

Estructuración de un protocolo para la implementación del bocetado inmersivo con herramienta RV en la etapa de diseño donde se realicen verificaciones en las asignaturas de

Talleres de Diseño de la EDI-UIS, caso Taller de Diseño VI

Darly Tatiana Herreño Amaya y María Alejandra Parra Ariza

Trabajo de Grado para Optar al Título de Diseñador Industrial

Director

Vaslak Rojas Torres

Magíster en Diseño y creación interactiva

Codirector

Luis Eduardo Bautista Rojas

Doctor en Ciencias de la computación

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Diseño Industrial

Programa Académico de Diseño Industrial

Bucaramanga

2024

### **Dedicatoria**

A nuestros padres y hermanas, por su amor y apoyo incondicional en cada paso de nuestra carrera académica. Gracias por creer en nosotras, por enseñarnos el valor del esfuerzo y la perseverancia, y por ser nuestra fuente inagotable de inspiración y fortaleza.

A nuestros amigos, por su compañía, comprensión y aliento a lo largo de este camino. Gracias por estar siempre presentes, compartiendo alegrías y desafíos, y por ser un pilar fundamental en nuestras vidas. Este proyecto es el reflejo de su apoyo y confianza. A todos ustedes, les dedicamos este logro con profunda gratitud y cariño.

### **Agradecimientos**

Queremos expresar nuestro más profundo agradecimiento a nuestros directores de proyecto, quienes con su guía, paciencia y sabiduría han sido fundamentales en la culminación de este trabajo. Su orientación ha sido esencial para nuestro desarrollo académico y profesional.

Un especial reconocimiento a los estudiantes que participaron en este proyecto. Su colaboración y entusiasmo han sido invaluable para la realización de esta investigación. Gracias por su tiempo, su esfuerzo y por compartir con nosotros su visión y experiencias.

Agradecemos también a todos nuestros docentes de la EDI-UIS, quienes han contribuido significativamente a nuestra formación y nos han inspirado a esforzarnos y superar nuestros propios límites. A nuestros compañeros, quienes nos han acompañado en este viaje, compartiendo conocimientos, experiencias y momentos inolvidables.

Finalmente, queremos agradecer entre nosotras por el esfuerzo y acompañamiento desde el primer semestre. Ha sido maravilloso encontrarnos y congeniar, complementándonos en nuestros conocimientos y valores. Juntas, hemos aportado al crecimiento de la otra, enfrentando desafíos, celebrando logros y fortaleciendo nuestra amistad. Este proyecto es un testimonio de nuestra colaboración y dedicación compartida

**Tabla de Contenido**

	<b>Pág.</b>
Introducción .....	12
Pregunta de Diseño .....	14
1. Objetivos .....	15
1.1 Objetivo General.....	15
1.2 Objetivos Específicos.....	15
2. Metodología .....	16
3. Análisis Bibliométrico del Estado del Arte .....	17
3.1 Estrategia de Búsqueda y Métodos de Selección.....	17
3.2 Resultados del Análisis Bibliométrico.....	19
3.2.1 Número de documentos por año de publicación.....	19
3.2.3 Los 10 Países más productivos en la temática .....	21
3.2.4 Las 10 Instituciones más productivas en la temática .....	21
3.2.5 Áreas temáticas de los documentos .....	22
3.2.6 Mapeo Bibliográfico de palabras clave con VOSviewer.....	23
3.3 Conclusiones del Análisis Bibliométrico.....	26
4. Análisis del Caso de Estudio: Taller de Diseño VI.....	27
4.1 Etapa exploratoria y de capacitación .....	29
4.2 Etapa de acompañamiento a proyectos de la asignatura.....	30
5. Diseño del Protocolo.....	32
5.1 Definición de verificaciones prácticas, formal-estéticas y simbólicas con Gravity Sketch .....	32
5.1.1 Funciones Prácticas.....	33
5.1.2 Funciones Formal-estéticas.....	33

5.1.3 Funciones Simbólicas .....	34
5.2 Definición de requerimientos.....	35
5.3 Definición del protocolo .....	36
5.3.1 Objetivo del Protocolo .....	36
5.3.3 Estructura del Protocolo.....	37
5.3.4 Formato para la disposición del protocolo.....	37
5.4 Alternativas de protocolo.....	38
5.5 Validación del Protocolo.....	40
5.5.1 Prueba Experimental.....	40
5.5.2 Ejecución del experimento.....	44
5.5.3 Análisis de resultados de las Validaciones .....	46
5.6 Conclusiones y Hallazgos de las Validaciones.....	55
5.7 Ajustes del Protocolo y Protocolo Final .....	56
5.8 Divulgación del Protocolo en Página web .....	57
6. Conclusiones .....	58
7. Recomendaciones .....	58
Referencias Bibliográficas.....	60

**Lista de Tablas**

	<b>Pág.</b>
Tabla 1 Los 10 Documentos más citados, tomado de los autores .....	20
Tabla 2 Las 10 Instituciones más productivas .....	22
Tabla 3 Cuadro de Requerimientos para el desarrollo del Protocolo de Verificaciones, tomado de los autores.....	35
Tabla 4 Promedios de tiempo del experimento en estudiantes con protocolo y sin protocolo	46
Tabla 5 Síntomas reportados por los participantes durante el experimento, tomado de los autores .....	52

**Lista de Figuras**

	<b>Pág.</b>
Figura 1 Proceso metodológico de la investigación según los objetivos específicos de este proyecto y la metodología de Design Thinking, tomado de los autores.....	16
Figura 2 Proceso de Selección de literatura pertinente para el análisis, tomado de los autores .....	18
Figura 3 Gráfico de Número de Documentos por año de publicación, tomado de los autores	19
Figura 4 Los 10 países más productivos en la temática según autoría y coautoría, tomado de los autores .....	21
Figura 5 Áreas Temáticas de los documentos, tomado de los autores.....	23
Figura 6 Redes de palabras clave generales en Scopus, tomado de los autores .....	24
Figura 7 Redes de palabras clave generales en Web of Science, tomado de los autores.....	24
Figura 8 Redes de palabras clave de autor en Scopus, tomado de los autores .....	25
Figura 9 Clusters relevantes de palabras clave de autor en Scopus, tomado de los autores ....	25
Figura 10 Evidencias de sesiones creativas de personajes y entornos por los estudiantes de Diseño VI.....	29
Figura 11 Evidencias de sesiones creativas de modelado de mobiliario por los estudiantes de Diseño VI.....	30
Figura 12 Proceso de Prototipado Virtual para verificaciones de diseño por estudiante de Diseño VI.....	30
Figura 13 Estructura general de las etapas del Protocolo, tomado de los autores .....	37
Figura 14 Generación de alternativas de organización y de recursos gráficos .....	38
Figura 15 Verificaciones de legibilidad.....	39
Figura 16 Ajuste y refinamiento de alternativas de la configuración del Protocolo.....	39
Figura 17 Bancos de trabajo individual de los grupos experimentales CP y SP .....	42

Figura 18 Evidencias de los resultados de la prueba piloto .....	43
Figura 19 Configuración de monitoreo dentro y fuera del entorno virtual, tomado de los autores .....	45
Figura 20 Modelos finales de los vagones de tren en el experimento, grupo experimental CP y SP .....	47
Figura 21 Número de errores en los componentes del modelo final .....	48
Figura 22 Categorías de errores en los componentes del modelo final, tomado de los autores .....	49
Figura 23 Número de participantes que cometieron errores en las actividades definidas, tomado de los autores.....	50
Figura 24 Número de solicitudes de ayuda por los participantes durante la prueba, SP y CP	50
Figura 25 Resultados de Uso Intuitivo según la métrica QUESI.....	53

### **Lista de Apéndices**

Los apéndices están adjuntos

Apéndice A. Definición de Usuarios Arquetipo del protocolo

Apéndice B. Identificación del Necesidades prioritarias

Apéndice C. Método Journey Map

Apéndice D. Plan de asignatura Taller de Diseño VI

Apéndice E. Recursos de trabajo del experimento

Apéndice F. Formato de consentimiento informado

Apéndice G. Cuestionario VRSQ - Formularios de Google

Apéndice H. Cuestionario QUESI - Formularios de Google

Apéndice I. Resultados del Experimento

## Resumen

**Título:** Estructuración de un protocolo para la implementación del bocetado inmersivo con herramienta RV en la etapa de diseño donde se realicen verificaciones en las asignaturas de Talleres de Diseño de la EDI-UIS, caso Taller de Diseño VI\*

**Autor:** Darly Tatiana Herreño Amaya (1), María Alejandra Parra Ariza (2)\*\*

**Palabras Clave:** Realidad Virtual, Bocetado Inmersivo, Verificación de Prototipos, Gravity Sketch, Protocolo de Diseño Industrial.

**Descripción:** El proyecto se centra en la exploración de la Realidad Virtual (RV) y su potencial en el desarrollo de productos de diseño, particularmente en las verificaciones de componentes. Este documento refleja el proceso de la estructuración de un protocolo para llevar a cabo verificaciones de prototipos en el diseño de un producto, implementando el bocetado inmersivo en Gravity Sketch como herramienta complementaria en un entorno académico. Se enmarca particularmente en la Escuela de Diseño Industrial de la Universidad Industrial de Santander, a través de un trabajo colaborativo con estudiantes y docentes de la asignatura taller de Diseño VI.

Se alcanza la creación de un protocolo eficaz que pretende ser una guía en el flujo de trabajo de la asignatura y su disposición en una página web. El protocolo resultante, implementa la construcción controlada de prototipos virtuales en ambientes colaborativos y su posterior evaluación para la toma de decisiones previas a la fabricación de modelos funcionales. Los resultados indican que, utilizando el protocolo, los estudiantes presentaron menor número de errores, menor número de solicitudes de ayuda, probabilidad de uso intuitivo y mayor exploración creativa.

Se espera que se siga promoviendo el acceso a este tipo de tecnologías emergentes en la formación del Diseño Industrial por medio de nuevas investigaciones y métodos para integrarlos efectivamente en el entorno educativo y se desarrollen investigaciones adicionales para conocer el potencial del Bocetado Inmersivo en otras etapas del proceso del Diseño.

---

\* Trabajo de Grado

\*\*Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Diseño Industrial. Pregrado en Diseño Industrial. Director: Vaslak Rojas Torres. Magíster en diseño y creación interactiva. Codirector: Luis Eduardo Bautista Rojas. Doctor en Ciencias de la computación

### Abstract

**Title:** Structuring of a protocol for the implementation of immersive sketching with a VR tool in the design stage where verifications are carried out in the EDI-UIS Design Workshop subjects, case study Design VI Workshop\*

**Autor:** Darly Tatiana Herreño Amaya (1), María Alejandra Parra Ariza (2)\*\*

**Key Words:** Virtual Reality, Immersive Sketch, Prototype Verification, Gravity Sketch, Industrial Design Protocol.

**Description:** The project focuses on the exploration of Virtual Reality (VR) and its potential in the development of design products, particularly in component verification. This paper reflects the process of structuring a protocol to carry out prototype verifications in the design of a product, implementing immersive sketching in Gravity Sketch as a complementary tool in an academic environment. It is particularly framed in the School of Industrial Design of the Universidad Industrial de Santander, through a collaborative work with students and teachers of the subject Design VI Workshop.

The creation of an effective protocol is achieved that aims to be a guide in the workflow of the subject and its layout on a web page. The resulting protocol implements the controlled construction of virtual prototypes in collaborative environments and their subsequent evaluation for decision making prior to the making of functional models. The results indicate that, using the protocol, students presented fewer errors, fewer requests for help, probability of intuitive use and greater creative exploration.

It is expected that access to these types of emerging technologies in Industrial Design education will continue to be promoted through new research and methods to effectively integrate them into the educational environment and additional research will be developed to learn about the potential of Immersive Sketching in other stages of the Design process.

---

\* Degree Work

\*\* Faculty of Physicomechanical Engineering. School of Industrial Design. Industrial Design. Director: Vaslak Rojas Torres. Master in interactive design and creation. Co-director: Luis Eduardo Bautista Rojas. PhD in Computer Science

## Introducción

Según la filosofía del diseño basada en sistemas de transición de estados, diseñar es el proceso de transformar el estado de un objeto desde su idea o imagen mental a otro estado en el que su objetivo de diseño ha sido cumplido. Este proceso comienza desde la representación de sus propiedades y valores (formales, estéticos, simbólicos) en diferentes formas y medios de representación: dibujos, prototipos virtuales, etc (Reymen y Hammer, 2000). La expresión plástica entonces se presenta como uno de estos medios básicos de comunicación y representación de ideas bi y tridimensionales. Hace parte de las destrezas del desarrollo motriz del ser humano, y como plantea Berruezo (1995), evoluciona a través del tiempo, de la experiencia y del conocimiento.

A partir de este enfoque, sería un error considerar al Diseño Industrial como una profesión estática en el tiempo. Es una profesión proyectada, “tiende puentes entre lo que es y lo que es posible y ofrece una visión más optimista del futuro al replantear los problemas como oportunidades” (World Design Organization, s.f.). Así pues, se puede fijar como un menester constante la necesidad de estudiantes, docentes y profesionales del diseño, de adaptarse a las exigencias de la sociedad y mantenerse a la vanguardia en campos de la innovación, tecnología e investigación. Esto con el fin de dominar, aprovechar y complementar herramientas tradicionales con nuevas herramientas y así responder a nuevas necesidades y facilitar el estilo de vida del ser humano.

Entre estas herramientas encontramos la Realidad Virtual (RV), una tecnología que aparece aproximadamente en la década de 1960 (Sutherland, 1968) y con el paso del tiempo, gracias a investigaciones y avances tecnológicos, pasa a ser más asequible y utilizable. El impulsar experiencias inmersivas a un costo más reducido y con una mayor capacidad de procesamiento y reproducción de la información (Nadan, 2011), permite que dicha tecnología se extienda ampliamente a diferentes campos y disciplinas (Gerschütz, 2019; Huang, 2015). La

evolución de la Realidad Virtual llega al Diseño Industrial (Thalen, 2012) en campos como el modelado de objetos, ambientes físicos, características humanas y el diseño de espacios, productos y prototipos virtuales (Cruz y Gallardo, 2014). Permitiendo a los diseñadores abrir camino para explorar ideas de diseño y desarrollo de producto de formas que la bidimensionalidad no siempre permite (Rieuf et al., 2017); creando y manipulando inmersivamente sus modelos 3D, realizando simulaciones de uso/interacción con usuarios, colaborando de manera remota y formándose profesionalmente.

Berni (2020) identifica a la RV como potencialmente útil en todas las fases del proceso de diseño, desde las iniciales hasta las detalladas, más sin embargo recalca que ha sido poco explorada en áreas como el diseño participativo y la educación en diseño. Adicionalmente resalta la preferencia por el uso de tecnologías como la RV por HMD (head-mounted display) en etapas del proceso de diseño como el Prototipado virtual y la Evaluación de productos. Es necesario plantear entonces cómo implementar y aprovechar la Realidad Virtual y sus tecnologías en el proceso de diseño de producto, con el fin de posibilitar el tránsito desde las fases exploratorias y conceptuales a etapas más avanzadas.

Capitalizando las ventajas de la RV en este ámbito y contribuyendo al avance en investigación y educación en el campo del Diseño Industrial, se determina así el uso del Bocetado Inmersivo para el esculpido digital 3D rápido y libre (Alcaide-Marzal, et al., 2012) de Prototipos Virtuales y su posterior evaluación en un entorno virtual. Conforme a lo anterior, este proyecto de investigación se enfoca en el desarrollo de un Protocolo para implementar el Bocetado Inmersivo en las verificaciones de diseño de producto, aplicado a los Talleres de Diseño de la Escuela de Diseño Industrial de la Universidad Industrial de Santander (EDI-UIS). Se escoge como caso de estudio el Taller de Diseño VI, asignatura que se fundamenta en la visión del diseño de producto por componentes, a través de un proceso más controlado y específico.

Al desarrollar este protocolo, se busca no solo favorecer la investigación y aplicación de nuevas herramientas en el proceso metodológico del diseño de producto, sino también explorar el potencial educativo de la Realidad Virtual en el contexto universitario de los talleres de la EDI-UIS. También con el fin de sentar una base mediante la cual se orientan las etapas posteriores de la investigación del profesor y director del presente proyecto, Vaslak Rojas Torres.

En este documento se presenta entonces el proceso para la creación de este protocolo, desde la recopilación de información en bases de datos académicas, el acompañamiento a estudiantes del Taller de Diseño VI, hallazgos y conocimientos adquiridos sobre la herramienta de Bocetado Inmersivo Gravity Sketch, la definición de requerimientos y parámetros según las necesidades del usuario arquetipo, la estructuración del protocolo y su posterior validación experimental en estudiantes de Talleres de Diseño de la EDI-UIS, a fin de obtener y analizar los resultados convenientes respecto a la eficacia del Protocolo. Finalmente, la disposición digital de toda información relevante sobre esta investigación en una página web para el acceso y divulgación del Protocolo a la comunidad académica.

### **Pregunta de Diseño**

¿Cómo el diseño y la disposición de un protocolo es eficaz para implementar el Bocetado Inmersivo por medio de la herramienta de RV en las pruebas de verificaciones de los estudiantes de talleres de Diseño de la EDI-UIS?

**Variable dependiente:** Eficacia en las pruebas de verificaciones de los estudiantes del taller Diseño de la EDI-UIS.

**Variable independiente:** Uso de un Protocolo que implementa el Bocetado Inmersivo con RV en verificaciones de productos.

## **1. Objetivos**

### **1.1 Objetivo General**

Diseñar un protocolo para la implementación del bocetado inmersivo con herramienta RV en la etapa de verificaciones, durante el proceso de diseño de los estudiantes de los talleres de diseño de la EDI-UIS, caso Taller de Diseño VI.

### **1.2 Objetivos Específicos**

Identificar las comprobaciones prácticas, formal-estéticas y simbólicas que pueden realizarse en el taller de Diseño VI utilizando el bocetado inmersivo y definir los requerimientos necesarios para la implementación de la herramienta en la asignatura.

Estructurar un protocolo para el uso del bocetado inmersivo por RV en la etapa de verificaciones de la asignatura Diseño VI, mediante la aplicación de la metodología del Design Thinking y el Diseño Inmersivo.

Evaluar el protocolo mediante pruebas con los estudiantes participantes de los talleres de Diseño, a fin de realizar observaciones, sugerencias de mejora y conclusiones sobre su eficacia y aceptación, aplicando el bocetado inmersivo con la herramienta RV en etapas de verificación.

Disponer el protocolo en una herramienta digital educativa con el fin de facilitar el acceso, difusión y/o reproducción del proceso para la implementación del bocetado inmersivo en verificaciones de diseño de proyectos afines.

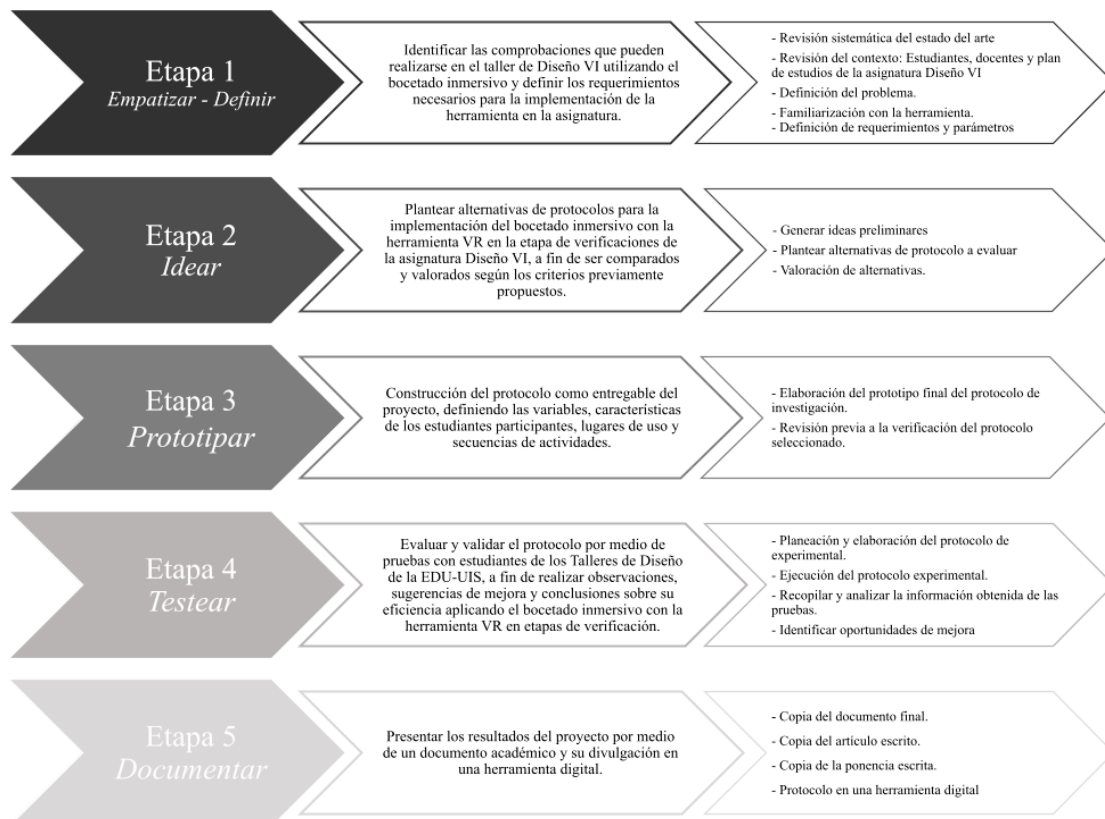
## 2. Metodología

Este proyecto se beneficia de la implementación del enfoque Design Thinking. Según el Instituto de Diseño Hasso Plattner de la Universidad de Stanford (What is design Thinking?, s.f.), el Design Thinking busca la resolución de problemas complejos al generar soluciones innovadoras a través de un proceso de diseño centrado en el ser humano con equipos multidisciplinarios y en un entorno de trabajo flexible.

El proceso de Design Thinking está compuesto por 5 etapas iterativas, en la Figura 1, se ilustran en cuatro etapas concretas (empatizar y definir, idear, prototipar y evaluar) vinculadas a cada uno de los objetivos específicos del proyecto, todo con el propósito de obtener información relevante para la definición, desarrollo, evaluación y disposición del protocolo concerniente como resultado final de la investigación.

**Figura 1**

*Proceso metodológico de la investigación según los objetivos específicos de este proyecto y la metodología de Design Thinking, tomado de los autores.*



Adicionalmente, el proyecto se desarrolla paralelamente junto a otros proyectos inscritos al grupo de investigación GEPS de la universidad, correspondientes al mismo eje temático de ergonomía cognitiva e inteligencia espacial en el diseño. Entre ellos la creación del semillero de investigación *Tridimensional*, que permite complementar y enriquecer el proceso de diseño de estudiantes interesados en modelado digital, aplicaciones de Realidad Virtual e inteligencia espacial.

### **3. Análisis Bibliométrico del Estado del Arte**

Iniciando con la etapa exploratoria del proyecto, se realiza un análisis bibliométrico sobre la producción científica relacionada con aplicaciones de la Realidad Virtual en la etapa de verificaciones del diseño de productos. Identificando así, tendencias y brechas de conocimiento, a fin de obtener información relevante que aporte una visión clara y detallada del estado actual de la investigación en el área de las nuevas tecnologías, herramientas y métodos en el proceso de desarrollo de productos, además de oportunidades de mejora para su utilización desde el aula de clase.

#### **3.1 Estrategia de Búsqueda y Métodos de Selección**

La literatura relevante para los objetivos del estudio se obtiene utilizando la base de datos académicas Scopus -propiedad de Elsevier- y Web Of Science -propiedad de Clarivate-. Según el enfoque del proyecto, se definen dos ejes temáticos principales: Bocetado Inmersivo y Verificaciones en Diseño. A partir de los cuales se selecciona la terminología especializada proveniente de los tesauros de la IEEE de cada eje temático y se define como pregunta de revisión: ¿Cómo se han estudiado las aplicaciones de Realidad Virtual en el contexto de verificaciones de diseño de producto?

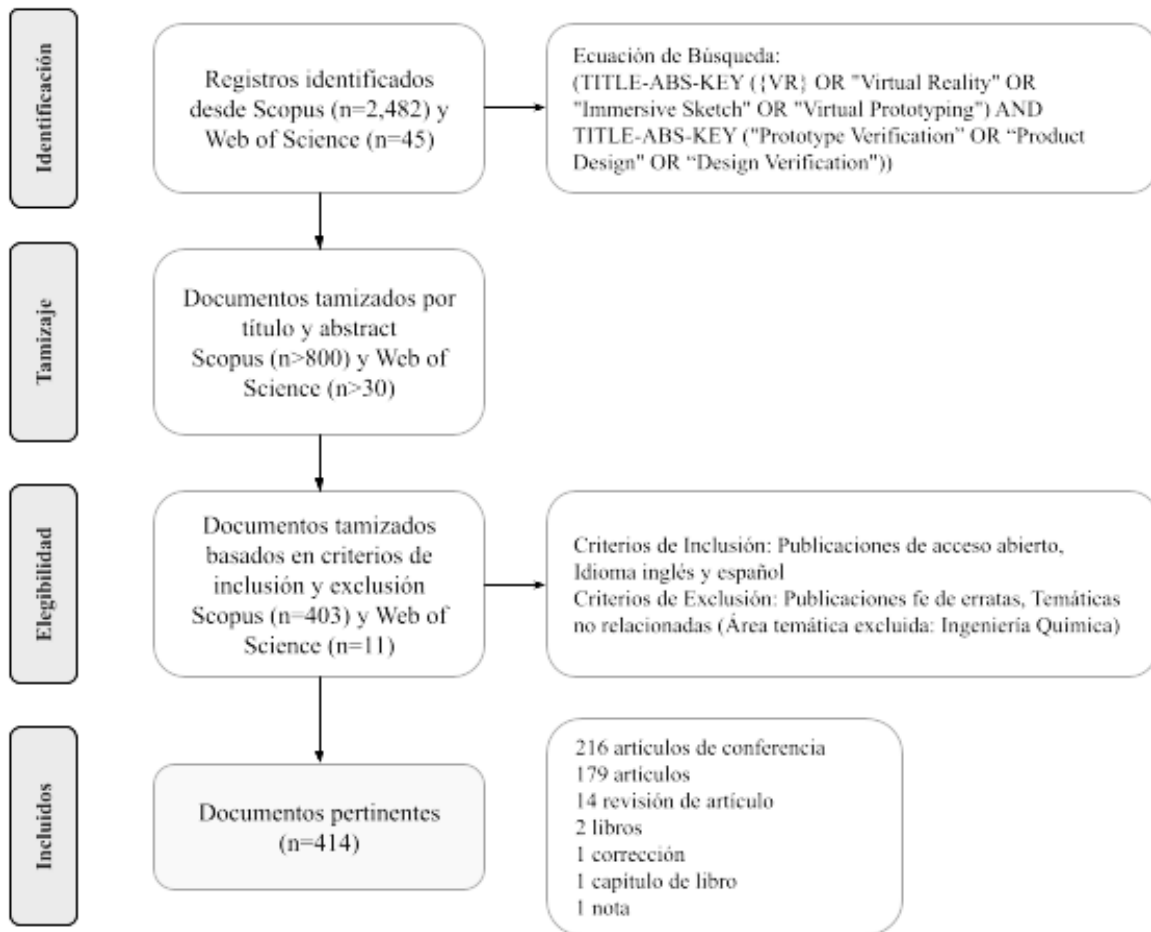
La búsqueda en base de datos se realiza entre Marzo y Abril de 2023 mediante el uso de la siguiente ecuación de búsqueda:

**(TITLE-ABS-KEY ({VR} OR "Virtual Reality" OR "Immersive Sketch" OR "Virtual Prototyping") AND TITLE-ABS-KEY ("Prototype Verification" OR "Product Design" OR "Design Verification"))**

En total se descubrieron 2527 documentos. Para garantizar que los estudios elegidos se alineen con los requisitos y objetivos de la investigación, se lleva a cabo un proceso de selección de literatura ilustrado en la Figura 2, implementando técnicas de tamizaje de documentos como la selección de un período de tiempo que abarca desde el 2003 al 2023, selección de registros por título y abstract y la definición de Criterios de inclusión: Publicaciones de acceso abierto, Idioma inglés y español) y Criterios de exclusión: Publicaciones fe de erratas, Temáticas no relacionadas (Área temática excluida: Ingeniería Química). De esta manera, se eligen 414 documentos pertinentes para el análisis.

**Figura 2**

*Proceso de Selección de literatura pertinente para el análisis, tomado de los autores*



### 3.2 Resultados del Análisis Bibliométrico

Partiendo de los resultados de búsqueda obtenidos, se organiza la información en las siguientes categorías: (1) Número de documentos por año de publicación, (2) Los 10 documentos más citados, (3) Los 10 países que producen más publicaciones de la temática, (4) Las 10 Instituciones más productivas y (5) Clasificación por áreas temáticas de las publicaciones.

Posteriormente, se exportan las listas de resultados de Scopus en formato de CSV y las de Web of Science en formato de texto, para su visualización en mapeo bibliográfico de las redes de palabras claves más importantes con el software VOSviewer. Esto con la finalidad de facilitar la comparación y análisis de los datos y permitiendo mayor claridad en la interpretación de los resultados.

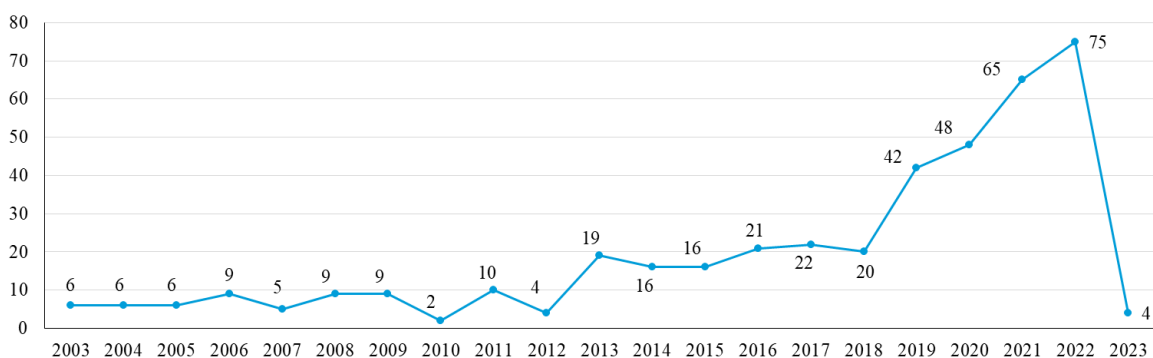
#### 3.2.1 Número de documentos por año de publicación

A partir del año 2018 se observa un aumento significativo en la producción de documentos, ilustrado en la Figura 3. Pasa de 20 documentos en el 2018 a 42 documentos en el 2019. Desde este año, el número de documentos por año de publicación sigue en crecimiento.

El año 2022 se registra hasta este momento como el año más productivo, con 75 documentos publicados (18,11% de los 414).

**Figura 3**

*Gráfico de Número de Documentos por año de publicación, tomado de los autores*



#### 3.2.2 Los 10 documentos más citados

Uno de los indicadores de calidad y legitimidad más importantes en cuanto a la producción científica es el número de citas que posee una publicación. En la Tabla 1 se ilustran los 10 documentos más citados. El 80% sobrepasa las 100 citas mientras que el otro 20% se encuentran cercanos a alcanzar este número (96 y 92 citas). El 70% de estos son artículos de investigación, en su mayoría de revistas, y el 30% son artículos de conferencia.

**Tabla 1**

*Los 10 Documentos más citados, tomado de los autores*

R	Autores	Título	Citas	Publicación	Documento	Fuente
1	Schleich et. al.	Shaping the digital twin for design and production engineering	730	2017	Artículo	Revista
2	Berg et. al.	Industry use of virtual reality in product design and manufacturing: a survey	723	2017	Artículo	Revista
3	Seth et. al.	Virtual reality for assembly methods prototyping: A review	278	2011	Artículo	Revista
4	Zawadzki et. al.	Smart product design and production control for effective mass customization in the industry 4.0 concept	228	2016	Artículo	Revista
5	Teich et. al.	Hardware/software codesign: The past, the present, and predicting the future	221	2012	Artículo de conferencia	Revista
6	Mourtzis et. al.	Simulation in manufacturing: Review and challenges	220	2014	Artículo de conferencia	Acta de Congreso
7	Camarinha-matos et. al.	Collaborative networks: Value creation in a knowledge society	210	2006	Artículo de conferencia	Serie de libros
8	Zorriassatine et. al.	A survey of virtual prototyping techniques for mechanical product development	176	2003	Artículo	Revista
9	Rahimian et. al.	Impacts of VR 3D sketching on novice designers' spatial cognition in collaborative conceptual architectural design	96	2011	Artículo	Revista
10	Beuche et. al.	Variability management with feature models	92	2004	Artículo	Revista

El documento más citado tiene como título “Shaping the digital twin for design and production engineering. Open Access” con 730 citas, publicado en la revista CIRP Annals - Manufacturing Technology (CiteScore2021: 8.8) en el año 2017, le siguen dos artículos que pertenecen a la revista Virtual Reality (CiteScore2021: 7.8), el artículo “Industry use of virtual reality in product design and manufacturing: a survey” con 723 citas y “Virtual reality for assembly methods prototyping: A review” con 278 citas respectivamente. En el noveno lugar de citación se encuentra el único artículo publicado en una revista de diseño llamada Design Studies (CiteScore2021: 6.7), bajo el título de “Impacts of VR 3D sketching on novice

designers' spatial cognition in collaborative conceptual architectural design Open Access” con 96 citas.

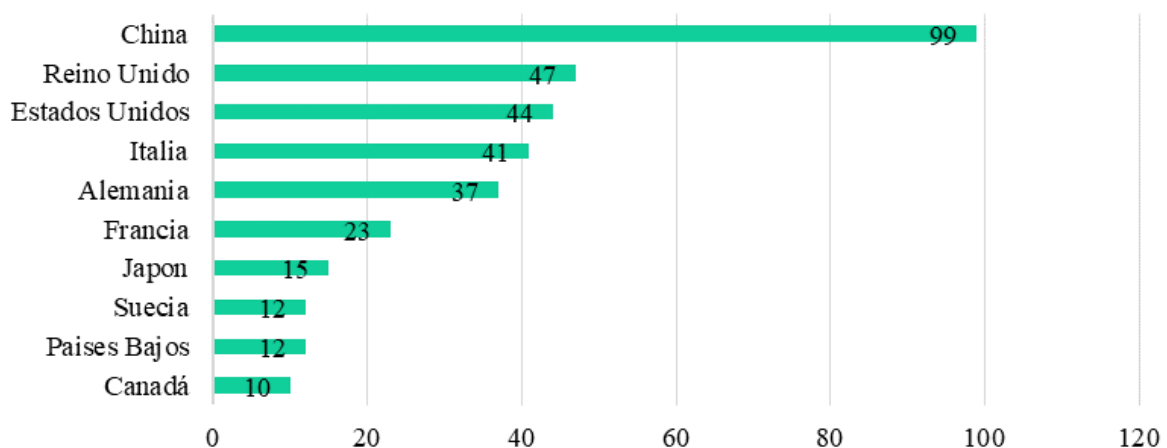
### 3.2.3 Los 10 Países más productivos en la temática

Según las bases de datos, el país más productivo en la temática, según autoría y coautoría, es China con 99 documentos, un 23,9% del total de los 414 documentos en total (Figura 4). Un porcentaje significativo teniendo en cuenta la diferencia en producción con los 3 países posteriores, Reino Unido con 47 documentos, Estados Unidos con 44 e Italia con 41 respectivamente.

Entre los países más productivos observamos países con un grado de desarrollo económico medio/alto, que posiblemente debido a mayor facilidad de alcance a estas nuevas tecnologías, han tenido mayor experiencia con la temática. Es importante recalcar que no se representan países latinoamericanos entre los países con mayor producción literaria en el tema.

**Figura 4**

*Los 10 países más productivos en la temática según autoría y coautoría, tomado de los autores*



### 3.2.4 Las 10 Instituciones más productivas en la temática

Tal y como se representa en la Tabla 2, la institución más productiva es el Politecnico di Milano en Italia con 62 documentos, entre los que se encuentran 34 artículos de conferencia, 24 artículos y 4 capítulos de libro. En segundo lugar, se presenta Iowa State University de

Estados Unidos, con 41 documentos, entre los que se identifican 29 artículos de conferencias y 12 artículos. De Italia también encontramos en tercer lugar a la Università Politecnica delle Marche con 40 documentos.

Se identifica que las instituciones más productivas en la temática pertenecen a países altamente desarrollados y son instituciones de gran relevancia en investigación e innovación.

**Tabla 2**

*Las 10 Instituciones más productivas*

R	Institución	Número de Documentos	País
1	Politecnico di Milano	62	Italia
2	Iowa State University	41	Estados Unidos
3	Università Politecnica delle Marche	40	Italia
4	Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg	35	Alemania
5	CNRS Centre National de la Recherche Scientifique	32	Francia
6	University of Strathclyde	31	Reino Unido
7	Tokyo Institute of Technology	32	Japón
8	Arts et Metiers Institute of Technology	28	Francia
9	Loughborough University	25	Reino Unido
10	Delft University of Technology	21	Países Bajos

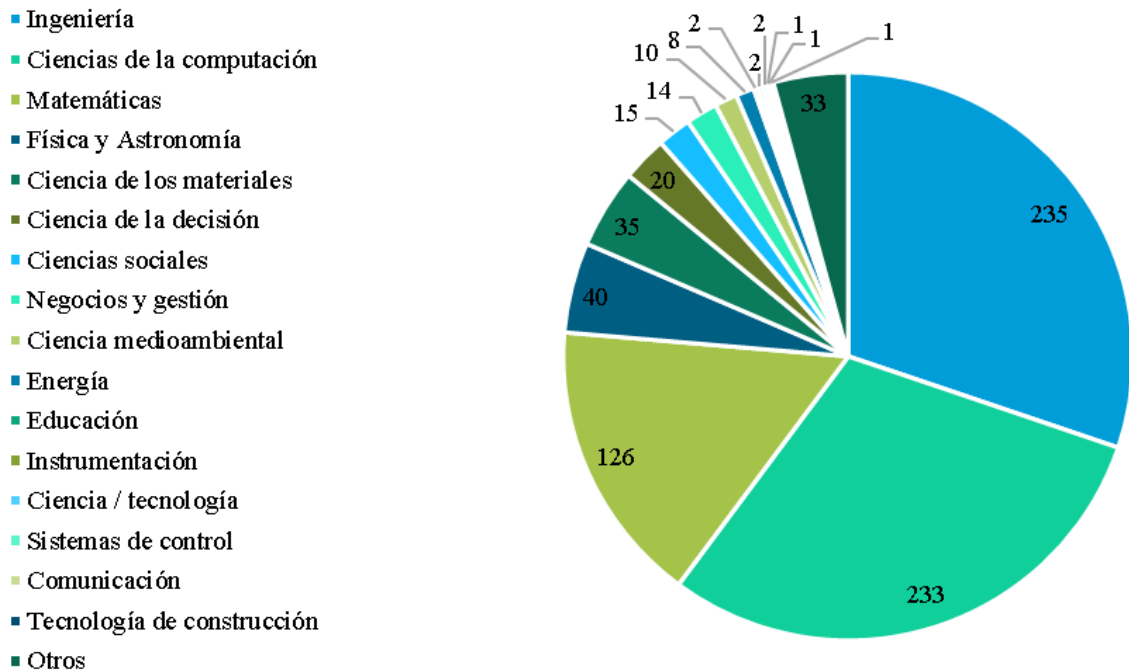
### 3.2.5 Áreas temáticas de los documentos

La literatura encontrada se clasifica en las áreas temáticas representadas en la Figura 5. Aquella con mayor cantidad de publicaciones es la Ingeniería con 235, más de la mitad del total de documentos elegidos para la investigación (56,76% de 414). En segundo lugar y muy similar, se encuentra el área de Ciencias de la Computación con 233 publicaciones (56,28%). Otras áreas temáticas tienen menor número de documentos, como la Ciencia de los Materiales con 35 documentos (8,45%) e incluso algunas áreas como la Educación que sólo se representa en 2 publicaciones, un valor despreciable en comparación a las demás áreas temáticas (0,04%). 33 documentos están clasificados bajo el área temática de Otros (0,78%).

Es importante tener en cuenta que un documento puede pertenecer a más de un área de investigación y que en áreas generales como la Ingeniería, las bases de datos no definen el campo específico o la especialidad a la que pertenecen las publicaciones.

**Figura 5**

*Áreas Temáticas de los documentos, tomado de los autores*

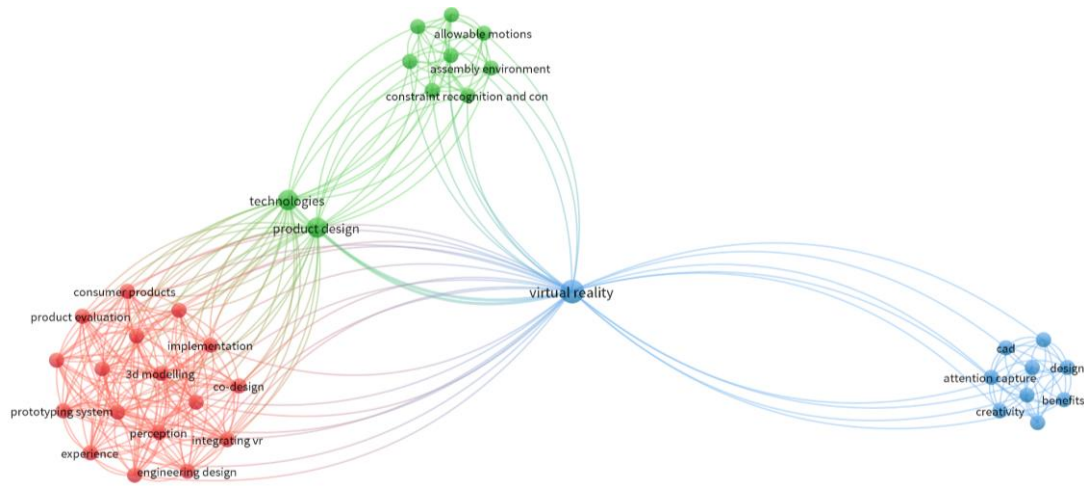


**3.2.6 Mapeo Bibliográfico de palabras clave con VOSviewer**

Siguiendo el enfoque metodológico, se examinan los resultados usando la técnica gráfica de relaciones de palabras con VOSviewer. Se exportan por separado los resultados de las bases de datos, las listas de resultados de Scopus en formato de CSV y las de Web of Science en formato de texto. Posteriormente se presentan en dos tipos de análisis de redes: Coocurrencia de palabras claves generales y Coocurrencia de palabras clave seleccionadas por los propios autores.

**3.2.6.1 Redes de palabras clave generales.** Con los 403 resultados de Scopus, VOSviewer hace un primer análisis donde se identifican 3.537 palabras clave en total. Este gran número de palabras clave, se representa en redes amplias y con gran cantidad de

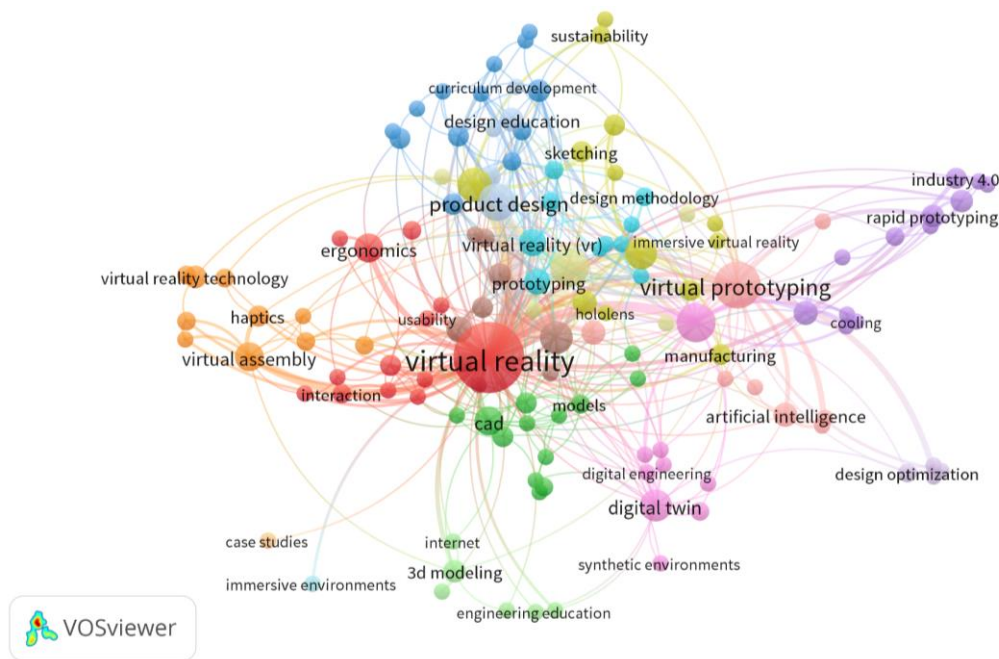




**3.2.6.2 Redes de palabras clave de autor.** En búsqueda de relaciones más específicas entre las palabras clave de autor, tomando como valor 2 coocurrencias, se alcanzan 132 resultados y redes más enriquecedoras (Figura 8). Se presentan clusters de términos relevantes como: Early design phases, Industrial design, Perception, Co-design, Virtual Testing y Virtual Product (Figura 9).

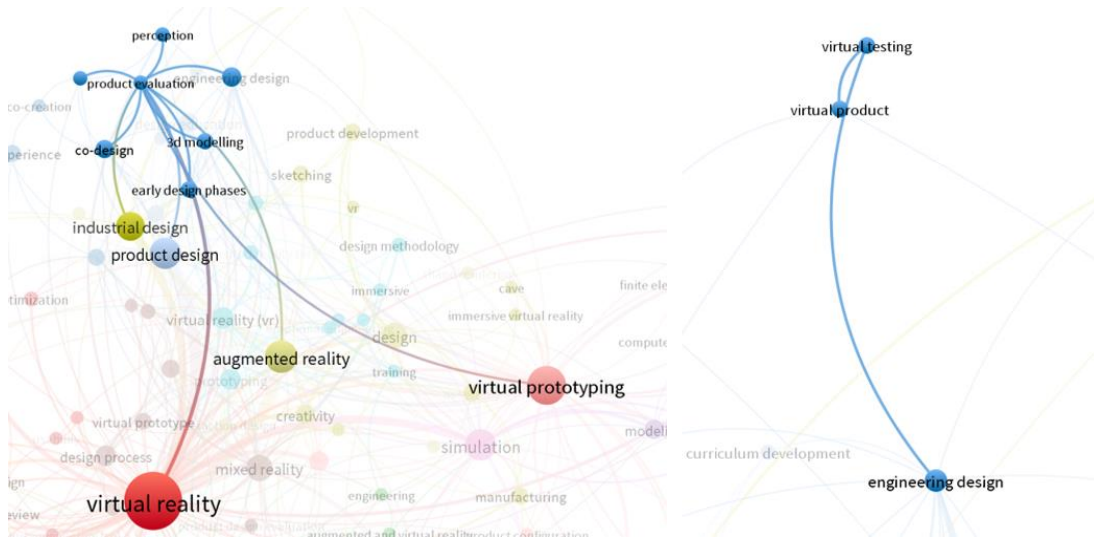
**Figura 8**

*Redes de palabras clave de autor en Scopus, tomado de los autores*



**Figura 9**

*Clusters relevantes de palabras clave de autor en Scopus, tomado de los autores*



### 3.3 Conclusiones del Análisis Bibliométrico

Gracias al análisis bibliométrico realizado en las bases de datos académicas Scopus y Web of Science, se ha logrado una visión más clara y detallada sobre la investigación en el uso de la Realidad Virtual en el Diseño. Este abordaje ha permitido la identificación de documentos relevantes, tendencias y características convenientes y útiles para las etapas posteriores de este proyecto.

Se ha identificado que, a partir del 2018, la producción de documentos presenta un aumento significativo. Esto sugiere un mayor interés y acogida en la aplicación de la RV en diversos campos como la Ingeniería, Computación, Matemática, Manufactura, Ciencias de materiales, entre otros. Por otra parte, se encontró poca y casi nula presencia de documentos pertenecientes a campos de investigación directamente relacionados con el Diseño Industrial, Desarrollo de productos u Educación.

Como complemento de lo anterior y según los resultados de los 10 de países e instituciones más productivas, se observa una notoria ausencia de autores e instituciones Latinoamericanas, evidenciando la brecha en la investigación en comparación de países como China, Estados Unidos, Italia, Reino Unido, Japón, entre otros.

De acuerdo con las revisiones de literatura y las redes de palabras clave de éstas por VOSviewer, los términos con mayor protagonismo y mayor número de coocurrencias son

Virtual Reality y Product Design. Se evidencia la presencia de términos a destacar como Virtual Prototyping y Product Evaluation, pero aquellas redes relacionadas con la etapa concreta de verificaciones de Diseño son escasas y algunas palabras claves se encuentran aisladas de interconexiones, como es el caso de Verification y Design Evaluation.

Es clara la oportunidad de realizar investigaciones adicionales y promover la exploración de herramientas creativas enmarcadas en la fase de Verificaciones del proceso metodológico del Diseño de Producto, se abre camino a una oportunidad de investigación relevante y que debe ser fomentada en la academia de Colombia y otros países latinoamericanos.

#### **4. Análisis del Caso de Estudio: Taller de Diseño VI**

Siguiendo con la etapa de Empatizar, debido a que el protocolo se enmarca específicamente en el Taller de Diseño VI, se requiere en primera instancia recopilar información sobre la metodología y herramientas utilizadas en el programa y particularmente en las Verificaciones de prototipos, esto con el fin de definir los requisitos necesarios para implementar eficazmente el Bocetado Inmersivo en la asignatura.

El plan de acción para analizar y comprender el contexto del Taller de Diseño VI comenzó con la asesoría de la docente encargada de la asignatura, PhD María Fernanda Maradei Garcia. Durante estas conversaciones, se obtuvo información valiosa sobre el proyecto de clase final propuesto en la asignatura (Diseño de juguetes), la metodología de clase y las modificaciones que ésta ha experimentado en los últimos semestres debido a la necesidad de adaptarse al comportamiento y las falencias de los estudiantes que inician un nuevo semestre en este Taller de Diseño.

Aunque la mayoría de los Talleres de Diseño de la Escuela de Diseño Industrial UIS se trabajan bajo el enfoque metodológico del Pensamiento de Diseño, Design Thinking, los

estudiantes de la asignatura de Diseño VI se enfrentan a una nueva visión para concebir productos, el Diseño por Componentes. El objetivo del enfoque de Diseño por Componentes es que los estudiantes aprendan a considerar los productos desde sus elementos configurativos conocidos como componentes y así analizar la funcionalidad y relaciones entre los mismos. Se busca comprender un objeto como un sistema desde su concepción inicial, la evolución de sus representaciones visuales, la elaboración de prototipos y, finalmente, la construcción de modelos funcionales.

A lo largo de este proceso y enfocándonos en la etapa de interés que es la elaboración y evaluación de prototipos, en el Taller de Diseño VI se expone variedad de herramientas y tecnologías disponibles. Según el programa y cronograma de la asignatura, el objetivo de la etapa de Prototipar es “volver tangibles las ideas, hacer palpables las alternativas y visualizar lo que debe ser mejorado o refinado antes del resultado final” (Maradei, 2020) esto a través de ensayos rápidos y económicos de prototipos que permitan tomar decisiones, corregir errores y volver a probar los prototipos mejorados. Durante esta fase, los prototipos se construyen y se comprueban a través de verificaciones de componentes, sean prácticas, estéticas o simbólicas, obteniendo retroalimentación que permite su posterior evolución y nuevamente evaluación. Como la mayoría de las fases en el proceso de diseño, su naturaleza es iterativa.

Como sugiere Eissen y Steur (2014), los objetivos de los diseñadores y creativos al representar ideas en cualquier medio son exploratorios, explicativos y persuasivos, los cuales pueden ser abordados desde la percepción visual en distintas técnicas de construcción y representación bidimensional y tridimensional. Para cumplir estos objetivos y a medida que avanza su proceso formativo, los estudiantes de diseño conocen y exploran nuevas herramientas para la representación objetos, sin dejar a un lado los métodos tradicionales como el uso de papel y cartón, métodos digitales como softwares de modelado CAD y en ocasiones impresión 3D. En este contexto, se introduce la herramienta de Realidad Virtual y el software

de Bocetado inmersivo, Gravity Sketch, que brinda la posibilidad de elaborar bocetos y prototipos virtuales con la capacidad de ser manipulados, evaluados y ambientados dentro de un espacio inmersivo que sirve como puente entre las primeras representaciones bidimensionales de conceptos y los modelos funcionales de producto.

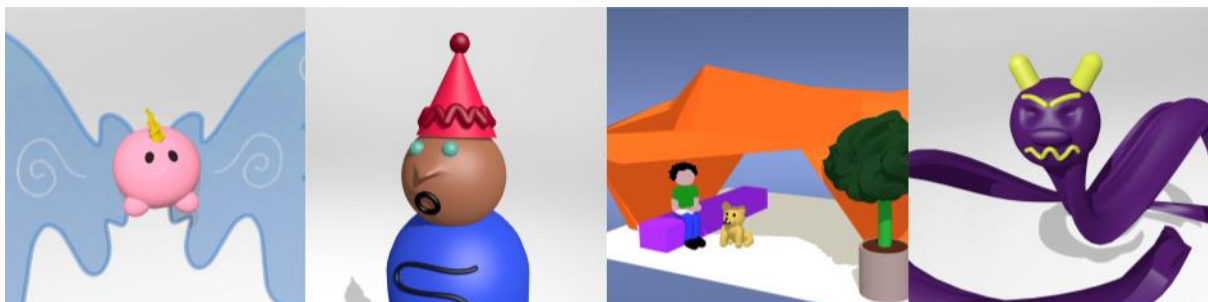
Gracias a la exploración misma de la herramienta por parte del equipo de investigación en sesiones independientes y acompañadas por el semillero de investigación Tridimental, en primera instancia, para abordar el caso de estudio con los estudiantes, se llevó a cabo una introducción básica al software Gravity Sketch y posteriormente, sesiones de seguimiento individual para acompañar la evolución de sus proyectos durante el semestre. Este proceso se dividió en dos etapas, cada una con una duración de dos meses.

#### 4.1 Etapa exploratoria y de capacitación

En la primera etapa, se organizaron en un principio encuentros grupales con 15 estudiantes interesados para la exploración y familiarización con Gravity Sketch. Durante el primer mes se realizó la introducción a controles y herramientas básicas del software, desarrollando actividades enfocadas en la creatividad y la aplicación de lo aprendido, como la creación de personajes y entornos, retratados en la Figura 10.

#### Figura 10

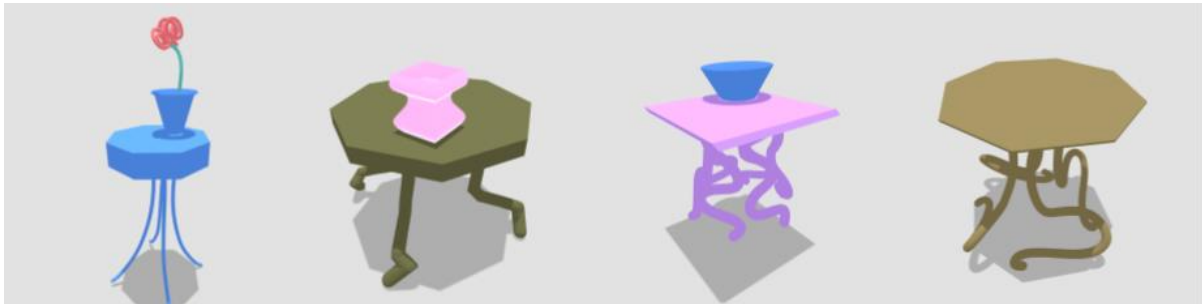
*Evidencias de sesiones creativas de personajes y entornos por los estudiantes de Diseño VI*



Posteriormente, en el segundo mes, se propuso la ejecución de ejercicios de modelado inmersivo de objetos más pertinentes a la profesión de Diseño Industrial, piezas de mobiliario de baja complejidad como mesas, jarrones y lámparas (Figura 11).

**Figura 11**

*Evidencias de sesiones creativas de modelado de mobiliario por los estudiantes de Diseño VI*



**4.2 Etapa de acompañamiento a proyectos de la asignatura**

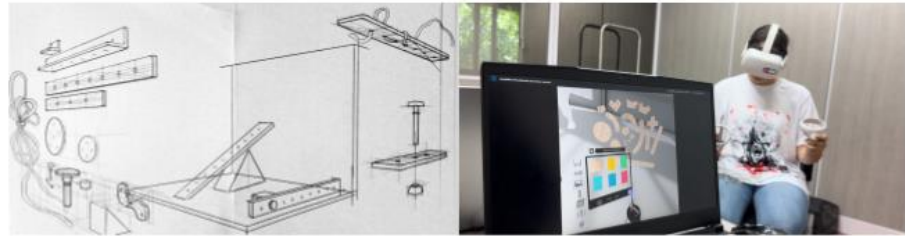
La segunda etapa comprendió los dos meses restantes del semestre y en esta se trabajó directamente con cinco de los estudiantes y con sus respectivos proyectos de la asignatura. Existió un acompañamiento que se ejecutó desde las etapas tempranas de representación bidimensional de sus ideas o alternativas iniciales en bocetos y planos sencillos, pasando por la evolución de los mismos en modelos 3D o prototipos virtuales construidos con el software, posteriormente su evaluación según las verificaciones de diseño requeridas y finalmente la presentación de los modelos finales en un formato apto para las entregas en la asignatura (Figura 12).

Adicionalmente a través de esta etapa, se profundizó la exploración de la herramienta de Gravity Sketch por parte del equipo de investigación. Cada sesión de trabajo y cada proyecto particular de los estudiantes se convirtió en un reto y en una oportunidad de aprendizaje para dominar las actuales herramientas del software, conocer herramientas nuevas e identificar sus alcances y posibles aplicaciones en las verificaciones de diseño que suelen realizarse en el Taller de Diseño VI.

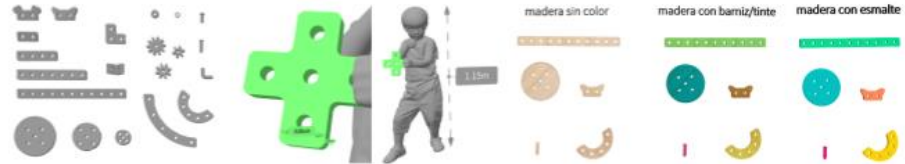
**Figura 12**

*Proceso de Prototipado Virtual para verificaciones de diseño por estudiante de Diseño VI*

**Representación de alternativas**



**Modelado Inmersivo y Verificación**



**Post-procesamiento y Modelo Funcional**



Esta fase de acompañamiento y observación del caso de estudio encamina a la definición de los arquetipos de usuario del Protocolo a diseñar: Docente y Estudiante de la asignatura de Taller de Diseño VI (Apéndice A), la identificación de necesidades prioritarias de estos respecto al uso de técnicas y habilidades para la comunicación eficaz de visión de producto y evaluaciones de prototipos (Apéndice B) y adicionalmente, a través del método de Journey Map (Apéndice C) se identifican las oportunidades de diseño para la configuración de un protocolo que guíe el proceso de realizar verificaciones en un software de RV, entre las que destacan:

- La búsqueda de una orientación clara sobre requisitos y preparación previa antes de acceder a un entorno virtual inmersivo.
- La necesidad de información sobre el uso herramientas de manipulación controlada y edición de geometría de los modelos (tanto importados de otros programas CAD como construidos en Gravity Sketch).
- Una sección que explique los alcances de la herramienta de Color y Materiales, como el copiar texturas directamente de modelos o imágenes de referencia.

- La necesidad de identificación de controles, botones y gestos a través de algún tipo de representación visual.
- La falta de información sobre la compatibilidad de formatos entre Gravity Sketch y otros programas de modelado CAD e información complementaria de posibles alcances de la herramienta en la profesión.
- Las ventajas de tener una cuenta educativa en el uso y desempeño de la herramienta al manejar archivos y crear salas colaborativas.

## **5. Diseño del Protocolo**

### **5.1 Definición de verificaciones prácticas, formal-estéticas y simbólicas con Gravity Sketch**

A través del análisis del caso de estudio, se identificaron las verificaciones de prototipos que se debían implementar en la asignatura y se clasificaron según las funciones de los objetos. Se tomó como referencia la información recopilada durante el acompañamiento a proyectos de estudiantes y el plan de clase proporcionado por la docente de la asignatura (Apéndice D), centrándonos en las etapas de Ideación y Prototipado, aquellas asociadas con el objetivo del presente proyecto de investigación.

Los conceptos, sus representaciones visuales bidimensionales y tridimensionales y demás elementos construidos durante la fase de ideación, fueron utilizados como insumo inicial para la exploración del software y la toma de decisiones, donde a partir de la alternativa definida, se inicia la etapa de la construcción y evaluación de las funciones prácticas, formal-estéticas y simbólicas del prototipo virtual del producto con el software. Teniendo en cuenta los alcances de Gravity Sketch ya identificados, se excluyeron las funciones de carácter funcional y uso real del producto, entre las que se encuentran ensambles, eficiencia y eficacia de uso, la comodidad y la utilidad. En su lugar, se trabajó con las funciones que pueden ser

abordadas y aprovechadas desde sus características como programa de modelado no paramétrico inmersivo para la representación visual de productos.

Se definen entonces las verificaciones prácticas, formal-estéticas y simbólicas de prototipos que pueden ser trabajadas con Gravity Sketch, de la siguiente manera:

#### ***5.1.1 Funciones Prácticas***

- Ajuste de dimensiones: Cambio de los valores y unidades de dimensión del prototipo virtual en todos sus ejes (longitud, altura y profundidad).
- Lenguaje de uso: Representaciones simbólicas para describir actividades, procesos, esquemas o entornos alrededor de los productos, su nivel de descripción depende de los detalles y procesos del mismo (Reymen & Hammer, 2000).
- Manipulación: Forma de operar o manejar las representaciones virtuales por medio del hardware del dispositivo de realidad virtual (visores y controladores), permitiendo simular los gestos y movimientos manuales en la interacción con un producto (Söderman, Citado por Maya & Patiño Mazo, 2020).
- Estructura: disposición y relación de los componentes de todo el sistema o producto (Maya & Patiño Mazo, 2020).

#### ***5.1.2 Funciones Formal-estéticas***

- Generación de formas como puntos, líneas, superficies, volúmenes, texturas y todo aquello semejante que funcione para transformar una idea a una representación visual (Maya & Patiño Mazo, 2020).
- Tamaño o Escala: Relaciones entre los tamaños de los objetos en una representación y los tamaños reales que se esperan que este cumpla (Yates, 2007). Es importante seleccionar la escala adecuada para garantizar que los detalles sean representados con claridad, dependiendo también de las habilidades de dibujo o modelado del diseñador (Maya & Patiño Mazo, 2020).

- **Textura:** Las texturas en las representaciones son las encargadas de mostrar y anticipar cómo serán los elementos visibles o los acabados del objeto físico diseñado (Maya & Patiño Mazo, 2020). Esta puede ser explorada desde características como el tono, la iluminación, la apariencia de un material y la opacidad.
- **Coherencia:** Grado de detalle con el que se representan los objetos para su explicación y comunicación (Yates, citado por Maya & Patiño Mazo, 2020) O grado consistencia entre las representaciones visuales de los componentes y el objeto como un todo.
- **Proporción:** Conjunto de reglas y principios implícitos sobre los cuales se construyen todas las representaciones de un objeto. Cruciales para los diseñadores al permitir que estos controlen la forma intuitivamente hasta obtener los resultados estéticos deseados. (Yates, citado por Maya & Patiño Mazo, 2020).
- **Orden:** Características sintácticas de las formas que definen la posición de los componentes y elementos estructurales de un objeto y son capaces de transmitir significado para la comprensión de las relaciones entre elementos en una composición (Dondis, 1974). Tales como la tensión, el balance, armonía, nivelación, jerarquía, etc.

### ***5.1.3 Funciones Simbólicas***

- **Estilo:** Maya & Patiño Mazo definen el estilo como las características idiosincráticas propias del diseñador. En las representaciones de objetos, el estilo propio de los diseñadores se ve reflejado en sus habilidades plásticas, la experiencia en el manejo de métodos constructivos, la preferencia por elementos visuales o gráficos y las referencias inspiracionales que ha acumulado en el tiempo (Chen & Owen, 1997).
- **Socio culturales:** Significados o asociaciones que los elementos visuales de un objeto son capaces de transmitir a los usuarios. Estos van más allá de características estéticas superficiales, son las relaciones entre signos y las referencias culturales presentes en una representación (Goodman, Citado por Maya & Patiño Mazo, 2020), por lo tanto,

son todos los elementos escogidos por el diseñador que puedan despertar emociones y sensaciones específicas en los usuarios objetivos para los que diseña.

Para fines prácticos en este proyecto de investigación, cuando se mencione el término verificaciones en diseño con el software de bocetado inmersivo Gravity Sketch, se hace referencia a las verificaciones prácticas, formal-estéticas y simbólicas previamente definidas, las cuales se centran en la percepción visual de las representaciones de objetos y su relación entre componentes.

## **5.2 Definición de requerimientos**

Los requerimientos para la configuración del protocolo son producto del análisis de contexto, tanto del estado del arte como del caso de estudio definido. Se tiene en cuenta entonces el uso de nuevas herramientas y tecnologías en el contexto académico del desarrollo de actividades de diseño como la construcción, verificación y ajuste de prototipos y la disposición de un protocolo que cumpla el papel de guía durante este proceso.

El siguiente cuadro de requerimientos refleja la síntesis de estos hallazgos como la guía para la estructuración y posterior validación del protocolo en un ambiente relevante (Tabla 3). Se incluye la clasificación del requerimiento, el criterio a evaluar, la especificación, el parámetro y el método de evaluación que corresponda.

### **Tabla 3**

*Cuadro de Requerimientos para el desarrollo del Protocolo de Verificaciones, tomado de los autores*

Requerimiento	Criterio	Especificación	Parámetro	Evaluación
Uso	<b>Practicidad</b>	El protocolo debe poder disponerse de forma sencilla por el usuario en el entorno de trabajo	Número de pasos para acceder al protocolo desde el entorno de trabajo	Conteo
	<b>Flujo de trabajo</b>	Es indispensable que el protocolo tenga coherencia y una secuencia lógica de los pasos	Pasos secuenciales por números y separación por actividades	Diseño
		El uso del protocolo no debe afectar el flujo de trabajo en una verificación de diseño	Tiempo durante la actividad Percepción de uso intuitivo del protocolo por el usuario Evaluaciones subjetivas de síntomas visuales	Cronómetro Autorreporte QUESI Autorreporte VRSQ
	<b>Comprensión</b>	El lenguaje utilizado debe ser claro y fácil de entender para el usuario objetivo	Terminología de Diseño sencilla y comprensible Número de problemas al entender pasos	Diseño Conteo
		Es necesario que exista entendimiento visual de los elementos de la interfaz del software	Representación textual e ilustrativa fiel de los controles, botones, y gestos	Diseño
<b>Legibilidad</b>	Los textos presentes en el protocolo deben ser legibles	Fuente sans serif, peso (Semi Bold - Black), tamaño visual de pantalla (19-72 pt)	Observación	
<b>Mantenimiento</b>	El protocolo debe ser presentado según la última versión del software (Gravity Sketch)	Uso de elementos referentes a la interfaz de la última versión de Gravity Sketch	Diseño	
Función	<b>Confianza</b>	La información que provee el protocolo debe minimizar fallos y errores a los usuarios	Porcentaje de errores en la ejecución del protocolo	Conteo
	<b>Versatilidad</b>	El protocolo permite ser organizado a voluntad del usuario	Formato de imagen (png, jpg) Alternativas de organización del protocolo en el entorno virtual	Diseño Observación
		<b>Informativo</b>	El protocolo debe incluir una sección informativa de uso del software	Incluir una sección de preparación y recomendaciones previas
Es necesario que el protocolo ofrezca información esencial y complementaria de uso del software en el proceso de diseño	Incluir información de construcción y ajuste de prototipos virtuales y adicionalmente sobre presentación y exportación de archivos		Diseño	
Accesibilidad	<b>Compatibilidad</b>	Es importante que el protocolo sea compatible con distintos dispositivos	Presentación del protocolo en diferentes formatos (pdf, png)	Diseño
		El protocolo debe poder ajustarse a diferentes tamaños en el software	Archivos de resolución por debajo de 2048x2048 px	Diseño
	<b>Divulgación</b>	El protocolo debe ser fácil de encontrar en internet por interesados	Divulgación del protocolo en un medio digital	Diseño Página Web Github
Formales	<b>Composición visual</b>	Es importante que el protocolo implemente elementos que guíen la ruta de uso de las herramientas	Uso de rutas de navegación por breadcrumbs (migas de pan) para indicar acciones o gestos	Diseño
		Es importante que los colores y elementos presentes en el protocolo no afecten el desempeño cognitivo de los participantes	Contraste de colores entre fondos y gráficos. Fondos oscuros, letras claras	Diseño
		El contenido del protocolo debe ser concreto	Evitar párrafos de texto y densidad de información	Diseño
		Es deseable que el protocolo sea visualmente atractivo para los usuarios	Percepción de atractivo visual por el usuario	Focus Group
Legalidad y privacidad	<b>Propiedad intelectual</b>	Se podría advertir sobre el uso del protocolo en entornos educativos no lucrativos	Enunciar que es una herramienta de uso educativo	Diseño
		Se debe reconocer la propiedad intelectual de Gravity Sketch donde corresponda	Dar créditos en los medios de divulgación del protocolo	Diseño

### 5.3 Definición del protocolo

#### 5.3.1 Objetivo del Protocolo

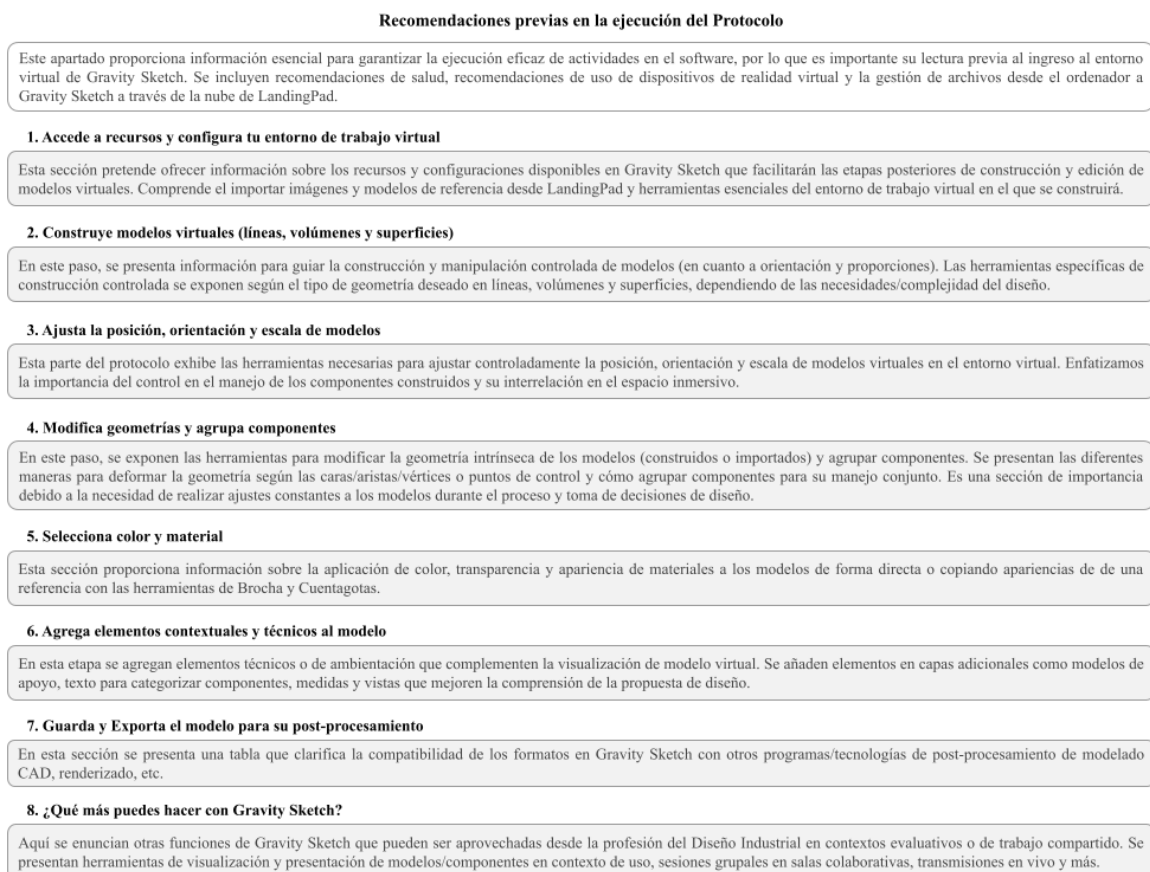
El protocolo tiene como objetivo emplear Gravity Sketch como herramienta complementaria para desempeñar verificaciones de prototipos virtuales. Se enfoca en abordar actividades tales como, la preparación de recursos y el entorno, creación y edición controlada de modelos tridimensionales, modificación de apariencias, post procesamiento y herramientas complementarias.

### 5.3.3 Estructura del Protocolo

Teniendo en cuenta el flujo de trabajo, las posibles verificaciones definidas anteriormente y la elección de herramientas de Gravity Sketch para prototipado virtual, se define entonces una estructura general del protocolo (Figura 13) compuesta por: recomendaciones previas al uso activo del protocolo en el software, etapas de construcción y edición de modelos, el proceso de verificaciones de los modelos y la mención de herramientas adicionales de Gravity Sketch que pueden ser beneficiosas desde la profesión del Diseño Industrial.

#### Figura 13

*Estructura general de las etapas del Protocolo, tomado de los autores*



### 5.3.4 Formato para la disposición del protocolo

En un principio se considera la posibilidad de presentar el protocolo en el entorno de Gravity Sketch en tres alternativas de formatos: como imagen, como video o como un archivo

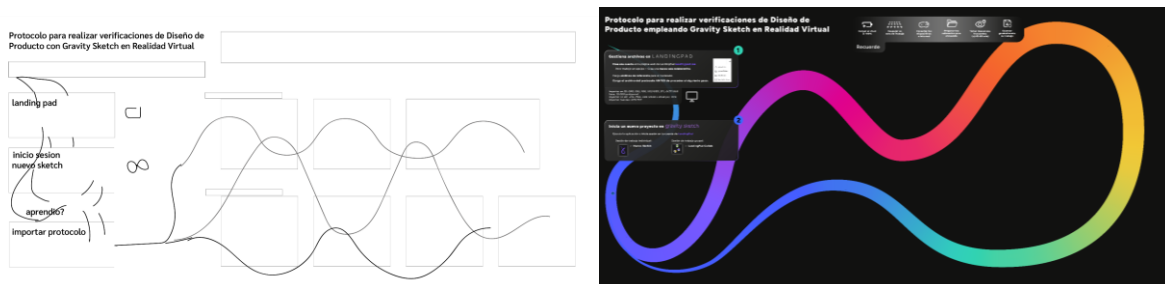
de entorno inmersivo. Teniendo en cuenta los requerimientos establecidos anteriormente respecto a la practicidad, versatilidad de uso y su posterior divulgación, e incluso experiencias previas donde identificamos dificultades de conexión y control con otros formatos, se ha definido que el formato de disposición del protocolo será como Imagen.

#### 5.4 Alternativas de protocolo

Se aprovechó la información obtenida sobre las herramientas específicas de Gravity Sketch y el flujo de trabajo de construcción y evaluación de prototipos para concebir una primera generación de alternativas enfocadas en la representación de organización básica de la información en las diferentes etapas generales del protocolo y un primer acercamiento a la integración de recursos gráficos básicos como íconos y paletas de color (Figura 14).

**Figura 14**

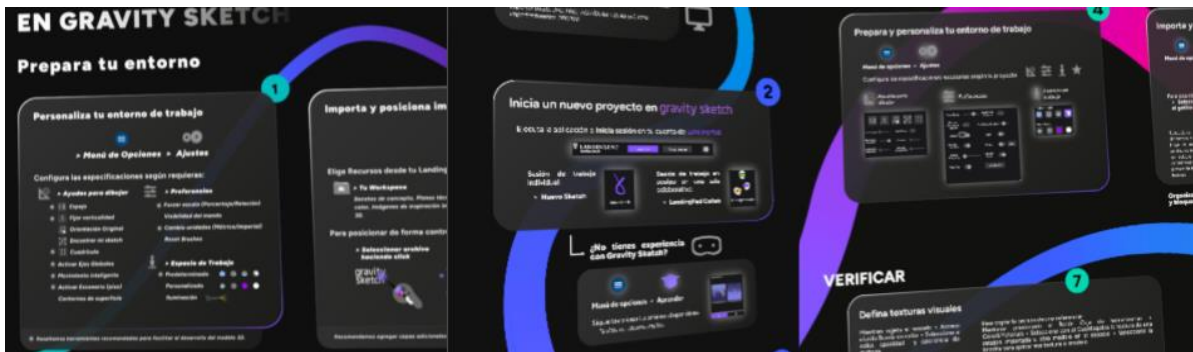
*Generación de alternativas de organización y de recursos gráficos*



Inicialmente, se exploró la posibilidad de crear un protocolo que abarcara todas las etapas del proceso de diseño, sin embargo, esta idea inicial fue descartada luego de realizar pruebas en el entorno virtual del software. Se observó que el formato único comprometía la calidad de los gráficos y la legibilidad del contenido (Figura 15), por lo que se consideraron nuevas alternativas.

**Figura 15**

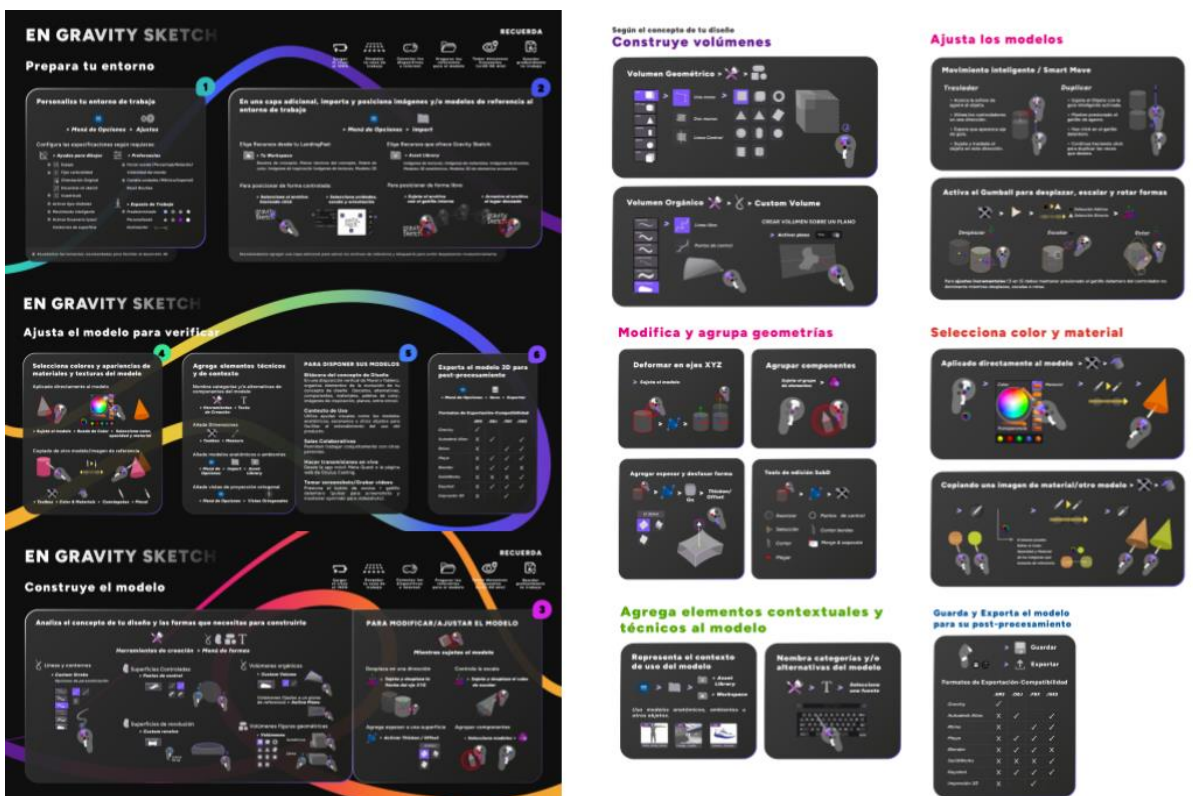
*Verificaciones de legibilidad*



Se decidió separar el protocolo en tres secciones principales. Sin embargo, más adelante se observó la necesidad de simplificar aún más las etapas del protocolo, por lo que se prescindió de los fondos oscuros y se optó por utilizar únicamente los contenedores para cada etapa. Esta decisión contribuyó a una apariencia más dinámica y con menor peso visual, facilitando la atención del usuario en el contenido relevante del protocolo (Figura 16).

**Figura 16**

*Ajuste y refinamiento de alternativas de la configuración del Protocolo*



## 5.5 Validación del Protocolo

### 5.5.1 Prueba Experimental

**5.5.1.1 Objetivo del Experimento.** Evaluar la eficacia y recepción de un protocolo en el resultado de las verificaciones realizadas por estudiantes de Diseño Industrial sobre un proyecto de diseño por componentes en Gravity Sketch.

**5.5.1.2 Muestra.** La unidad de muestreo se llevó a cabo por medio de un muestreo no probabilístico por conveniencia, se seleccionaron como participantes los estudiantes de Diseño Industrial de la UIS que estuvieran interesados en participar, con o sin conocimiento previo del software Gravity Sketch.

*Criterios de inclusión:* Estudiantes que estén cursando o hayan cursado la asignatura Taller de Diseño VI de la EDI-UIS, Estudiantes con un nivel de inglés básico.

*Criterios de exclusión:* Estudiantes que presenten discapacidades cognitivas y/o motrices críticas, estudiantes que reporten síntomas de malestar antes de realizar el experimento.

**5.5.1.3 Variables.** Se definen como variables dependientes, independientes y controladas:

*Variables Dependientes:* Eficacia de un protocolo en el resultado de las verificaciones realizadas por estudiantes de Diseño Industrial sobre un proyecto de diseño por componentes en Gravity Sketch.

*Variables Independientes:* Uso del protocolo diseñado y dispuesto para implementar la herramienta de bocetado inmersivo por VR en un proyecto de diseño de juguetes

*Variables Controladas:* Salón con aire acondicionado y conexión a internet, Uso del dispositivo de Realidad Virtual MetaQuest 2, Tiempos de descanso cada 30 minutos, Realizar los tutoriales básicos de Gravity Sketch previamente a la prueba activa, Revisión de síntomas previos al experimento, Correcta postura de dispositivo de RV.

**5.5.1.4 Diseño del experimento.** El experimento se llevó a cabo a través de una unidad experimental compuesta por 24 estudiantes pertenecientes a la Muestra. Los participantes fueron asignados aleatoriamente a cada grupo experimental: Con protocolo (CP) y Sin protocolo (SP). Para garantizar que la composición de los grupos fuera equilibrada en términos de habilidades previas con el software, se asignaron aleatoriamente 6 participantes con experiencia y 6 sin experiencia en Gravity Sketch a cada grupo.

Con el objetivo de simular lo que sería una sesión de verificaciones de prototipos virtuales en un Taller de Diseño VI, se toman en consideración los requerimientos metodológicos de la asignatura y el flujo de uso de herramientas de construcción y verificación de prototipos en Gravity Sketch para el diseño del experimento. De esta manera, se planea el experimento compuesto por actividades. Una primera sección de capacitación previa, en la que los dos grupos experimentales completaron los tutoriales básicos de Gravity Sketch, esto con el fin de que todos los participantes reciban el mismo tipo y cantidad de información ofrecida por el software. Y una segunda sección que consiste en la prueba activa: la construcción y armado de los componentes de un juguete (un vagón de tren), la verificación de atributos formales y estéticos como orientación, escala, posición y apariencia de material según referencias proporcionadas y el desarrollo de actividades complementarias como la Bitácora del proceso de diseño del juguete.

La configuración del experimento tiene lugar en un entorno virtual, aprovechando las herramientas de Gravity Sketch, se crearon dos salas colaborativas para la ejecución del experimento con cada grupo experimental para el fácil acceso y monitoreo de los estudiantes desde un mismo espacio. En ellas se proporciona a cada participante un banco de trabajo virtual con los recursos esenciales para ejecutar la prueba (Figura 17). Los recursos de trabajo (Apéndice E) consistían de: A) La lista de actividades a realizar en la prueba, B) Una imagen de referencia con los planos de construcción del vagón de tren y una tabla de componentes y

materiales, C) Cuatro de los seis componentes del vagón del tren y una plantilla para la bitácora del proceso de diseño del juguete.

En el caso del grupo experimental con protocolo (CP), se proporcionan también las D) fases del protocolo en una disposición alrededor del banco de trabajo virtual.

Adicionalmente el Virtual Reality Sickness Questionnaire (VRSQ) (Kim et al., 2018) es utilizado como una métrica para conocer los síntomas reportados por los participantes y su frecuencia. En caso tal, identificar estudiantes críticos que reporten gran cantidad de síntomas o buscar su correlación con otras variables como el Número de errores o el Tiempo promedio.

**Figura 17**

*Bancos de trabajo individual de los grupos experimentales CP y SP*



**5.5.1.5 Métodos de Recolección de Datos.**

*Variables Cuantitativas:* Datos tomados a través de la observación en un formato de reporte de tiempos y actividades. Tiempo de prueba activa calculado por la suma de intervalos de tiempo, el Número de errores identificados en los componentes y actividades del modelo final construido y el Número de solicitudes de ayuda registradas durante la prueba.

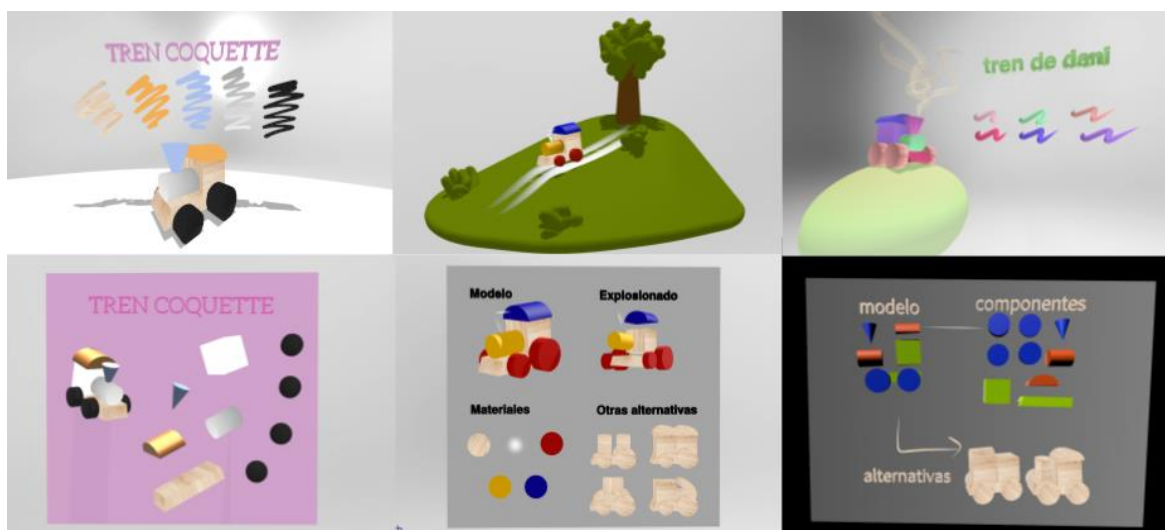
*Variables Cualitativas:* En el grupo experimental con protocolo, se utilizó un cuestionario ya estructurado para evaluar la interacción de los participantes con el protocolo mismo según las consecuencias subjetivas del Uso Intuitivo (QUESI) (Hurtienne y Naumann, 2010) y se realizaron grupos focales para obtener una retroalimentación cualitativa y

experiencial en el uso del protocolo durante la prueba, así como su percepción de la aplicación del mismo en el ámbito académico y profesional del Diseño Industrial.

**5.5.1.5 Prueba piloto.** Con el fin de realizar posibles correcciones al diseño de la prueba antes de su ejecución, se realiza una prueba piloto en la que participan tres estudiantes. Los resultados alcanzados por los estudiantes se pueden evidenciar en la Figura 18. Esta prueba piloto tuvo como objetivo evaluar aspectos clave del diseño de la prueba y el protocolo y su implementación, entre los que destacan: los tiempos promedio que los participantes tardaron en cada sección de la prueba, la identificación de posibles problemas con los tutoriales previos de Gravity Sketch (relacionados con la conexión o vacíos de conocimiento) y la recopilación de experiencias u opiniones respecto al diseño y disposición de los recursos proporcionados y el protocolo en el banco de trabajo virtual. Se les solicitó que compartieran sus comentarios sobre la facilidad de uso de los recursos, la claridad de las instrucciones proporcionadas, cualquier dificultad encontrada durante el proceso y sugerencias de mejora en el diseño del experimento.

**Figura 18**

*Evidencias de los resultados de la prueba piloto*



La realización de esta prueba piloto permitió identificar que los tiempos promedio fueron de 69.7 minutos para completar los tutoriales y de 56 minutos para la realización de la

prueba activa, dato que nos permitió planear horarios para la ejecución del experimento con los estudiantes. Respecto a posibles áreas de mejora en el diseño del experimento se identificó que era necesario implementar un espacio previo de explicación de la prueba y de lectura de las actividades y protocolo (en caso de que aplique), cambiar el entorno de trabajo a un fondo que no fuera de color blanco, agregar las apariencias de los componentes en una columna separada, la redefinición de la paleta de color y la conveniencia de tomar un registro detallado del comportamiento de cada participante durante la prueba. Acerca del diseño del protocolo, los participantes sugirieron separar las secciones y cambiar el color de fondo para facilitar su lectura y reducir el peso visual, aclarar la sección de ajustar/modificar el modelo en los ejes XYZ, y dividir la sección de construcción de modelos según el tipo de geometría (líneas, planos y volúmenes) para identificar más rápidamente el método constructivo deseado.

### ***5.5.2 Ejecución del experimento***

El equipo utilizado en el experimento consistió de 6 visores de Realidad Virtual (MetaQuest 2), propiedad del semillero de investigación Tridimensional y se definió que las sesiones se llevarían a cabo en una sala de pruebas con aire acondicionado al interior de la Escuela de Diseño Industrial UIS.

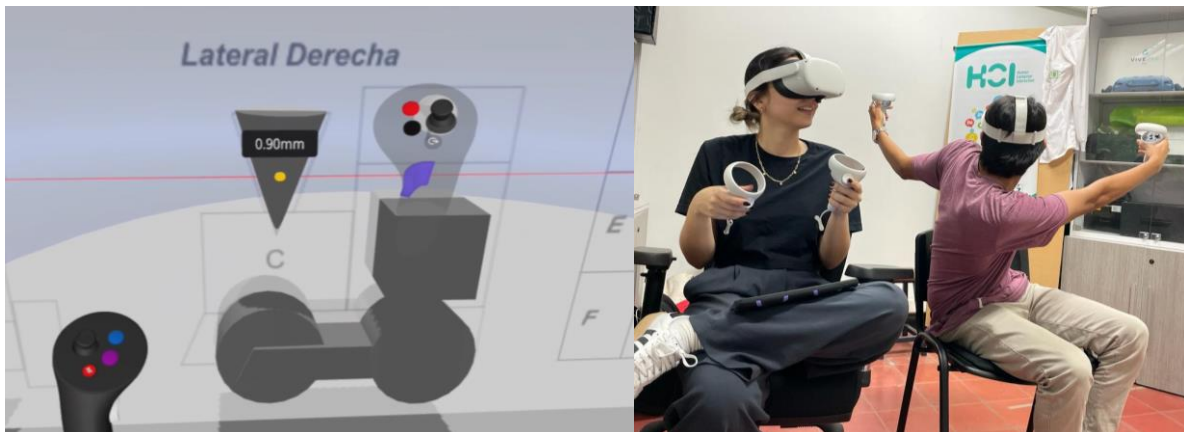
El experimento se realizó en el plazo de dos semanas, según la disponibilidad de los dispositivos, del salón designado y de los estudiantes según su grupo experimental. Debido a la separación del experimento en las dos secciones: tutoriales y prueba activa, se decide dividir también la prueba en dos sesiones, cada una de aproximadamente una a dos horas (contando los tiempos de descanso cada 30 minutos), según el cálculo de tiempo promedio que arrojó la prueba piloto. En la primera sesión, el estudiante debía realizar los tutoriales básicos ofrecidos por Gravity Sketch y en la segunda sesión se debía ejecutar la prueba activa con la actividad propuesta.

Antes de iniciar, a cada participante se le realizó la introducción al experimento y presentación del consentimiento informado (Apéndice F), posteriormente se acomodaron los asientos según el número de estudiantes y se ajustaron los dispositivos de RV (visores y controladores) en los participantes.

Durante la actividad se monitorearon las acciones y se tomaron datos de los participantes dentro y fuera del entorno virtual (Figura 19). Desde el exterior del entorno se registraban las solicitudes de ayuda, registro de intervalos de tiempo y actividades, y la toma de evidencias fotográficas de documentación del proceso. Además, se atendieron inquietudes como el reajuste de los dispositivos, carga de estos o cambios de posición de los asientos. Por su parte, el monitoreo dentro del entorno virtual se realizó por medio de las salas colaborativas, donde se brindó la orientación previa respecto al manejo de la prueba en el entorno virtual y tareas del ejercicio propuesto y se identificaron problemas y atendieron dudas.

**Figura 19**

*Configuración de monitoreo dentro y fuera del entorno virtual, tomado de los autores*



Al finalizar la actividad, todos los participantes completaron el cuestionario VRSQ (Apéndice G) para el reporte de síntomas relacionados con dispositivos de RV, también respondieron una encuesta sobre la satisfacción respecto a la actividad y expresaron opiniones sobre sus impresiones y expectativas utilizando Gravity Sketch. En el caso de los participantes con protocolo (CP) se realizaron preguntas abiertas grupales sobre su experiencia, opiniones y

recomendaciones de mejora del protocolo. Adicionalmente, respondieron el cuestionario QUESI (Apéndice H) sobre el uso intuitivo de la herramienta.

Al momento de despedida, se agradeció a los participantes su colaboración en el experimento y se les invitó a participar en el grupo de investigación y semillero Tridimensional, centrado en el uso de herramientas como la Realidad Virtual a disposición del Diseño Industrial.

### ***5.5.3 Análisis de resultados de las Validaciones***

Los datos obtenidos durante el experimento fueron organizados (Apéndice I) y analizados de la siguiente manera:

**5.5.3.1 Tiempos del experimento.** Como se mencionó anteriormente, se calcularon los tiempos durante las dos secciones del experimento. Se calculó el coeficiente de correlación de Pearson ( $r$ ) con el objetivo de conocer la existencia de una conexión entre el tiempo invertido en los tutoriales y el tiempo de prueba activa por ambos grupos (CP y SP). El valor de ( $r$ ) 0,0138 indica que no hay relación fuerte entre variables, es decir, los tiempos empleados por los participantes en el desarrollo de la prueba no estuvieron relacionados de manera significativa con el tiempo de los tutoriales de Gravity Sketch.

Los promedios de tiempo tienen un comportamiento similar en los grupos experimentales (Tabla 4). La diferencia entre los promedios de Tiempo durante la sección de tutoriales con Gravity Sketch, es de 0,333 min y en los promedios de Tiempo Activo de la prueba la diferencia es de 2,917 min. Estos valores no suponen una diferencia significativa con referencia al promedio de tiempo por sección o tiempo total de la prueba, señalando así que el uso del protocolo no tiene influencia relevante en el promedio de tiempo que llevó su uso durante la actividad.

#### **Tabla 4**

*Promedios de tiempo del experimento en estudiantes con protocolo y sin protocolo*

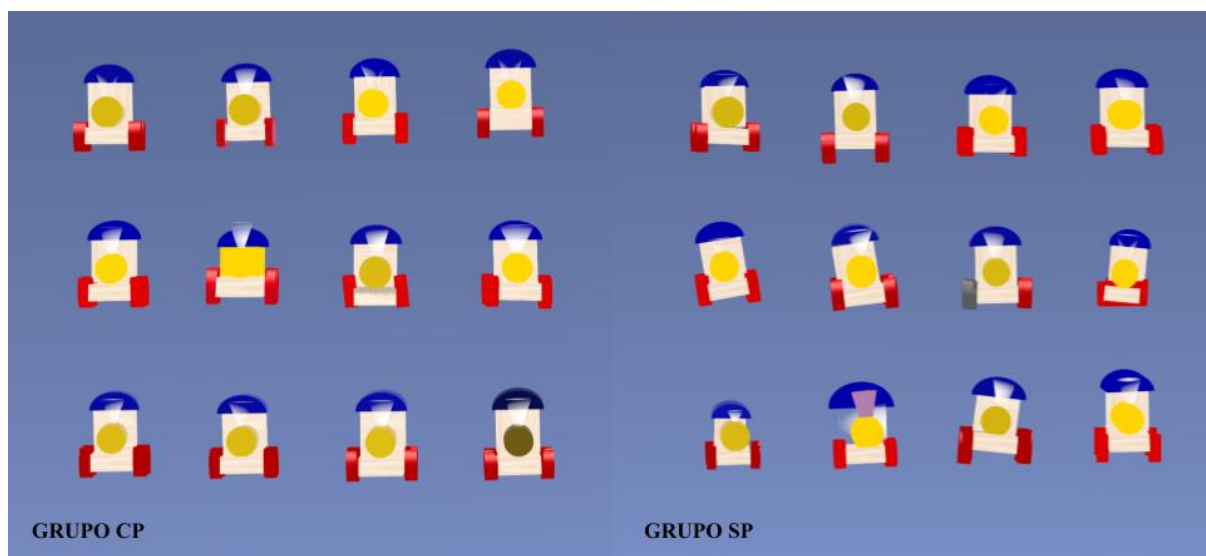
Promedios de Tiempo (min)	Con Protocolo (CP)	Sin Protocolo (SP)
Tiempo Tutorial	50,083	50,417
Tiempo Activo	72,250	69,333

*Coefficiente de Pearson (r) entre Tiempos* 0,013887642

**5.5.3.2 Número de Errores identificados sobre el modelo final construido.** Al finalizar el experimento, el grupo de investigación evaluó el resultado final de los modelos de vagón de tren realizados por los participantes de cada grupo experimental e identificó el número de errores percibidos según las referencias que se proporcionaron (Figura 20). Los errores se dividen en dos categorías principales: errores en los componentes individuales y errores en las actividades definidas.

**Figura 20**

*Modelos finales de los vagones de tren en el experimento, grupo experimental CP y SP*



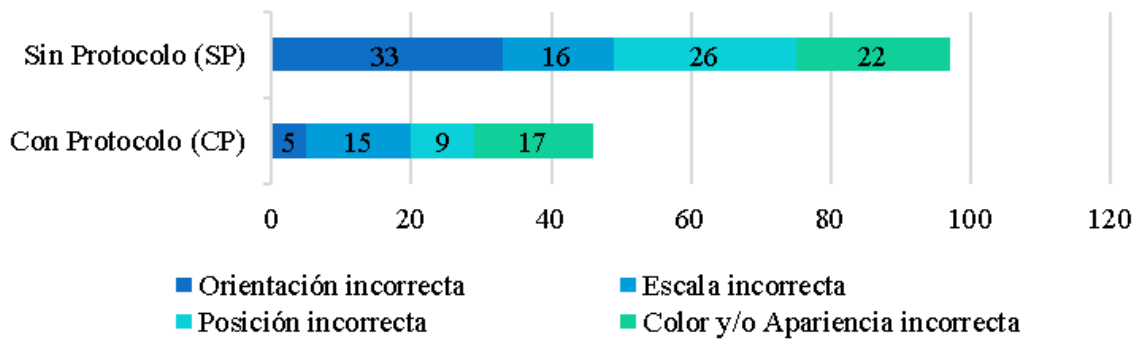
**5.5.3.2.1 Número de errores en los componentes.** Cualquier discrepancia encontrada en los componentes individuales respecto a los Planos de referencia y Tabla de componentes. En la Figura 21 se ilustran los resultados según el grupo experimental y categoría de error identificado en los componentes, donde se observa que se identificó un mayor número total de errores en los componentes del grupo sin protocolo en comparación del grupo con protocolo

(97 errores frente a 46 errores, respectivamente). Las categorías de errores en los componentes identificadas se presentan en la Figura 22 y son las siguientes:

- Componentes con Orientación incorrecta: Presentado en la categoría A, se muestra la alineación vertical u horizontal incorrecta de los componentes en relación a las imágenes de referencia. En el grupo SP se identificaron mayor número de componentes con orientación incorrecta (33 errores frente a 5 del grupo CP).
- Componentes con Escala incorrecta: La categoría B se refiere al tamaño inapropiado de los componentes en comparación con las proporciones definidas en las imágenes de referencia. La diferencia de componentes identificados con escala incorrecta no fue significativa entre los grupos. 15 errores identificados en el grupo CP y 16 en el grupo SP.
- Componentes con Posición incorrecta: En la categoría C se evidencia el posicionamiento inadecuado de los componentes en relación con otros componentes en el armado del modelo, según las imágenes de referencia. En el grupo SP se identificaron mayor número de componentes con error de posición que en el grupo CP (26 frente a 9 errores, respectivamente).
- Componentes con Color y/o Apariencia incorrecta: Presentado en la categoría D, se observan las diferencias en el color o apariencia de material aplicada en los componentes, en comparación con las especificaciones de la Tabla de componentes. Se identificaron mayor número errores de color y/o apariencia incorrecta en los componentes en el grupo SP con 22 errores frente a 17 en el grupo CP.

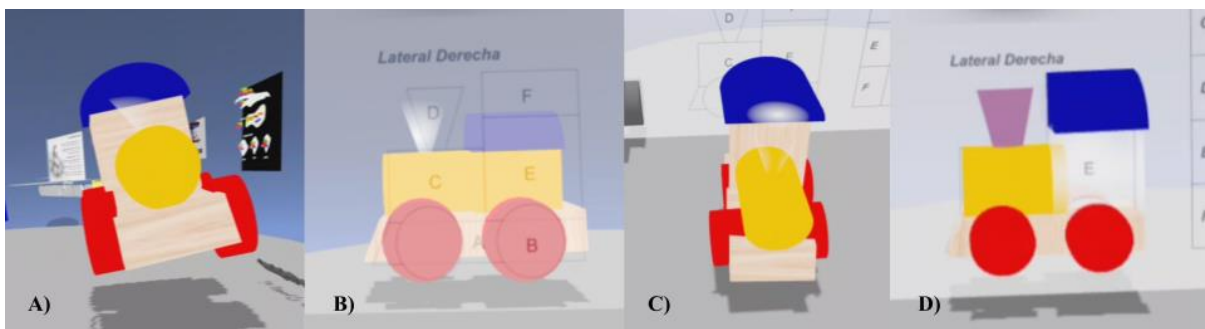
### **Figura 21**

*Número de errores en los componentes del modelo final*



**Figura 22**

*Categorías de errores en los componentes del modelo final, tomado de los autores*



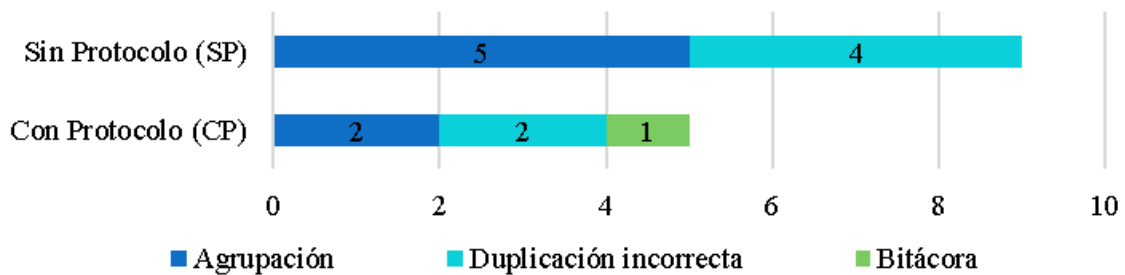
**5.5.3.2.2 Número de participantes que cometieron errores en las actividades definidas.** Relacionados con las acciones definidas en la Lista de actividades de la prueba y herramientas de Gravity Sketch correspondientes. Se presentan según el grupo experimental y actividad en la Figura 23, en el que se resalta que un mayor número de participantes sin protocolo cometieron errores en las actividades definidas en comparación con el grupo con protocolo (9 participantes frente a 5 participantes, respectivamente).

- **Agrupación:** Omisión al agrupar los componentes dentro del armado del modelo de vagón de tren final. El número de participantes que no agruparon los componentes fueron similares en los dos grupos, 5 en el grupo SP y 2 del grupo CP.
- **Duplicación incorrecta:** Reproducción errónea o duplicación indebida del modelo o sus componentes. En el grupo SP se encontraron 2 participantes con duplicación incorrecta frente a 4 participantes del grupo CP.

- Bitácora: Se refiere a la omisión de la actividad de presentación del modelo del vagón de tren en la Bitácora definida. Sólo 1 participante del grupo CP omitió la actividad de la Bitácora.

**Figura 23**

*Número de participantes que cometieron errores en las actividades definidas, tomado de los autores*



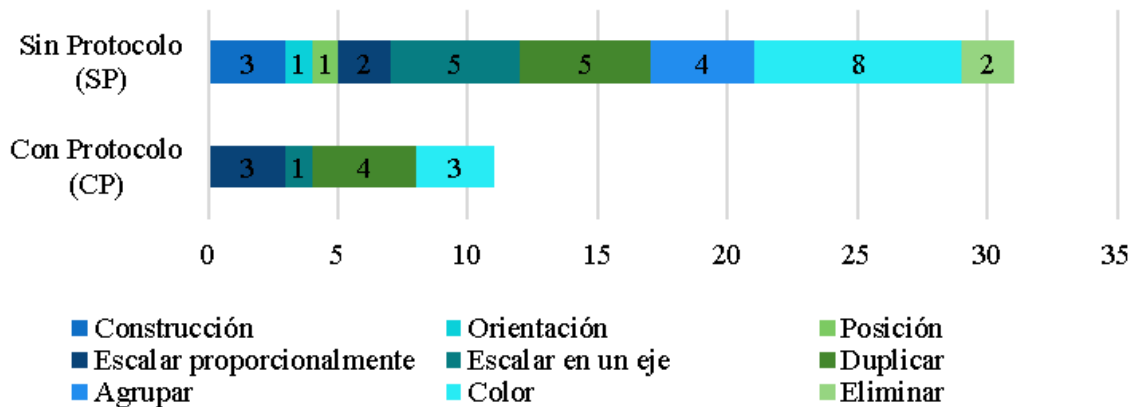
**5.5.3.3 Número de solicitudes de ayuda.** Se registró el número de solicitudes de ayuda realizadas por los participantes durante la ejecución de la prueba, relacionadas con la manipulación y configuración de los elementos en el entorno virtual de Gravity Sketch.

Los registros se clasificaron según la categoría de ayuda específica y grupo experimental en la Figura 24. Donde en general, se observa que el grupo SP realizó un mayor número de solicitudes de ayuda en comparación del grupo con protocolo (31 solicitudes frente a 11 solicitudes, respectivamente). Esto sugiere que los participantes que no utilizaron el protocolo necesitaron más asistencia durante la realización de la prueba en Gravity Sketch.

Según la actividad, el grupo SP realizó más solicitudes en las categorías de Color (8 solicitudes de ayuda) y Escalar en un eje (5 solicitudes de ayuda), mientras que el grupo CP realizó más solicitudes en las categorías de Duplicar (4 solicitudes de ayuda) y le siguen Escalar proporcionalmente y Color (3 solicitudes de ayuda), indicando áreas específicas problema.

**Figura 24**

*Número de solicitudes de ayuda por los participantes durante la prueba, SP y CP*



**5.5.3.4 Número de Síntomas reportados por los estudiantes durante el experimento.** Al tabular el total de síntomas reportados y el total de errores en los componentes por participante, no parece existir relación entre estas variables. Por ejemplo, algunos de los participantes que reportaron mayor número de síntomas tuvieron menor presencia de errores en los componentes y viceversa.

A partir de la posterior tabulación de datos para agrupar los síntomas reportados según la fase de la prueba (Tabla 5), se observa que la frecuencia absoluta y relativa de síntomas reportados fue más alta en ambos grupos durante los tutoriales en comparación con la fase de prueba activa (52 síntomas durante los tutoriales frente a 36 síntomas durante la prueba activa para el grupo CP, y 66 síntomas durante los tutoriales frente a 56 síntomas durante la prueba activa para el grupo SP). Esto sugiere que los síntomas de malestar podrían ser más comunes durante las fases de aprendizaje o adaptación al entorno de realidad virtual, en lugar de durante la fase activa de modelado.

Adicionalmente, es posible identificar los síntomas más comunes reportados en cada fase del experimento. Durante los tutoriales, la vista cansada, la visión borrosa y la dificultad para enfocar fueron los más frecuentes en ambos grupos experimentales y durante la prueba activa fueron la visión borrosa y la dificultad para enfocar. Esto podría indicar que estos síntomas son más propensos a ocurrir durante las fases de aprendizaje y adaptación al entorno virtual.

**Tabla 5**

*Síntomas reportados por los participantes durante el experimento, tomado de los autores*

<b>Síntomas reportados durante los tutoriales</b>				
	Con protocolo	Sin protocolo	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa (%)
Malestar general	0	1	1	4,17
Fatiga	1	3	4	16,67
Vista cansada	5	8	13	54,17
Dificultad para enfocar	5	4	9	37,50
Dolor de cabeza	3	4	7	29,17
Pesadez de cabeza	2	3	5	20,83
Visión borrosa	7	5	12	50,00
Mareos con los ojos cerrados	0	1	1	4,17
Vértigo	0	0	0	0,00
Ninguna	2	1	3	12,5
<b>Total de síntomas reportados</b>	<b>23</b>	<b>29</b>		

<b>Síntomas reportados durante la prueba activa</b>				
	Con protocolo	Sin protocolo	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa (%)
Malestar general	0	0	0	0,00
Fatiga	1	1	2	8,33
Vista cansada	2	3	5	20,83
Dificultad para enfocar	2	5	7	29,17
Dolor de cabeza	2	2	4	16,67
Pesadez de cabeza	2	1	3	12,50
Visión borrosa	3	6	9	37,50
Mareos con los ojos cerrados	0	1	1	4,17
Vértigo	1	0	1	4,17
Ninguna	7	4	11	45,83
<b>Total de síntomas reportados</b>	<b>13</b>	<b>23</b>		

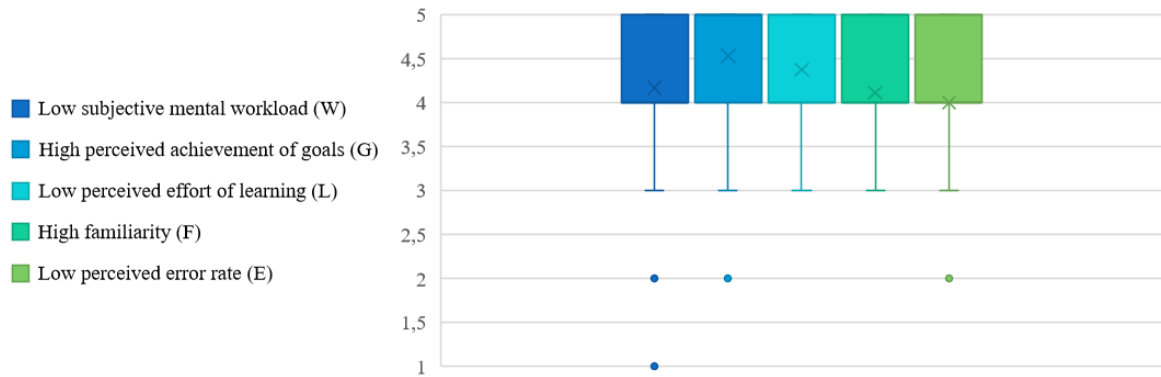
**5.5.3.5 Uso Intuitivo del Protocolo.** Se evaluó la interacción de los participantes con el protocolo diseñado (n=12) mediante las subescalas definidas por la métrica del cuestionario QUESI: Low subjective mental workload (W), High perceived achievement of goals (G), Low perceived effort of learning (L), High familiarity (F) y Low perceived error rate (E). Naumann & Hurtienne (2010), la valoración más alta en cada subescala indica una mayor probabilidad de uso intuitivo.

Los resultados se ilustran en la Figura 25 y para cada categoría se obtienen los siguientes promedios: Promedio de W= 4,167; Promedio G = 4,528; Promedio L = 4,361; Promedio F = 4,111; Promedio E = 4,0. Con un puntaje total de 4,236. Los resultados sugieren

que en general, los participantes evaluaron positivamente la interacción con el protocolo diseñado.

**Figura 25**

*Resultados de Uso Intuitivo según la métrica QUESI*



**5.5.3.5 Retroalimentación del protocolo.** Al finalizar la prueba se realizaron sesiones de discusión en grupos focales con el fin de recopilar información sobre la percepción de aspectos relacionados con la experiencia de uso de los participantes con protocolo (n=12) durante la prueba, así como para explorar su potencial impacto en el campo académico y profesional. Entre los aspectos se incluyen los siguientes:

- Percepción de habilidades adquiridas con Gravity Sketch: Los participantes expresaron una mejora significativa en el manejo del software después de la prueba, en comparación con las habilidades aprendidas con los tutoriales. Destacaron la utilidad de ahora conocer herramientas que permiten un mayor control sobre los modelos como la escala y el movimiento inteligente, así como declaran una curva de aprendizaje rápida y mayor fluidez en el proceso de modelado. Destacan el formato del protocolo como imagen para su disposición libre en el entorno y su acceso rápido y concreto a secciones particulares, sin ser comprometido por la conexión de internet (como es el caso de los videos).

- Aplicaciones potenciales del protocolo y de Gravity Sketch en el ámbito académico y profesional del Diseño Industrial: El potencial de emplear el software durante toda la carrera desde los talleres de diseño más tempranos hasta los más avanzados. El aprovechamiento de estas herramientas en técnicas de creatividad como el "BrainSketching" y "Brainstorming" y en etapas evaluativas para aprobar nuevos modelos o modelos preexistentes. La utilidad de las salas colaborativas en salones de clase o workshops para el trabajo en grupo o la presentación de ideas en "pósters tridimensionales" recreando ambientes en torno al producto. Los estudiantes se mostraron agradecidos por introducirles una nueva herramienta útil para su desarrollo profesional.
- Sugerencias de posibles mejoras al protocolo para su uso durante las verificaciones de modelos: Los participantes manifestaron la falta de claridad en la representación visual de algunos de botones o comandos y la necesidad de definir mejor algunos conceptos y acciones como la construcción sobre planos y la aplicación de apariencia de material, agregando más texto en ciertas etapas. La necesidad de una sección previa que presente el vocabulario y que abarque específicamente qué tipo de verificaciones se pueden alcanzar con el protocolo.
- Reutilización del protocolo para verificaciones de diseño: Los participantes expresaron su disposición a volver a utilizar el protocolo para verificaciones de diseño, destacando su utilidad para controlar y replicar el proceso de diseño de un modelo y su capacidad para recordar y guiar verificaciones específicas que requiera hacer. Aprecian la etapa de Exportar y la información de compatibilidad de formatos para post-procesamiento.
- Atractivo visual del Protocolo: Los participantes encontraron el protocolo visualmente atractivo, destacando elementos como el diseño de los elementos gráficos (íconos, controles) y la legibilidad gracias al contraste del fondo oscuro y las letras blancas.

## 5.6 Conclusiones y Hallazgos de las Validaciones

Basándonos en la información recopilada a lo largo del experimento, podemos destacar las siguientes conclusiones y hallazgos:

Los resultados del tiempo promedio que tomaron los participantes con y sin protocolo durante el experimento sugieren que la introducción del protocolo no tuvo un impacto significativo en la duración total del proceso de construcción y verificación de prototipos virtuales, dato a destacar debido a que existía la posibilidad de que el uso del protocolo podría haberles llevado un poco más de tiempo en su lectura u implementación.

Los datos muestran que los participantes que utilizaron el protocolo cometieron menos errores en los componentes del modelo final construido y en las actividades definidas en el experimento, en comparación con aquellos que no lo utilizaron. Esto indica que el protocolo diseñado contribuyó a una reducción en la cantidad de errores durante la construcción del modelo y ayudó a los participantes a realizar las actividades de la prueba de manera más precisa y eficiente. Sin embargo la distribución de errores en los grupos con protocolo puede indicar que aunque el protocolo pudo haber sido efectivo en algunas partes del proceso, aún se observaron errores en otras áreas particulares en las que el protocolo diseñado pudo haber proporcionado una guía más adecuada, como lo son Color/Apariencia, Escala, Duplicar y Agrupar.

Se observa que los participantes que utilizaron el protocolo hicieron menos solicitudes de ayuda en comparación con aquellos que no lo utilizaron. Esto indica que el protocolo proporcionó una guía más clara y precisa durante el experimento, lo que resultó en una menor necesidad de asistencia. Adicionalmente, la ausencia de solicitudes de ayuda en las categorías de: Construcción, Orientación, Posición y Agrupar para el grupo con protocolo, podría sugerir que el protocolo diseñado fue efectivo para abordar estas áreas específicas y proporcionar claridad o instrucciones suficientes a los participantes.

Los participantes reportaron diferentes síntomas durante los tutoriales y la prueba activa, destacando mayor frecuencia de síntomas como la visión borrosa y la dificultad para enfocar. Sin embargo, la prevalencia de estos síntomas no representó diferencias significativas entre los grupos que utilizaron el protocolo y aquellos que no lo hicieron.

La información recopilada a través del cuestionario QUESI indicó que los participantes evaluaron positivamente la interacción con el protocolo diseñado, con puntajes promedio altos en todas las subescalas, indicando una mayor probabilidad de uso intuitivo.

Los comentarios de los participantes en los grupos focales resaltaron la utilidad del protocolo en mejorar sus habilidades con Gravity Sketch y su vasto potencial para ser aplicado desde semestres tempranos a avanzados a lo largo del campo académico y el desarrollo como profesional de Diseño Industrial. También elogiaron aspectos como los elementos gráficos y la conveniencia del formato de imagen, junto con sugerencias que podrían mejorar su eficacia y usabilidad en futuras implementaciones, entre las que destacan el ofrecer mayor claridad en la representación y definición de conceptos y gestos y la inclusión de una sección introductoria más detallada.

A pesar de no haber planificado en el experimento una actividad netamente creativa, se observó que algunos participantes de los grupos CP y SP decidieron complementar la presentación final de la Bitácora de componentes añadiendo ambientaciones a sus propuestas.

En el caso del grupo CP, 10 de 12 participantes (83,3%), frente a 6 de 12 participantes (50%) en el grupo SP elaboraron ambientación creativa adicional. Este comportamiento, destaca la disposición de los estudiantes de diseño en incorporar la creatividad incluso en actividades estructuradas cuando el entorno y herramienta lo permite.

### **5.7 Ajustes del Protocolo y Protocolo Final**

Las áreas identificadas como posibles mejoras se modificaron en términos de las falencias presentadas durante el experimento. Se refinaron detalles en la inclusión de

indicaciones directas como la construcción sobre una imagen o plano de referencia y la correcta aplicación de color y apariencia para eliminar texturas preseleccionadas. Se buscó aumentar la claridad de ciertas acciones desde la representación visual al ilustrar la ubicación de botones según lateralidad del control, destacar únicamente los elementos de ejecución de los pasos y añadir instrucciones textuales a estas representaciones visuales. Se añadió la secuencia numérica de los pasos del protocolo y una sección inicial que presenta las verificaciones de diseño y otros alcances del uso del mismo junto con la introducción de la terminología utilizada a lo largo del protocolo y su representación correspondiente.

Posterior a la aplicación de estos ajustes y mejoras, se presenta la propuesta de protocolo final (Apéndice J). Con el fin hacer el protocolo fácilmente reconocible por estudiantes de Diseño e interesados en el entorno académico, el protocolo es nombrado VIMO, Protocolo de Verificación Inmersiva y Modelado de Objetos.

### **5.8 Divulgación del Protocolo en Página web**

La divulgación del protocolo se espera que sea accesible y comprensible para todos los interesados, por esta razón se exploraron distintas alternativas para su disposición libre y divulgación con la comunidad. Se define entonces como herramienta digital el diseño e implementación de una página web a través de la plataforma Github, disponible en el siguiente enlace: <https://protocolo-vimo.github.io/>

## **6. Conclusiones**

Basándonos en los hallazgos obtenidos a lo largo de este estudio, se puede afirmar que el protocolo diseñado ha demostrado ser una herramienta efectiva y con buen recibimiento por los estudiantes de Diseño Industrial de la UIS, para guiar y apoyar su proceso de verificaciones de diseño utilizando el Bocetado Inmersivo por RV.

La implementación del protocolo indica la mejora significativa de la experiencia de los participantes en el manejo del software y la reducción de errores, proporcionando así mayor control sobre el proceso de construcción y evaluación de prototipos virtuales. Además, la retroalimentación recibida destaca el valor del protocolo para ser aplicado a lo largo de la carrera universitaria, desarrollar habilidades prácticas de modelado 3D y su potencial en diversas etapas del proceso de diseño de productos.

Esta investigación ha contribuido a llenar un vacío en la literatura científica al centrarse en campos poco explorados en la profesión, como lo es el campo educativo de la realidad virtual en América Latina y Colombia. Ha proporcionado una perspectiva valiosa y relevante para el avance de futuros estudios en este campo y en el desarrollo y la competitividad de la industria en la región.

En última instancia, se destaca la importancia de difundir e implementar este tipo de herramientas tecnológicas en la academia, capaces de impactar positivamente en la formación de profesionales del diseño y ayudándolos a mantenerse a la vanguardia de las últimas tendencias y tecnologías aplicables a proyectos de Diseño Industrial.

## **7. Recomendaciones**

Se recomienda encarecidamente fomentar la implementación de tecnologías emergentes, atractivas y con gran potencial en la formación en el Diseño Industrial como la Realidad Virtual. Se destaca el menester de promover el acceso y la integración efectiva de estas tecnologías en el entorno educativo, proporcionando a los estudiantes recursos necesarios como: infraestructuras físicas e inmersivas, adecuaciones del plan de estudios, creación de semilleros de investigación, capacitación de estudiantes y docentes y más entornos propicios para el aprendizaje y la práctica de la herramienta. Además, se sugiere explorar el potencial de

complementos particulares de Gravity Sketch, como las características de las cuentas educativas, la capacidad de compartir proyectos o trabajar en equipo en salas colaborativas, la transmisión en vivo en otros dispositivos y la compatibilidad con otros softwares de modelado para el post-procesamiento de prototipos virtuales.

### Referencias Bibliográficas

Alcaide-Marzal, J., Diego-Más, J. A., Asensio-Cuesta, S., & Piqueras-Fizman, B. (2013). An exploratory study on the use of digital sculpting in conceptual product design. *Design Studies*, 34(2), 264-284.

Ariza, R., Ramírez, R., Peterson, F., Secchi, M., Siro, J., & Vigna, A. (2009, septiembre 1). Proceso de diseño, Fases para el desarrollo de productos. Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Programa de diseño., 14.

Becker, D. (2016). Color trends and selection for product design: Every color sells a story. William Andrew.

Berg, L. P., & Vance, J. M. (2017). Industry use of virtual reality in product design and manufacturing: A survey. *Virtual Reality*, 21(1), 1-17. doi:10.1007/s10055-016-0293-9

Berni A, Borgianni Y. Applications of Virtual Reality in Engineering and Product Design: Why, What, How, When and Where. *Electronics*. 2020; 9(7):1064.

Berruezo, P. P. (1995). El cuerpo, el desarrollo y la psicomotricidad. *Psicomotricidad. Revista de estudios y experiencias*, 49, 15-26.

Brudniy, Aron. & Demilhanova, Angelina. The Virtual Reality in a Context of the “Mirror Stage”. *International Journal of Advances in Psychology*, 2012, 1: 6-9  
Published Online July 2012.

Chen, K., & Owen, C. L. (1997). Form language and style description. *Design Studies*, 18(3), 249–274. [https://doi.org/10.1016/s0142-694x\(97\)00002-1](https://doi.org/10.1016/s0142-694x(97)00002-1)

Cheutet, V., Catalano, C., Pernot, J., Falcidieno, B., Giannini, F., & Leon, J. (2005). 3D sketching for aesthetic design using fully free-form deformation features. *Computers & Graphics*, 29(6), 916-930.

Cruz, J. A. F., Gallardo, P. C., & Villarreal, E. A. (2014). La realidad virtual, una tecnología innovadora aplicable al proceso de enseñanza de los estudiantes de ingeniería. *Apertura*, 6(2), 1-10.

Cruz, J. A. F., Villarreal, E. A., & Gallardo, P. C. (2014). Usos y aplicaciones de la realidad virtual en la educación.

Dondis, D. A. (1974). *A primer of visual literacy*. Mit Press.

Eissen, K. and Steur, R. (2014). *Sketching Product Design Presentation*. BISPublishers.

Estrategia EAD6: Guía práctica para la enseñanza en el taller diseño VI - diseño por componentes de la Escuela de Diseño Industrial - UIS. (2020) En F. Maradei (Comp.), 24606 - Diseño VI Bioenergía (pp. 31-32 ). Universidad Industrial de Santander.

Fällman, D., Backman, A. & Holmlund, K. (1999). *VR in Education: An Introduction to Multisensory Constructivist Learning Environments*. Universitetspedagogisk konferens, Umeåuniversitet.

Fernandez-Rios, M., & Sanchez Garcia, J. (1998). *Eficacia organizacional*. Diaz de Santos.

Gerschütz, B.; Fechter, M.; Schleich, B.; Wartzack, S. A Review of Requirements and Approaches for Realistic Visual Perception in Virtual Reality. In *Proceedings of the Design Society: International Conference on Engineering Design*, Delft, The

Netherlands, 5–8 August 2019; Cambridge University Press: Cambridge, UK, 2019; Volume 1, pp. 1893–1902.

González Labrador, I. (2010). Partes componentes y elaboración del protocolo de investigación y del trabajo de terminación de la residencia. *Revista Cubana de Medicina General Integral*, 26(2), 0-0.

Goodman, N. (1976). *Languages of art: An approach to a theory of symbols*. Hackett publishing.

Guía de innovación metodológica en e-learning. (2008). Programa EVA.

Huang, F.-C.; Chen, K.; Wetzstein, G. The light field stereoscope: Immersive computer graphics via factored near-eye light field displays with focus cues. *ACM Trans. Graph.* 2015, 34, 60:1–60:12.

Hurtienne, J., & Naumann, A. (2010). QUESI—A questionnaire for measuring the subjective consequences of intuitive use. *Interdisciplinary College*, 536

Kim, H. K., Park, J., Choi, Y., & Choe, M. (2018). Virtual reality sickness questionnaire (VRSQ): Motion sickness measurement index in a virtual reality environment. *Applied Ergonomics*, 69, 66–73. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2017.12.016>

Maya, J., & Patiño Mazo, E. (2020). Propiedades de las representaciones en diseño : una exploración interdisciplinaria de su rol funcional. *Kepes*, 17(21), 17–60. <https://doi.org/10.17151/kepes.2020.17.21.2>

Mora, Z. T., & Campos, D. S. (1999). Investigación científica: protocolos de investigación. *Fármacos*, 12(1), 78-101.

Nadan, T., Alexandrov, V., Jamieson, R., & Watson, K. (2011). Is virtual reality a memorable experience in an educational context?. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*, 6(1), 53-57.

Onyesolu, M. O., & Eze, F. U. (2011). Understanding virtual reality technology: advances and applications. *Adv. Comput. Sci. Eng*, 53-70.

Reymen, I. M. M. J., & Hammer, D. (2000). Design method supporting regular reflection on design situations. In *Third International Symposium on Tools and Methods of Competitive Engineering*, April (pp. 18-21).

Reymen, I. M. M. J., & Hammer, D. (2000, April). Design method supporting regular reflection on design situations. In *Third International Symposium on Tools and Methods of Competitive Engineering*, April (pp. 18-21).

Rieuf, V., Bouchard, C., Meyrueis, V., & Omhover, J. F. (2017). Emotional activity in early immersive design: Sketches and moodboards in virtual reality. *Design Studies*, 48, 43-75.

Robbins, S. P., & DeCenzo, D. A. (2009). *Fundamentos de Administracin: Conceptos Esenciales y Aplicaciones* (3a ed.). Prentice Hall.

Schleich, B., Anwer, N., Mathieu, L., & Wartzack, S. (2017). Shaping the digital twin for design and production engineering. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 66(1), 141-144.

Seth, A., Vance, J. M., & Oliver, J. H. (2011). Virtual reality for assembly methods prototyping: A review. *Virtual Reality*, 15(1), 5-20.

Sutherland, I. E., 1968, "A Head-Mounted Three Dimensional Display," Fall Joint Computer Conference—Part I (AFIPS (Fall—Part I)), San Francisco, CA, Dec. 9–11, pp. 757–764.

Thalen, J.P.; van der Voort, M.C. Facilitating User Involvement in Product Design Through Virtual Reality. In *Virtual Reality—Human Computer Interaction*; Xinxing, T., Ed.; InTech: London, UK, 2012; IS

Van Goethem, S. et al. (2020). The Use of Immersive Technologies for Concept Design. In: Ahram, T., Falcão, C. (eds) *Advances in Usability, User Experience, Wearable and Assistive Technology. AHFE 2020. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol 1217. Springer, Cham.

What is design Thinking? (s.f.). Hpi.de. Recuperado el 4 de abril de 2023, de <https://hpi.de/en/school-of-design-thinking/design-thinking/what-is-design-thinking.html>

Word Design Organization. (s.f.) Definition of industrial design <https://wdo.org/about/definition/>

Xia, G., Henry, P., Li, M., Queiroz, F., Westland, S., & Yu, L. (2021). A comparative study of colour effects on cognitive performance in real-world and VR environments. *Brain sciences*, 12(1), 31.

Yates, P. (2004). Distance and Depth. In: Goldschmidt, G., Porter, W.L. (eds) *Design Representation*. Springer, London. [https://doi.org/10.1007/978-1-85233-863-3\\_1](https://doi.org/10.1007/978-1-85233-863-3_1)