

Diseño de una biblioteca de modelos tridimensionales interactiva utilizando el bocetado
inmersivo en Realidad Virtual para realizar verificaciones en las etapas de prototipado de los
talleres de diseño de la EDI-UIS

Miguel Angel Orduz Rangel

Proyecto de grado para obtener el título de Diseñador Industrial

Director

Vaslak Rojas Torres

Magister en Diseño y creación interactiva

Codirector

Luis Eduardo Bautista Rojas

Doctor en Ciencias de la computación

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Físico-Mecánicas

Escuela de Diseño Industrial

Programa Académico de Diseño Industrial

Bucaramanga

2024

Dedicatoria

Este trabajo de grado lo dedico primeramente a Dios, que me dio la fuerza y me permitió llegar hasta este momento.

Se lo dedico a mi madre de bendita memoria, a la cual tuve muy presente en todo este proceso, que es una inspiración grande para mí.

Lo dedico a toda mi familia que creyó en mí y estuvo muy presente a lo largo de este camino lleno de retos. Los llevo mucho en mi corazón.

Lo dedico a mi pareja que tuvo fe ciega que iba a finalizar con este proyecto con éxito.

Agradecimientos

Le doy gracias al Eterno por darme las fuerzas necesarias para dedicarme día a día a este trabajo de grado.

Le agradezco a mis padres por ayudarme en parte del proceso de mi carrera, al igual que toda mi familia que estuvo muy pendiente de mí.

Agradezco a mi pareja, que fue un pilar fundamental en esta última fase de mi carrera, un apoyo incondicional y un aliento para seguir adelante.

Agradezco a mi hermana porque su acompañamiento y amor fueron fundamentales en este proceso.

Por último, agradezco a mis amigos que también me acompañaron en este proceso y me brindaron su apoyo.

Tabla de Contenido

Introducción.....	9
1. Objetivos.....	11
1.1. Objetivo General.....	11
1.2. Objetivos Específicos.....	11
2. Marco teórico.....	11
2.1. Design Thinking.....	11
2.2. Fase de verificación en la etapa de prototipado.....	13
2.3. Realidad virtual y aumentada.....	13
2.4. Prototipado en realidad virtual.....	15
2.5. Repositorios.....	17
3. Metodología.....	20
3.1. Definición de los tipos de verificación aplicados.....	20
3.2. Definición de requerimientos.....	20
3.3. Objetivos del repositorio inmersivo.....	22
3.4. Estructura del repositorio.....	23
3.5. Ideación del repositorio.....	24
3.5.1. Prototipado.....	26
3.5.2. Diseño de Niveles.....	26
3.5.3. Diseño Instruccional.....	29
3.6. Prueba Experimental.....	31
3.6.1. Objetivo del Experimento.....	31
3.6.2. Variables.....	32
3.7. Diseño del experimento.....	33
3.8. Métodos de Recolección de Datos del Experimento.....	38
4. Análisis de resultados.....	39
4.1. Tiempos empleados.....	40
4.2. Reproducción de videotutoriales.....	42
4.3. NPS (Net Promoter Score).....	42
4.4. Escala CSAT (Customer Satisfaction Score).....	44
5. Conclusiones.....	48
6. Recomendaciones.....	51
Referencias.....	52
Apéndices.....	60

Lista de Tablas

Tabla 1. Lista de Proyecto y Repositorios de Datos.....	17
Tabla 2. Requerimientos para el desarrollo y uso de la biblioteca de modelos tridimensionales interactivos en realidad virtual.....	20
Tabla 3. Contenido de las indicaciones del repositorio.....	29
Tabla 4. Listado de Actividades.....	34
Tabla 5. Tiempo empleado en el prototipado y la verificación de un modelo sin el uso del repositorio.....	39
Tabla 6. Número de reproducciones realizadas por cada nivel del entorno.....	41

Lista de Figuras

Figura 1. Proceso del Design Thinking.....	11
Figura 2. VR colaborativo VR colaborativo.....	13
Figura 3. Microsoft Maquette Beta overview.....	14
Figura 4. Arquitectura de la evaluación del diseño de productos basada en VR.....	15
Figura 5. Componentes clave del enfoque propuesto y sus relaciones.....	16
Figura 6. Mood board para el repositorio VR en la plataforma MIRO.....	24
Figura 7. Organización del entorno por niveles.....	24
Figura 8. Vista isométrica y frontal del diseño del repositorio en Gravity Sketch.....	25
Figura 9. El primer nivel – MATERIALES.....	26
Figura 10. Diseño del segundo nivel - COLORES.....	26
Figura 12. Diseño del cuarto nivel - AGARRE.....	27
Figura 13. Diseño del quinto nivel - POSTURA.....	28
Figura 14. Sala colaborativa en Gravity Sketch.....	33
Figura 15. Transmisión por internet de las gafas al computador.....	34
Figura 16. Tiempo total por cada participante.....	40
Figura 17. Escala NPS del repositorio.....	42
Figura 18. Escala de satisfacción - Evaluación de la explicación de los videotutoriales.....	43
Figura 19. Escala de satisfacción - Evaluación de la percepción de la eficiencia.....	44
Figura 20. Escala de satisfacción - Evaluación de la organización del entorno inmersivo.....	45
Figura 21. Escala de satisfacción - Evaluación de los recursos visuales.....	45
Figura 22. Escala de satisfacción - Evaluación de la utilidad de la información.....	46
Figura 23. Escala de satisfacción - Evaluación de los recursos visuales.....	47

Glosario

Eficiencia: Ejecución de una tarea con el mínimo de esfuerzo. En ergonomía, evalúa la carga mental y física del usuario. Según la norma ISO, se mide por recursos utilizados, precisión y cumplimiento. En sistemas técnicos, depende de la complejidad y manipulaciones necesarias, con métricas como errores, tiempo, operaciones y desviaciones del usuario. (Brangier y Barcenilla, 2003)

Entorno: Conjunto de características que definen el lugar y la forma de ejecución de una aplicación. (Real Academia Española, 2024)

Inmersivo: Que hace vivir al espectador una realidad virtual como si fuera auténtica. (Real Academia Española, 2024)

Verificación en el Design thinking: Implica comprobar si el diseño del producto cumple con las especificaciones, y el rendimiento de las subfunciones esperadas; se llevan a cabo pruebas funcionales básicas y mediciones paramétricas de rendimiento (Infinitia, 2021).

Repositorio: Sistemas de información que preservan y organizan materiales científicos y académicos como apoyo a la investigación y el aprendizaje (EcuRed, 2024)

Realidad virtual: Es una tecnología que simula una experiencia de realidad artificial, generada por un ordenador, en la que el usuario se siente inmerso (Innovae, 2023).

Herramientas tradicionales de verificación: Tipos de verificación con prototipos físicos, como el análisis dimensional, pruebas de ensamble, evaluación ergonómica, comparación de distintos prototipos a escala, además de materiales y comparativa de subpartes que pueden hacer funcionar el prototipo.

Resumen

Título: Diseño de biblioteca de modelos tridimensionales interactiva utilizando el bocetado inmersivo en Realidad Virtual para realizar verificaciones en las etapas de prototipado de los talleres de diseño en la EDI-UIS

Autor: Miguel Ángel Orduz Rangel

El propósito de esta investigación es el diseño y la implementación de un repositorio de modelos 3D en un espacio de realidad virtual (VR) para mejorar la eficiencia en la fase de verificación de prototipado del Design Thinking en los Talleres de Diseño de la Escuela de Diseño Industrial de la Universidad Industrial de Santander (EDI-UIS). Para llevar a cabo los objetivos de la investigación, se diseñó la interfaz, el entorno de VR del repositorio y las guías de uso para aplicarlo en 21 estudiantes de semestres avanzados que cumplieran con los criterios de inclusión establecidos. Adicionalmente, se buscó medir la eficiencia por medio del tiempo de realización de cada nivel diseñado en el repositorio, la duración de todos los niveles en total y la cantidad de veces que es necesario ver los video-tutoriales. Asimismo, se mide la satisfacción y probabilidad de recomendación del repositorio en la muestra, por medio del Customer Satisfaction Score (CSAT) y la Net Promoter Score (NPS). Los resultados mostraron un tiempo promedio de ejecución de tareas de 25,37 minutos, comparable a otros estudios, y reducido respecto al tiempo habitual de verificación en VR y con métodos físicos tradicionales. Del mismo modo, los evaluados recomendarían implementar el repositorio en la EDI-UIS. Se concluye que el uso del repositorio inmersivo para verificación en VR para modelos 3D, reduce tiempos, conlleva una baja carga cognitiva, bajo esfuerzo, tiene un nivel de complejidad de interacción bajo y un bajo número de manipulaciones para hacer funcionar el mismo; demostrando ser una herramienta eficiente. Este método inmersivo es una opción tecnológica útil, dentro de las disponibles, para emplear en la fase de verificación de prototipado Design Thinking.

Palabras Clave: *Realidad virtual, verificación, prototipado, Design thinking, Modelo 3D, eficiencia.*

Abstract

Title: Design of a interactive three-dimensional model library using immersive sketching in Virtual Reality to perform verifications in the prototyping stage of the design courses at the EDI-UIS

Author(s): Miguel Angel Orduz Rangel

The purpose of this research is the design and implementation of a repository of 3D models in virtual reality (VR) space, in order to improve efficiency in the prototyping verification phase of the Design Thinking, applied in the Design courses of the Industrial Design department at the Universidad Industrial de Santander (EDI-UIS). To carry out the research objectives; the interface, the VR environment, and the usage guides were designed to be applied to 21 students in advanced semesters who met the established inclusion criteria. Additionally, efficiency was measured through the completion time of each level designed in the repository, the duration of all the levels in total, and the number of times that watching the video-tutorials was needed. Likewise, the satisfaction and the repository recommendation probability was measured in the sample of students, through the Customer Satisfaction Score (CSAT) and the Net Promoter Score (NPS). The results showed an execution average time of the overall levels of 25,27 minutes, comparable to other studies and reduced compared to the usual verification time performed in Vr and with traditional physical methods. Also, the evaluated sample would recommend to implement the VR repository at the EDI-UIS. It is concluded that, the use of the immersive VR repository for 3D models in the verification phase; reduces times, leads to a low cognitive load, low effort, it has a low interaction complexity level, and a low number of manipulations to make it work; proving to be an efficient tool. This immersive method is a useful technological option among the available ones, to utilize in the prototyping verification phase of the Design Thinking.

Key Words: *Virtual reality, verification, prototyping, Design thinking, 3D model, efficiency.*

Introducción

La presente investigación se enfoca en el diseño y la implementación de la Realidad Virtual (VR) en el diseño de un repositorio de modelos tridimensionales (3D), para su aplicación en la verificación de etapas de prototipado de los Talleres de Diseño más avanzados de la Escuela de Diseño Industrial de la Universidad Industrial de Santander (EDI-UIS). Esta iniciativa surge dada la ausencia de herramientas tecnológicas, inmersivas y detalladas que permitan una comprensión más clara de los diseños en la verificación del prototipado. El diseño de un repositorio de modelos 3D también permite identificar tempranamente algunos problemas en la creación del prototipo físico como los costos por el uso de materiales y el tiempo empleado en las pruebas cromáticas, las medidas y proporciones precisas, la ergonomía (adecuados rangos posturales), entre otros.

La fase de verificación de diseños en la metodología del Design Thinking es una parte trascendental que permite asegurar la calidad de los productos finales en el campo del Diseño industrial (Laoyan, 2022; Pfeifer, 2009). No obstante, en esta etapa de prototipado se presentan diversos desafíos que se presentan como obstáculo y pueden llegar a limitar una evaluación eficiente y precisa de los prototipos finales (Alba, 2021; Prego, 2020). Uno de los problemas más relevantes se relaciona con la ausencia de herramientas de verificación tecnológicas, inmersivas y detalladas que permitan una comprensión más clara de los diseños (Jala et al., 2022). En este sentido, las herramientas tradicionales pueden ser una opción de verificación, sin embargo, a veces implica costos elevados y tiempos de producción prolongados y en ocasiones menos eficientes (Zhao, 2022). Por eso se necesitan otras herramientas que utilicen la menor cantidad de recursos (tiempo y dinero) para optimizar la fase de verificación, ya que una de las mayores dificultades en esta fase es la falta de recursos, herramientas adecuadas y la necesidad de cumplir con las regulaciones y estándares de la industria (Mendoza Morales, 2016).

Aprovechando que el modelado 3D suele estar presente en la etapa de prototipado, se presenta la oportunidad de combinar estas áreas con la realidad virtual (VR) como herramienta inmersiva. En el estudio *VR as a 3D Modelling Tool in Engineering Design Applications*, las herramientas de VR son útiles para crear modelos con Diseños Asistidos por Computadora (o en sus siglas en inglés CAD) avanzados de forma libre, que hacen parte de la fase de materialización en el contexto de la ciencia del diseño mecánico (Vlah et al., 2021).

Teniendo en cuenta lo anterior, el diseño de una biblioteca o repositorio, en donde se encuentren dichos modelos en VR permitiría reducir los tiempos y recursos en la verificación, ya que como fue mencionado en la investigación *Los repositorios digitales institucionales y el acceso abierto como herramienta de difusión de contenidos académicos*, los repositorios digitales posibilitan la estructuración y categorización de los datos, acortando tiempo en el proceso de búsqueda. Además, menciona que contribuye a la focalización en una tarea específica, evitando la duplicación de esfuerzos en la gestión de la información (Mendoza, 2017). Esto se relaciona directamente con la eficiencia respecto a la reducción del recurso de tiempo en el modelado de piezas estándar.

En tal sentido, se plantea el presente proyecto de grado que se enfoca en el diseño de un repositorio de modelos tridimensionales en VR, para una posterior implementación en la etapa de prototipado, específicamente en su fase de verificación aplicados en los Talleres de Diseño (desde el 6 en adelante) de la Escuela de Diseño Industrial de la Universidad Industrial de Santander (EDI-UIS). La muestra seleccionada se delimita teniendo en cuenta el Plan de Estudios de la EDI-UIS, dado que en esta asignatura (Taller de Diseño 6) ya se han integrado conceptos necesarios de semestres anteriores para el uso de dicha herramienta de VR como lo son: Dibujo Mecánico, Ergonomía (I, II y III) y Mecánica de Máquinas. Estas asignaturas son de vital importancia para el uso de esta herramienta debido a las bases de: modelado 3D, interacción persona-máquina y ensamblado, respectivamente.

1. Objetivos

1.1. Objetivo General

Diseñar e implementar un repositorio de modelos 3D en un espacio de realidad virtual para mejorar la eficiencia en la fase de verificación de prototipos en los Talleres de Diseño (posteriores a Talleres de Diseño 6) de la EDI-UIS.

1.2. Objetivos Específicos

- Diseñar la interfaz y el entorno de realidad virtual (VR) para el repositorio de modelos 3D.
- Capacitar audiovisualmente a los estudiantes de semestres avanzados sobre el uso del repositorio 3D.
- Aplicar el repositorio de realidad virtual (VR) en los estudiantes de semestres avanzados (es decir, que ya hayan cursado mínimamente hasta la asignatura de Talleres de Diseño 6).
- Medir la eficiencia de la herramienta en los estudiantes de semestres avanzados.
- Medir la probabilidad de recomendación del repositorio entre estudiantes.

2. Marco teórico

2.1. Design Thinking

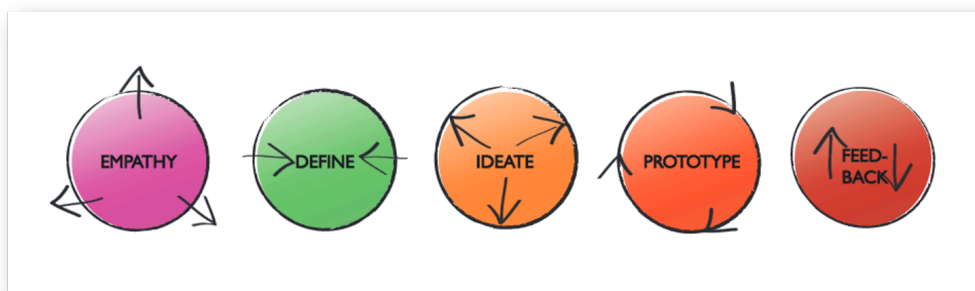
El *Design Thinking* es una técnica de pensamiento que compone conocimiento, comprensión del entorno y circunstancias en las que se presentan los retos, con la creatividad para así proponer soluciones junto a la capacidad racional, con el fin de contrastar dichas respuestas con la realidad. Se trata de un enfoque metodológico que se ha relacionado con los principios del aprendizaje basado en la experiencia y es considerado como un planteamiento

de aprendizaje auténtico. Esta metodología es una estrategia para la exploración de diferentes decisiones e ideas y consecuencia de esto, para la toma de mejores decisiones en el ámbito de la innovación. (Latorre-Coscolluela et al., 2020).

Las cinco etapas o pasos fundamentales del Design Thinking son: primero Empatizar, por medio de la adquisición de conocimientos básicos sobre los usuarios y sobre la situación o el problema en general, y lograr sintonía con los usuarios. Posteriormente Definir, en dónde se ubica el usuario típico para el cual se está diseñando una solución o producto; luego Idear, o generar todas las ideas posibles para proceder con el siguiente paso; Prototipar, o construir modelos reales de las ideas que se ajustan más a la solución. Finalmente, evaluar a partir de las reacciones y validaciones de los usuarios a los distintos prototipos, como se puede observar en la Figura 1. Mediante este proceso, se tiene en cuenta la experiencia del usuario, el uso de la creatividad y finalmente, la ejecución y testeo (Castillo-Vergara, 2014).

Figura 1.

Proceso del Design Thinking



Fuente: Castillo-Vergara, 2014

2.2. Fase de verificación en la etapa de prototipado

Los prototipos o versiones tempranas de productos son creados por ingenieros, diseñadores y desarrolladores para probar conceptos y procesos. Su objetivo principal es validar ideas para así mejorar los procesos y el artefacto antes de su lanzamiento al público objetivo (Kirvan, 2023). Estos permiten detectar errores básicos, corregir interpretaciones incorrectas de los requisitos iniciales y mejorar la actitud de las personas a quienes se les presenta el modelo. Además, permiten fracasar en un entorno controlado, limitando los costes, para finalmente obtener una solución satisfactoria (Fernández-Iglesias, 2020; Kirvan, 2023; Fernández-Iglesias, 2020).

Existen diferentes tipos de prototipos, como los de software, productos físicos y diseño, entre otros. Estos pueden someterse a pruebas para evaluar su funcionalidad y capacidad para satisfacer las necesidades de los clientes. El tiempo de prototipado depende de la complejidad del proyecto, sin embargo, este proceso puede durar días, semanas y hasta meses (IdeaFoster, 2023).

2.3. Realidad virtual y aumentada

La realidad virtual (VR) es una tecnología que simula una experiencia de realidad artificial, generada por un ordenador, en la que el usuario se siente inmerso. El concepto de VR se originó en la década de 1960. Las primeras gafas de Realidad Virtual fueron creadas en 1960 por Morton Heiling, conocido como el padre de la Realidad Virtual, pero no fue hasta la década de 1990 que se comenzó a utilizar en diferentes sectores, incluyendo el Diseño industrial (Innovae, 2019).

En este campo, el VR se ha convertido en una herramienta muy valiosa, ya que permite a los diseñadores crear modelos virtuales de productos y visualizarlos en 3D antes de que se produzcan físicamente. Esto puede ayudar a reducir los costos de desarrollo, acelerar

el proceso de diseño y mejorar la calidad del producto final. Además, el VR también puede ser utilizado para simular el uso de productos por parte de los usuarios finales, permitiendo a los diseñadores realizar pruebas de usabilidad entre ellos antes de que se produzcan los productos físicos, como se puede observar el VR colaborativo en la Figura 2 (SurfaceID, 2018).

Figura 2.

VR colaborativo.



Fuente: (Surface ID, 2018)

En relación con lo anterior, surge el diseño colaborativo que implica la interacción remota o presencial de diferentes personas en espacios virtuales inmersivos para compartir investigación, trabajo de diseño, sus prototipados virtuales y la revisión de sus proyectos. La investigación de usuarios incluye la posibilidad de conectar e interactuar con los usuarios, permitiendo a los estudiantes experimentar la idoneidad de los productos desde la perspectiva del usuario y promover diseños más inclusivos (Bernardo & Duarte, 2021).

Por otro lado, Cipresso et al. (2018) muestran que Milgram & Kishino (1994) conceptualizan que la realidad aumentada (AR) es un sistema tecnológico en el que se agregan objetos virtuales al mundo real en tiempo real durante la experiencia del usuario y según Azuma et al. (2001), un sistema de AR debe: combinar objetos reales y virtuales en un

entorno real; ejecutarse de forma interactiva y en tiempo real; registrar objetos reales y virtuales entre sí.

Aunque las experiencias de AR pueden parecer diferentes de las de, la calidad de ambas se evalúa de manera similar. La sensación de presencia, el nivel de realismo y la congruencia con las expectativas del usuario son indicadores clave. Cuanto más realista y coherente sea la experiencia, mayor será la percepción de "estar allí" física, cognitiva y emocionalmente, lo que es crucial para actuar como si las experiencias fueran reales (Botella et al., 2005; Juan et al., 2005; Bretón-López et al., 2010; Wrzesien et al., 2013).

2.4. Prototipado en realidad virtual

El prototipado en VR es una técnica utilizada para crear modelos virtuales en 3D de productos, permitiendo a diseñadores, ingenieros y otros profesionales simular y evaluar el diseño y la funcionalidad antes de construir un prototipo físico. Se ha popularizado en el Diseño industrial, facilitando que los equipos experimenten y manipulen productos virtuales en tiempo real para entender mejor el diseño, ergonomía y funcionalidad. Esto puede reducir tiempos y costos de producción al detectar y corregir problemas antes de la fabricación física del producto. Microsoft Maquette proporciona un ejemplo claro, permitiendo el prototipado de una galería de diseño de calzado en VR (Figura 3).

Figura 3.

Microsoft Maquette Beta overview.

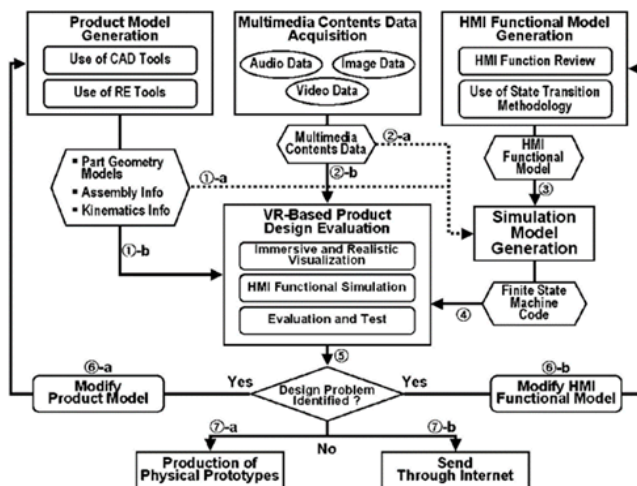


Fuente: Microsoft

Para lograr un prototipado virtual preciso, es esencial que todos los participantes en el proceso de diseño experimenten tanto la apariencia realista como el funcionamiento del producto. Esto requiere combinar un modelo de producto, datos multimedia, un modelo de comportamiento funcional y una máquina de estados finitos dentro de un entorno de realidad virtual. Se utiliza una metodología de transición de estado para capturar el comportamiento funcional, simulado mediante la máquina de estados finitos. Según Park et al. (2008), se identifican cinco tareas clave para la creación del modelo de producto en un entorno de realidad virtual, “creation of a producto model” (creación de modelo de producto), “acquisition of multimedia contents data” (adquisición de datos de contenido multimedia), “generation of an HMI functional model” (generación de un modelo funcional de HMI), “Construction of a FSM” (Construcción de una FSM) y “Use in VR environment” (su uso en un entorno de realidad virtual), como se muestra en la Figura 4.

Figura 4.

Arquitectura de la evaluación del diseño en productos basada en VR

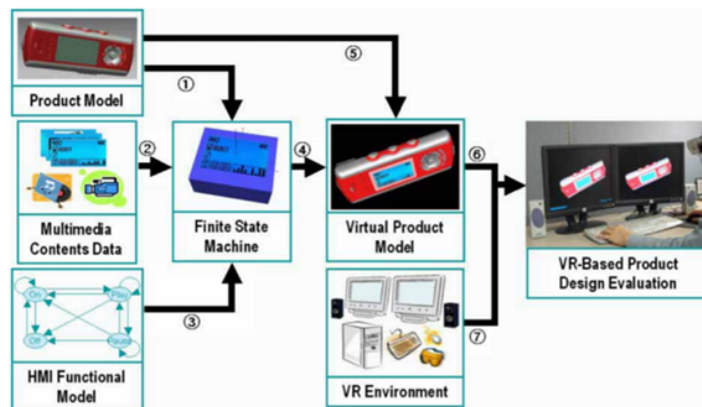


Fuente: Park et al. (2008)

En la Figura 5 se muestra un diagrama gráfico que representa los componentes clave utilizados para la evaluación de diseño de productos propuesta y sus relaciones. Este utiliza un reproductor de MP3 como ejemplo de un producto de consumo digital. Un modelo de producto, datos de contenido multimedia, un modelo funcional HMI (Human Machine Interface) y un FSM (Finite State Machine) constituyen un modelo virtual de producto, cuyas operaciones se realizan en un entorno de VR (Park et al., 2008).

Figura 5.

Componentes clave del enfoque propuesto y sus relaciones.



Fuente: Park et al. (2008)

2.5. Repositorios

Los repositorios son sistemas de información que preservan y organizan materiales científicos y académicos para apoyar la investigación y el aprendizaje, asegurando al mismo tiempo el acceso a la información (Real Academia Española, 2023). Estos consisten en archivos digitales que representan la producción intelectual generada por la comunidad científica. También, pueden considerarse estructuras web interoperables de servicios informáticos dedicadas a garantizar la perpetuidad de recursos científicos y académicos (tanto físicos como digitales) de las universidades, utilizando metadatos específicos para recopilar,

catalogar, acceder, gestionar, difundir y preservar estos recursos de manera libre y gratuita, alineándose estrechamente con los principios del acceso abierto (Cipresso, 2018).

El estudio sobre *El uso de repositorios y su importancia para la educación en ingeniería* describe los repositorios digitales como conjuntos de archivos que representan productos científicos y académicos accesibles para los usuarios. Los repositorios institucionales son estructuras web interoperables dedicadas a garantizar la perpetuidad de recursos científicos y académicos de universidades mediante la enumeración de metadatos específicos. Esto facilita la recopilación, catalogación, acceso, gestión, difusión y preservación gratuita de estos recursos, alineándose con los ideales del acceso abierto (Texier et al., 2012). Según comScore.com, los tres directorios más consultados son: OpenDOAR con 2183 repositorios registrados hasta el 13/05/12, Registry of Open Access Repositories (ROAR) con 2875 repositorios registrados, y University of Illinois OAI-PMH Data Provider Registry con 2906 repositorios registrados en la misma fecha.

La tabla 1, muestra un estudio de Texier et al. (2012) donde existe una clasificación que sirve para categorizar inicialmente los repositorios; de esa manera se puede ayudar a la constitución de repositorios bajo un estándar. Aquí se nombran algunos proyectos que permiten confirmar el surgimiento de repositorios de datos:

Tabla 1.

Lista de Proyecto y Repositorios de Datos.

Proyecto o Trabajo	Características	Referencia
Lista Europea de Catálogos LOD2	Se encuentran registrados 51 catálogos de Open Data de 27 países	http://lod2.okfn.org/eu-data-catalogues
Trabajo de Peter Kirlew	Repositorios de datos de Life science.	http://www.istl.org/11-spring/refereed1.html
Universidad de Columbia	Repositorios de datos en: astronomía, ciencias biológicas, química, ciencias de la tierra y climáticas, datos marinos y ciencias sociales.	http://scholcomm.columbia.edu/data-management/data-repositories/

Narcis	Portal de repositorios de Holanda. Para el momento de la consulta: 24.207 datasets.	http://www.narcis.nl/
British University - Dryad	Datos de investigaciones revisadas por pares en biociencia. Tiene 1605 paquetes y 4018 archivos de datos.	http://www.datadryad.org/
Cornell University - DataStar	Repositorio de datos experimentales.	http://datastar.mannlib.cornell.edu/
PDB/(Protein Data Bank)	Bioinformática.	http://www.rcsb.org/pdb/home/home.do
GSA Data Repository	Geología.	http://www.geosociety.org/pubs/drprint.htm
Cornell University Library	Física.	http://arxiv.org/
ChemxSeer	Química.	http://chemxseer.ist.psu.edu/
Organic Eprints	Agricultura.	http://www.orgprints.org/
GIS Data Resources	Geoespaciales.	http://www.gis2gps.com/GIS/gisdata/gisdata.html
American Mathematical Society	Matemáticas.	http://www.ams.org/global-preprints/
SeaDataNet / NOAA	Datos marinos.	http://www.seadatanet.org/ o http://www.nodc.noaa.gov/
Repositories of Archaeology Data	Arqueología.	http://openarchaeologydata.metajnl.com/repositories/
DataCite	Instituto británico para el acceso de los datos de investigación.	http://www.datacite.org/repolist
Australian Partnership for Sustainable Repositories	Centro para la gestión de datos académicos en formato digital.	http://www.apsr.edu.au/
Directorio mundial del Open Access	Lista de repositorios de datos.	http://oad.simmons.edu/oadwiki/Data_repositories

Fuente: Texier et al. (2012)

Para el presente proyecto se considera el uso de varios repositorios CAD. Entre ellos, se destaca GrabCAD, una plataforma que facilita a diseñadores e ingenieros compartir modelos 3D y archivos CAD. También Cults, especializada en impresión 3D y diseño de archivos 3D; y MyMiniFactory, centrada en impresión e intercambio de archivos 3D. Además, se incluyen Instructables, que permite compartir instrucciones paso a paso para diversas actividades y el Repositorio de Impresión 3D de la Biblioteca Nacional de Medicina de los Estados Unidos (NIH), que ofrece modelos 3D relacionados con la anatomía humana de dominio público. Otros repositorios relevantes son 3D ContentCentral, con una amplia biblioteca de modelos 3D y componentes CAD, Thingivers orientado a la comunidad de

impresión 3D y Sketchfab y P3D, plataformas para cargar y visualizar modelos 3D interactivos.

En cuanto a la importancia de los repositorios en la educación, según Texier et al. (2012), se subraya que los cambios tecnológicos están transformando todos los niveles educativos, permitiendo el acceso libre y gratuito a datos e información a través de estos repositorios. Xia & Opperman (2009) también destacan la creación y reutilización de contenido digital. Sin embargo, se identifican varias limitaciones, como la falta de acceso a Internet en algunas áreas, limitaciones económicas para invertir en infraestructura tecnológica, resistencias culturales y políticas que afectan la distribución; además del uso de recursos educativos digitales.

3. Metodología

3.1. Definición de los tipos de verificación aplicados

Debido a la naturaleza de la verificación en un entorno inmersivo en VR, se tienen en cuenta las funciones formal-estéticas que abarcan la estructura y la estética visual; las funciones prácticas sobre cómo se utiliza y/o se cumplen propósitos concretos; las funciones simbólicas relacionadas con los símbolos que representan los elementos del entorno y las funciones ergonómicas en donde se tiene en cuenta la interacción del usuario con el entorno inmersivo en términos del diseño, la adaptación a la comodidad y eficiencia. (Reymen & Hammer, 2000; Maya & Patiño Mazo, 2020)

3.2. Definición de requerimientos

Se consideran como principales requerimientos el aspecto formal, de uso, la función y la accesibilidad, a partir de los cuales se despliegan los criterios necesarios para el uso de la herramienta como el flujo de trabajo, la comprensión, legibilidad, entre otros como se puede observar en la Tabla 2.

Tabla 2.

Requerimientos para el desarrollo y uso de la biblioteca de modelos tridimensionales interactiva en realidad virtual.

Requerimiento	Criterio	Descripción	Parámetro	Evaluación
Uso	Flujo de trabajo	Es necesario que el entorno tenga una secuencia lógica de pasos. El uso del entorno aporta a la comprensión de la verificación del modelo 3D.	Creación de una secuencia de niveles y un número de tareas en cada uno de ellos.	Diseño con una progresión adecuada y número de tareas organizadas.
	Comprensión	El lenguaje utilizado en el entorno debe ser claro y comprensible para el usuario. Es necesario que los elementos visuales del entorno sean claros y fácilmente reconocibles.	Uso del lenguaje acorde al contexto del diseño. Organización lógica y estructurada del contenido del entorno. Diseño limpio de elementos innecesarios que podrían causar distracción. Uso de estilo visual coherente en los elementos de color, forma y tamaño. Uso de iconos universalmente reconocibles.	Revisiones de contenido basadas en investigación y relacionadas con el área del diseño. Validación con usuario para identificar y eliminar distractores.
	Legibilidad	Los textos del entorno deben ser legibles.		Observación del desempeño.
Función	Confianza	El funcionamiento del entorno debe permitir al usuario ejecutar las tareas según sus necesidades sin errores en el programa de crasheos. El rendimiento gráfico debe ser alto, con experiencia fluida y sin interrupciones. Se debe asegurar al usuario al máximo la conservación de la verificación de su modelo 3D.	Asegurar que el entorno tenga estabilidad con condiciones de uso definidas. Mantenimiento de calidad visual sin comprometer el rendimiento. Implementación de estrategias de respaldo de información para proteger los datos.	Evaluación de los límites del entorno para evitar errores (pruebas de estabilidad en el sistema) Verificación de que las funciones de respaldo automático se ejecuten correctamente y que los datos puedan ser restaurados sin pérdida.
	Versatilidad	El entorno proporciona autonomía al usuario al momento de verificar su modelo 3D (permitiéndole dirigirse a la fase que necesite en cualquier momento).	La navegación intuitiva en las fases del proceso.	Indicados (Customer Satisfaction Score [CSAT]). Escala NPS (Net Promoter Score).
	Informativo	La biblioteca de modelos 3D debe tener información necesaria para entender el uso del entorno como también	Implementación de recursos audiovisuales explicativos (tutoriales) con descripciones detalladas del uso del	Transmisión del entorno al momento de la validación (número de repeticiones en las cuales reproduce el

		de las tareas.	entorno (instrucciones claras y comprensibles)	video). CSAT.
Accesibilidad	Compatibilidad	Los modelos 3D de otros programas y repositorios deben ser compatibles con el entorno para la realización de la verificación. Los modelos 3D deben ser accesibles para ser visualizados en otros dispositivos electrónicos.	Formatos compatibles: OBJ, IGES, FBX. La importación y exportación de modelos 3D sin pérdida de información o calidad. Los archivos del entorno son accesibles en computadoras, tabletas, etc.	Verificación de la compatibilidad mediante pruebas de importación y exportación de archivos. Realización de pruebas de acceso en diferentes dispositivos para asegurar la compatibilidad.
	Divulgación	Los estudiantes de la EDI-UIS deben tener acceso al entorno para fines académicos.	El acceso al entorno no posee restricciones. La disponibilidad se garantiza durante los periodos académicos.	Publicación de un link de descarga para la EDI-UIS.
Formales	Composición visual	El entorno debe cumplir con la característica de ser inmersivo, permitiendo al usuario mejorar la comprensión espacial del producto (en términos de cómo se verá y sentirá en el mundo real). Los elementos y objetos del entorno deben ser equilibrados en proporción y poseer detalles precisos que reflejen un alto grado de realismo. Los tutoriales deben incluir animaciones y transiciones que contribuyan a una experiencia visual agradable y comprensible. El entorno de VR debe tener un estilo visual y temática apropiados para el producto y público objetivo.	Creación de sensación de profundidad y espacio realista. Uso de gráficos y técnicas visuales que refuerzan la sensación de inmersión. Inclusión de detalles precisos y texturas que aportan al realismo. Las animaciones son fluidas y sin interrupciones, claras y ayudan a la comprensión del entorno.	Verificación mediante la experiencia de usuario sobre la sensación de realismo. Validación mediante feedbacks de los usuarios sobre la inmersión visual. Verificación de detalles y texturas que guarden fidelidad con los productos físicos.

Fuente: Elaboración propia.

3.3. Objetivos del repositorio inmersivo

Este repositorio tiene como objetivo facilitar al estudiante de Diseño Industrial de la UIS los recursos empleados en Gravity Sketch, para que así pueda desempeñar una verificación eficiente desde el modelado 3D, mejorando sus conocimientos en modificación de materiales, reconocimiento de la psicología del color, revisión de medidas, identificación

de proporciones, así como ergonomía; enfocado en agarres y límites de rango postural con diversas regiones anatómicas. Es importante mencionar que el programa Gravity Sketch es utilizado debido a su diseño poco paramétrico, también porque posee su propia nube llamada LandingPad, donde los estudiantes podrán guardar sus modelos o procesos de verificación, asimismo porque en las gafas de VR dispuestas en la EDI-UIS se encuentra instalado este programa en cada una de ellas, lo que evita un proceso de instalación y configuración. Por último y no menos importante, Gravity Sketch posee una licencia de estudiante donde todos los que dispongan de un correo UIS tendrán 10 veces más almacenamiento y estarán enlazados en un grupo con los que tengan ese correo en el almacenamiento de LandingPad.

3.4. Estructura del repositorio

Se define una estructura del repositorio que está compuesta por las *Directrices preliminares para la ejecución del repositorio en VR* teniendo en cuenta que al inicio de la experiencia inmersiva se debe asegurar el reconocimiento de las funciones claves para el recorrido del repositorio (desplazamiento por el entorno, correcto uso del agarre y la función de duplicación de objetos):

Inicialmente, *Materiales* (o Nivel 1) ofrece 20 tipos de elementos para que el estudiante modifique o reproduzca en su modelo 3D, cada uno visible desde cualquier ángulo y tamaño. Incluye un espacio para adjuntar referencias de imágenes relacionadas con el modelo 3D en proceso.

Posteriormente, *Colores* (o Nivel 2) ofrece ocho colores distintos, cada uno con una explicación basada en la teoría del color, permitiendo al estudiante seleccionar el color de cada componente de su modelo 3D según el efecto visual que desea transmitir.

Luego, *Medidas* (o Nivel 3) en donde se toman medidas y se revisan proporciones con modelos antropométricos dispuestos en el repositorio.

Seguidamente, el *Agarre* (o 4 Nivel) cuenta con la información de los diferentes tipos de agarre con su descripción para verificar cuál es mejor según la necesidad del modelo 3D, permitiendo simular los agarres en el repositorio y facilitando la interacción con el modelo en tiempo real.

Finalmente, *Postura* (o Nivel 5) en la que el estudiante dispone de límites de rango postural para la muñeca, el codo, los hombros y la espalda en diferentes planos (sagital, frontal y transversal), divididos en bueno, regular y malo según el método observacional REBA (Diego-Mas, 2015), verificando así si su modelo 3D considera adecuadamente estos límites posturales.

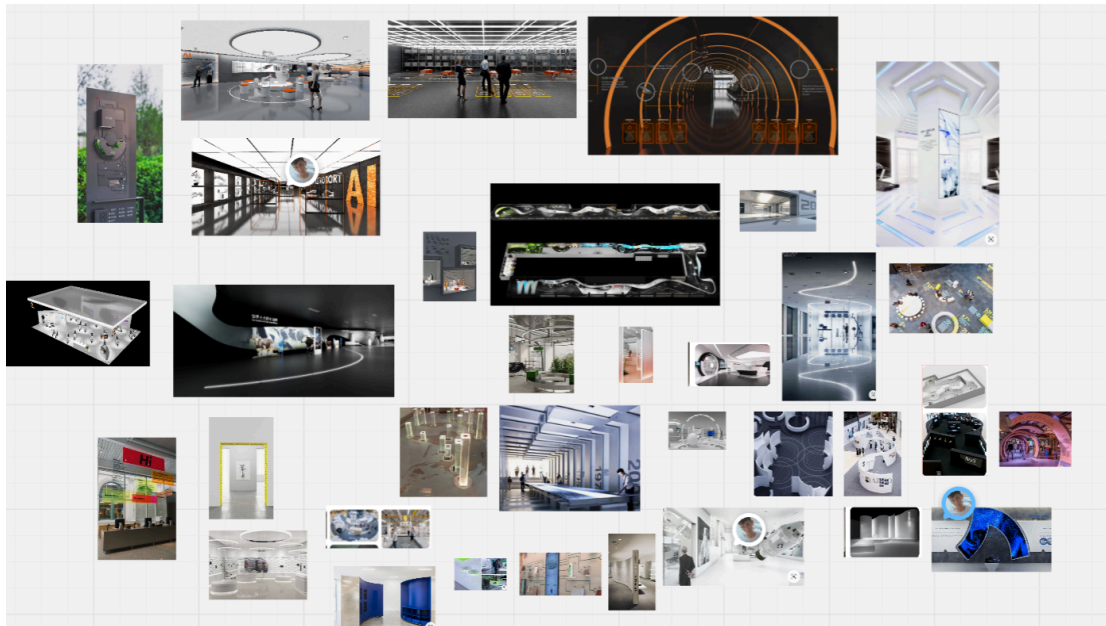
Adicionalmente, el *guardado* de su modelo con las verificaciones realizadas a lo largo de la experiencia inmersiva que es la conclusión de la experiencia inmersiva, donde el estudiante puede guardar su modelo 3D con las verificaciones que realizó en todos los niveles, para así usarlo a conveniencia en las etapas de su proyecto.

3.5. Ideación del repositorio

Para la conceptualización de este entorno, se realizó un Mood board en la Plataforma MIRO, en donde se reunió inspiración para la organización de este, así como de su estética como se puede observar en la Figura 6. Así mismo, se fueron añadiendo diseños dentro de Gravity Sketch y revisando iterativamente en MIRO para verificar el cumplimiento de la intención del proyecto.

Figura 6.

Mood board para el repositorio VR en la plataforma MIRO



Fuente: Elaboración propia.

Con la ayuda del Mood Board y el objetivo del repositorio, se definió una organización de este, haciendo más fácil su comprensión a la hora de desplazarse por el entorno inmersivo con el orden que se establece en la Figura 7 a continuación.

Figura 7.

Organización del entorno por niveles



Fuente: Elaboración propia.

3.5.1. *Prototipado*

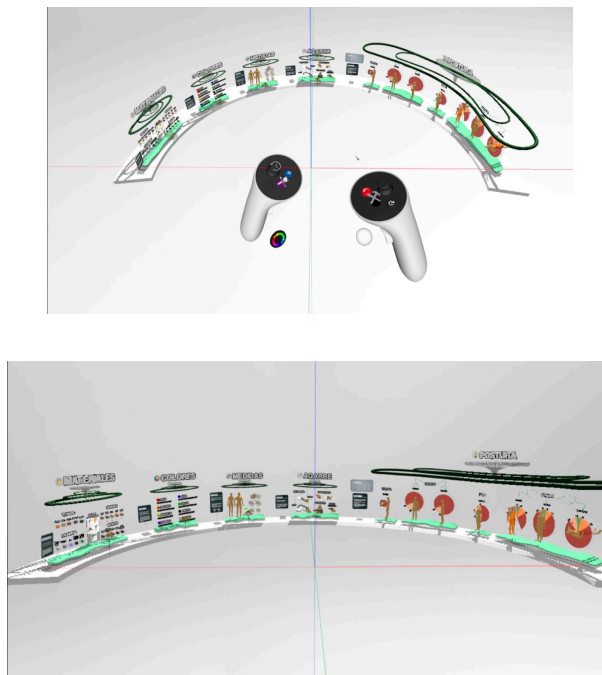
En este caso, se hizo solo uso de la herramienta de Gravity Sketch para maquetar todo el repositorio, de modo que todo lo modelado 3D en el entorno fue con esta herramienta.

3.5.2. *Diseño de Niveles*

Siguiendo la estructura del repositorio, se estableció una metáfora de niveles que guiaría toda la experiencia. Esta decisión fue tomada para facilitar a los estudiantes la comprensión de lo que implica una experiencia inmersiva y progresiva. En este contexto, el diseño de la experiencia en este repositorio aprovecha conceptos y funciones de Gravity Sketch para guiar el progreso a través de los niveles, culminando en un aprendizaje más completo. La visualización de todos los niveles se ve reflejada desde la Figura 8 a la 13..

Figura 8.

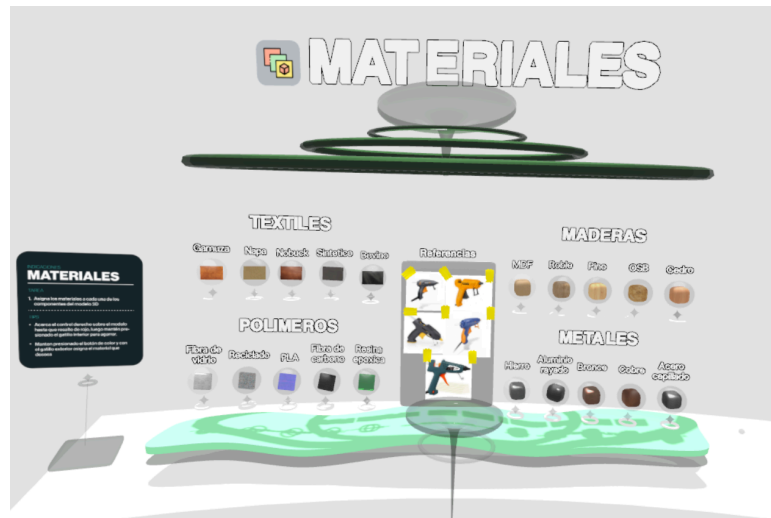
Vista isométrica y frontal del diseño del repositorio en Gravity Sketch



Fuente: Elaboración propia.

Figura 9.

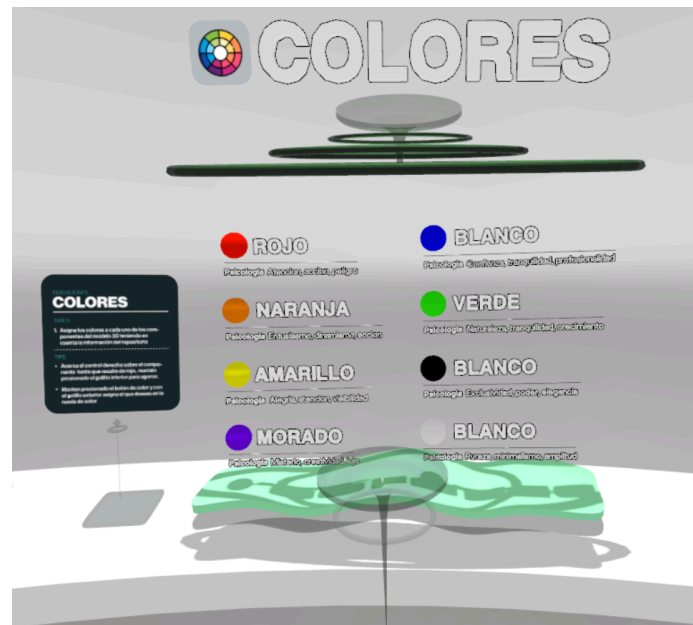
Diseño del primer nivel – MATERIALES



Fuente: Elaboración propia en Gravity Sketch

Figura 10.

Diseño del segundo nivel – COLORES



Fuente: Elaboración propia en Gravity Sketch

Figura 11.

Diseño del tercer nivel – MEDIDAS



Fuente: Elaboración propia en Gravity Sketch

Figura 12.

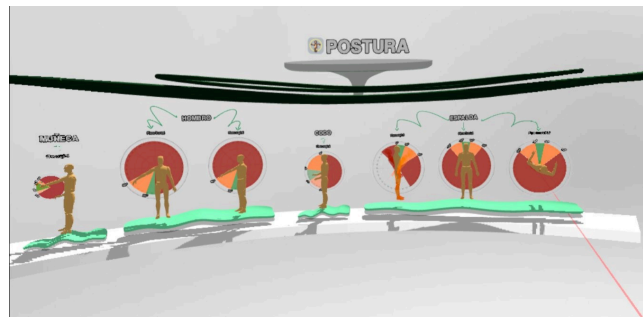
Diseño del cuarto nivel – AGARRE



Fuente: Elaboración propia en Gravity Sketch

Figura 13.

Diseño del quinto nivel – POSTURA



Fuente: Elaboración propia en Gravity Sketch

3.5.3. *Diseño Instruccional*

El repositorio está compuesto por instrucciones en cada nivel, tanto en el apartado gráfico como audiovisual. En la parte gráfica, las indicaciones de cada nivel se diseñaron en la aplicación de edición gráfica Adobe Illustrator. Por otro lado, en la sección de los tutoriales en video, se utilizó la herramienta de edición Adobe Premiere Pro, Adobe After Effects para la animación y ElevenLabs para la creación de la voz con inteligencia artificial. Lo anterior se puede observar en la Tabla 3.

Tabla 3.

Contenido de las indicaciones del repositorio

Nivel	Video tutorial (Link)	Indicaciones
-------	-----------------------	--------------

1

<https://youtu.be/Ob6IcUTr-Zk>

INDICACIONES

MATERIALES

TAREA

1. Asigna los materiales a cada una de los componentes del modelo 3D

TIPS

- Acerca el control derecho sobre el modelo hasta que resalte de rojo, luego mantén presionado el gatillo interior para agarrar.
- Mantén presionado el botón de color y con el gatillo exterior asigna el material que desees

2

[https://youtu.be/EQqgjWiSh-](https://youtu.be/EQqgjWiSh-A)

[A](https://youtu.be/EQqgjWiSh-A)

INDICACIONES

COLORES

TAREA

1. Asigna los colores a cada una de los componentes del modelo 3D teniendo en cuenta la información del repositorio

TIPS

- Acerca el control derecho sobre el componente hasta que resalte de rojo, mantén presionado el gatillo interior para agarrar.
- Mantén presionado el botón de color y con el gatillo exterior asigna el que desees en la rueda de color

3

<https://youtu.be/IBxzO9P2gJ8>

INDICACIONES

MEDIDAS

TAREA

1. Acota tu modelo 3d y verifica que mida alrededor de **17cm de ancho**
2. Toma una mano derecha y verifica que mida alrededor de **18,70 cm de alto x 13,70 cm de ancho**

TIPS

- Mantén presionado el botón de herramientas para encontrar en el extremo izquierdo la opción de measure
- Toma el acotado y presiona el botón azul del mando izquierdo para ajustar la medida



4

<https://youtu.be/fyzSQMDPy>
[g0](#)

INDICACIONES

AGARRE

TAREA

1. Modifica la posición de los nodos de la mano para simular un agarre mixto

TIPS

- Agarra la mano y presiona el botón azul para entrar al modo de edición y mover los nodos
- Entre mas grande sea la circunferencia de agarre, mas nodos podrás modificar al mismo tiempo

5

<https://youtu.be/KbFgNzVM8>
[KU](#)

INDICACIONES

POSTURA

TAREA

1. Asigna los colores en las secciones de los ángulos, según las convenciones que están dispuestas en el repositorio
2. Verifica que la muñeca este en un rango "bueno" de postura
3. Interactúa con el agarre y el modelo 3D, verificando que haya un agarre mixto (Puedes alterar el tamaño del modelo 3D como mejor te convenga)

Fuente: Elaboración propia.

3.6. Prueba Experimental

3.6.1. *Objetivo del Experimento*

Evaluar la eficiencia, satisfacción y probabilidad de recomendación, del repositorio de verificación en VR en estudiantes de Diseño Industrial UIS.

3.6.1.1. Muestra

La selección de la muestra se realizó mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia, seleccionando como participantes a los estudiantes de Diseño Industrial de la UIS con conocimientos previos en realidad virtual (VR). Se validó la muestra con 21 personas que cumplieran con los criterios de inclusión establecidos. La experiencia en el

entorno de VR se llevó a cabo con 12 hombres y 8 mujeres, cuyas edades oscilaron entre los 20 y 29 años.

3.6.1.2. Criterios de Inclusión

Se precisa que los participantes sean estudiantes con experiencia básica en realidad virtual y que estén cursando o hayan cursado la asignatura Taller de Diseño VI de la EDI-UIS. Esto es debido a que, según el pensum de la EDI-UIS, al momento de cursar dicha asignatura, los estudiantes ya habrán completado materias que faciliten la comprensión del repositorio, como dibujo mecánico, geometría descriptiva, ergonomía, etc.

3.6.1.3. Criterios de Exclusión

Es importante que los participantes no presenten discapacidades cognitivas y/o físicas críticas como también que no tenga problemas en la salud antes de realizar el experimento (mareo, epilepsias, cefalea, entre otros). Además, es necesario haber cursado las asignaturas que permiten una comprensión fluida del entorno según lo establecido en la malla curricular, es decir, a partir del Taller de Diseño VI.

3.6.2. *Variables*

3.6.2.1. Variables Dependientes

Son las variables que se mide y observa en el experimento, en este caso: el número de veces que ven el video, tiempo en completar cada nivel, duración total de todos los niveles completados

3.6.2.2. Variables Independientes

Son las variables que se manipulan en el experimento, en este caso: el uso del repositorio diseñado para la verificación de un modelo 3D en realidad virtual, modelo 3D

(pistola de silicona) previamente diseñado en Gravity Sketch, para la validación del repositorio.

3.6.2.3. Variables Controladas

Son las variables que se mantienen en contraste control durante el experimento, en este caso: el espacio con conexión a internet, silla y mesa. Uso del dispositivo de Realidad Virtual MetaQuest 2. Correcta postura de dispositivo de VR.

3.7. Diseño del experimento

El experimento se realizó con una unidad experimental de 21 estudiantes de la EDI-UIS. Antes de iniciar con la experiencia inmersiva, se brindó una breve introducción sobre el proyecto al estudiante sobre el contexto del repositorio. Ya en el repositorio, se le permiten 2 minutos al evaluado para reconocer el entorno y estar cómodo tanto en su postura como en la posición de las gafas Meta Quest 2.

Lo primero que se realiza son unas directrices preliminares para la ejecución del repositorio en VR, en las que el estudiante reconoce cómo se ejecutan algunas funciones repetitivas (transportarse por el entorno, agarrar y copiar objetos, y reproducir los videotutoriales). Hasta ese momento, todo se realiza por verbalización y se tiene el control de que ve el evaluado, tanto si es de manera virtual en un entorno colaborativo de Gravity sketch (ver Figura 14) como si es de manera presencial, por medio de la transmisión de imagen por internet, de las gafas al computador (Ver Figura 15).

Figura 14.

Sala colaborativa en Gravity Sketch



Fuente: Elaboración propia.

Figura 15.

Transmisión por internet de las gafas al computador



Fuente: Elaboración propia.

Luego que las directrices preliminares estén completadas, se da inicio al experimento. Este, se trata de la verificación de una pistola de silicona, respecto a sus atributos formales, estéticos y ergonómicos, como son los materiales, colores, medidas, proporciones, agarres y límites de rango postural. En el repositorio encontrarán: los 5 niveles en los que verifican la pistola de silicona, la pistola de silicona, las indicaciones gráficas en cada nivel, y los videotutoriales para cada nivel. En la Tabla 4 a continuación se puede visualizar las actividades por nivel con su respectiva visualización gráfica.

Tabla 4.

Listado de actividades.

Actividades	Representación gráfica
Materiales (nivel 1)	
<ol style="list-style-type: none">1. Reproducir tutorial.2. Visualizar indicaciones gráficas (si es necesario).3. Agarrar el componente del modelo 3D (pistola de silicona) con el gatillo interior derecho.4. Mantener presionado el botón de color.5. Seleccionar el material con el cuentagotas.	



- Colores (nivel 2)**
1. Reproducir tutorial.
 2. Visualizar indicaciones gráficas (si es necesario).
 3. Leer la psicología del color de cada color dispuesto en el repositorio.
 4. Agarrar el componente de la pistola de silicona con el gatillo interior derecho.
 5. Mantener presionado el botón de color.
 6. Seleccionar el color del círculo cromático, al componente de la pistola de silicona.



- Medidas (nivel 3)**
1. Reproducir tutorial.
 2. Visualizar indicaciones gráficas (si es necesario).
 3. Presionar el botón de herramientas.
 4. Seleccionar la herramienta de medida.
 5. Medir la pistola de silicona (medidas asignadas en las indicaciones gráficas y el tutorial).
 6. Agarrar una mano derecha que está dispuesta en el repositorio.

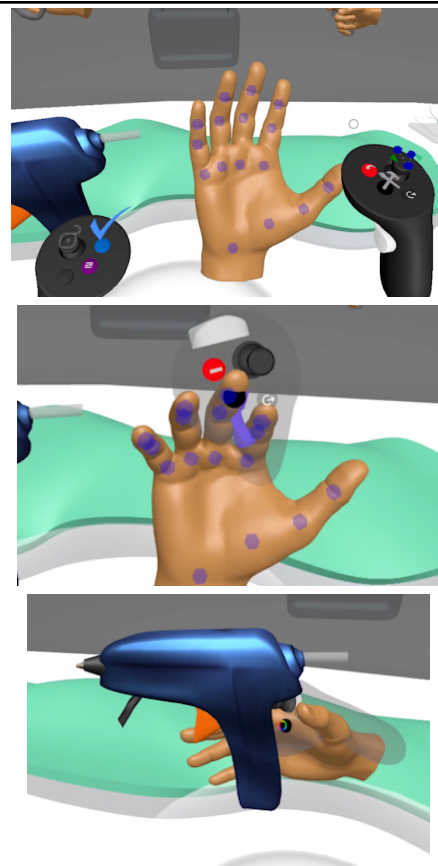


7. Medir la mano derecha (medidas asignadas en las indicaciones gráficas y el tutorial).



Agarre (nivel 4)1. Reproducir tutorial.

2. Visualizar indicaciones graficas (si es necesario).
3. Visualizar los diferentes tipos de agarres dispuestos en el repositorio.
4. Agarrar la mano derecha con el gatillo interior derecho.
5. Presionar el botón de edición en el mando izquierdo.
6. posicionar los nodos de la mano para simular un agarre mixto.
7. Interactuar con el agarre y la pistola de silicona.



-
- Postura (nivel 5)** 1. Reproducir tutorial.
2. Visualizar indicaciones gráficas (si es necesario).
 3. Desplazarse hasta la zona de los límites de rango postural de la muñeca.
 4. Asignar los colores en las secciones de los ángulos, según las convenciones que están dispuestas en el repositorio.
 5. Verificar que la muñeca esté en un rango postural "adecuado".
 6. Posicionar los nodos de la mano para simular un agarre mixto.



Fuente: Elaboración propia.

Es de suma importante mencionar que se realizó la verificación con una pistola de silicona para que se pudieran hacer verificaciones de rango postural de muñeca y también probar los agarres que Gravity Sketch posee. Adicionalmente, hacer uso de la tecnología de nodos que tiene la herramienta que son marcados virtuales que están en los modelos 3D para facilitar el uso y/o manipulación precisa de los elementos.

3.8. Métodos de Recolección de Datos del Experimento

Para la recolección de datos de las variables cuantitativas y cualitativas se tuvo en cuenta lo siguiente:

- *Variables cuantitativas:* Datos registrados en el formato de evaluación del experimento (apéndice 1), donde se tomaba el tiempo que dura el evaluado en

completar cada nivel, el tiempo total que tarda en completar todos los niveles y la cantidad de veces que fue necesario ver el video tutorial de cada nivel en una hoja de Excel para posteriormente realizar un análisis estadístico. Así mismo, se aplicó una escala NPS (Net Promoter Score) (*CSAT Y NPS: Ejemplo Y Cálculo Del Índice De Satisfacción Del Cliente*, n.d.) (Apéndice 2) lo que permitirá medir en términos de porcentaje, la probabilidad de promover y divulgar el proyecto del repositorio inmersivo entre estudiantes. Por último, Una encuesta de autorreporte donde se diligencia el tiempo mínimo y máximo que duran los estudiantes de la EDI-UIS para hacer verificaciones en sus asignaturas de diseño (apéndice 3).

- *Variable cualitativa:* Se diligenció un formulario que contenía una escala CSAT (Customer Satisfaction Score) (*CSAT Y NPS: Ejemplo Y Cálculo Del Índice De Satisfacción Del Cliente*, n.d.). Para así compilar la retroalimentación cualitativa con respecto a la experiencia del experimento y analizar el nivel de complejidad que enfrentaron en el entorno.

4. Análisis de resultados

En el análisis de resultados, se consideraron varios factores: el tiempo que los participantes normalmente dedican a las fases de prototipado y verificación (apéndice 3); la duración general del experimento en el entorno inmersivo; el tiempo requerido para completar cada nivel como parte del desarrollo y validación del repositorio; la probabilidad de recomendación; y la satisfacción de los estudiantes con el entorno. La escala de satisfacción y el tiempo empleado son aspectos clave para determinar la eficiencia de la herramienta propuesta teniendo en cuenta el tiempo empleado en la verificación y/o

prototipado (sin o con el uso del repositorio) y satisfacción (nivel de carga cognitiva expresada).

4.1. Tiempos empleados

Inicialmente, se preguntó a los participantes por el tiempo con el que regularmente tardan en prototipar un modelo y además, realizar la verificación del mismo (apendice 3). En este sentido, se encontró que la mayoría de los participantes tardan en promedio 3,22 días realizando el prototipado de un modelo. Además, el tiempo promedio mínimo de verificación es de 9,21 días y el máximo es de 13,18 días como se puede observar en la Tabla 5.

Tabla 5.

Tiempo empleado en el prototipado y la verificación de un modelo sin el uso del repositorio

	Tiempo de prototipado	Tiempo de verificación	
		Min	Máx
Rangos	<i>f</i>	<i>f</i>	<i>f</i>
0-59 min	2	3	3
1-23 horas	2	2	2
1-7 días	9	13	8
1-4 semanas	8	3	8
Promedio	3,22 días	9,21 días	13,18 días

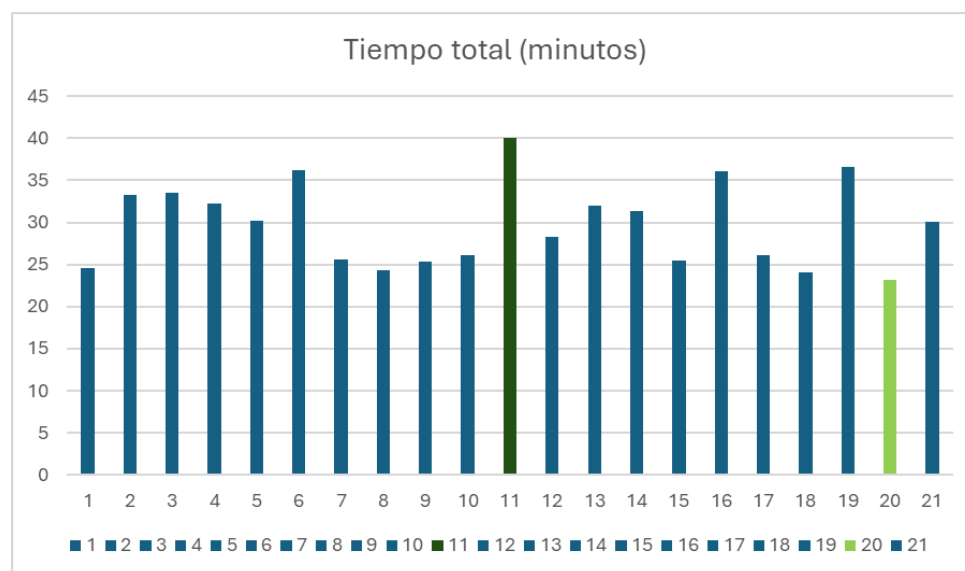
*Nota** La *f* hace referencia a la frecuencia de aparición por cada rango.

En contraste, en la base de datos construida durante el proceso de validación del entorno con los participantes, se calcularon los tiempos en los que se completaron todas las tareas a nivel general, resultando un promedio de 25,37 minutos. Asimismo, el rango de tiempo mínimo y máximo entre participantes fue de 23,18 minutos y 40,02 respectivamente.

Además, con respecto a los tiempos por cada nivel: en el **nivel 1**, el tiempo promedio fue de 3,51 minutos con rangos de tiempos entre los 2,31 y 8,12 minutos (siendo este último valor el de menos frecuencia); en el **nivel 2**, el tiempo promedio fue de 3,35 minutos con rangos de ejecución entre los 2,03 y 5,07 minutos; en el **nivel 3**, se encontró que el tiempo promedio fue de 9,16 minutos con rangos de tiempo entre los 5,52 y 14,02 minutos; en el **nivel 4**, el tiempo promedio fue de 6,08 minutos con rangos de tiempo de ejecución entre los 3.19 y 7,55 minutos; finalmente, en el **nivel 5**, el tiempo promedio es de 7,05 minutos con rangos de tiempo de ejecución entre los 5,13 y 10,15 minutos. Cabe resaltar que los tiempos más largos empleados en la ejecución de las tareas de algunos niveles, son valores atípicos o poco comunes según los presentados por la mayoría de la muestra que fue evaluada como se puede observar en la Figura 16

Figura 16.

Tiempo total por cada participante



*Nota** El tiempo se refleja en minutos.

4.2. Reproducción de videotutoriales

Para medir la capacidad de realizar las tareas con un mínimo esfuerzo se tuvo en cuenta el número de veces de reproducción de los tutoriales por cada nivel, lo que quiere decir que a menor cantidad de reproducción del recurso guía, menor dificultad en la realización de las tareas y mayor eficiencia en la utilización del repositorio.

En este sentido, como se puede observar en la Tabla 6, la mayoría de los participantes solo necesitó ver el video guía una vez en los Niveles 1, 2, 4 y 5. En el Nivel 3, la mayoría de los usuarios consultó el video guía más de una vez, con un máximo de tres visualizaciones. Este nivel mostró la mayor frecuencia de reproducción del tutorial, debido a su complejidad en las indicaciones, dado que este nivel presenta dos tareas al usuario.

Tabla 6.

Número de reproducciones realizadas por cada nivel del entorno por participante.

Cantidad de reproducciones	1 vez	2 veces	3 veces	Promedio
	<i>f</i>	<i>f</i>	<i>f</i>	
Nivel 1	18	3	0	1,14
Nivel 2	21	0	0	1
Nivel 3	8	11	2	1,71
Nivel 4	18	3	0	1,14
Nivel 5	18	3	0	1,14

*Nota** La *f* representa la cantidad de participantes que vieron *x* cantidad de veces el tutorial de un nivel.

4.3. NPS (Net Promoter Score)

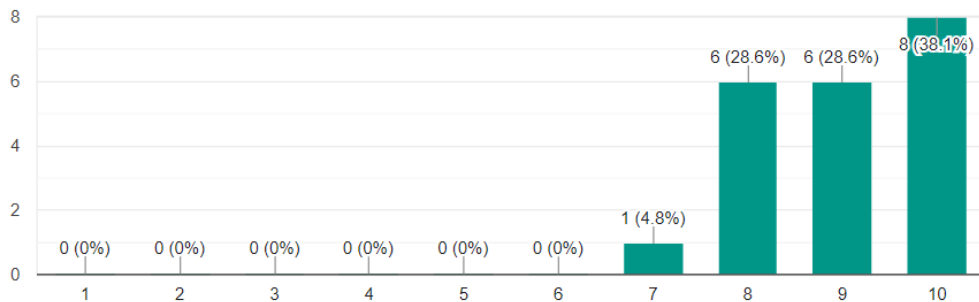
Con el Net Promoter Score (Índice de Promotores Netos) se midió la probabilidad de recomendación del repositorio por parte de los estudiantes y así mismo, para el uso de sus verificaciones. En este caso se hallaron los siguientes resultados (ver Figura 17).

Figura 17.

Escala NPS del repositorio

De 1 a 10; siendo 1 nada probable y 10 muy probable. ¿Qué tanto recomendaría este repositorio a otro estudiante? [Copiar](#)

21 respuestas



Fuente: Elaboración propia.

Según la puntuación del evaluado, las respuestas se clasifican de esta forma:

- **Promotores:** Califican el repositorio de 9 o 10, por lo que recomendarían el proyecto a sus círculos. Han tenido una buena experiencia y quieren compartir la herramienta con otros pares.
- **Pasivos:** Califican el repositorio entre 7 u 8, esto quiere decir que existe un grado de insatisfacción que no los llevará a recomendar activamente lo que se diseñó en el presente proyecto.
- **Detractores:** Califican el repositorio entre 0 y 6, esto es nivel significativo de insatisfacción. La experiencia no cumplió sus expectativas, por lo que buscarán mejores opciones y no darán una buena reseña a su círculo cercano que está considerando adquirirlo.

La fórmula para hallar este NPS es la siguiente:

$$\%Promotores - \%Detractores = NPS$$

Como se ve en la Figura 17, el porcentaje de promotores fue del **66.7%** (estudiantes que calificaron 9 y 10 en la escala) y el porcentaje de detractores fue del **0%** (estudiantes que calificaron de 0 a 6 en la escala) por lo que la ecuación quedaría de la siguiente manera:

$$66.7 - 0 = 66.7$$

En este caso, la puntuación neta del promotor da un resultado del 66.7% lo que permite saber, que más de la mitad de los evaluados usarían activamente el repositorio de verificación en realidad virtual para sus modelos 3D y lo recomendaría a otros estudiantes es de la EDI-UIS. Esto es importante ya que el propósito de este repositorio radica en la utilización activa de los estudiantes y que se convierta en una buena herramienta para hacer más eficiente su proceso de verificación.

4.4. Escala CSAT (Customer Satisfaction Score)

Se utilizó la Customer Satisfaction Score (Escala de Satisfacción del Cliente) con el fin de conocer la experiencia subjetiva de los evaluados enfocada en la eficiencia de la validación del repositorio, la organización del entorno, la calidad de los recursos visuales, la utilidad de la información proporcionada por cada nivel y la satisfacción general con la experiencia inmersiva. El objetivo fue determinar el nivel de complejidad que enfrentaron en el entorno y así, hallar una oportunidad de mejora y lograr una mayor eficiencia del repositorio. Los resultados fueron las siguientes:

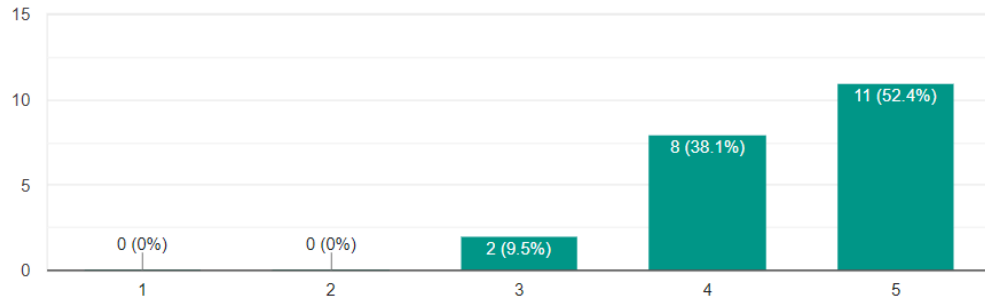
En la Figura 18 se muestra que más del 90% de los evaluados tuvieron una experiencia buena y muy buena con la explicación de los videos. Así mismo, expresaron en sugerencias y comentarios que la edición fue agradable, lo que les permitió disfrutar más de los videotutoriales.

Figura 18.

Escala de satisfacción - Evaluación de la explicación de los videotutoriales

En una escala del 1 al 5, siendo 1 muy mala y 5 muy buena. ¿Cómo evalúa la explicación de cada uno de los videos? (Capacidad de guía para la ejecución de las tareas)

21 respuestas



Fuente: Elaboración propia.

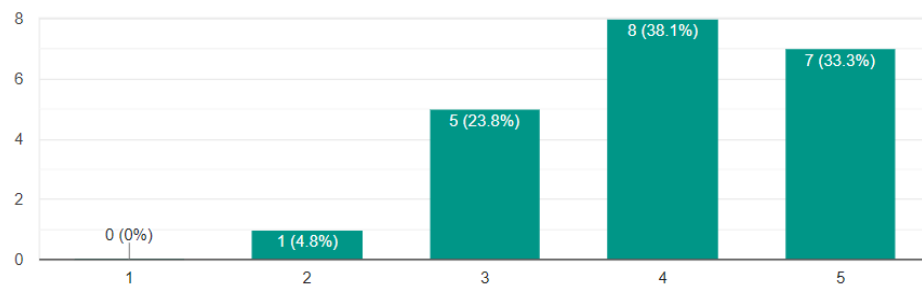
En la Figura 19, se muestra que más del 70% tuvo una percepción eficiente y muy eficiente en la realización de cada nivel, los usuarios restantes reportaron una eficiencia menor. Sin embargo, al comentar los tiempos de ejecución de los niveles con las personas que reportaron menos eficiencia, expresaron satisfacción dado que se encontraban dentro del promedio.

Figura 19.

Escala de satisfacción - Evaluación de la percepción de la eficiencia

En una escala del 1 al 5; siendo 1 nada eficiente y 5 muy eficiente. ¿Cómo evaluaría la eficiencia con la que realizo cada uno de los niveles?

21 respuestas



Fuente: Elaboración propia.

Luego, en la Figura 20, se muestra que más del 85% de los evaluados calificaron como buena y muy buena la organización del entorno inmersivo. Lo que prueba que la

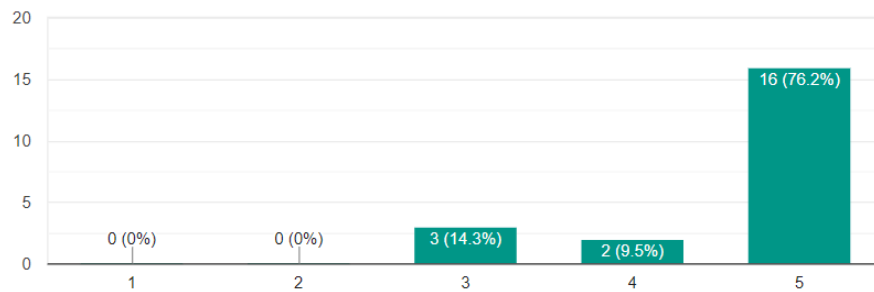
disposición de los niveles y sus recursos es adecuada y sin inconvenientes evidentes. Es importante mencionar que tres de la totalidad de los evaluados tuvieron una percepción neutral.

Figura 20.

Escala de satisfacción - Evaluación de la organización del entorno inmersivo

En una escala del 1 al 5; siendo 1 muy mala y 5 muy buena. ¿Cómo evalúa la organización del entorno inmersivo? (el orden de los pasos/distribución de los niveles)

21 respuestas



Fuente: Elaboración propia.

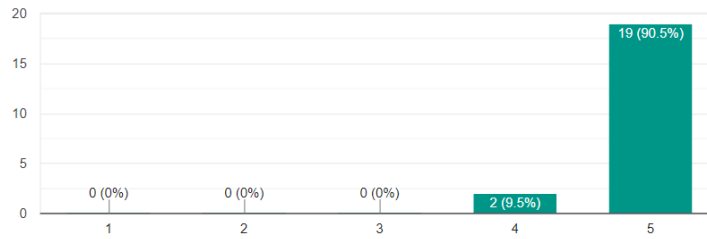
Por otro lado, en la Figura 21 el 100% de los evaluados calificaron entre bueno y muy bueno la calidad de los recursos visuales del repositorio (texturas, luces, calidad de los video tutoriales, indicadores de las tareas, etc) con ello se demuestra una gran aceptación y un buen tratamiento estético en el proyecto.

Figura 21.

Escala de satisfacción - Evaluación de los recursos visuales

En una escala del 1 al 5; siendo 1 muy mala y 5 muy buena. ¿Cómo evalúa la calidad de los recursos visuales del entorno inmersivo? [Copiar](#)

21 respuestas



Fuente: Elaboración propia.

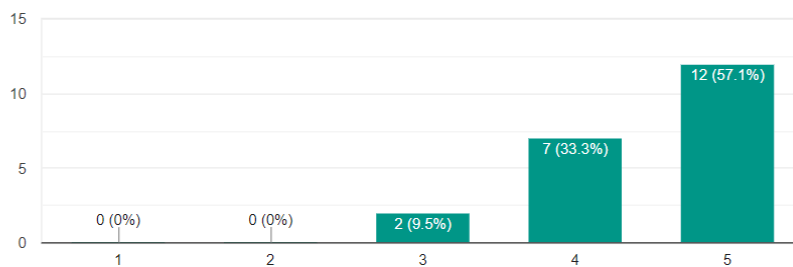
Además, en la Figura 22, se muestra que más del 90% de los evaluados consideraron útil y muy útil la información proporcionada en cada nivel. Esto indica que la información les proporcionó datos relevantes y precisos para tomar decisiones acertadas, reduciendo errores en la validación.

Figura 22.

Escala de satisfacción - Evaluación de la utilidad de la información

En una escala del 1 al 5; siendo 1 nada útil y 5 muy útil. ¿Qué tan útil encontró la información proporcionada en cada nivel?

21 respuestas



Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, la Figura 23 muestra que más del 95% de los evaluados calificaron la experiencia inmersiva en general entre buena y muy buena. Esto indica que el repositorio está diseñado para que los usuarios verifiquen su modelo 3D de manera correcta y precisa, brindándoles una experiencia inmersiva y agradable. Además de esto, los evaluados

expresaron que la interfaz fue intuitiva y tuvieron una fácil navegación, lo cual se ve reflejado en la reducción del tiempo necesario para familiarizarse con las herramientas disponibles en el repositorio. Asimismo, la satisfacción también se relacionó con la claridad de las instrucciones proporcionadas, permitiéndoles completar las tareas con mayor confianza y rapidez.

Figura 23.

Escala de satisfacción - Evaluación de satisfacción general de la experiencia inmersiva



Fuente: Elaboración propia.

5. Conclusiones

En este proyecto se logró exitosamente la medición de la eficiencia del repositorio, a partir de los resultados obtenidos en este estudio, se puede concluir que hay diferencia en los tiempos de verificación en prototipado, realizando una comparación entre los métodos físicos tradicionales vs los de modelado 3D en un entorno inmersivo en VR. Ulrich y Eppinger (2003) describen que los periodos relacionados con la verificación en prototipado físico tradicional pueden durar desde varios días hasta semanas, con un promedio aproximado de 7 a 14 días para diseños complejos (Liao & She, 2023). En el caso del repositorio en VR, con un promedio total de 25.37 minutos; se destaca una reducción significativa, demostrando una

mayor eficiencia en el proceso de diseño. Además, se reducen costos en comparación con otros métodos para los estudiantes, teniendo en cuenta que la EDI-UIS dispone del uso de las herramientas VR (Meta Quest) para el uso del entorno inmersivo; esto dando respuesta al objetivo general planteado en el proyecto.

Es importante mencionar que el uso de VR no es la única solución para el aumento de la eficiencia, sin embargo, se destaca por la capacidad que tiene en términos de visibilidad, ergonomía, calidad estética, visualización de datos, entre otras características propias de la VR.

Asimismo, tomando de referencia el tiempo de las validaciones que se realizaron a 29 estudiantes de maestría en Diseño Industrial de la Universidad de Ghent con el mismo rango de edad y programa (Gravity Sketch) que se tomó en el presente proyecto, pero además basándose en la metodología de Design Thinking, se diseñó y verificó el modelo de un dron (sin la existencia de un repositorio). Los resultados del estudio mencionado arrojaron que, enfocándose mayoritariamente en verificación de forma y color, tuvieron un tiempo promedio de 30 minutos para completar toda la tarea (Joundi et al., 2020). Teniendo en cuenta lo anterior y añadiendo los aspectos como proporciones, diversidad de materiales e incluso ergonomía del repositorio diseñado; el tiempo de 25 minutos utilizado por la mayoría de la muestra, quiere decir que el repositorio, incluso verificando más aspectos, obtuvo un tiempo promedio menor que en el estudio mencionado, teniendo en cuenta que se utiliza la misma metodología y programa; probando así su eficiencia.

Además, en cuanto a los tiempos que los participantes reportaron regularmente para la verificación de modelos físicos, son más prolongados en comparación con los tiempos registrados en el repositorio. Esta herramienta proporciona una alternativa eficiente para validar diseños rápidamente, facilitando acceso centralizado para análisis y ajustes continuos,

mejorando así la gestión y el refinamiento iterativo de los diseños; cumpliendo así con el objetivo general del proyecto.

Con respecto a la escala CSAT realizada en este proyecto, los videos editados para la guía del repositorio tuvieron una receptividad positiva por los estudiantes y se cumplió con el objetivo de capacitarlos audiovisualmente. Sin embargo, se han identificado algunos detalles que podrían mejorar estas guías para hacerlas aún más completas, como la explicación más específica de algunas funciones de Gravity Sketch.

La mayoría de los videos fueron vistos solo una vez, lo que sugiere que no representaron una carga mental significativa para comprender los niveles o las tareas requeridas. Lo anterior se respalda por lo señalado por Brangier y Barcenilla (2003) sobre que la eficiencia, depende del nivel de complejidad de la interacción y la naturaleza de las manipulaciones necesarias para hacer funcionar el producto.

Para finalizar, se cumple con el último objetivo de medir la probabilidad de recomendación del repositorio entre estudiantes. Esto se hizo por medio de la escala NPS, resultando con más de la mitad de los evaluados que no solo usarían activamente el repositorio de verificación en realidad virtual para sus modelos 3D sino que lo recomendarían a otros estudiantes de la EDI-UIS.

En resumen, la experiencia en el repositorio resultó ser eficiente en la reducción de tiempos, las manipulaciones para completar los niveles e interactuar con los recursos fueron bajas, así como el bajo nivel de complejidad que los evaluados demostraron al interactuar con los elementos de este repositorio. A causa de los hallazgos encontrados en el presente proyecto, se determina que este brinda una herramienta útil para los estudiantes de la EDI-UIS pero también la oportunidad de enriquecer a la disciplina del Diseño Industrial implementando tecnología y aprendizaje. Se demuestra la acogida de la muestra (estudiantes de la EDI-UIS) con la implementación del repositorio y el uso activo en las diferentes

asignaturas en el futuro. Esto contribuirá significativa y positivamente en la formación de los estudiantes de la EDI-UIS, brindando una preparación como profesionales con conocimientos y con competencias en el uso de herramientas tecnológicas avanzadas para el desarrollo de modelos que atiendan a las necesidades insatisfechas del entorno y de los usuarios.

6. Recomendaciones

Se recomienda mejorar la explicación de algunos video-tutoriales, siendo mas específicos en algunas herramientas de Gravity Sketch, así mismo, crear un acceso abierto en donde puedan descargar y usar este repositorio.

Se recomienda promover el uso de nuevas tecnologías no solo de realidad virtual sino de aquellas que permitan el proceso del diseño más eficiente, fácil y eficaz. Asimismo, se destaca que es importante hacer uso de este repositorio en la EDI-UIS, así como los recursos tecnológicos que esta posee. Adicionalmente, se sugiere la creación de más espacios en los que se puedan aprender estas tecnologías, como en asignaturas, semilleros, capacitaciones, etc.

Respecto a la herramienta Gravity Sketch, se recomienda el fortalecimiento en conocimientos de este programa, ya que este tiene herramientas que permiten una creación más orgánica, libre e inmersiva para los diseños de modelos 3D. Esta herramienta tiene continuas actualizaciones que le permiten al usuario tener más maneras para diseñar e interactuar con los mismos. La virtualidad añade una ventaja significativa al facilitar un diseño colaborativo más atractivo, mejorando así la observación y la retroalimentación de nuestros diseños.

Referencias

- Alba, A. (26 de enero de 2021). *Los 7 errores en Design Thinking más frecuentes y cómo evitarlos*. Innolandia. <https://innolandia.es/los-7-errores-en-design-thinking/>
- Aromaa, S. (2017, September 20). *Virtual prototyping in design reviews of industrial systems. Proceedings of the 21st International Academic Mindtrek Conference (AcademicMindtrek '17)*. In Association for Computing Machinery (pp. 110–119). <https://doi.org/10.1145/3131085.3131087>
- Azuma, R., Baillot, Y., Behringer, R., Feiner, S., Julier, S., & MacIntyre, B. (2001). Recent advances in augmented reality. *IEEE Comp. Graph. Appl.* 21, 34–47. doi: 10.1109/38.963459
- Bernardo, N., & Duarte, E. (2021). Immersive Virtual Reality in an Industrial Design Education Context: What the Future Looks Like According to its Educators. *Computer-Aided. Design and Applications*, 19(2), 238–255. <https://doi.org/10.14733/cadaps.2022.238-255>
- Bocevaska, A. (2016). Implementations of Augmented reality in CAD design. *Emerging Research and Solution in ICT*, 1(1), 26-31. Doi: 0.20544/ERSICT.01.16.P03
- Botella, C. M., Juan, M. C., Baños, R. M., Alcañiz, M., Guillén, V., & Rey, B. (2005). Mixing realities? An application of augmented reality for the treatment of cockroach phobia. *Cyberpsychol. Behav*, 8(2), 162–171. doi: 10.1089/cpb.2005.8.162
- Brangier, E. & Barcenilla, J. (2003). *Concevoir un produit facile à utiliser Adapter les technologies à l'homme*. Éditions d' Organisation.
- Bretón-López, J., Quero, S., Botella, C., García-Palacios, A., Baños, R. M., & Alcañiz, M. (2010). An augmented reality system validation for the treatment of cockroach phobia. *Cyberpsychol. Behav. Soc. Netw*, 13(6), 705–710. doi: 10.1089/cyber.2009.0170

- Carmigniani, J., Furht, B., Anisetti, M., Ceravolo, P., Damiani, E., & Ivkovic, M. (2011). Augmented reality technologies, systems and applications. *Multimedia Tools Applications*, 51, 341–377. doi: 10.1007/s11042-010-0660-6
- Castillo-Vergara, M., Alvarez-Marin, A., & Cabana-Villca, R. (2014). Design thinking: cómo guiar a estudiantes, emprendedores y empresarios en su aplicación. *Ingeniería Industrial*, 35(3), 301-311. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=360433598006>
- Cipresso, P., Giglioli, I. A. C., Raya, M. A., & Riva, G. (2018, November 6). The Past, Present, and Future of Virtual and Augmented Reality Research: A Network and Cluster Analysis of the Literature. *Frontiers in Psychology*, 9. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02086>
- Comunidad Baratz. (22 de enero de 2015). *Los 10 beneficios de la gestión documental en las organizaciones*. Comunidad Baratz. <https://www.comunidadbaratz.com/blog/los-10-beneficios-de-la-gestion-documental-en-las-organizaciones/>
- Cults. (s.f.). Página principal. <https://cults3d.com/es>
- Diego-Mas, J. A. (2015). *Evaluación postural mediante el método REBA*. Ergonautas, Universidad Politécnica de Valencia. <https://www.ergonautas.upv.es/metodos/reba/reba-ayuda.php>
- Duperet, E., Pérez, D, Cedeño, M., Ramírez, A., & Montoya, L. (2015). Importancia de los repositorios para preservar y recuperar la información. *MEDISAN*, 19(10), 1283-1290. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1029-30192015001000014&lng=es&tlng=es.
- EcuRed. (2024). *Repositorio - EcuRed*. <https://www.ecured.cu/index.php/Repositorio>
- Exact. (3 de diciembre de 2021). *Beneficios de un software de gestión documental y archivos*. Exact. <https://www.exact.com.pe/noticias/beneficios-sistema-gestion-documental>

- Feiner, S., MacIntyre, B., Hollerer, T., & Webster, A. (1997). A touring machine: prototyping 3D mobile augmented reality systems for exploring the urban environment. En *Digest of Papers: First International Symposium on Wearable Computers* (pp. 74-81). Cambridge, USA.
- Fernández-Iglesias, J. M. (2020). *Prototipado rápido en Design Thinking* [Technical Report JWNRA]. Departamento de Ingeniería Telemática. Universidade de Vigo. Doi:10.17605/OSF.IO/JWNRA.
- Golledge, R. G., and Klatzky, R. L. (1998). Navigation system for the blind: auditory display modes and guidance. *Presence*, 7, 193–203. doi: 10.1162/105474698565677
- GrabCAD. (s.f.). Library. <https://grabcad.com/library>
- INFINITIA. (22 de enero de 2021). *Beneficios del prototipado y técnicas más habituales*. INFINITIA Industrial Consulting. <https://www.infinitiaresearch.com/noticias/prototipado-definicion-fases-tecnica/>
- Innovae Group S.L. (2023, 2 noviembre). *InnovaE | Realidad Aumentada y Realidad Virtual*. Innovae. <https://www.innovae.com/>
- IdeaFoster. (Mayo 23, 2023). *¿Cuánto tiempo se tarda en crear un prototipo de una idea?*. <https://ideafoster.com/es/prototipo-idea/>
- Innovae. (May 10, 2019). *Realidad Aumentada y Realidad Virtual*. <https://www.innovae.com/>
- Instructables. (s.f). *Yours for the making*. <https://www.instructables.com/>
- Jara, A. M., Pérez, J., Céspedes, C. y Leigh, C. A. (2022). Aplicación de la realidad virtual inmersiva (RVI) como estrategia para el alcance de competencias específicas. *REVISTA DE DIDÁCTICA EVALUACIÓN E INNOVACIÓN*, 51–61. https://www.revistaeducacionpem.cl/img/revistas/ed2_dic2023/Revista%20PEM%202-51-61.pdf

- Juan, M. C., Alcaniz, M., Monserrat, C., Botella, C., Baños, R. M., and Guerrero, B. (2005). Using augmented reality to treat phobias. *IEEE Comput. Graph.* 31–37. doi:10.1109/MCG.2005.143
- Juan, M. C., Alcañiz, M., Calatrava, J., Zaragoza, I., Baños, R., and Botella, C. (2007). *An optical see-through augmented reality system for the treatment of phobia to small animals. Virtual Reality, HCII 2007 Lecture Notes in Computer Science* (Vol. 4563), ed. R. Schumaker, 651–659.
- Joundi, J., Christiaens, Y., Saldien, J., Conradie, P., & De Marez, L. (2020). AN EXPLORATIVE STUDY TOWARDS USING VR SKETCHING AS A TOOL FOR IDEATION AND PROTOTYPING IN PRODUCT DESIGN. *Proceedings of the Design Society: DESIGN Conference, 1*, 225–234. <https://doi.org/10.1017/dsd.2020.61>
- Kirvan, P. (2023, April 1). *What Is a Prototype? | Definition from TechTarget*. Techtarget. <https://www.techtarget.com/searcherp/definition/prototype>
- Krueger, M. W., Gionfriddo, T., and Hinrichsen, K. (1985). Videoplace—an artificial reality. *Proceedings of the ACM SIGCHI Bulletin*, 16, 35–40. doi: 10.1145/317456.31746
- Laoyan. (2022, November 15). *Design thinking paso a paso y cómo incorporarlo en la empresa. Asana*. <https://asana.com/es/resources/design-thinking-process>
- Latorre-Coscolluela, C., Vázquez-Toledo, S., Rodríguez-Martínez, A., & Liesa-Orús, M. (2020). Design Thinking: creatividad y pensamiento crítico en la universidad. *Revista Electrónica De Investigación Educativa*, 22, 1–13. <https://doi.org/10.24320/redie.2020.22.e28.2917>
- Liao, T., & She, J. (2023). HOW DOES VIRTUAL REALITY (VR) FACILITATE DESIGN? A REVIEW OF VR USAGE IN EARLY-STAGE ENGINEERING DESIGN. *Proceedings of the Design Society*, 3, 2115–2124. doi:10.1017/pds.2023.212

- Real Academia Española. (2023). *Repositorio*. En Diccionario de la lengua española.
<https://dle.rae.es/repositorio?m=form>
- Maurugeon, G. (2011). New D'Fusion Supports iPhone4S and 3DSMax 2012.
<http://www.t-immersion.com/blog/2011-12-07/augmentedreality-dfusion-iphone-3dsmax>
- 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>
- Mendoza, D. (2017). Los repositorios digitales institucionales y el acceso abierto como herramienta de difusión de contenidos académicos. *Revista Espacio I+D Innovación Más Desarrollo*, 6(15), 73–99. <https://doi.org/10.31644/IMASD.15.2017.a05>
- Milgram, P., and Kishino, F. (1994). A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE Transactions on Information Systems*, 77, 1321–1329.
- Musk, E. [SpaceX]. (5 de septiembre de 2013). The future of design [Archivo de video]. Youtube. https://www.youtube.com/watch?v=xNqs_S-zEBY&t=7s
- MyMiniFactory. (s.f.). Página principal. <https://www.myminifactory.com/es>
- National Institute of Health [NIH]. (s.f.). The 3D Print Exchange (3DPX) is now NIH. <https://3d.nih.gov/>
- P3D. (s.f.). Página principal. <https://p3d.in/gallery/staffpicks>
- Park, H., Son, J. S., & Lee, K. H. (2008). Design evaluation of digital consumer products using virtual reality-based functional behaviour simulation. *Journal of Engineering Design*, 19(4), 359–375. <https://doi.org/10.1080/09544820701474129>
- Pérez, N. (2019). Aveniendo diseño y realidad virtual: Bóveda [Tesis de grado]. Universidad Carlos III de Madrid.

https://earchivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/29387/TFG_Nicolas_Salomone_Per ez.pdf?sequence=1

Perry, S. (2008). Wikitude: Android App with Augmented Reality: Mind Blow-Ing. Digital Lifestyles.

Pfeifer, M. (2009). Design Requirements. *Materials Enabled Designs*, 23–50. <https://doi.org/10.1016/b978-0-7506-8287-9.00002-1>

Prego. (30 de septiembre de 2020). Los errores más comunes en Design Thinking - Actitud Creativa. *Actitud Creativa*. <https://www.actitudcreativa.es/blog/2020/09/30/errores-alaplicar-design-thinking/>

Real Academia Española. (2024). *Diccionario de la lengua española*, 23.^a ed., [versión 23.7 en línea]. <https://dle.rae.es>

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).

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. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2016.11.001>

Rosenberg, L. (1993). The use of virtual fixtures to enhance telemanipulation with time delay. *Proceedings of the ASME Winter Annual Meeting on Advances in Robotics, Mechatronics, and Haptic Interfaces*, 49, 29–36.

Seichter, H. (2003). Augmented Reality Aided Design. *International Journal of Architectural Computing*, 4(1), 449-460. <https://papers.cumincad.org/data/works/att/ijac20031401.content.pdf>

Siddharta, R. (2005). Augmented reality tangible interfaces for CAD design review [Thesis Master]. Iowa State University. Ames, Iowa.

- Sketchfab. (s.f). The leading platform for 3D & AR on the web. <https://sketchfab.com/>
- Stroud, C. E., Wang, L. T. L. T., & Chang, Y. W. (2009). Introduction. *Electronic Design Automation*, 1–38. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-374364-0.50008-4>
- Sutherland, I. E. (1965). *The Ultimate Display. Multimedia: From Wagner to Virtual Reality*. New York, NY: Norton.
- Texier, J., De Giusti, M., Oviedo, N. F., Villarreal, G. L., & Lira, A. J. (2012). El Uso de Repositorios y su Importancia para la Educación en Ingeniería. In *WEEF 2012-Foro Mundial de Educación en Ingeniería-World Engineering Education Forum*.
- Thingiverse. (s.f.). Ultimaker Thingiverse. <https://www.thingiverse.com/>
- Thomas, B., Close, B., Donoghue, J., Squires, J., De Bondi, P., Morris, M., et al. (2000). ARQuake: an outdoor/indoor augmented reality first person application. *Digest of Papers. Fourth International Symposium on Wearable Computers*. Atlanta, GA: IEEE, 139–146. doi: 10.1109/ISWC.2000.888480
- Torres-Salinas, N. Robinson-García, and A. Cabezas-Clavijo. (2012). Compartir los datos de investigación en ciencia: introducción al data sharing. *Profesional de la Información*, 21(2), 173–184.
- Mendoza Morales, Luis E. (2016). Verificación Automática de Procesos Industriales Críticos con Automatas. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, 39(3),121-129.
http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-07702016000300004&lng=es&tlng=es.
- Tran, T., Foucault, G., & Pinquie, R. (2022). Benchmarking of 3D Modelling in Virtual Reality. *Computer-Aided Design and Applications*, 19(6), 1184–1190. <https://doi.org/10.14733/cadaps.2022.1184-1190>

- Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. (2003). *Product Design and Development*. McGraw Hill Education.
- Visure. (2018, August). Qué es la verificación de requisitos: definición y herramientas | Guía completa. Visure. <https://visuresolutions.com/es/blog/verificación-de-requisitos/>
- Vladic, G., Milic, N., Đurđević, S., Milošević, R. & Stančić, M. (2016). Integration of augmented reality into the CAD modeling and engineering drawing training of designers [Conferencia]. 8th International Symposium on Graphic Engineering and Design- GRID 2016, Novi Sad, Serbia. https://www.researchgate.net/publication/313860896_Integration_of_augmented_reality_into_the_cad_modeling_and_engineering_drawing_training_of_designers
- Vlah, D., Čok, V., & Urbas, U. (2021, August 18). VR as a 3D Modelling Tool in Engineering Design Applications. *Applied Sciences*, 11(16), 7570. <https://doi.org/10.3390/app11167570>
- Wrzesien, M., Alcañiz, M., Botella, C., Burkhardt, J. M., Bretón-López, J. & Ortega, M. (2013). The therapeutic lamp: treating small-animal phobias. *IEEE Comput. Graph.* 80–86. doi: 10.1109/MCG.2013.12
- Zhang, K., Kim, C., Daugherty, D. & Guo, K. (2016). #GetReal [Thesis to graduate]. GitHub. <https://github.com/kzhang8850/AugmentedReality/blob/master/Documents/FinalProjectProposal.pdf>
- Zhao, H. (2022). Coste del prototipo-La guía definitiva para tomar la mejor decisión. WellPCB. <https://placapcb.com/Coste-del-prototipo.html>

Apéndices

Los apéndices están adjuntos en la carpeta de *Apéndices*.