visualiza claramente en el gráfico de cajas: el grupo T3 presenta una mediana más baja, y los valores están más concentrados en la parte inferior de la escala. Estos resultados respaldan la hipótesis de que el uso de elementos visuales en movimiento puede

reducir el esfuerzo mental subjetivo durante la ejecución de tareas en entornos de realidad mixta.

### Carga cognitiva externa

Variable	Normalidad T1 (p)	Normalidad T3 (p)	Homogeneidad (p)	Prueba aplicada	p Comparación	Diferencia significativa
Carga cognitiva externa	0.4092	0.0729	0.0134	Mann-Whitney U	0.0059	Sí



Los datos de esta variable mostraron distribuciones no normales (especialmente en T3,  $p = 0.0729$ ) y varianzas heterogéneas entre los grupos ( $p = 0.0134$  en la prueba de Levene). Por ello, se utilizó la prueba no paramétrica de Mann-Whitney U, que reveló una diferencia estadísticamente significativa ( $p = 0.0059$ ) a favor del grupo Movimiento (T3).

El gráfico de cajas muestra una clara diferencia en la mediana y en la dispersión de los datos: el grupo T3 reportó una menor carga cognitiva externa, con valores más concentrados en el extremo inferior. Este resultado refuerza la hipótesis de que los elementos visuales en movimiento pueden aliviar la carga impuesta por el diseño y disposición de la información, facilitando el procesamiento cognitivo en contextos de realidad mixta.

### Hallazgos segunda comparación T1(Base) vs T3 (Movimiento, Color y contigüidad)

La comparación entre el grupo control (T1) y el grupo con tratamiento de movimiento (T3) mostró resultados relevantes en términos de carga cognitiva. En particular, se observaron diferencias estadísticamente significativas tanto en la carga cognitiva percibida ( $p = 0.0303$ )

como en la carga cognitiva externa ( $p = 0.0059$ ), siendo menores en el grupo T3. Estos hallazgos respaldan la hipótesis de que el uso de elementos visuales dinámicos puede aliviar el esfuerzo cognitivo tanto desde una perspectiva subjetiva como objetiva.

En las variables relacionadas con la atención visual (número de fijaciones y sacadas), aunque no se hallaron diferencias significativas, sí se identificaron tendencias cercanas a la significancia, lo que sugiere un posible efecto del movimiento en la optimización del patrón de exploración visual. La duración de las fijaciones y la retención del conocimiento no evidenciaron diferencias relevantes en esta comparación.

En conjunto, estos resultados indican que el uso de elementos en movimiento podría representar una estrategia efectiva para mejorar la eficiencia cognitiva en entornos de realidad mixta, reduciendo la sobrecarga y apoyando el diseño instruccional de interfaces de aprendizaje.

### **Tercera comparación T1(Base) vs T4 (Parpadeo, Color y contigüidad)**

#### **Estadísticos descriptivos**

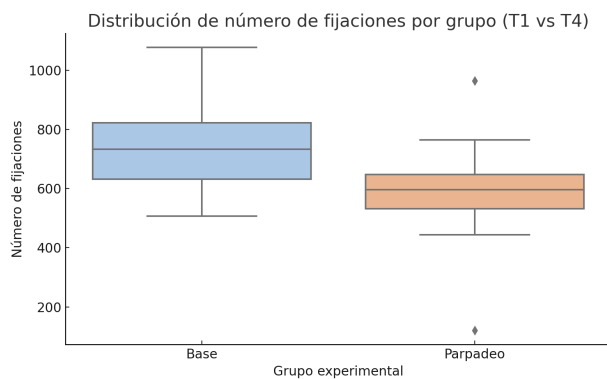
<b>Variable</b>	<b>T1 (Base)</b>	<b>T4 (Parpadeo)</b>
Edad (años)	23.70 ± 4.00	22.65 ± 5.04
Retención del conocimiento	4.40 ± 0.88	4.70 ± 0.73
Número de fijaciones	731.60 ± 151.95	587.10 ± 164.65
Número de sacadas	688.55 ± 155.85	543.75 ± 151.76
Duración de fijaciones (ms)	2986.34 ± 361.81	2913.55 ±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

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.

### Número de fijaciones

Variable	Normalidad T1 (p)	Normalidad T4 (p)	Homogeneidad (p)	Prueba aplicada	p Comparación	Diferencia significativa
Número de fijaciones	0.4688	0.0413	0.5167	U Mann-Whitney	0.0068	Si

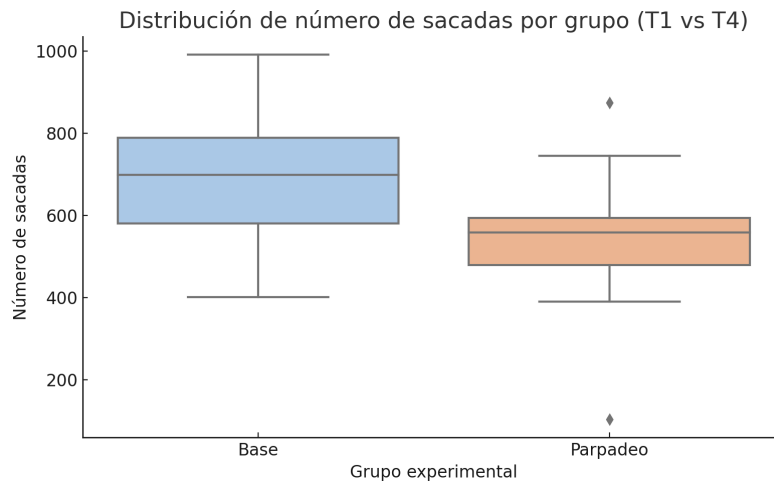


El análisis de la variable número de fijaciones entre los grupos T1 (Base) y T4 (Parpadeo) reveló que, aunque el grupo T1 presentó distribución normal ( $p = 0.4688$ ), el grupo T4 no cumplió con este supuesto ( $p = 0.0413$ ), lo que llevó a utilizar la prueba no paramétrica de Mann-Whitney U. El resultado fue estadísticamente significativo ( $p = 0.0068$ ), indicando que el grupo Parpadeo realizó significativamente menos fijaciones durante la tarea.

Este hallazgo se visualiza claramente en el gráfico de cajas y bigotes: el grupo T4 presenta una mediana más baja, así como una dispersión ligeramente menor. Estos resultados sugieren que el tratamiento con parpadeo puede estar relacionado con un mayor direccionamiento de la atención visual, reduciendo la necesidad de múltiples fijaciones para procesar la información presentada en el entorno de realidad mixta.

### Número de sacadas

Variable	Normalidad T1 (p)	Normalidad T4 (p)	Homogeneidad (p)	Prueba aplicada	p Comparación	Diferencia significativa
Número de sacadas	0.8135	0.0540	0.4281	t de Student	0.0050	Sí

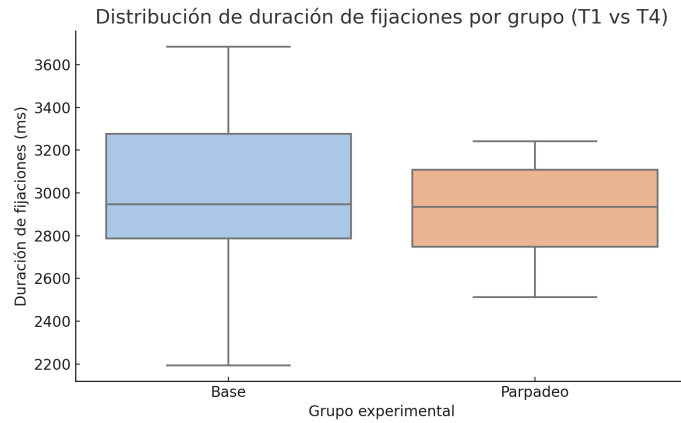


En la comparación de la variable número de sacadas entre los grupos T1 y T4, los datos presentaron distribución normal para T1 ( $p = 0.8135$ ), pero marginal para T4 ( $p = 0.0540$ ). La homogeneidad de varianzas fue aceptable ( $p = 0.4281$ ), por lo que se aplicó la prueba t de Student. El resultado fue estadísticamente significativo ( $p = 0.0050$ ), indicando que el grupo Parpadeo realizó un menor número de sacadas que el grupo Base.

El gráfico de cajas muestra con claridad que el grupo T4 presenta una mediana más baja y una menor dispersión, lo que refuerza la interpretación de que el uso del parpadeo como estímulo visual puede haber promovido un patrón de exploración visual más eficiente. Esta reducción de sacadas podría estar asociada a una mayor concentración visual y menor necesidad de reorientación de la mirada, favoreciendo la comprensión de la información.

### Duración de fijaciones

Variable	Normalidad T1 (p)	Normalidad T4 (p)	Homogeneidad (p)	Prueba aplicada	p Comparación	Diferencia significativa
Duración de fijaciones [ms]	0.9877	0.5643	0.0524	t de Student	0.4449	No

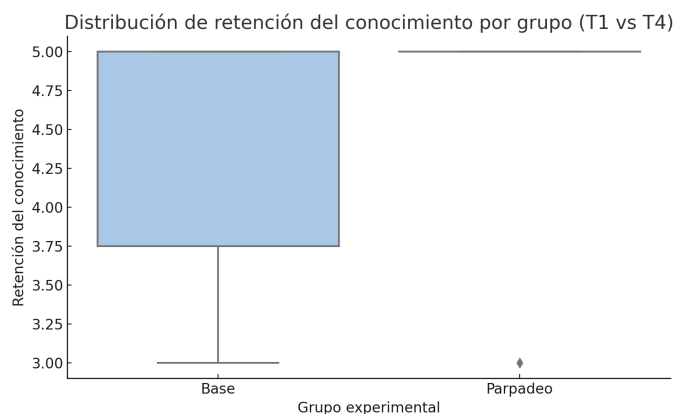


En esta comparación, ambos grupos cumplieron con los supuestos de normalidad ( $p = 0.9877$  para T1 y  $p = 0.5643$  para T4), y aunque la homogeneidad de varianzas estuvo al límite ( $p = 0.0524$ ), se aplicó la prueba t de Student. El resultado no fue estadísticamente significativo ( $p = 0.4449$ ), lo que indica que el tratamiento de parpadeo no produjo una diferencia clara en el tiempo promedio que los participantes mantuvieron su mirada fija.

El gráfico de cajas muestra distribuciones muy similares entre ambos grupos, tanto en mediana como en rango intercuartílico, lo que refuerza la conclusión de que esta variable no se vio afectada de manera significativa por la implementación del estímulo de parpadeo.

### Retención del conocimiento

Variable	Normalidad T1 (p)	Normalidad T4 (p)	Homogeneidad (p)	Prueba aplicada	p Comparación	Diferencia significativa
Retención del conocimiento	0.0000	0.0000	0.2494	UMann-W hitney	0.1911	No

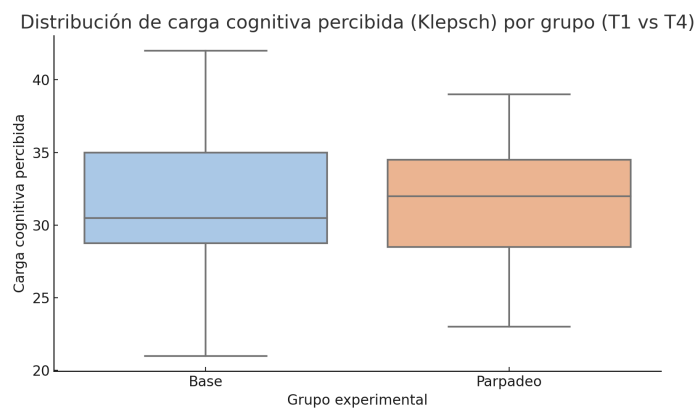


Ambos grupos presentaron distribuciones no normales en esta variable ( $p = 0.0000$  para T1 y T4), por lo que se utilizó la prueba no paramétrica de U Mann-Whitney. El análisis no arrojó diferencias estadísticamente significativas ( $p = 0.1911$ ), lo que indica que el tratamiento de parpadeo no produjo un efecto concluyente sobre la capacidad de retención de los participantes.

En el gráfico de cajas y bigotes se observa una mediana ligeramente superior en el grupo T4, lo que podría sugerir una leve tendencia a mejor retención. Sin embargo, la alta concentración de valores en el rango superior de la escala limita la sensibilidad del análisis, y no permite confirmar una diferencia sustancial entre los grupos.

### Carga cognitiva percibida

Variable	Normalidad T1 (p)	Normalidad T4 (p)	Homogeneidad (p)	Prueba aplicada	p Comparación	Diferencia significativa
Carga cognitiva percibida	0.7809	0.2164	0.6042	t de Student	0.903	No

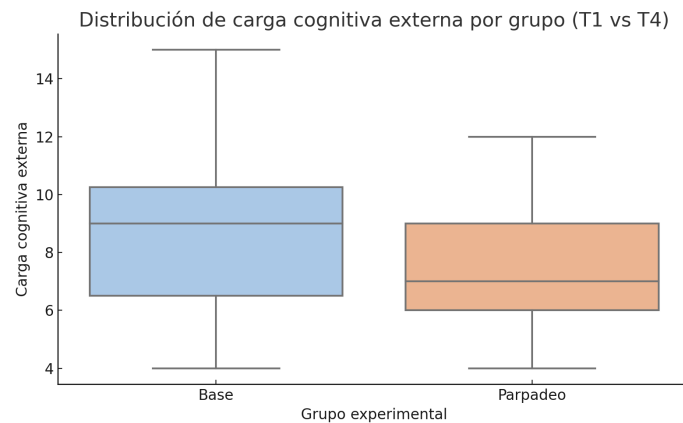


Los datos presentaron distribución normal en ambos grupos ( $p = 0.7809$  para T1 y  $p = 0.2164$  para T4), y la homogeneidad de varianzas fue confirmada ( $p = 0.6042$ ), por lo que se aplicó la prueba t de Student. El resultado mostró que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre los grupos ( $p = 0.903$ ). El gráfico de cajas y bigotes respalda esta conclusión: ambos grupos presentan distribuciones muy similares, con

medias casi idénticas y una dispersión comparable. Estos resultados indican que la incorporación del estímulo visual de parpadeo no modificó perceptiblemente la percepción subjetiva del esfuerzo mental requerido para completar la tarea.

### Carga cognitiva externa

Variable	Normalidad T1 (p)	Normalidad T4 (p)	Homogeneidad (p)	Prueba aplicada	p Comparación	Diferencia significativa
Carga cognitiva externa	0.4092	0.2433	0.2874	t de Student	0.2304	No



Los datos para esta variable cumplieron con los supuestos de normalidad ( $p = 0.4092$  para T1 y  $p = 0.2433$  para T4) y homogeneidad de varianzas ( $p = 0.2874$ ), por lo que se aplicó la prueba t de Student. El análisis no reveló diferencias estadísticamente significativas entre los grupos ( $p = 0.2304$ ), indicando que el tratamiento con parpadeo no tuvo un efecto claro sobre la carga cognitiva externa percibida por los participantes.

El gráfico de cajas muestra que, aunque el grupo T4 presenta una mediana ligeramente inferior, existe un solapamiento importante en los rangos intercuartílicos. Esto sugiere que, bajo las condiciones del presente estudio, el estímulo de parpadeo no fue suficiente para reducir de forma consistente la carga impuesta por el diseño informativo de la tarea.

### Hallazgos tercera comparación T1(Base) vs T4 (Parpadeo, Color y contigüidad)

La comparación entre el grupo control (T1) y el grupo con estímulo visual de parpadeo (T4) arrojó resultados significativos en dos de las variables relacionadas con la atención visual: número de fijaciones ( $p = 0.0068$ ) y número de sacadas ( $p = 0.0050$ ), ambas menores en el grupo T4. Esto sugiere que el uso de parpadeo como guía visual pudo haber mejorado el direccionamiento de la atención, reduciendo el esfuerzo visual necesario para completar la tarea.

Sin embargo, en las demás variables analizadas (duración de fijaciones, retención del conocimiento, carga cognitiva percibida y carga cognitiva externa), no se encontraron diferencias estadísticamente significativas, aunque algunas tendencias favorecieron al grupo experimental. En particular, la retención del conocimiento y la carga cognitiva externa mostraron medianas ligeramente más favorables en T4, pero sin suficiente evidencia para confirmar un efecto concluyente.

Estos resultados indican que el parpadeo, como elemento visual en interfaces de realidad mixta, podría tener un impacto positivo en la eficiencia de la atención visual, aunque su influencia sobre la carga cognitiva y el desempeño requiere mayor investigación.

### **Análisis y hallazgos generales del experimento ampliado**

Este experimento evaluó el efecto de tres elementos visuales —color, movimiento y parpadeo— sobre indicadores de atención visual, carga cognitiva y retención del conocimiento en un entorno de aprendizaje basado en realidad mixta. A través de un diseño experimental riguroso y comparaciones por pares con un grupo control (T1), se exploraron seis variables dependientes mediante pruebas estadísticas adecuadas a la distribución y homogeneidad de los datos.

Medias por grupo experimental

Variable	Base (T1)	Color (T2)	Movimiento (T3)	Parpadeo (T4)
Retención	4.40	4.75	4.55	4.70
Número de fijaciones	731.60	625.00	651.95	587.10

Número de sacadas	688.55	584.50	598.15	543.75
Duración de fijaciones (ms)	2986.34	2860.18	3100.03	2913.55
Carga cognitiva percibida	31.40	29.85	27.95	31.20
Carga cognitiva externa	8.55	6.60	5.90	7.50

Los resultados evidencian que ninguno de los tratamientos generó efectos significativos sobre la retención del conocimiento, lo que sugiere que, aunque los elementos visuales pueden facilitar la navegación visual o reducir el esfuerzo mental, no necesariamente impactan directamente en la adquisición de contenido factual en este tipo de tareas. De igual modo, la duración de las fijaciones se mantuvo estable entre grupos, indicando que el tiempo promedio de atención sobre un punto no se vio alterado por los estímulos aplicados.

Diferencias significativas respecto al grupo Base (T1)

Variable	T1 vs T2	T1 vs T3	T1 vs T4
Número de fijaciones	No (p = 0.0566)	No (p = 0.1149)	<b>Sí (p = 0.0068)</b>
Número de sacadas	No (p = 0.0622)	No (p = 0.0692)	<b>Sí (p = 0.0050)</b>
Duración de fijaciones (ms)	No (p = 0.2169)	No (p = 0.2735)	No (p = 0.4449)
Retención del conocimiento	No (p = 0.1528)	No (p = 0.4261)	No (p = 0.1911)
Carga cognitiva percibida	No (p = 0.3443)	<b>Sí (p = 0.0303)</b>	No (p = 0.9030)
Carga cognitiva externa	<b>Sí (p = 0.0354)</b>	<b>Sí (p = 0.0059)</b>	No (p = 0.2304)

#### **Apéndice D. Consentimiento informado**



Universidad  
Industrial de  
Santander



## Maestría en Innovación y Diseño

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

Versión 01.

Código: \_\_\_\_\_

### PROYECTO: GUÍA PARA LA CONFIGURACIÓN DE ELEMENTOS VISUALES DE LAS INTERFACES GRÁFICAS DE USUARIO DE SISTEMAS DE ENTRENAMIENTO PROCEDIMENTAL BASADOS EN REALIDAD MIXTA.

#### CONSENTIMIENTO INFORMADO

Apreciado participante:

Este proyecto de investigación se desarrolla dentro de Grupo de Investigación Ergonomía Producto- Significado GEPS, adscrito a la Escuela de Diseño Industrial de la Universidad Industrial de Santander (UIS), por la estudiante de Maestría en Innovación y Diseño Sara Maritza Gutiérrez Rondón, bajo la dirección del MSc. Luis Eduardo Bautista Rojas y la codirección del MSc. Francisco Mario Espinel Correal.

Los avances tecnológicos de los últimos años han revolucionado la forma como se aprende y se enseña, ya que se ha recurrido a la implementación de nuevas tecnologías como impresión 3D, realidad aumentada y realidad virtual en instituciones de educación, lo que permite mejorar los procesos de aprendizaje y realizar prácticas con mayor facilidad, ya que no se requieren escenarios reales por la posibilidad de recrearlos en ambientes virtuales o aumentados. Dentro de estos espacios de entrenamiento es importante dirigir la atención de los aprendices en la ruta de las actividades que se requieren practicar, pero la atención visual es fluctuante, por lo que se requieren elementos visuales para su re direccionamiento.

Por esto sería de gran utilidad el desarrollo de una guía para la configuración de elementos visuales de las interfaces gráficas de usuario (IGU) de sistemas de entrenamiento procedimental basados en realidad mixta, ya que los diseñadores de IGU deben tener como prioridad los factores humanos en el diseño de interfaces, esto con el fin de reducir la carga cognitiva externa en los procesos de aprendizaje, para que los aprendices se puedan dedicar a practicar y aprender, y no sean distraídos por otro tipo de información. El grupo de investigación GEPS por medio de este experimento tiene como propósito evaluar el direccionamiento de atención visual del participante dentro de una actividad de entrenamiento procedimental.

De manera muy cordial lo invitamos a hacer parte del proyecto de investigación. Por favor, lea cuidadosamente las instrucciones siguientes y si tiene alguna duda puede realizar las preguntas que desee hasta alcanzar total comprensión.

- 1. Introducción y propósito del estudio.** Conforme con la necesidad de direccionar la atención en entornos de entrenamiento procedimental, este



8/10/21



## Maestría en Innovación y Diseño

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

trabajo investigativo, en el cual usted ha sido invitado a participar, propone el diseño de una guía que aporte herramientas para mejorar el proceso de diseño de Interfaces Gráficas de Usuario IGU, permitiendo a los diseñadores tener una fundamentación que proporcione directrices para la configuración inicial de elementos visuales que posibiliten el direccionamiento de la atención del usuario dentro de la interfaz, para lograr mejores resultados en los procesos de aprendizaje. Por tal razón, su participación en el estudio es benéfica para la comprobación de la hipótesis planteada y su posterior aplicación, la cual contribuirá a mejorar las condiciones de diseño de futuras interfaces gráficas de usuario y su aplicación a entornos educativos.

- 2. Selección de los participantes.** Si usted acepta la invitación a participar, hará parte de un grupo personas entre los 18 y 60 años de edad, seleccionados por su perfil académico y/o profesional.
- 3. Procedimiento.** Una vez leído y firmado el consentimiento informado se procederá a consignar la información relacionada con su sexo, edad y nivel de formación educativa. En primer lugar, se procederá a realizar un test de conocimientos previos y de memoria espacial con el fin de establecer una homogeneidad en los participantes, posteriormente, al estar el participante en una posición erguida, se ubicará el dispositivo de Eye-Tracking en la cabeza y se procederá a la calibración. Seguidamente, se ubicarán las gafas de Realidad Mixta en la cabeza y se realizará la calibración.

A continuación, se le indicará las tareas a realizar durante el experimento, finalizada esta etapa se comenzará el registro del tiempo y se procederá a la ejecución del experimento, en donde el participante deberá realizar la tarea establecida por el evaluador, a la que se le tomará el tiempo empleado para realizar completamente la actividad. Por último, se realizarán test de transferencia y retención con el fin de obtener información acerca del proceso de aprendizaje.

- 4. Repositorio fotográfico y filmico.** Para tener mayor información para el posterior análisis, el experimento será grabado en video. Esto no originará ningún riesgo de dolor asociado con el estudio. Para proteger su identidad y brindarle privacidad, se realizará únicamente una toma del plano de detalle de la sección correspondiente a la actividad que se está realizando en el dispositivo de visualización (gafas) y el movimiento realizado por los ojos por el tiempo en que este realizando la actividad (aproximadamente 10 minutos). Además, los archivos serán guardados con el código del participante asignado al comienzo del estudio. Algunas imágenes fijas del material del video pueden ser extraídas únicamente con un propósito científico. Todo el material filmico y fotográfico será archivado conservando la confidencialidad y solamente será utilizado en publicaciones por su alto valor de representatividad para la investigación. Solamente, el investigador principal, el director o tutor del proyecto, el



8/10/21



Universidad  
Industrial de  
Santander



## Maestría en Innovación y Diseño

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

investigador encargado y usted, tendrán acceso al material filmico. Si decide participar, tiene total libertad de retirar su autorización para la grabación, uso y divulgación del material filmico y fotográfico en cualquier parte y momento del estudio. Con la firma del consentimiento informado usted autorizará el uso del material mencionado en eventos o publicaciones de carácter académico con la debida protección de su identidad personal.

5. **Riesgos y beneficios esperados.** El presente experimento fue diseñado con base en investigaciones realizadas previamente por otros autores. Éstas se fundamentan en el análisis de artículos relacionados con evaluación de direccionamiento de la atención visual. Los equipos, dispositivos y demás elementos de medición utilizados en las pruebas son seguros y están especialmente diseñados según su función. Por todo lo anterior, el ejercicio que se le solicita realizar es seguro en todas las etapas y no representa ningún tipo riesgo físico o psicológico. Como beneficio principal está la comprobación de la hipótesis planteada y su posterior aplicación, la cual contribuirá a mejorar las condiciones de diseño de futuras interfaces gráficas de usuario y su aplicación a entornos educativos.
6. **Confidencialidad.** La información que usted suministre es confidencial y sólo se utilizará para fines del presente estudio. Para protección de la identidad de los participantes y mantener el anonimato se asignará un código conocido únicamente por los investigadores. Los resultados del estudio se presentarán de forma general, por lo tanto, ninguno de los participantes será identificado individualmente. La información recolectada se guardará de manera segura y confidencial en los archivos del Grupo de Investigación Ergonomía Producto-Significado GEPS, adscrita a la Escuela de diseño industrial en la Universidad Industrial de Santander y no podrá ser consultada por nadie diferente al personal vinculado a la investigación o a quien se autorice formalmente.
7. **Costos y compensación.** Usted no tendrá que asumir ningún costo relacionado, ni recibirá remuneración alguna por participar en la investigación.
8. **Inquietudes y respuestas.** Si tiene alguna duda o aclaración con respecto a los procedimientos que se van a realizar, los riesgos, beneficios o cualquier otro tema relacionado con el presente estudio, puede con toda libertad preguntar al investigador responsable o al encargado; ellos darán respuesta oportuna y suficiente hasta que tenga plena claridad al respecto.
9. **Derecho a rehusar o abandonar el estudio.** La participación en el estudio es totalmente voluntaria. Aún, si después de dar su consentimiento de participar, cambia de parecer, tendrá derecho a rehusarse a responder cualquier pregunta, ejecutar algún procedimiento o incluso retirarse totalmente y retirar su información del procedimiento sin que esto represente algún inconveniente u ocasione una penalidad.

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
COMITÉ DE ÉTICA

8/10/21



**Maestría en Innovación y Diseño**

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

**10. Autorización para estudios futuros.** Finalmente solicitamos su autorización para poder usar los datos obtenidos en estudios futuros, así como en la publicación de los resultados aquí encontrados en diferentes eventos académicos tales como ponencias, material docente y publicaciones científicas, sin tener que volver a solicitar nuevamente su consentimiento, previa aprobación del Comité de Ética para la Investigación Científica de la Universidad Industrial de Santander.

Si autorizo \_\_\_\_\_

No autorizo \_\_\_\_\_

**11. Declaración del participante.** Con fecha \_\_\_\_\_, certifico que he comprendido lo anterior y una vez aclaradas todas las inquietudes surgidas respecto de mi participación en la investigación, acepto hacer parte, de manera libre y voluntaria, en el proyecto titulado: "GUÍA PARA LA CONFIGURACIÓN DE ELEMENTOS VISUALES DE LAS INTERFACES GRÁFICAS DE USUARIO DE SISTEMAS DE ENTRENAMIENTO PROCEDIMENTAL BASADOS EN REALIDAD MIXTA".

Nombre completo participante: \_\_\_\_\_

Firma: \_\_\_\_\_ C.C: \_\_\_\_\_

Testigo 1

Nombre completo testigo: \_\_\_\_\_

Firma: \_\_\_\_\_ C.C: \_\_\_\_\_

Testigo 2

Nombre completo testigo: \_\_\_\_\_

Firma: \_\_\_\_\_ C.C: \_\_\_\_\_

**Declaración de los investigadores.** Certificamos que como miembros del grupo de investigación hemos explicado al participante sobre la naturaleza, propósito, procedimientos, riesgos y beneficios de la investigación. Declaramos que todas las preguntas hechas por el participante fueron contestadas. Manifestamos, además, que comprendemos la naturaleza y propósito del estudio, los posibles riesgos y beneficios asociados con nuestra participación en el mismo.

\_\_\_\_\_  
Director del proyecto

\_\_\_\_\_



8/10/21



### Maestría en Innovación y Diseño

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

Luis Eduardo Bautista  
lebautista@gmail.com  
Universidad Industrial de Santander  
Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas  
Escuela de Diseño Industrial  
Grupo de Investigación Interfaz  
Teléfono:6344000 ext.1382

**Contacto Comité de Ética:** Para preguntas o aclaraciones acerca de los aspectos éticos de esta investigación puede comunicarse con el Comité de Ética para la Investigación Científica CEINCI-UIS, carrera 19 # 35-02 oficina 245 sede UIS Bucarica, teléfono 6344000 ext.3808, Bucaramanga.



8/10/21

## Apéndice E. Desarrollo detallado de la guía mediante Design Thinking

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, 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 la creación de soluciones (Plattner, Meinel & Weinberg, 2009). 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 (Sapiens and Demens in Design Thinking).

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 & Abrell, 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 (e.g., *Using Augmented Reality and Gamification to Empower Rehabilitation Activities, Design Thinking Methodology for Increasing Quality of Experience of Augmented Reality Educational Games*).

A continuación, se presenta en la Figura 1 un esquema gráfico del abordaje metodológico de Design Thinking adoptado en esta investigación.

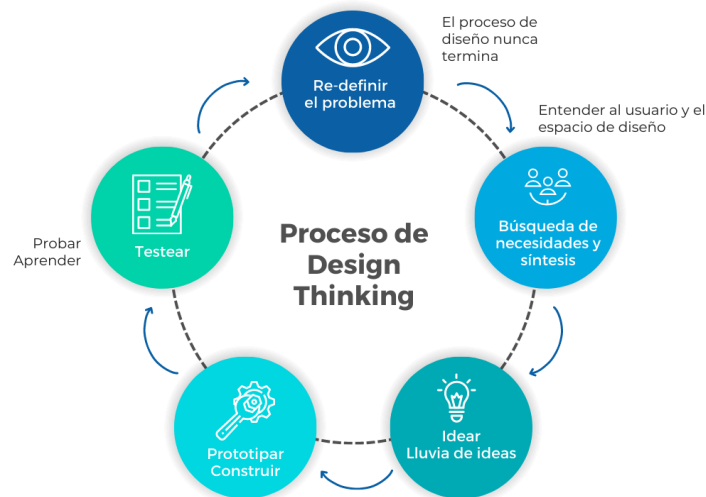


Figura 1 Design Thinking adoptado en esta investigación

#### Etapas del proceso

- 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.

## **Definición del problema**

La primera fase del proceso de Design Thinking consistió en definir el problema de diseño con base en el contexto tecnológico, educativo y de experiencia de usuario que rodea a los entornos de realidad mixta. Esta etapa busca ampliar la comprensión del reto para permitir la exploración de soluciones innovadoras, vinculando las necesidades del usuario final con las oportunidades de diseño centrado en la atención visual.

### **a) Formulación general del problema**

La irrupción de tecnologías interactivas como la realidad aumentada (RA), la realidad virtual (RV) y la realidad mixta (RM) en el contexto de la educación y el entrenamiento de habilidades ha abierto nuevas posibilidades, pero también ha planteado desafíos en términos de manejo de la atención visual y carga cognitiva. Estas tecnologías exigen una reconfiguración del diseño de interfaces para que puedan responder eficazmente a la limitada capacidad atencional del ser humano y reducir la sobrecarga provocada por la información virtual.

Uno de los principales retos identificados es el direccionamiento de la atención del usuario hacia la información realmente relevante en entornos complejos y tridimensionales. Esto es especialmente importante en contextos de entrenamiento procedimental, donde una guía efectiva puede facilitar el aprendizaje, reducir errores y mejorar la experiencia del usuario.

En este contexto, se plantea como necesidad el desarrollo de una guía de apoyo para diseñadores de interfaces gráficas de usuario (IGU) aplicadas a RM, que oriente la configuración y uso de elementos visuales con el fin de mejorar la focalización atencional, disminuir la carga cognitiva y, en consecuencia, optimizar el desempeño del aprendiz durante su interacción con el entorno aumentado.

## **b) Actividad de observación**

Con el fin de enriquecer esta definición del problema desde una perspectiva empática y contextual, se realizó una actividad de observación estructurada en el Semillero de Investigación “Diseño Interactivo” de la Escuela de Diseño Industrial de la Universidad Industrial de Santander.

### **Propósito de la observación**

La observación tuvo como objetivo registrar y analizar el comportamiento de estudiantes de diseño industrial durante el desarrollo de proyectos con interfaces gráficas de usuario, en particular, una interfaz para un videojuego. Aunque el contexto no se enfocó exclusivamente en entornos de entrenamiento en RM, sí permitió identificar puntos de decisión clave y patrones de diseño relevantes.

### **Detalles de la actividad observada**

- **Ambiente:** Sala de cómputo de la Escuela de Diseño Industrial.
- **Actores:** Estudiantes de diseño industrial (algunos con formación en interacción humano-computador) y un estudiante de maestría con experiencia en diseño de IGU para móviles.
- **Objeto de análisis:** Interfaz gráfica del videojuego desarrollado durante la sesión.
- **Eventos clave observados:**

- Definición del propósito del juego.
  - Análisis de elementos gráficos y funciones.
  - Implementación de funcionalidades en Unity.
  - Diseño de pantallas y búsqueda de piezas gráficas.
  - Integración de componentes visuales.
- **Duración total:** 4 horas (dos sesiones de 2 horas).
  - **Meta del ejercicio:** Desarrollar una interfaz para la navegación en un videojuego, aplicando fundamentos de diseño interactivo con motores gráficos 3D.



Figura 2 Actividad de observación

### c) Conclusión de la etapa Definición del Problema

Las actividades desarrolladas permitieron comprender el contexto real de toma de decisiones de los diseñadores de interfaces gráficas en formación, así como sus estrategias para resolver problemas visuales, estructurar pantallas y organizar elementos informativos. Aunque no se trató específicamente de interfaces para realidad mixta, los hallazgos extraídos pueden ser trasladados y adaptados al diseño de entornos aumentados.

Los insights obtenidos de la observación fortalecen la formulación del problema de diseño, permitiendo alinear la guía propuesta con las necesidades reales, prácticas y cognitivas de los diseñadores. Esta aproximación empática nutre la siguiente etapa del proceso: búsqueda de necesidades y síntesis.

### **Detección de necesidades y síntesis**

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.

#### **a) Actividades desarrolladas**

Para este fin se implementaron tres herramientas metodológicas complementarias:

- **Focus Group**

Se realizaron dos sesiones de mini grupos focales con un total de cuatro diseñadores industriales (profesionales o en formación), con el propósito de obtener percepciones detalladas y diversas sobre el diseño de interfaces para RM. La discusión se basó en un guion estructurado. Presentado a continuación:

### **GUIÓN FOCUS GROUP PROYECTO MAESTRÍA**

#### **1. Introducción**

Dentro del marco del proyecto titulado “Guía para la configuración de elementos visuales de las interfaces gráficas de usuario de sistemas de entrenamiento procedimental basados en realidad mixta”, se plantea la realización de un focus group exploratorio que se plantea con el objetivo de identificar las necesidades de tantos usuarios y partes interesadas como sea posible en un corto período de tiempo. En este caso se llevó a cabo un mini focus group con un número de 4 participantes, los cuales fueron diseñadores industriales o estudiantes de diseño industrial de la Universidad Industrial de Santander, y tuvo una duración de una hora. Los mini grupos focales permiten un mayor nivel de detalle en la discusión debido al menor número de participantes y preguntas más específicas.

## **2. Objetivos**

### **2.1 General**

Generar conversación e incentivar a los participantes a expresar sus percepciones, sentimientos, opiniones y pensamientos. Esto con el fin de hallar ideas comunes o ideas interesantes que surjan con respecto al problema planteado, lo cual puede ayudar a mejorar el rumbo de la investigación, estando más encaminada a las necesidades del usuario directo (diseñador de IGU).

### **2.2 Específico**

- Identificar necesidades y requerimientos a partir del análisis de la información recopilada durante el Focus Group.

## **3. Guión**

### **3.1. Introducción**

Bienvenida y agradecimiento: Saludo a los participantes, agradecimiento por su tiempo y participación en el focus group.

Objetivo del focus group: Explicación breve del propósito del focus group, lo cual es recopilar información sobre las necesidades y percepciones de los diseñadores en relación con la configuración de elementos visuales en interfaces gráficas de usuario de entrenamiento procedimental para entornos de realidad mixta.

### **3.2. Ejercicio de calentamiento**

Presentación personal: Se le pide a cada participante que se presente brevemente, mencionando su nombre, experiencia en diseño de interfaces gráficas y cualquier experiencia previa con entornos de realidad mixta.

### **3.3. Exploración del problema**

3.3.1. Presentación del problema: Se presenta el problema tal como está planteado en la definición del problema.

Con la cuarta revolución industrial, tecnologías interactivas como la realidad aumentada, la realidad virtual y la realidad mixta, se vienen abriendo paso en áreas como el aprendizaje y el entrenamiento de habilidades, dada su capacidad para crear entornos sintéticos y fusionar objetos reales con virtuales en entornos de práctica simulados. El rápido crecimiento de estas tecnologías ha dado lugar a nuevos retos de diseño. Uno de ellos está relacionado con el manejo de la atención en entornos con ambientes de 360° y la carga cognitiva generada por la información virtual observada, especialmente en aplicaciones de aprendizaje y entrenamiento. Teniendo en cuenta que la atención es un recurso mental limitado que influye directamente en el rendimiento y el esfuerzo, la exigencia o la carga que supone el dar una respuesta en determinada situación, es importante identificar elementos visuales eficientes que ayuden a la correcta gestión en el direccionamiento de atención hacia la información relevante.

Por lo anterior, es relevante que los diseñadores de interfaces gráficas implementen los elementos adecuados en el diseño de sus productos o aplicaciones, en este caso específico refiriéndose al desarrollo de entornos de entrenamiento procedimental basados en realidad mixta. Para esto se ve la necesidad de plantear la configuración de una guía de apoyo para los diseñadores de IGU aplicadas a entornos de realidad mixta, que permita la configuración de elementos visuales que conduzcan a reducir cambios de atención, disminuir los niveles de carga cognitiva y, en última instancia, mejorar el desempeño del usuario (aprendiz) en el entrenamiento procedimental y su experiencia de aprendizaje.

3.3.2. Discusión abierta: Se invita a los participantes a compartir sus primeras impresiones y pensamientos sobre el problema. ¿Qué les parece más desafiante o intrigante? ¿Han tenido experiencias previas relacionadas con este problema en su trabajo?

### 3.4 Necesidades y desafíos

3.4.1. Identificación de necesidades: Se le pide a los participantes que identifiquen las necesidades específicas que encuentran al diseñar interfaces gráficas para entornos de realidad mixta o para otro tipo de entornos. ¿Qué aspectos son más críticos para abordar? ¿Qué dificultades han enfrentado?

3.4.2. Desafíos principales: Se pregunta sobre los desafíos principales que han experimentado al tratar de gestionar la atención y la carga cognitiva en entornos de 360° con información virtual. ¿Han encontrado soluciones efectivas?

3.4.3. Elementos visuales efectivos: Se anima a los participantes a compartir ejemplos de elementos visuales que han encontrado efectivos para dirigir la atención del usuario en entornos de realidad mixta. ¿Qué elementos visuales consideran útiles?

3.4.4. Mejoras potenciales: Se pregunta sobre las mejoras o cambios que creen que podrían hacerse en la configuración de elementos visuales en interfaces gráficas para mejorar la experiencia del usuario y reducir la carga cognitiva.

3.4.5. Explicación de los hallazgos encontrados en la revisión de literatura y en los experimentos realizados durante el desarrollo del proyecto: Se les explica a los participantes los elementos visuales comúnmente más utilizados para direccionamiento de atención. También se comenta los resultados obtenidos con la aplicación de los elementos seleccionados para el proyecto (color, contigüidad, movimiento y parpadeo).

### 3.5. La guía de apoyo

3.5.1. Reacción a la idea de la guía: Se presenta la idea de crear una guía de apoyo para diseñadores de interfaces gráficas en entornos de realidad mixta. Se pregunta a los participantes si creen que sería útil y qué contenido les gustaría ver en esta guía.

3.5.2. Contenido de la guía: Se le pide a los participantes que sugieran temas específicos o secciones que deberían incluirse en la guía para que sea efectiva.

3.5.3. Experiencias personales: Se invita a los participantes a compartir experiencias personales o anécdotas relacionadas con el diseño de interfaces gráficas de usuario. ¿Han tenido éxitos o fracasos significativos?

### 3.6. Cierre

3.6.1. Agradecimiento: Se agradece nuevamente a los participantes por su valiosa contribución al focus group.

3.6.2. Información de seguimiento: Se le informa a los participantes sobre cualquier seguimiento que se planea realizar, como lluvia de ideas, business origami, etc.

Focus Groups: A Practical Guide for Applied Research Richard A. Krueger, Mary Anne

Casey SAGE, 26/04/2000

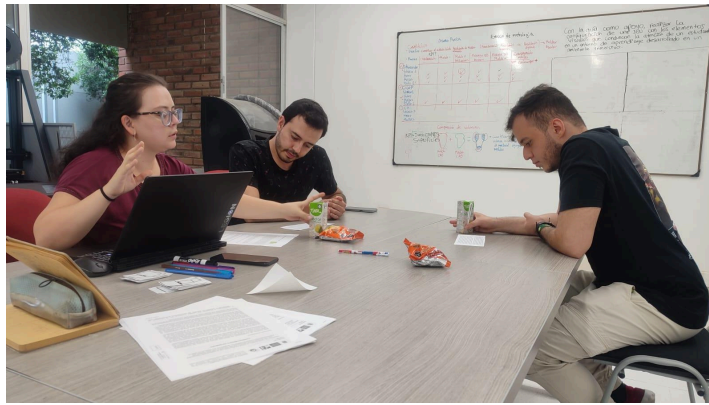


Figura 3 Focus Group

Mediante el análisis de la conversación desarrollada en los Focus group se lograron obtener ciertas percepciones de los participantes relevantes para el proyecto:

Tabla 1 Percepciones de participantes Focus Group

Ítems abordados	Datos en bruto de los diseñadores	Necesidad interpretada
Percepción del problema	<p>Carga cognitiva en exceso de información en la pantalla.</p> <p>Las interfaces tienen demasiadas funciones y se debe optimizar las funciones más importantes para la tarea determinada.</p> <p>Se debe tener en cuenta el tipo de población para la cual va dirigida la interfaz.</p> <p>Se percibe como un problema abstracto, de difícil conceptualización el cual se debe limitar y explicar muy bien.</p>	<p>-Los diseñadores requieren información que permita evitar la sobrecarga de información en la pantalla para el aprendiz.</p> <p>-Priorizar y optimizar las funciones esenciales para tareas específicas (para los entrenamientos procedimentales).</p> <p>-Información clara para que el diseñador considere el tipo de población a la que se dirige la interfaz final a desarrollar.</p> <p>-Definiciones claras y eliminación de abstracciones en el diseño.</p>
Identificación de necesidades	<p>Definiciones claras.</p> <p>Tener en cuenta el mareo que se puede generar solo por el uso del medio al momento de aplicar el uso del movimiento.</p> <p>Atención al uso de recursos de acuerdo con la escena y el espacio con el que se va a interactuar.</p> <p>Contemplar las personas que tienen reducida la percepción del color.</p> <p>Reglas básicas que permitan desarrollar una mentalidad y no seguir un paso a paso, para no cerrar las posibilidades que existen. Contemplar diversos escenarios, esto con el objetivo de no limitar al diseñador.</p> <p>Aplicar la sencillez para lograr un flujo de la configuración de las interfaces que sea amigable.</p> <p>Jerarquía de la información de forma sencilla y fácil de acceder para el diseñador.</p>	<p>-Los diseñadores requieren reglas básicas que fomenten una mentalidad en lugar de un enfoque paso a paso.</p> <p>-Se necesita un diseño que contemple diversos escenarios para no limitar a los diseñadores.</p> <p>-La interfaz debe aplicar la sencillez para lograr un flujo amigable en la configuración.</p> <p>-Los diseñadores valoran una jerarquía de información sencilla y fácil de acceder.</p>
Desafíos principales	<p>Enfocar al aprendiz en la tarea es primordial para lograr disminuir el efecto “wow” que se da por el solo hecho de que algunas personas no se han enfrentado nunca a este tipo de tecnologías, lo cual produce distracciones.</p> <p>Definir cuáles son los procesos comunes relacionados con la tarea del aprendiz.</p> <p>Espacio disponible, en los entornos 360° hay mucho espacio disponible en el que se debe guiar al observador debido a la posible pérdida de información que se encuentra fuera del campo visual.</p>	<p>-Se necesita definir los procesos comunes relacionados con la tarea del aprendiz.</p> <p>-En entornos 360°, se debe guiar al observador debido a la posible pérdida de información fuera del campo visual.</p>
Contenido esperado en la guía	<p>Introducción que proporcione información del objetivo, medidas de procesamiento cognitivo, definiciones de cada elemento visual, diseño centrado en el proceso para que funcione en cualquier entrenamiento procedimental. Tips o consejos, preguntas y respuestas, factores a tener en cuenta, resultados esperados.</p>	<p>-Definiciones y Elementos Visuales o taxonomía: Los usuarios necesitan definiciones claras de cada elemento visual. Debe definir una taxonomía de elementos visuales y describir su comportamiento, con ejemplos de casos de aplicación.</p> <p>-Diseño Centrado en el Proceso: La guía debe promover</p>

	<p>Se podría contemplar definir secciones para áreas del conocimiento específicas: por ejemplo si se trabaja con mecánica o medicina cuáles serían los mejores elementos visuales para ese contexto.</p> <p>Reglas claras y específicas para seleccionar componentes en RM.</p> <p>Taxonomía de los elementos visuales, comportamiento de los elementos visuales, casos de aplicación de cada elemento con ejemplos, definir patrones de configuración según el tipo de tarea.</p> <p>Resumen para consulta rápida.</p>	<p>el diseño centrado en el proceso para aplicarlo en cualquier entrenamiento procedimental.</p> <p>-Tips, Preguntas y Respuestas: Se requieren consejos, preguntas y respuestas útiles.</p> <p>-Factores a Tener en Cuenta: La guía debe abordar factores relevantes a considerar en el diseño.</p> <p>-Resultados Esperados: Debe proporcionar información sobre los resultados que se pueden esperar.</p> <p>-Secciones Específicas por Área de Conocimiento: Se podría contemplar la inclusión de secciones específicas para diferentes campos, como mecánica o medicina.</p> <p>-Reglas Claras y Específicas: La guía debe ofrecer reglas claras y específicas para seleccionar componentes en la realidad mixta.</p> <p>-Resumen para Consulta Rápida: Se requiere un resumen que permita una consulta rápida de la información.</p>
--	---	--

A partir del análisis cualitativo y síntesis de las percepciones, se extrajeron

necesidades clave como:

- Evitar la sobrecarga cognitiva mediante jerarquización de funciones esenciales.
- Aplicar una taxonomía clara de elementos visuales.
- Garantizar sencillez en el flujo de configuración.
- Adaptar la interfaz al tipo de usuario final.
- Promover un enfoque de diseño centrado en el proceso, no solo en funciones aisladas.
- Considerar condiciones sensoriales como limitación de color o mareo por movimiento.

También se sugirieron aspectos específicos para el contenido de la guía: definiciones, tips, estructura por áreas del conocimiento, patrones visuales, preguntas frecuentes y resultados esperados.

#### • Perfil persona

Se desarrolló un arquetipo de usuario, Diego Rodríguez, que representa al diseñador meta de la guía. Esta figura ficticia, basada en información real recogida en los focus groups, condensa características, motivaciones, preocupaciones y necesidades de los diseñadores de IGU en RM.



Figura 4 Perfil Persona

Este perfil permitió mantener una visión empática y centrada en el usuario durante todas las etapas siguientes del diseño.

• **Business Origami**

Se aplicó esta técnica participativa con los mismos diseñadores para simular flujos de configuración de IGU en RM, utilizando tokens representativos de elementos visuales. Esta actividad ayudó a explorar de manera tangible cómo los diseñadores estructuran decisiones visuales en procesos complejos. Algunos de los tokens utilizados se muestran a continuación en la Figura 5.

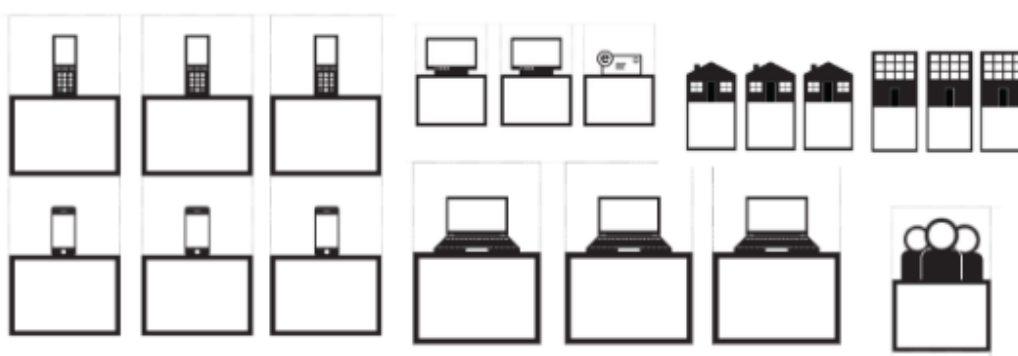


Figura 5 Tokens Business Origami

En la Figura 6 se muestra la actividad desarrollada.



Figura 6 Desarrollo Business Origami

Entre los hallazgos más destacados se evidenció que los diseñadores adoptan un enfoque integral y estratégico, percibiendo la guía como un recurso central en las fases iniciales de ideación, no solo como un manual técnico. Los flujos desarrollados por los participantes se muestran a continuación en la Figura 7.



Figura 7 Flujos de trabajo obtenidos en el Business Origami

Durante el análisis del flujo de trabajo propuesto por los participantes, se destacó una tendencia interesante. A pesar de la tarea específica de 'configurar elementos visuales con la guía', los diseñadores se inclinaron hacia un enfoque más abarcador en el proceso de diseño en realidad mixta. Esto sugiere un enfoque holístico en la creación de experiencias de usuario

efectivas en lugar de una simple aplicación de pautas predefinidas, los principales hallazgos del proceso se muestran en la Figura 8.

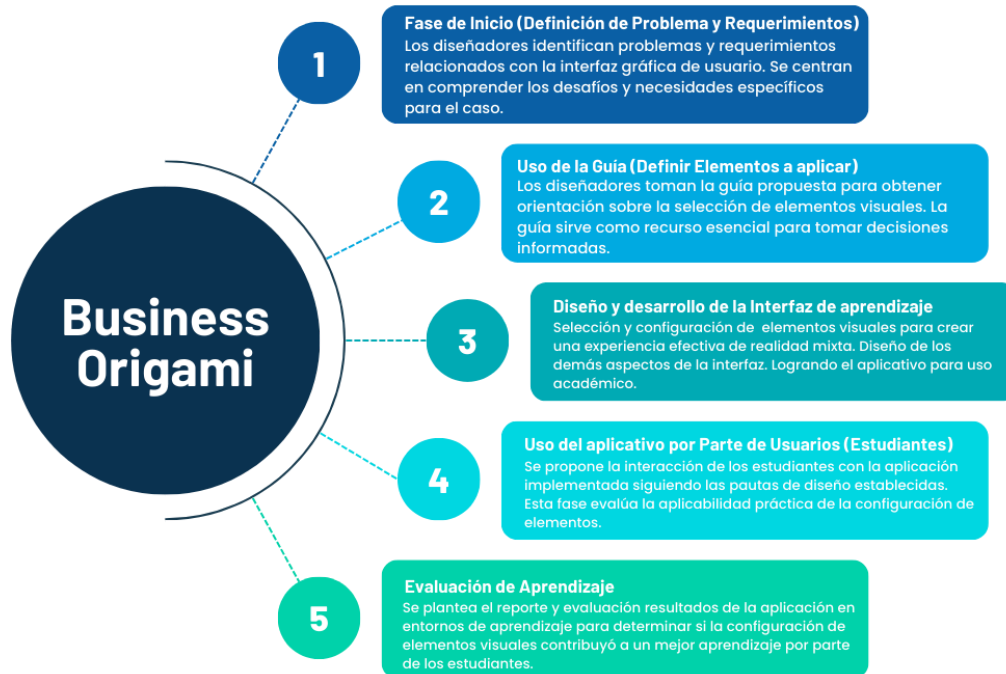


Figura 8 Hallazgos Business Origami

### b) Síntesis de necesidades y jerarquización

Todos los datos obtenidos fueron organizados, traducidos e interpretados en términos de necesidades concretas del usuario, y posteriormente clasificados en tres niveles de prioridad:

Tabla 2 Necesidades clave jerarquizadas

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

## Jerarquización de necesidades del usuario



Figura 9 Jerarquización de Necesidades del Usuario

Después de analizar y jerarquizar las necesidades recopiladas, queda claro que algunas son de vital importancia y deben constituir el eje central de la guía. Las necesidades primarias o esenciales, que incluyen definiciones claras, reglas específicas, sencillez en el flujo de configuración y la consideración de factores relevantes, representan el núcleo de la guía. Además, la guía debe proporcionar información sobre los resultados esperados de acuerdo al uso de los Elementos Visuales (EV). A medida que se avanza en la pirámide, también se consideran las necesidades secundarias, como la promoción de un enfoque de diseño centrado en el proceso y la disponibilidad de un resumen para consulta rápida. Estos elementos complementan y enriquecen la experiencia del diseñador. Por último, se llega a considerar la inclusión de necesidades terciarias o de apoyo, como la definición de procesos comunes y la inclusión de secciones específicas, agregan profundidad y flexibilidad a la guía, sin embargo, no es información crucial a incluir en la guía. La comprensión de esta jerarquía permite dar una dirección al planteamiento de una guía que satisfaga las necesidades más esenciales de diseñadores y proporcione un recurso completo y valioso para diseñadores de interfaces gráficas en el ámbito de la realidad mixta.

### c) Definición de requerimientos de diseño

Una vez sistematizadas las necesidades, se tradujeron en requerimientos funcionales que orientarán el diseño de la guía, estos se establecen a partir de necesidades Tabla X que posteriormente se traducen en sí en requerimientos Tabla X. Algunos hallazgos principales incluyen aspectos como:

- Inclusión de una taxonomía clara de elementos visuales (contigüidad, color, parpadeo, movimiento).
- Disponibilidad de ejemplos contextualizados y estrategias de configuración.
- Uso de un lenguaje accesible y una estructura navegable.
- Consideración del proceso completo de diseño y configuración en RM.
- Interactividad y visualización adaptativa para diferentes tareas y usuarios.

Tabla 3 Necesidades asociadas a importancia

Núm	Necesidad	Importancia
1	Definiciones claras o taxonomía de los EV.	1
2	Reglas específicas para la selección de los EV.	1
3	Sencillez para lograr un flujo amigable en la configuración de EV.	1
4	Jerarquía de información sencilla y fácil de acceder.	1
5	La guía debe abordar factores relevantes a considerar en el diseño.	1
6	La guía debe proporcionar información sobre los resultados que se pueden esperar de acuerdo al uso de EV.	1
7	Que la guía brinde información que permita evitar la sobrecarga cognitiva en el aprendiz.	2
8	Reglas básicas que fomenten una mentalidad de diseño.	2
9	La guía debe promover el diseño centrado en el proceso para aplicarlo en cualquier entrenamiento procedimental.	2
10	Resumen para Consulta Rápida.	2

A continuación, se establecen los requerimientos que son traducidos a partir de las necesidades.

Tabla 4 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.

#### **d) Conclusión de la etapa Detección de necesidades y síntesis**

Esta etapa permitió construir una visión profunda y empática de las necesidades reales de los diseñadores que enfrentan los retos del diseño en RM. Se identificaron no solo elementos técnicos y conceptuales clave para el diseño de interfaces, sino también aspectos estratégicos y prácticos que deberán reflejarse en la estructura, lenguaje y funcionalidades de la guía. La información obtenida sentó las bases para la fase de ideación, donde se comenzará a proponer la forma, contenido y organización de la solución planteada.

#### **Idear**

La etapa de ideación del proceso de Design Thinking tuvo como propósito generar posibles soluciones basadas en la información sistematizada durante la detección de

necesidades. Esta fase fue concebida como un espacio de apertura creativa, donde se transformaron los insights obtenidos en propuestas concretas para la estructura, formato y enfoque de la guía.

### a) Lluvia de ideas

Como técnica central, se implementó una lluvia de ideas con cuatro participantes —diseñadores industriales y estudiantes avanzados del mismo campo en la Universidad Industrial de Santander— en sesiones de trabajo colaborativo de 90 minutos. Debido a la disponibilidad horaria, los encuentros se organizaron en dos sesiones, con dos participantes en cada una.



Figura 10 Desarrollo lluvia de ideas

En el marco de estas sesiones se promovió la construcción colectiva de ideas mediante un intercambio fluido de conocimientos, experiencias y expectativas. A partir de este diálogo, surgieron múltiples propuestas sobre cómo debería configurarse y representarse la guía, lo que permitió visualizar diferentes direcciones para su desarrollo.

Entre las principales ideas generadas se destacan:

- Formato digital web, con una interfaz intuitiva, accesible y navegable.
- Plugin integrado en motores de desarrollo para realidad mixta, facilitando el acceso directo desde las herramientas de trabajo habituales.
- Concebir la guía no como un repositorio estático de contenidos, sino como un proceso integral de diseño visual asistido.
- Inclusión de ejemplos aplicados, casos de uso, y herramientas preconfiguradas que ayuden al diseñador en la toma de decisiones y el prototipado.
- Consideración de diferentes perfiles de usuario (experto, principiante, educador, desarrollador) para adaptar la experiencia y profundidad del contenido.

Esta diversidad de perspectivas aportó riqueza conceptual y aplicabilidad práctica, estableciendo una base sólida para el desarrollo de una guía flexible, contextualizada y con múltiples posibilidades de implementación, adaptada a las realidades del diseño en entornos de realidad mixta.

## **Prototipar**

La fase de prototipado en el proceso de Design Thinking corresponde a la materialización tangible de las ideas generadas en la etapa de ideación. Esta etapa busca traducir las propuestas conceptuales en formatos concretos que permitan explorar, comunicar, evaluar y perfeccionar las soluciones antes de su implementación definitiva.

El prototipo, entendido como una instancia física, visual o funcional de una idea, activa el pensamiento crítico y creativo del equipo de diseño, permite visualizar errores y oportunidades de mejora, y sirve como herramienta de diálogo con usuarios y actores clave.

Así, el prototipo no es el producto final, sino una versión inicial que hace visible el potencial de una solución.

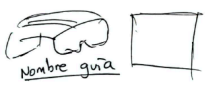
En este proyecto, se optó por el desarrollo de un prototipo de baja fidelidad en papel, cuyo propósito fue representar la estructura general, componentes visuales y organización de contenidos de la guía para diseñadores de interfaces gráficas en entornos de realidad mixta. Este prototipo fue concebido como un esquema físico que facilita la interacción con ideas visuales de forma rápida, económica y sin barreras tecnológicas.

Características del prototipo desarrollado:

- Formato: boceto estructural sobre papel, con divisiones por secciones funcionales de la guía.
- Elementos representados: portada, menú de navegación, categorías de elementos visuales (color, contigüidad, parpadeo, movimiento), apartados explicativos, ejemplos ilustrativos y posibles caminos de exploración.
- Propósito: validar la lógica de organización del contenido, anticipar problemas de jerarquía visual o sobrecarga informativa, y preparar el terreno para una futura digitalización del recurso.

Introducción
Fundamentos
Elementos visuales
Guía rápida (resumen)
Artículos relacionados
A tener en cuenta TIPS.

Guía para la configuración de elementos visuales de las interfaces gráficas de usuario de sistemas de entrenamiento procedimental basadas en Realidad Mixta



Nombre guía

Objetivo: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Fundamentos
Carga cognitiva
Medidas de carga cognitiva
Atención visual
Entrenamiento procedimental
Realidad Mixta

Elementos visuales
Color
Contigüidad
Movimiento
Parpadeo

→ \*Definición

\*¿Cómo usarlo?

\*Ejemplos

\*Posibles resultados

\*Bibliografía

} Para cada elemento.

Figura 11 Prototipado en papel de la guía

El uso de este prototipo físico permitió anticipar la experiencia de uso y recibir retroalimentación preliminar sobre aspectos como claridad, secuencia y utilidad de los contenidos. Además, sirvió como punto de partida para futuras iteraciones del diseño, incluyendo su transformación en formato digital navegable.

## **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 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.

## **Apéndice F. Información para la guía**

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

#### **1. Introducción**

En entornos de realidad mixta, los estudiantes se enfrentan a tareas complejas que requieren una atención cuidadosa y una asimilación efectiva de información. La configuración adecuada de elementos visuales desempeñan un papel fundamental en este proceso. Los elementos visuales, como el color, la forma y la disposición, pueden dirigir la atención del estudiante hacia aspectos específicos de la actividad de aprendizaje, mejorando así su comprensión y desempeño.

Esta guía está planteada para proporcionar a los diseñadores de interfaces gráficas de usuario (IGU) una herramienta para la configuración de elementos visuales en entornos de realidad mixta utilizados en entrenamiento procedimental. El objetivo principal de esta guía es lograr una adecuada configuración de elementos visuales que permitan direccionar la atención visual de los estudiantes y reducir la carga cognitiva en el contexto educativo del entrenamiento procedimental.

Para esto, la guía proporciona a los diseñadores de IGU directrices y definiciones claras sobre cómo seleccionar y configurar elementos visuales para reducir la sobrecarga cognitiva del estudiante y, al mismo tiempo, guiar su atención de manera efectiva. Al seguir estas recomendaciones, los diseñadores podrán crear entornos de entrenamiento procedimental más eficientes y centrados en el estudiante, mejorando la experiencia de aprendizaje.

#### **2. Fundamentos**

Antes de adentrarnos en la configuración de elementos visuales en entornos de realidad mixta utilizados en el entrenamiento procedimental, es esencial comprender los fundamentos que respaldan estas decisiones de diseño. En esta sección, se exploran conceptos clave que sientan las bases para la creación de interfaces efectivas y centradas en el estudiante.

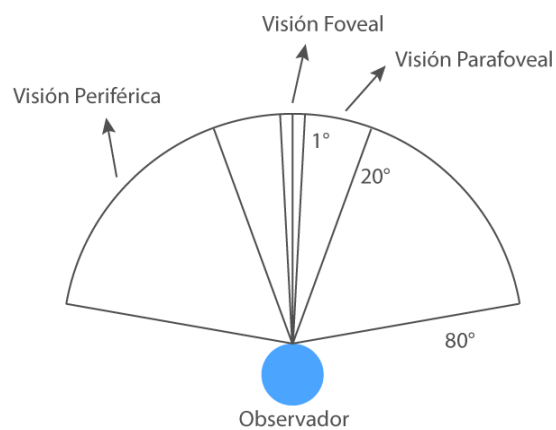
## **2.1. Atención visual**

La atención visual desempeña un papel crítico en la asimilación de información y en la ejecución de tareas en entornos de realidad mixta. Entender cómo los estudiantes enfocan su atención y cómo los elementos visuales pueden influir en este proceso es de vital importancia para el desarrollo de entornos de aprendizaje efectivos.

La atención visual abarca un conjunto de procesos tanto cognitivos como fisiológicos que posibilitan la rápida y precisa selección de subconjuntos relevantes de estímulos visuales. Estos procesos de selección se llevan a cabo en distintas etapas de las vías visuales y en áreas de ambos hemisferios cerebrales. La atención no constituye un sistema unificado, sino más bien un conjunto de procesos diferenciados. En el contexto del aprendizaje, la atención visual desempeña un papel esencial. Durante el proceso de adquisición de conocimientos, el aprendiz debe identificar el contenido relevante, organizarlo y conectarlo con su base de conocimientos previos. El canal visual recoge la información visual transmitida por los ojos, creando representaciones visuales que el estudiante selecciona y almacena en su memoria de trabajo visual, estableciendo conexiones mentales significativas. La presentación efectiva de la información, diseñada para atraer y retener la atención visual, mejora la comprensión del contenido de aprendizaje.

Existen dos componentes fundamentales de la atención visual “qué” y “dónde”. El componente "qué" se refiere al foco de atención del usuario, es decir, lo que se está observando. Mientras que el componente "dónde" se refiere a la ubicación espacial de lo que se está observando. El "qué" y el "dónde" de la atención corresponden aproximadamente a los

aspectos foveal (visión central) y parafoveal (visión alrededor de la fovea) de la atención visual, respectivamente. Al considerar un estímulo visual, ciertas regiones de la imagen pueden atraer la atención y ser percibidas inicialmente de forma parafoveal, lo que requiere una inspección más detallada a través de la visión foveal, tal como se ilustra en la Figura 2. En este sentido, las características de la imagen ubicadas periféricamente pueden llamar la atención en términos de "dónde" mirar a continuación, para poder identificar "qué" detalle está presente en esas ubicaciones.



Por consiguiente, resulta crucial dirigir la atención visual de los estudiantes hacia la información clave y relevante en relación con la actividad de aprendizaje. Este enfoque permite optimizar el aprovechamiento del tiempo y los recursos, además de mejorar el proceso de aprendizaje en sí mismo.

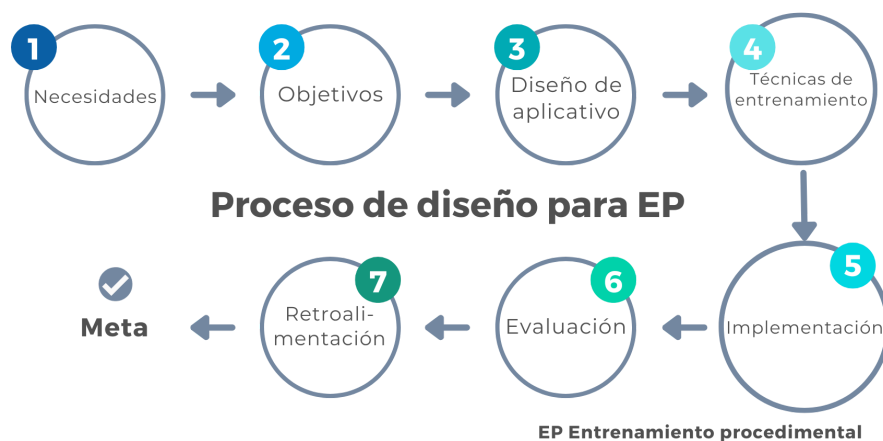
## **2.2. Entrenamiento procedimental**

El entrenamiento procedimental implica aprender a través de la repetición de procesos y acciones específicas. Estos procedimientos son comunes en diversas disciplinas académicas y profesionales, desde la medicina hasta la ingeniería. Conocer los principios detrás del entrenamiento procedimental es esencial para adaptar las interfaces gráficas de usuario a las necesidades de los estudiantes.

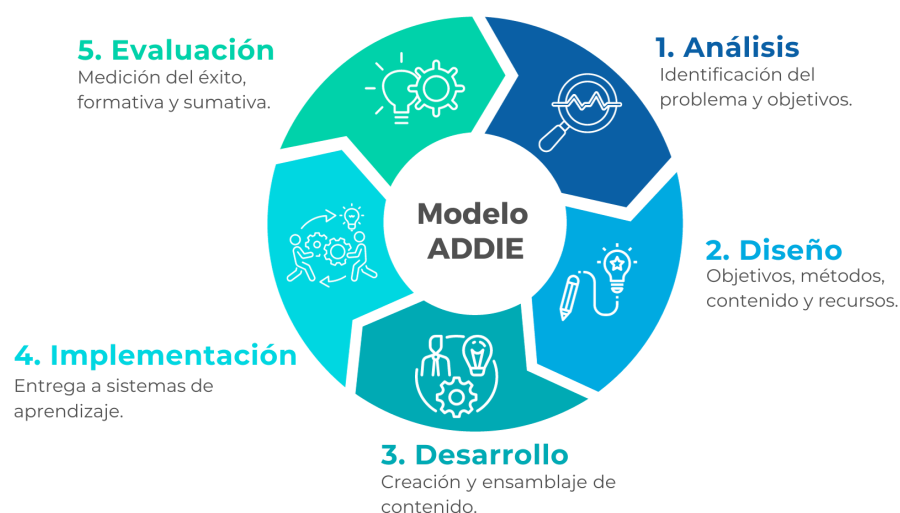
Hay pasos importantes que deben tenerse en cuenta al diseñar cualquier tipo de información para entrenamiento. Estos pasos enriquecen y facilitan el diseño de la información para entrenamiento en cuanto a su eficacia y funcionamiento. El proceso de diseño y desarrollo de un programa o aplicación de entrenamiento no una cuestión de una sola vez, sino un proceso iterativo que con base en la retroalimentación de los aprendices y la retroalimentación de sus docentes en términos de su desempeño en la actividad, descubren falencias u oportunidades de mejora en el programa que se ha diseñado.

Los pasos son:

1. Identificación de necesidades formativas y análisis de necesidades.
2. Establecimiento de objetivos de formación y desarrollo.
3. Selección y diseño de programas o aplicativos para el entrenamiento.
4. Selección y desarrollo de métodos y técnicas de entrenamiento.
5. Implementación de entrenamiento.
6. Evaluación del aplicativo en cuanto al rendimiento del aprendiz.
7. Retroalimentación que conduzca a una mayor identificación de las necesidades de entrenamiento.



Adicionalmente, las prácticas para diseñar y desarrollar material de entrenamiento procedimental incluyen componentes que pueden ser utilizados como una introducción de alto nivel a un proceso de diseño de entrenamiento procedimental común. Esto incluye una revisión del Marco ADDIE, lo cual proporciona orientación práctica.



El modelo ADDIE fue creado por primera vez para el ejército estadounidense durante la década de 1970 por la Universidad Estatal de Florida. El Modelo ADDIE generalmente consta de cinco fases interrelacionadas las cuales se pueden tener en cuenta para el desarrollo de aplicaciones enfocadas a entrenamiento procedimental: Análisis, Diseño, Desarrollo, Implementación y Evaluación. El modelo ADDIE representa una guía flexible para crear materiales de instrucción y capacitación efectivos. Dada una de las fases están descritas a continuación:

- **Análisis**

En la fase de análisis se identifica el problema procedimental. También se establecen las metas de instrucción, las métricas de éxito y los objetivos generales. Durante esta fase

también se identifica información sobre el alumno, como el entorno de aprendizaje, las preferencias, la demografía y los conocimientos y habilidades existentes.

- **Diseño**

La fase de diseño define objetivos de aprendizaje, métodos y actividades de entrenamiento, guiones gráficos, contenido, conocimiento de la materia, esquemas de lecciones y recursos multimedia.

- **Desarrollo**

La fase de desarrollo es donde los diseñadores desarrollan el contenido y las interacciones de aprendizaje descritas en la fase de diseño. Durante esta fase, se escribe el contenido y también se producen y ensamblan gráficos, audio, fotografías y otros recursos que apoyan la actividad de aprendizaje con el fin de lograr el entrenamiento del estudiante.

- **Implementación**

Durante la parte de implementación, el diseñador entrega el contenido y los materiales a los Sistemas de Gestión del Aprendizaje (LMS) o directamente al capacitador para eventos de capacitación. El diseñador también brinda la capacitación necesaria a formadores, facilitadores, PYME o instructores.

- **Evaluación**

Durante la fase de evaluación, el diseñador determina cómo será el éxito y cómo se medirá.

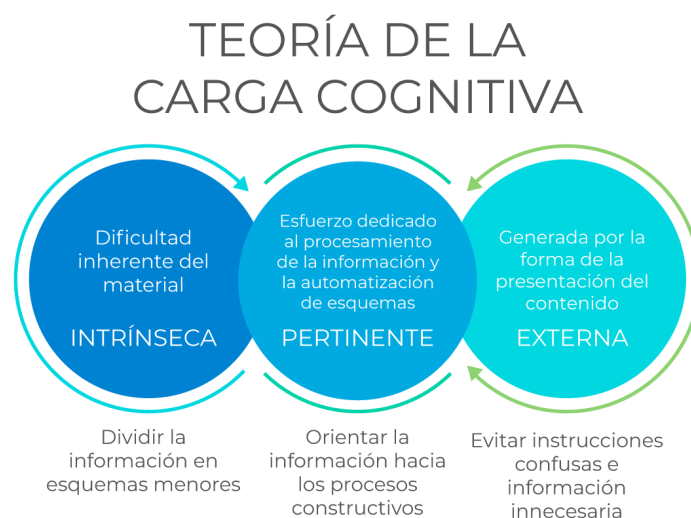
Muchas veces, la evaluación consta de dos fases: formativa y sumativa. La evaluación formativa es iterativa y se realiza a lo largo de los procesos de diseño y desarrollo. La evaluación sumativa consiste en pruebas que se realizan después de que se entregan los materiales de entrenamiento procedimental. Los resultados de estas pruebas ayudan a informar al diseñador y a las partes interesadas sobre si la actividad de aprendizaje logró o no sus objetivos originales descritos en la fase de análisis.

El entrenamiento procedimental constituye un campo extenso y complejo en el cual esta guía desempeña un papel crucial al aplicarse durante el proceso de desarrollo y diseño de programas o aplicaciones destinados a actividades de aprendizaje.

### 2.3. Carga cognitiva

La carga cognitiva es el esfuerzo cognitivo (o cantidad de procesamiento de información) requerido por una persona para realizar una tarea, en este contexto se refiere a la cantidad de esfuerzo mental que un estudiante debe invertir en una tarea dada. Reducir la carga cognitiva es un objetivo importante en el diseño de interfaces efectivas. En esta sección, se exploran cómo los elementos visuales pueden contribuir a la gestión de la carga cognitiva y mejorar la experiencia de aprendizaje.

El aprendizaje es un proceso cognitivo en el que el individuo adquiere, almacena y aplica conocimientos. La carga cognitiva, que es importante para un aprendizaje eficiente y exitoso, se divide en tres tipos según la teoría de la carga cognitiva: carga intrínseca, carga relacionada con la construcción y automatización de esquemas llamada pertinente o germánica, y carga externa. En el gráfico se muestran los diferentes tipos de carga cognitiva.



Un objetivo del diseño adecuado del material de aprendizaje es reducir la carga cognitiva externa para que más recursos de memoria de trabajo se dediquen a cuestiones relacionadas con el aprendizaje en lugar de a cuestiones externas. De esta manera, se pueden reducir los recursos de la memoria de trabajo dedicados a cuestiones externas (como entender la diagramación del contenido, o buscar contenido entre mucha información) y aumentar la disponibilidad de recursos relacionados dedicados a la carga cognitiva intrínseca.

#### **2.4. Medición de carga cognitiva**

Para diseñar interfaces que reduzcan la carga cognitiva, es necesario poder medir y evaluar este concepto. Aquí, se exploran algunas medidas de carga cognitiva utilizadas en la investigación y el diseño de interfaces, brindan una comprensión sólida de cómo evaluar y mejorar los diseños de IGU.

Actualmente se utilizan diferentes formas de medir la carga cognitiva, tanto objetivas como subjetivas, y es importante abordar los dos campos para lograr una mejor comprensión de la información y obtener bases sólidas para tomar decisiones en diseño que optimicen las IGU en aplicaciones de entrenamiento. Se exploran a continuación las formas de medición que se recomienda utilizar:

- **Eye tracking**

Permite la identificación de fijaciones, movimientos sacádicos, dilatación de pupilas y parpadeo. Estos movimientos proporcionan evidencia de atención visual voluntaria y abierta, ya que el objetivo de la medición y el análisis del movimiento ocular es obtener información sobre el comportamiento atento del espectador. Los movimientos oculares tanto voluntarios como involuntarios pueden usarse como formas de medir la carga cognitiva. Se recomienda el análisis de fijaciones y movimientos sacádicos, ya que son la unidad básica de datos para la mayoría de los análisis de Carga Cognitiva en entornos desarrollados para Realidad Virtual, Mixta y Aumentada. Métricas como el aumento de la duración de la fijación, el número de

fijaciones, el número de parpadeos y la velocidad de las sacadas muestran un mayor nivel de carga cognitiva, lo que indica un mayor esfuerzo en el procesamiento del material de aprendizaje y mayores recursos de atención

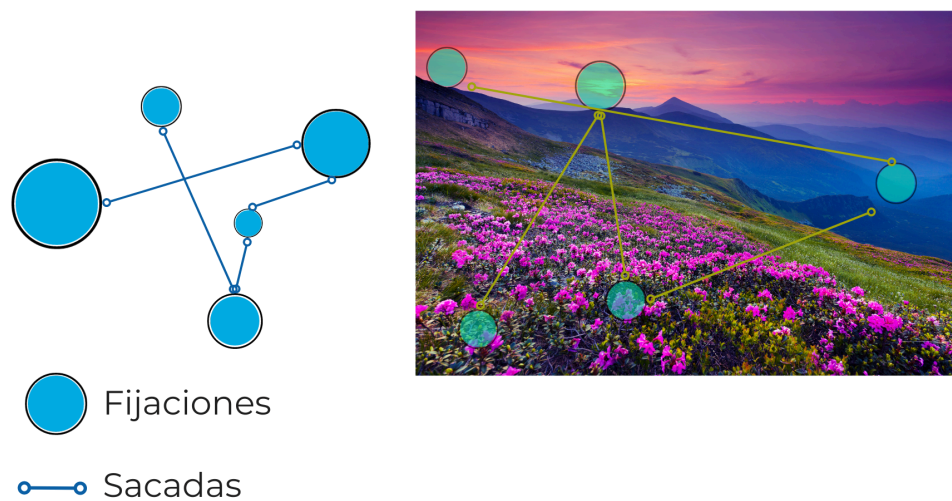
En el eye-tracking se tienen en cuenta dos movimientos oculares importantes, como lo son fijaciones y sacadas, los cuales se definen a continuación:

### **Sacadas**

Se refiere a un cambio entre dos ubicaciones. Cuando el ojo realiza un movimiento voluntario de una fijación a otra, este evento se llama sacádico. Este movimiento es el movimiento más rápido que puede producir el cuerpo y, por lo general, tarda entre 30 y 80 milisegundos en completarse. Una disminución de la velocidad sacádica indica cansancio y un aumento de la velocidad sacádica indica una mayor dificultad en la tarea.

### **Fijaciones**

El tipo más común de seguimiento ocular se refiere a un estado enfocado cuando el ojo permanece inmóvil durante un período de tiempo, dura desde 200-300 milisegundos hasta varios segundos, es un movimiento voluntario. La duración de la fijación se ha relacionado con el nivel de procesamiento cognitivo con una duración de fijación alta que indica una mayor tensión en la memoria de trabajo.



Las métricas que se deben analizar para determinar carga cognitiva son la duración de la fijación, el número de fijaciones y el número de sacadas, ya que proporcionan información relevante para determinar alto o bajo nivel de carga cognitiva y permiten determinar el comportamiento de la atención visual. A continuación se detalla cada una de estas métricas.

### **Duración de las fijaciones**

Tiempo en el que el participante enfoca la mirada y permanece inmóvil. La duración de la fijación se ha relacionado con el nivel de procesamiento cognitivo, una duración de fijación alta indica una mayor tensión en la memoria de trabajo. La duración de la fijación y la tasa de fijación son indicadores de un incremento en la atención que se necesita a medida que aumenta la complejidad de la tarea. Asimismo, una duración de fijación más larga describe problemas relacionados con la extracción de información.

### **Número de fijaciones**

Número de veces que el participante mira fijamente diferentes zonas de los estímulos. Para esta métrica un mayor número de fijaciones dedicadas a un estímulo muestra que la búsqueda de información relevante no es eficiente. Los estudios de Eyetracking utilizan principalmente

esta métrica para encontrar áreas de interés que atraigan más atención visual o para informar que se requiere más esfuerzo visual para realizar una tarea.

### **Número de sacadas**

Número de veces que el participante realiza un cambio entre dos ubicaciones en el proceso de exploración visual o búsqueda de información. Un número alto de sacadas oculares indica un mayor esfuerzo visual y una mayor demanda cognitiva. Esto sugiere que el usuario está teniendo dificultades para procesar la información de manera eficiente o que la tarea visualmente demandante requiere una mayor atención y esfuerzo visual.

- Medición de carga cognitiva percibida - Medición con escala de Klepsch

Debido a que en el sector de la investigación se ha criticado la ausencia de un sistema que permita medir de forma adecuada la carga cognitiva, los investigadores Melina Klepsch, Florián Schmitz y Tina Seufert plantearon una herramienta para medir la carga cognitiva de manera diferenciada, este hecho trata de superar el problema de inferir el origen de la carga cognitiva mediante el uso de un cuestionario que mide por separado los tres diferentes tipos de carga cognitiva, es decir, intrínseca, pertinente o germánica y externa. Esta medición apoya la comprensión de los procesos de aprendizaje.

La medición propuesta consta de ocho preguntas que deben ser contestadas en una escala de Likert de siete puntos, desde absolutamente incorrecto o totalmente en desacuerdo (se adapta a la necesidad) hasta absolutamente correcto o totalmente de acuerdo.

Las preguntas se muestran a continuación:

-Para esta tarea, muchas cosas debían tenerse en cuenta simultáneamente.

-Esta tarea fue muy compleja.

-Hice un esfuerzo, no solo para entender varios detalles, sino para entender el contexto en general.

- Mi punto mientras me ocupaba de la tarea era entender todo correctamente.
- La tarea de aprendizaje constaba de elementos que apoyaban mi comprensión de la tarea.
- Durante esta tarea, fue agotador encontrar información importante.
- El diseño de esta tarea era muy inconveniente para el aprendizaje.
- Durante esta tarea, fue difícil reconocer y vincular la información crucial.

Se recomienda la herramienta questionpro para realizar este tipo de cuestionarios.

<https://www.questionpro.com/es/>

### **3. Elementos visuales**

Existen diferentes técnicas o elementos visuales que se pueden aplicar para guiar la atención visual logrando que el aprendiz tenga un mejor resultado en el aprendizaje, los elementos que se tienen en cuenta en esta guía son: Color, contigüidad espacial, movimiento y parpadeo.

#### **3.1 Color**

- **Definición**

El color es una experiencia generada por los sentidos debido al fenómeno de la emisión de luz, reflejada por los objetos al incidir con una determinada intensidad.

Elementos básicos del color:

El color posee cualidades propias que hacen posible poder diferenciarlos uno del otro dentro del mismo espectro de una misma tonalidad y así, ser capaces de diferenciar distintos tonos.

Estas cualidades son tres:

#### **Tono**

El tono es la cualidad que permite diferenciar cada color, en otras palabras, es el tinte.

#### **Brillo**

Es la cantidad de luz emitida o reflejada por un objeto, es decir, su claridad u oscuridad.

#### **Saturación**

Es la intensidad o grado de pureza de cada color. Cuando dices que un color es muy vivo significa que está muy saturado.

- **Cómo utilizarlo**

Se utiliza el color como una forma de codificación de estímulos para guiar la atención de los usuarios hacia diferentes elementos en la escena visual. Se puede utilizar el color para destacar elementos importantes a través de técnicas como el resaltado de color, la presentación de elementos en color azul o rojo, el uso de elementos de colores cálidos sobre fondos fríos, aplicando opacidad, entre otras. Estas técnicas logran influir positivamente en aspectos centrales del procesamiento de información, como la selección visual de información a través de un estímulo relevante y la organización e integración de la información con el conocimiento previo. Además, el uso del color guía efectivamente la atención visual de los participantes durante los procesos de instrucción, lo que implica que los usuarios tengan un mayor éxito en la integración efectiva de la información de la instrucción y que puedan identificar rápidamente conceptos clave relevantes.



En el estudio Learning to infer human attention in daily activities se utilizó el color rojo, azul y verde para guiar la atención de los participantes dentro de un video visto en tercera persona donde el humano está realizando una tarea, el uso de los colores dependía de la importancia o categorización de los objetos. Estos tres colores son comúnmente los más empleados al momento de direccionar la atención visual, normalmente utilizados para enmarcar sitios de interés.



Por ejemplo en la imagen anterior se aplica un marco azul para delimitar el globo de la batidora, un delineado rojo para enmarcar la licuadora de inmersión y un círculo verde para señalar las varillas de la batidora manual.

Para el uso del elemento color en el direccionamiento de atención visual, es diferente si utilizamos un tono amarillo para señalar una ubicación sobre un paisaje de colores cálidos, que si utilizamos un tono azul sobre este mismo paisaje, como se ve en el ejemplo. Ya que es importante considerar el entorno en el que se está trabajando y utilizar a favor del diseñador elementos como el contraste.



Se debe tener en cuenta la psicología del color, para determinar qué colores utilizar de acuerdo al escenario de aprendizaje. A continuación se presenta un breve resumen del significado de los colores y algunos ejemplos de su uso para direccionamiento de atención visual.

- **Resultados esperados**

Se llevó a cabo un experimento para desarrollar esta guía, donde se comparó la aplicación y ausencia del uso del color, movimiento y parpadeo en grupos de 20 usuarios cada uno. La contigüidad se integró en todos los grupos de elementos visuales (color, movimiento y parpadeo) sin analizarse de manera independiente. Los resultados se basan en las medias de los grupos, que fueron comparadas con un estímulo que no incluía ninguno de estos elementos (sin contigüidad, color, movimiento ni parpadeo). Dichos resultados se presentan en los gráficos correspondientes.

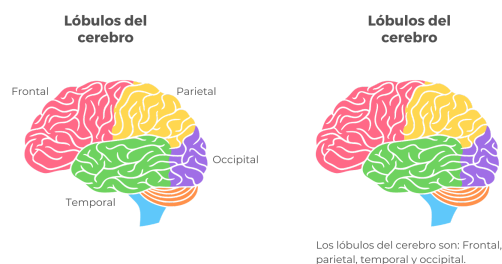
Color	Comportamiento	Variación (%)
Número de fijaciones	Disminución	14,57
Número de sacadas	Disminución	15,11
Duración de fijaciones	Disminución	4,22
Retención de información	Aumento	7,95
Carga cognitiva	Disminución	5
Carga cognitiva externa	Disminución	22,8

A través del uso del color se pueden reducir el número de fijaciones en un 14.57%, el número de sacadas en un 15,11%, la duración de las fijaciones en un 4.22%, la retención de la información aumenta en un 7.95%, la carga cognitiva disminuye en un 5% y finalmente, la carga cognitiva externa también disminuye en un 22.8%.

### 3.2. Contigüidad espacial

- **Definición**

Se refiere a la presentación de la información directamente encima o al lado de un objeto, lo que podría suponer una reducción de carga cognitiva de los estudiantes de tal manera que una fracción mayor de la memoria a corto plazo puede usarse durante el proceso cognitivo del aprendizaje.

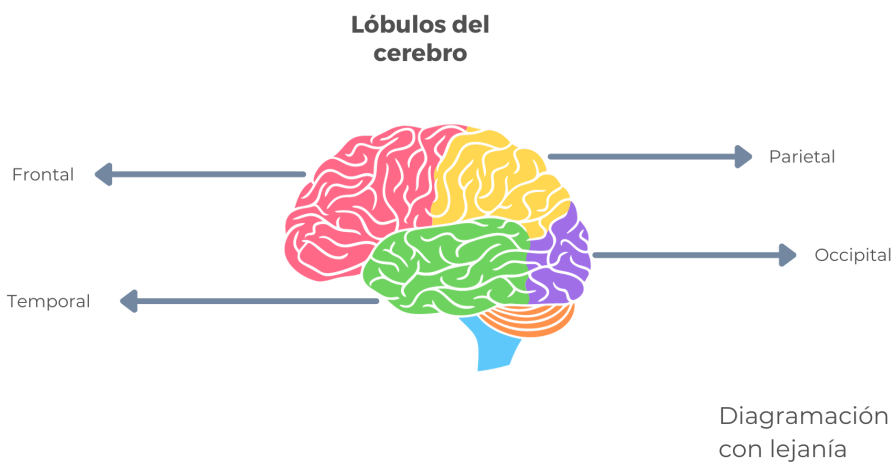
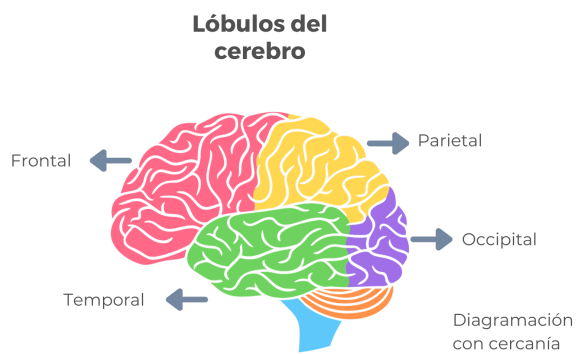


En el gráfico anterior podemos ver en el lado izquierdo el uso de la contigüidad espacial, en donde se muestra la información relacionada cercana a la parte gráfica, y en la derecha se

muestra la información relacionada lejos de la parte gráfica, lo que dificulta el proceso de aprendizaje.

- **Cómo utilizarlo**

La contigüidad se puede ver apoyada por el uso del color, y la cercanía de la información que tiene relación también influye en la comprensión del contenido, entre más cerca mejor comprensión.



Cuando la información relacionada está cercana entre sí consume menos recursos en la memoria que cuando la información está lejana.

Resultados esperados: Debido a que en la investigación realizada para el desarrollo de esta guía se analizaron los elementos color y contigüidad unidos, los resultados esperados de contigüidad son los mismos que los de color.

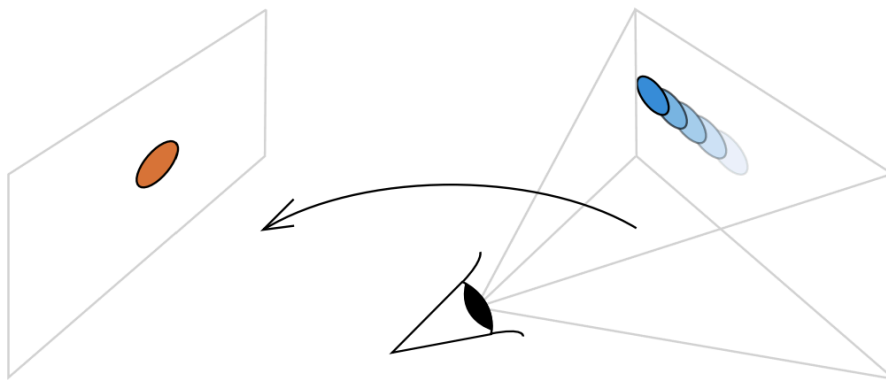
### 3.3. Movimiento

- **Definición**

Es un cambio de la posición de un cuerpo o elemento (un círculo, un marco, alguna forma) a lo largo del tiempo respecto de un sistema de referencia.

- **Cómo utilizarlo**

El uso del movimiento de ciertos objetos para guiar la atención del usuario se aplica cambiando la posición de un objeto o realizando recorridos, y también se utiliza acompañado de color. Se puede aplicar utilizando un estímulo en forma de círculo, el cual realiza un movimiento repetido hacia el borde de un espacio demarcado en la dirección en la que el usuario debe girar para alcanzar a observar el objetivo.



En el artículo "Subtle Gaze Guidance for Immersive Environments", se aplica la guía visual mediante un círculo azul que se desplaza hacia la izquierda para hacerle entender al usuario que debe dirigir su atención hacia ese lado.

La forma de utilizar el movimiento es en conjunto con el color, se pueden emplear movimientos de arriba hacia abajo o de izquierda a derecha, en recorridos cortos en relación con el área de trabajo o aprendizaje.

Se debe insertar Video Movimiento

- **Resultados esperados**

A continuación, se muestran los resultados y variaciones que se pueden lograr sin aplicar y aplicando el concepto de movimiento.

<b>Movimiento</b>	<b>Comportamiento</b>	<b>Variación (%)</b>
Número de fijaciones	Disminución	10,88
Número de sacadas	Disminución	13,12
Duración de fijaciones	Aumento	3,8
Retención de información	Aumento	3,4
Carga cognitiva	Disminución	10,98
Carga cognitiva externa	Disminución	30,99

A través de la aplicación del movimiento se pueden reducir el número de fijaciones en un 10.88%, el número de sacadas en un 13.12%, la duración de las fijaciones en este caso aumentó en un 3.8%, la retención de la información aumenta en un 3.4%, la carga cognitiva disminuye en un 10.98% y finalmente, la carga cognitiva externa también disminuye en un 30.99%.

### **3.4. Parpadeo**

- **Definición**

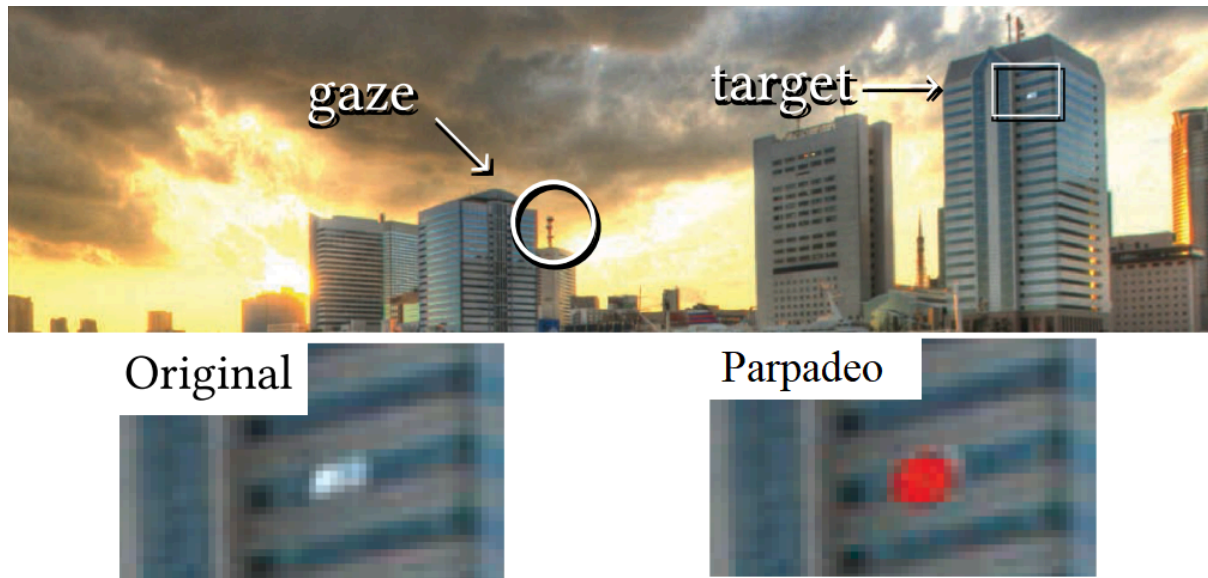
Es la interrupción y continuación (aparición y desaparición) sucesivas a intervalos regulares de una forma o elemento dentro de la escena de aprendizaje.

- **Cómo usarlo**

Por lo general, esta técnica se utiliza en conjunto con el color, presentando formas de un color determinado que aparecen y desaparecen en lapsos específicos. Se puede presentar mediante un círculo (u otro elemento) rojo, azul, verde (u otros colores dependiendo de la escena) en una ubicación específica para dirigir la atención del usuario, con una duración de 120 ms

presentando el estímulo durante 120 ms cada un segundo, o realizar adaptaciones del tiempo de aparición y desaparición de acuerdo a la tarea.

Se debe insertar Video Parpadeo



En el estudio "Comparison of Unobtrusive Visual Guidance Methods in an Immersive Dome Environment", se aplica esta técnica en la cual se presenta un punto rojo en una ubicación específica para dirigir la atención del usuario, con una duración de 120 ms presentando el estímulo durante 120 ms cada dos segundos. Esta técnica combinada con el color mejora la eficiencia de la visualización de la escena al reducir la latencia de respuesta a los estímulos y lograr dirigir la mirada del usuario al objetivo.

- **Resultados esperados**

En la tabla se observan los resultados y variaciones que se pueden lograr sin aplicar y aplicando el concepto de parpadeo.

<b>Parpadeo</b>	<b>Comportamiento</b>	<b>Variación (%)</b>
Número de fijaciones	Disminución	19,75
Número de sacadas	Disminución	21,02
Duración de fijaciones	Disminución	2,43
Retención de información	Aumento	6,81
Carga cognitiva	Disminución	0,63
Carga cognitiva externa	Disminución	12,28

Mediante el uso del movimiento para direccionar la atención visual se pueden reducir el número de fijaciones en un 19.75%, el número de sacadas en un 21.02%, la duración de las fijaciones en un 2.43%, la retención de la información podría aumentar en un 6.81%, la carga cognitiva disminuye en un 0.63% y finalmente, la carga cognitiva externa también disminuye en un 12.28%.

#### **4. Guía rápida (resumen)**

Esta guía se enfoca en brindar a diseñadores una herramienta para optimizar la experiencia de aprendizaje en entornos de realidad mixta, donde la configuración precisa de elementos visuales, como color, contigüidad, movimiento y parpadeo, juega un papel crucial. Dirigida a diseñadores de interfaces gráficas, ofrece directrices para seleccionar y configurar elementos visuales, reduciendo la carga cognitiva y guiando la atención del estudiante. El objetivo es mejorar la eficiencia y centrar el diseño en el estudiante, contribuyendo a un entrenamiento procedimental más efectivo.

Para la configuración de estos elementos se deben tener en cuenta aspectos de la atención visual, el entrenamiento procedimental y la carga cognitiva.

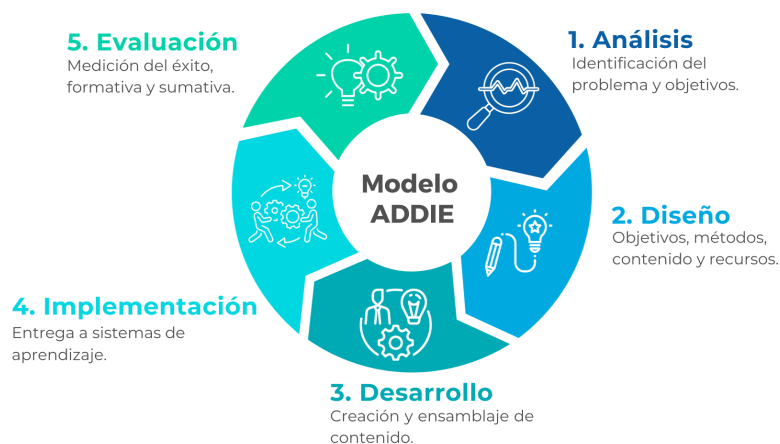
La atención visual se divide en "qué" (foco de atención) y "dónde" (ubicación espacial). El componente "qué" se refiere a lo observado, mientras que "dónde" se relaciona con la

ubicación espacial. Es esencial dirigir la atención visual hacia la información clave para optimizar el aprendizaje, considerando aspectos foveales y parafoveales. Este enfoque mejora el uso del tiempo y los recursos, contribuyendo a un aprendizaje más efectivo.

El entrenamiento procedimental implica aprender a través de la repetición de procesos y acciones específicas.

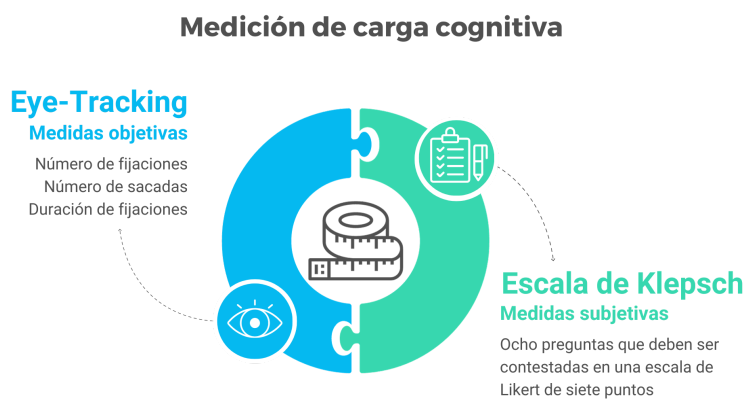


Las prácticas para diseñar y desarrollar material de entrenamiento procedimental incluyen componentes que pueden ser utilizados como una introducción de alto nivel a un proceso de diseño de entrenamiento procedimental común. Esto incluye una revisión del Marco ADDIE, lo cual proporciona orientación práctica.



La carga cognitiva se refiere al esfuerzo mental necesario para realizar una tarea, siendo crucial en el aprendizaje. Este concepto se divide en carga intrínseca, relacionada con la construcción de esquemas, y carga externa. Reducir la carga cognitiva externa es esencial en el diseño para dirigir más recursos de memoria de trabajo al aprendizaje, mejorando la eficiencia cognitiva y la experiencia del estudiante.

La carga cognitiva se puede medir a través de con estas dos herramientas



## Elementos visuales

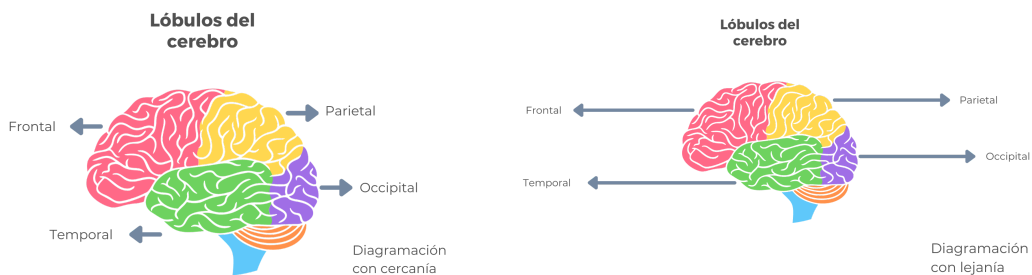
- **Color**

El color es una experiencia generada por los sentidos debido al fenómeno de la emisión de luz, reflejada por los objetos al incidir con una determinada intensidad. Se utiliza el color como una forma de codificación de estímulos para guiar la atención de los usuarios hacia diferentes elementos en la escena visual. Se puede utilizar el color para destacar elementos importantes a través de técnicas como el resaltado de color, la presentación de elementos en color azul o rojo, el uso de elementos de colores cálidos sobre fondos fríos, aplicando opacidad, entre otras. Los tres colores más utilizados son azul, verde y rojo.



- **Contigüidad**

Presentación de la información directamente encima o al lado de un objeto, lo que podría suponer una reducción de carga cognitiva de los estudiantes de tal manera que una fracción mayor de la memoria a corto plazo puede usarse durante el proceso cognitivo del aprendizaje. La contigüidad se puede ver apoyada por el uso del color, y la cercanía de la información que tiene relación también influye en la comprensión del contenido, entre más cerca mejor comprensión. Cuando la información relacionada está cercana entre sí consume menos recursos en la memoria que cuando la información está lejana.



- **Movimiento**

Es un cambio de la posición de un cuerpo o elemento (un círculo, un marco, alguna forma) a lo largo del tiempo respecto de un sistema de referencia. Se aplica cambiando la posición de un objeto o realizando recorridos, y también se utiliza acompañado de color. Se puede aplicar utilizando un estímulo en forma de círculo, el cual realiza un movimiento repetido hacia el

borde de un espacio demarcado en la dirección en la que el usuario debe girar para alcanzar a observar el objetivo.

Se debe insertar Video Animación movimiento

- **Parpadeo**

Es la interrupción y continuación (aparición y desaparición) sucesivas a intervalos regulares de una forma o elemento dentro de la escena de aprendizaje. Esta técnica se utiliza en conjunto con el color, presentando formas de un color determinado que aparecen y desaparecen en lapsos específicos. Se puede presentar mediante un círculo (u otro elemento) rojo, azul, verde (u otros colores dependiendo de la escena) en una ubicación específica para dirigir la atención del usuario, con una duración determinada en diferentes lapsos.

Se debe insertar Video Animación parpadeo

Resultados esperados con aplicación y sin aplicación de estos elementos:

Elemento visual	Color		Movimiento		Parpadeo	
	Comportamiento	Variación (%)	Comportamiento	Variación (%)	Comportamiento	Variación (%)
Número de fijaciones	Disminución	14,57	Disminución	10,88	Disminución	19,75
Número de sacadas	Disminución	15,11	Disminución	13,12	Disminución	21,02
Duración de fijaciones	Disminución	4,22	Aumento	3,8	Disminución	2,43
Retención de información	Aumento	7,95	Aumento	3,4	Aumento	6,81
Carga cognitiva	Disminución	5	Disminución	10,98	Disminución	0,63
Carga cognitiva externa	Disminución	22,8	Disminución	30,99	Disminución	12,28