

DESARROLLO DE UN ENTORNO DE REALIDAD VIRTUAL (VR) BASADO EN UN LABORATORIO QUÍMICO DE LA UNIVERSIDAD SANTIAGO DE CALI



JUAN SEBASTIÁN SÁNCHEZ OSPINA
CHRISTIAN EDUARDO CANO VILLEGAS
JOHAN FELIPE GUAÑARITA CASTRO

Director del trabajo de grado
GUSTAVO ADOLFO ALOMIA PEÑAFIEL

Linea de Investigación
DESARROLLO DE SISTEMAS INFORMÁTICOS

Trabajo para optar al título
INGENIERO DE SISTEMAS

UNIVERSIDAD SANTIAGO DE CALI
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA DE SISTEMAS
SANTIAGO DE CALI
2023

Desarrollo de un entorno de Realidad Virtual (VR) basado en un laboratorio químico de la Universidad Santiago de Cali

Juan Sebastián Sánchez Ospina
juan.sacnhez15@usc.edu.co

Christian Eduardo Cano Villegas
christian.cano00@usc.edu.co

Johan Felipe Guañarita Castro
johan.guanarita00@usc.edu.co

Gustavo Adolfo Alomia Peñafiel
gustavo.alomia00@usc.edu.co

Universidad Santiago de Cali, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería de sistemas (1)
Universidad Santiago de Cali, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería de sistemas (2)
Universidad Santiago de Cali, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería de sistemas (3)
Universidad Santiago de Cali, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería de sistemas (4)

Resumen

El presente proyecto tiene como objetivo principal el desarrollo de un prototipo funcional de un laboratorio de química de la Universidad Santiago de Cali implementando realidad virtual (VR), el desarrollo busca la prevención de accidentes a causa de malas prácticas de prevención y manejo de reactivos de laboratorio, además de expandir los recursos académicos e investigativos en los espacios educativos. Este se divide en una guía general del correcto uso del laboratorio y dos salas experimentales (Medición de pH y conductividad calórica). El proyecto está dirigido normalmente a usuarios no diestros en laboratorios de química. A razón de esto se brinda una experiencia y noción realista en la presencia de uno, teniendo en cuenta las normas de bioseguridad en contexto de la institución. Para la realización del proyecto, se implementó la metodología MEDEERV (Metodología para el Desarrollo de Espacios Educativos de Realidad Virtual) y tomando elementos del proceso de "Design Thinking". MEDEERV se adaptó en cuatro pasos (Analizar los objetivos didácticos u académicos para las guías del uso del entorno, Diseñar la simbología y el espacio pertinente, Elaborar los detalles del escenario y las funcionalidades de cada uno y Probar el entorno de manera recurrente hasta obtener un resultado deseado), se menciona más detalle en la sección correspondiente. La propuesta de valor con el desarrollo del proyecto es la inmersión e interacción del usuario en primera persona involucrando una adaptación práctica de la digitalización de escenarios. Además, al ser un ambiente controlado, este no presentara ningún riesgo para el usuario.

Palabras Clave: realidad virtual, laboratorios, IOT, experiencia inmersiva, interacción humano computador, química.

Abstract

The main objective of this project is to develop a functional prototype of a chemistry laboratory at Santiago de Cali University implementing virtual reality (VR), the development seeks the prevention of accidents due to bad practices of prevention and management of laboratory reagents, in addition to expanding academic and investigative resources in educational spaces. This is divided into a general guide of the correct use of the laboratory and two experimental rooms (pH measurement and caloric conductivity). The project is normally aimed at non-skilled users in chemistry laboratories. This provides a realistic experience and notion in the presence of one, taking into account biosecurity standards in the context of the institution. For the realization of the project, the MEDEERV methodology (Methodology for the Development of Educational Spaces of Virtual Reality) was implemented and taking elements of the "Design Thinking" process. MEDEERV adapted in four steps (Analyze the didactic or academic objectives for the guides of the use of the environment, Design the symbology and the relevant space, Create the details of the scenario and the functionalities of each one and Assets the environment in a recurring way until obtaining a desired result), further details are mentioned in the relevant section. The value proposition with the development of the project is immersion and first-person user interaction involving a practical adaptation of the digitization of scenarios. In addition, being a controlled environment, this will not present any risk to the user.

Keywords: virtual reality, laboratories, Internet of things, immersive experience, Human computer interaction, Chemistry.

1. INTRODUCCIÓN

Es fundamental enfatizar la importancia de brindar una educación de calidad en el contexto de los planes de desarrollo en la gobernanza y el desarrollo sostenible, aprovechando las tecnologías de realidad virtual (VR). La educación moderna está adaptando las tecnologías emergentes como recursos para mejorar los métodos de enseñanza. (Guevara et al., 2020; Tlili et al., 2021)

Se han realizado estudios donde se evidencian los efectos positivos de un buen uso de las tecnologías de la información (TI), en la educación, satisfacer las numerosas dificultades de aprendizaje de los estudiantes (Chiu & Lim, 2020), ya sea facilitando el acceso a diferentes fuentes de información, difusión de conocimientos en grupos de estudio y mejorar los estándares de educación para ofrecer una mejor calidad a los estudiantes. (Castro Villalobos et al., 2019). A razón de esto, ha surgido la necesidad de generar entornos de aprendizaje innovadores con la capacidad de educar a los estudiantes teniendo en cuenta los requisitos de la sociedad. (Geitz et al., 2023) Los modelos deben contemplar la implementación de los modelos de aprendizaje basados en problemas y aprendizaje práctico. (Becerra, 2020)

El propósito de las TIC en la educación es mejorar los procesos del aprendizaje teniendo en cuenta las tecnologías modernas de la sociedad (Singh, 2021), que incentivan al docente a informarse sobre las mismas para así enriquecer el proceso de aprendizaje (Beyoglu et al., 2020). A razón de esto, se ha generado la necesidad de investigar sobre nuevos métodos de enseñanza que motiven a los estudiantes a cultivar el aprendizaje autodidacta. (Elsherbiny & H. Al Maamari, 2021) Debido a esto, recurren a la implementación de tecnología en el aula de clases, tal como la realidad virtual (VR). (Weng et al., 2018)

La VR brinda la posibilidad del desarrollo de experiencias de aprendizaje colaborativo e inmersivo, las cuales tendrán un impacto positivo en el estudiante permitiéndolo construir conocimiento a partir de escenarios simulados. (Ke et al., 2020) La inmersión hace referencia a la simulación de escenarios digitales a través de dispositivos específicos de visualización (HMD). (Ortega Rodríguez, 2022)

En el ámbito de la química se presentan complicaciones cuando se realizan actividades académicas e investigativas, como: comprender conceptos abstractos y aprendizaje basado en ensayo y error. (Hu-Au & Okita, 2021) Al analizar las ventajas que aporta la VR para enriquecer el proceso de aprendizaje de alumnos y docentes, se optó por el desarrollo de un entorno de VR basado en un laboratorio químico de la Universidad Santiago de Cali. Al implementar VR en este proyecto, se presentan algunos retos a cumplir como: La divulgación sobre el uso de tecnologías emergentes a estudiantes y docentes para disminuir la brecha digital y simulación en un ambiente virtual controlado, permitiendo a las personas obtener un conocimiento general de la disciplina de la química. (Melazco et al., 2022)

Identificación de los desafíos en el espacio educativo.

Los laboratorios de la institución promueven e incentivan el desarrollo de experimentos para ludificar las prácticas académicas e investigativas del estudiante y de los elementos necesarios para enriquecer el mismo, como: plataformas digitales, implementos de seguridad y señalizaciones. (Tisoglu et al., 2020) por medio de la Dirección General de Laboratorio (DGL). Causalmente los laboratorios tienen en cuenta las necesidades tecnológicas, del mercado y el valor de la experiencia por parte de los usuarios. (Gawor et al., 2021)

En este tipo de escenarios, la bioseguridad es fundamental ya que la comunidad al manipular reactivos sin supervisión puede conllevar a un accidente. (Yoon, 2021) Con el propósito de reducir estos eventos se establecen los estándares y normativas que se requieren en constante revisión y aplicación.

En el 2019, según CISPROQUIM se atendieron 11.182 accidentes químicos graves, el 82% corresponden a casos de intoxicaciones, el 18% restante hacen referencia a un mal uso de las herramientas electrónicas de los laboratorios, desinformación del uso general, manejo de sustancias químicas y vestimenta inapropiada para hacer uso de este.(Consejo Colombiano de Seguridad, 2021)

En los laboratorios químicos, la exposición es constante y la manipulación de material químico es necesario en varios sectores (Tziakou et al., 2023), lo que puede conllevar a riesgos de la salud y del medio ambiente, si los residuos no se tratan adecuadamente. (Housni et al., 2022) Por ello, se busca reducir las probabilidades de accidentes por el manejo indebido de materiales (Roturas de envase, evaporación incontrolada, trasvase de líquidos incorrecto y derrame de sustancias) ya que depende considerablemente de la disposición del personal en aplicar el reglamento y las políticas de los laboratorios de la institución, cuando se realicen estas actividades.(Housni et al., 2023)

Se propuso el desarrollo de un entorno de (VR) basado en un laboratorio químico de la Universidad Santiago de Cali para generar ventajas en el aprendizaje de la comunidad en cuestión, teniendo en cuenta que la realidad virtual, puede incentivar y promover la creatividad desarrollo para la resolución de problemas (Steele et al., 2019; Wronowski et al., 2019), su pensamiento abstracto y su probabilidad de éxito académico. (Zhao et al., 2023)

El objetivo de investigación es contribuir a la adopción de la realidad virtual (VR), como un medio para llevar a la comunidad estudiantil a satisfacer sus metas académicas e investigativas.(Beck, 2019), (Jiang et al., 2021) Para alcanzar el objetivo de la investigación, primeramente, se tiene que realizar una revisión exhaustiva de la literatura sobre lo que involucra el desarrollo e implementación de entornos virtuales educativos, luego de entender el contexto se sigue con diseñar el laboratorio virtual teniendo en cuenta las dimensiones espaciales de un laboratorio tradicional, posteriormente se busca el desarrollar elementos vitales para el funcionamiento que requiere un laboratorio de química como los instrumentos de medición, simbología de precaución, señalamiento de rutas de evacuación, botiquín, manejo de materiales, almacenamiento de sustancias químicas, entre otros. (Housni et al., 2023) Finalmente, el escenario del laboratorio virtual se sometió a una evaluación de las diferentes funcionalidades presentadas.

Para dar respuesta a la problemática expuesta, el presente proyecto identifico la siguiente pregunta investigativa: ¿Cómo implementar un entorno virtual en los espacios educativos de química general en la universidad Santiago de Cali?

Propósito de la investigación y sustentación para el desarrollo del entorno virtual de química general.

La Universidad Santiago de Cali por medio de la DGL, presentan un gran interés en poseer laboratorios que satisfagan al estudiante y enriquezcan el proceso de aprendizaje, en este caso las prácticas relacionadas al campo de la química. (USC Laboratory, 2023) Los estudiantes y docentes deben seguir ciertos procedimientos y reglas establecidas para proveer un entorno de trabajo seguro, proteger al personal de lesiones y prevenir daños al laboratorio. (Aliyo & Edin, 2023)

El proyecto que se está abordando tiene como propósito implementar un Ambiente Virtual de Aprendizaje (AVA) aplicado en el campo de la química. Un AVA nos brinda la facilidad del desarrollo de actividades fuera del aula de clases, lo cual hace que el estudiante le dedique más horas de estudio y entren en estudio dos tipos de aprendizaje: Basado en problemas y practico.(Kobayashi, 2021)

En las asignaturas del área de química priman las metodologías de estudio (Aprendizaje basado en problemas y Aprendizaje Practico). El aprendizaje basado en problemas (PBL) se basa en el manejo y resolución de problemas realistas de manera individual y en conjunto (Biello et al., 2020), y el aprendizaje practico, tiene como propósito que el usuario construya conocimiento a través de situaciones realistas, es decir, el aprendizaje practico se basa en el empirismo. (Shi et al., 2019)

Gracias a la revisión de la literatura, en México, Puebla, en la Universidad Autónoma de Puebla, en la facultad de ciencias químicas se realizó un proyecto que tenía como propósito investigar el impacto académico que tendrían al hacer uso de herramientas virtuales de aprendizaje en las asignaturas de química. Para medir el impacto de dichas herramientas, hubo

dos grupos de estudiantes, el primer grupo basaba su proceso de aprendizaje en las herramientas virtuales con pocas sesiones presenciales y el segundo grupo, su proceso de aprendizaje estaba basado netamente en las sesiones presenciales. (Aguilar Carrasco & AGUILAR CARRASCO, 2020)

Objetivo General

Desarrollar un entorno de realidad virtual basado en un laboratorio químico de la Universidad Santiago de Cali, para permitir a la comunidad santiaguina, adquirir ventajas en el aprendizaje, a través de la interacción de elementos virtuales en sus respectivas actividades académicas.

Objetivos Específicos:

- Analizar la literatura sobre la implementación de tecnologías de realidad virtual en la educación.
- Diseñar el entorno virtual del laboratorio teniendo en cuenta las dimensiones espaciales.
- Elaborar los elementos virtuales en zonas claves del laboratorio para la realización de interacciones.
- Evaluar los escenarios y funcionalidades del laboratorio virtual.

El propósito de este documento es proporcionar una visión general sobre los efectos de la transformación digital aplicada en la disciplina de la educación y demostrar los diferentes beneficios de la implementación de realidad virtual en un laboratorio de química en la Universidad Santiago de Cali. Este documento está organizado de la siguiente manera: La sección 2 y 3 hacen énfasis en la ejecución de nuestra metodología para obtener resultados de estudio, la sección 4 explica la conexión existente entre los procedimientos y los resultados obtenidos y finalmente la sección 5 hace referencia a las conclusiones del proyecto.

2. MATERIALES Y MÉTODOS/METODOLOGÍA

DISEÑO Y POBLACIÓN DE ESTUDIO

La presente investigación tiene un enfoque descriptivo. Al identificar el propósito de las encuestas, el cual fue conocer la situación actual de como los estudiantes y docentes siguen el protocolo de seguridad y buen manejo dentro del laboratorio de química para la realización de sus respectivas practicas académicas e investigativas, conocer la disponibilidad de los interesados para hacer uso del laboratorio virtual, conocer la percepción sobre la efectividad de los métodos de enseñanza tradicionales y finalmente, se realizó una interpretación de dichos datos para así conocer y definir las necesidades de nuestro público objetivo, los cuales son los estudiantes principiantes en el uso de un laboratorio de química.

INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

Los instrumentos de medición que se utilizaron en el presente proyecto fueron: Encuestas descriptivas, con el propósito de definir nuestro público objetivo, establecer el nivel de conocimientos sobre el uso de un laboratorio de química y determinar el nivel de familiaridad de los estudiantes con respecto a tecnologías emergentes e inmersivas.

Entrevistas con expertos, se realizó una entrevista al docente de química Jimmy Alexander Morales Morales, nuestro guía en el tema de la química, el cual nos proporcionó información sobre la simbología interna del laboratorio y el paso a paso de los experimentos básicos de química.

Design Thinking, dicho proceso se utilizó para definir el diseño de nuestro laboratorio a través de su proceso creativo. Reuniones con los Stakeholders (director de trabajo de grado y guía en el campo de la química), para mantenerlos al tanto sobre los cambios que se van presentando en el desarrollo del proyecto, para así obtener una retroalimentación por parte de ellos.

Finalmente, pruebas internas al sistema referente a las gafas de realidad virtual y el mapeo de coordenadas del mando para ejecutar las funciones del aplicativo.

FASES DE DESARROLLO

Para el presente proyecto al hacer uso de la realidad virtual se optó por la implementación de la metodología MEDEERV (Metodología para el Desarrollo de Espacios Educativos de Realidad Virtual), a continuación, se realiza una breve descripción de las etapas de desarrollo:

Etapas de Análisis de Necesidades: En esta fase se realizaron las encuestas descriptivas con el propósito de definir nuestro público objetivo, determinar el nivel de conocimientos sobre el uso de un laboratorio de química con sus respectivas normas de bioseguridad y conocer el nivel de familiaridad de los estudiantes con respecto a tecnologías emergentes e inmersivas.

Etapas de Diseño Sistemático de la Instrucción: Para el desarrollo de nuestro diseño, se hizo uso de la herramienta del Design Thinking, el cual es un proceso analítico y creativo que involucra a las personas a experimentar, prototipar, recopilar comentarios y prototipar modelos, teniendo como motores principales la motivación en equipo, la creatividad y la innovación. (Thompson & Schonthal, 2020)

Etapas de Diseño Funcional del Mundo Virtual: Para el desarrollo del proyecto, se identificaron dos tareas esenciales, el modelado 3D de nuestro laboratorio virtual de química con sus respectivos instrumentos y el motor gráfico el cual será Unity, que tiene como propósito la programación de los eventos y todas las funcionalidades a cubrir en nuestro laboratorio virtual.

Etapas de implementación: Esta fase consiste en la corrección de fallas presentadas e implementación de mejorar en

el sistema, como es la corrección de bugs de programación u optimización del sistema, es decir, evaluar la conexión de las gafas de realidad virtual con el entorno virtual, además de mapear y evaluar las coordenadas de movimiento en un mando de movimiento, para así ofrecer un gran nivel de inmersión al estudiante.

3. DESARROLLO METODOLOGÍA

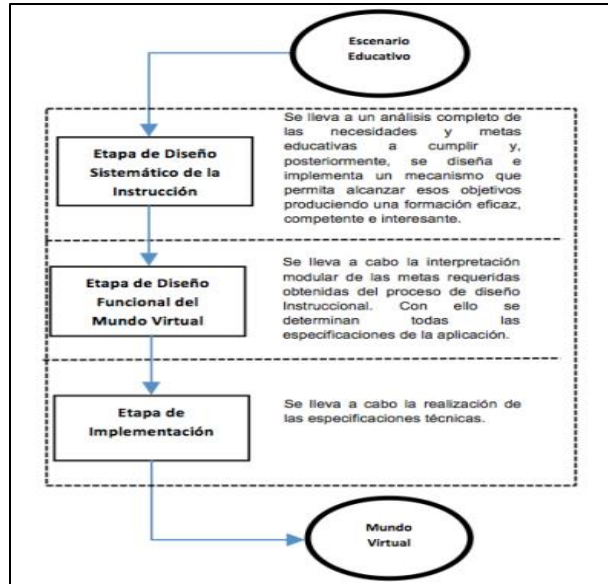
ETAPA DE ANALISIS DE NECESIDADES

En esta fase se realizarán métodos de recopilación de información importante para identificar a nuestro público interesado (Stakeholders), para reconocer el contexto y las necesidades de la población, necesaria para la construcción de los requerimientos y posteriormente para desarrollar el sistema. El objetivo para cumplir en la presente fase es analizar la literatura sobre la implementación de realidad virtual en la educación. En primera instancia se realizó una revisión de la literatura sobre la Dirección General de Laboratorios (DGL) de la Universidad Santiago de Cali para conocer su historia, objetivos, Misión, visión, planes e informes y estructura funcional. Por otro lado, también se investigó sobre los Sistemas de Gestión de Calidad para el mejoramiento constante en la calidad del servicio prestado y garantizar las mejores condiciones para los usuarios, el portafolio de servicios, al ser la universidad una Unidad Prestadora de Servicios Externos, debe contar con laboratorios competitivos, certificados y con servicios específicos que respondan a las necesidades de la región y finalmente, su reglamentación y normatividad, pautas regulatorias del comportamiento de los usuarios y del buen uso de los equipos y materiales. Dicha información fue obtenida de la página web oficial de la universidad en el apartado **LABORATORIOS**.

En segunda instancia, se realizó una entrevista a un experto, la cual nos aporta información valiosa sobre aspectos técnicos o experiencias vividas en un campo de estudio. Dicha entrevista se le realizó al docente Jimmy Alexander Morales Morales, el cual fue nuestro guía en el campo de la química en cuanto a los aspectos técnicos del proyecto. Al docente Jimmy se le presentó una ficha técnica del proyecto para ofrecerle una visión general para así obtener una retroalimentación de este. Una de las recomendaciones del experto fue la implementación de las señalizaciones de riesgos internas en un laboratorio de química, con el propósito de evitar algún tipo de accidente para los usuarios y también, información general de la realización de experimentos básicos paso a paso para comenzar en el estudio de la química. Cabe destacar que la propuesta de valor con el desarrollo del proyecto es la implementación de la tecnología de realidad virtual, la cual le brinda al usuario un cierto nivel de inmersión dentro del entorno y así un mayor nivel de familiaridad con el mundo laboral y educativo. Además, al ser un ambiente controlado, este no presentara ningún riesgo para el usuario.

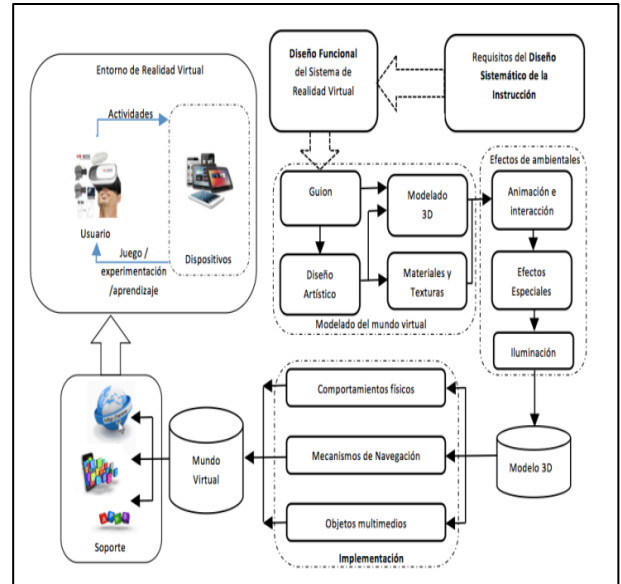
Finalmente, se realizaron encuestas descriptivas con el propósito de definir nuestro público objetivo, determinar el nivel de conocimientos sobre el uso de un laboratorio de química con sus respectivas normas de bioseguridad y conocer el nivel de familiaridad de los estudiantes respecto a tecnologías emergentes e inmersivas. Dichas encuestas se realizaron vía Microsoft Form y fueron compartidas a nuestro público objetivo a través de su correo institucional.

Figura 1
Metodología MEDEERV



Nota. Fases de la metodología MEDEERV para el desarrollo del proyecto

Figura 2
Subsecciones Metodología MEDEERV



Nota. Subsecciones de la metodología MEDEERV

ETAPA DE DISEÑO SISTEMÁTICO DE LA INSTRUCCIÓN

La presente fase tiene como propósito determinar el diseño interior del laboratorio de química, para lo cual se optó por el proceso **DESIGN THINKING**, el cual se basa en cinco fases (Empatizar, Definición, Ideación, Prototipado y Testeo) y sus respectivas técnicas para el desarrollo de dichas fases. El objetivo para cumplir en la presente fase es diseñar el laboratorio virtual teniendo en cuenta las dimensiones espaciales con sus respectivos instrumentos de trabajo.

Para el desarrollo de la fase **EMPATIZAR**, se basó en la revisión a la literatura sobre la DGL de la Universidad Santiago de Cali en su página web oficial y también se recolectó información por medio de la entrevista realizada al docente Jimmy Alexander Morales Morales, donde se obtuvo información sobre la normatividad y reglamentación del laboratorio de química, herramientas de trabajo que conforman un laboratorio, simbología para la prevención de accidentes y su respectivo sistema de gestión de calidad.

Al obtener una comprensión de nuestro contexto de investigación y las necesidades del público objetivo, se continúa con la fase de **DEFINIR**, donde nos enfocaremos en el reglamento y la normatividad, simbología presentada en el laboratorio de química, las diferentes herramientas y equipos utilizados en las prácticas académicas e investigativas y los accidentes más comunes dentro de un laboratorio de química. Al haber filtrado la información relevante para el desarrollo del laboratorio, se continúa con la fase de **IDEACION**, donde se realizaron fotos del laboratorio de química de la universidad para obtener una idea global del ambiente de trabajo y así modelar el laboratorio virtual.

Figura 3
Laboratorio de química de la USC



Nota. Foto de referencia para diseñar el laboratorio virtual de química.

Figura 4
Almacenamiento de reactivos



Nota. Foto de referencia sobre la unidad de almacenamiento de reactivos.

Figura 5
Sustancias inflamables y corrosivas



Nota. Foto de referencia sobre la simbología de las sustancias inflamables y corrosivas.

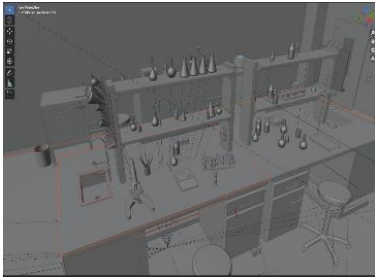
Al haber definido la información relevante y registrar el laboratorio de química de la USC para tener una base del diseño interior, se continua con el **PROTOTIPADO**, el cual consiste en comenzar a realizar bocetos de como seria el laboratorio virtual teniendo en cuenta dichas fotos. Finalmente, en la fase de **TESTEO**, es la encargada de validar el interior del laboratorio teniendo en cuenta el objetivo principal del proyecto y como se ve reflejado en el diseño, además, dicho modelo fue avalado por el docente Jimmy, donde se obtuvo una retroalimentación en cuanto a herramientas de trabajo que conforman un laboratorio de química y la correspondiente simbología que se debe de tener en cuenta en dicho espacio para evitar accidentes dentro de él.

ETAPA DE DISEÑO FUNCIONAL DEL MUNDO VIRTUAL

El propósito de la presente fase es el desarrollo del software teniendo en cuenta toda la información recolectada sobre el laboratorio de química en la fase de planeación, la cual se tuvo en cuenta para la realización del diseño del entorno virtual. Para la codificación del proyecto, nuestro principal pilar fue la simulación de procesos dentro de un entorno de trabajo, es decir, recrear el proceso del estudiante al hacer uso de un laboratorio de química para la realización de prácticas académicas e investigativas. Además, el laboratorio cuenta con la simbología correspondiente para evitar accidentes y así ofrecer un mayor grado de inmersión para el estudiante. El objetivo para cumplir en la presente fase es la programación de los elementos virtuales en zonas claves del laboratorio para la realización de interacciones.

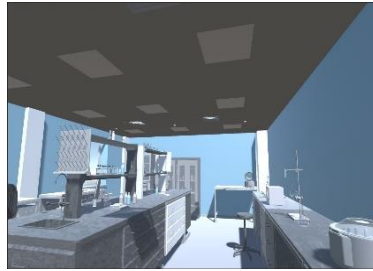
En el apartado del modelado 3D, se realizó por medio de la herramienta **BLENDER**, el cual es un software de animación, modelado y simulación 3D.(Blender, 2023) Dicha herramienta se utilizó para modelar todo el ambiente virtual de nuestro laboratorio de química con sus respectivos instrumentos como probetas, tubos de ensayo, almacenamiento de sustancias químicas, recipientes, entre otros. Cabe destacar que algunos modelados fueron implementados desde páginas web externas para agilizar el proceso de desarrollo del ambiente virtual. En cuanto al apartado del motor grafio **UNITY**, se utilizó para simular el proceso de los estudiantes al hacer uso de un laboratorio de química para sus prácticas académicas, además de brindar toda la información necesaria sobre acatar las normas de seguridad para evitar accidentes. Dicha simulación se realizó por medio de la programación de los diferentes eventos y funcionalidades presentes en el ambiente virtual.

Figura 6
Modelado del laboratorio en Blender



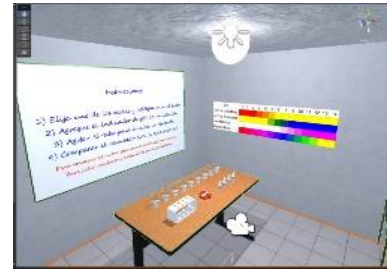
Nota. Modelado 3D del laboratorio en Blender

Figura 7
Vista general del laboratorio



Nota. Vista panorámica del modelado interno del laboratorio de química

Figura 8
Ejercicio de pH y reacciones químicas



Nota. Ejercicio de pH, coloración en líquidos y reacciones químicas

ETAPA DE IMPLEMENTACIÓN

Esta fase consiste en la corrección de fallas presentadas e implementación de mejorar en el sistema, como es la corrección de bugs de programación u optimización del sistema, es decir, evaluar la conexión de las gafas de realidad virtual con el entorno, además de mapear y evaluar las coordenadas de movimiento en un mando de movimiento, para así ofrecer un gran nivel de inmersión al estudiante. El objetivo para cumplir en esta fase es la evaluación del laboratorio virtual que satisfaga los requerimientos funcionales del sistema.

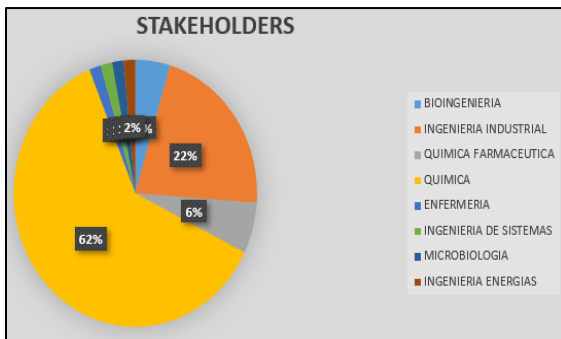
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

RESULTADOS

1. **Etapa de Análisis de Necesidades:** El objetivo a cumplir en la presente etapa era conocer mediante encuestas el nivel de conocimientos sobre el uso de un laboratorio de química y tecnologías emergentes e inmersivas, además de definir nuestro público objetivo, dicha meta se alcanzó con éxito gracias a la colaboración de los estudiantes los cuales nos colaboraron con la encuesta vía correo electrónico, que previamente fue compartida con sus respectivos directores de programas. A continuación, se mostrarán algunos resultados de la encuesta realizada: **(Los demás resultados están reflejados en el apartado de anexos, ANEXO C)**

Figura 9

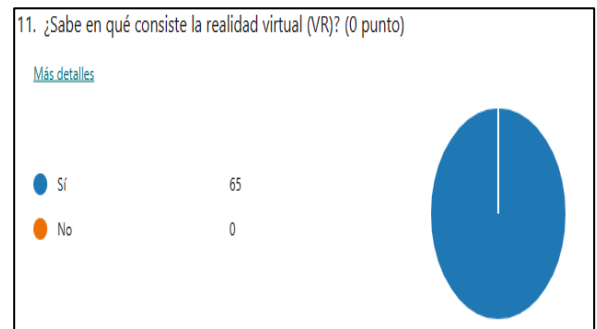
Grafica de estudiantes por programa de estudio



Nota. Frecuencia de estudiantes de los diferentes programas de estudio

Figura 10

Grafica sobre conocimiento de realidad virtual



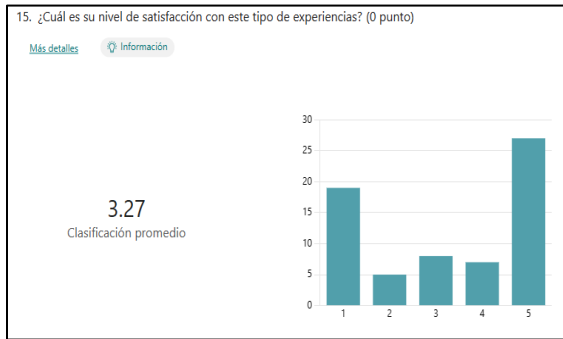
Nota. Grafica donde se visualiza la frecuencia de estudiantes que conocen el termino de realidad virtual

Análisis: Según los resultados, en la figura 9 se observó que los más interesados en el proyecto son los estudiantes de Química con un 62%, seguido de los de Ingeniería Industrial con un 22%, un 6% de estudiantes de química farmacéutica y un 10% formado con los programas de Bioingeniería, enfermería, ingeniería de sistemas, microbiología e ingeniería en energías. En cuanto a la figura 10, se presentó un 100% de que los estudiantes tienen conocimiento sobre la realidad virtual.

Interpretación: Se puede determinar que una gran parte de los interesados en el proyecto fueron los estudiantes de del programa de Química, que era uno de los resultados esperados. En cuanto a la figura 10 se puede determinar que todos los encuestados tienen conocimiento sobre el concepto de realidad virtual, lo cual se entienden que conocen el funcionamiento de dicha tecnología y los beneficios que le pueden ofrecer a la educación.

Figura 11

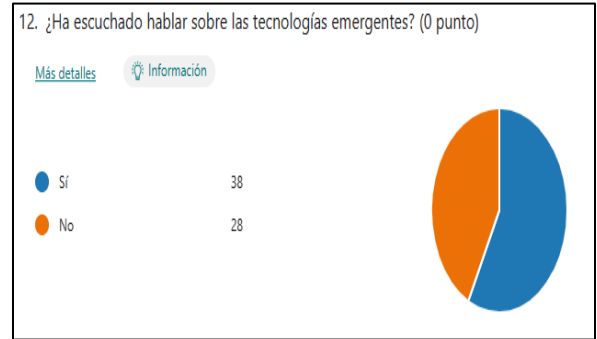
Grafica sobre el nivel de satisfacción con experiencias inmersivas



Nota. Frecuencia de estudiantes que han vivido una experiencia inmersiva

Figura 12

Grafica sobre conocimiento de las tecnologías emergentes



Nota. Frecuencia de estudiantes que conocen el termino de tecnología emergente

Analisis: Según los resultados, en la figura 11 se observó una clasificación promedio de 3,27, en una escala de Likert, donde 1 es pésimo y 5 excelente, en la presente figura se presentó que un 29% de estudiantes tuvieron una pésima experiencia inmersiva, un 8% donde se observó una mala experiencia, 12% donde fue una experiencia neutral, 11% de estudiantes manifestaron que obtuvieron una buena experiencia de realidad virtual y finalmente, 41 % de los estudiantes obtuvieron una excelente experiencia de realidad virtual. En cuanto a la figura 12 un 58% de estudiantes encuestados conocen el termino de tecnología emergente.

Interpretación: Se puede determinar que en la gráfica 11 se obtuvo un promedio de 3,27, una calificación regular, se puede inferir que la realidad virtual al ser una tecnología poco asequible para el uso doméstico, muchos estudiantes no han tenido la oportunidad de probar dicha tecnología a causa de los pocos espacios que existen. Por otro lado, muchos estudiantes han tenido la oportunidad de probar y experimentar tecnologías inmersivas en algún lugar público, ya sean centros comerciales, conventos de tecnologías o la universidad. A razón de esto los picos más sobresalientes en la figura son pésimas y excelentes experiencias. En cuanto a la figura 12, casi la mitad de los estudiantes no conocen el termino de tecnología emergente, puede ser debido a que desconocen el origen de las tecnologías comerciales, es decir, el proceso al que se tiene que someter una nueva tecnología para convertirse en una tecnología comercial.

2. **Etapa de Diseño Sistemático de la Instrucción:** El objetivo que se cumplió en la presente fase fue diseñar el interior del laboratorio en base al laboratorio físico de la universidad con sus respectivos instrumentos de trabajo, dicha meta se cumplió bajo la herramienta de Design Thinking, la cual se utilizó para plasmar el proceso creativo del diseño interior del laboratorio. A continuación, se evidencia dicho proceso:

Figura 13

Proceso creativo Design Thinking



x1

Nota. Proceso creativo del diseño interior del laboratorio de química

- **Comparación de escenarios**

El presente proyecto al ser un laboratorio virtual se basó en el laboratorio físico de la universidad Santiago de Cali para obtener nuestro modelado digital. Dicho modelado se basó principalmente en la herramienta de Design Thinking donde tuvo como idea principal visitar el lugar físico para la toma de fotos las cuales fueron de ayuda para la construcción del laboratorio virtual, en la sección del diseño en la metodología se explica más detalladamente. A continuación, se evidencia la comparación de los laboratorios.

1. VISTA GENERAL DEL LABORATORIO

Figura 14

Vista general laboratorio físico



Nota. Laboratorio físico.
Elaboración propia

Figura 15

Vista general laboratorio virtual



Nota. Laboratorio virtual.
Elaboración propia

2. MESAS DE TRABAJO

Figura 16

Mesas de trabajo físicas



Nota. Mesas Laboratorio físico.
Elaboración propia

Figura 17

Mesas de trabajo virtuales



Nota. Mesas Laboratorio virtual.
Elaboración propia

3. ESTANTE DE REACTIVOS

Figura 18

Estante de reactivos físico



Nota. Estante de reactivos físico.
Elaboración propia

Figura 19

Estante de reactivos virtual



Nota. Estante de reactivos virtual.
Elaboración propia

4. SECCIÓN DE EXPERIMENTOS

Figura 20

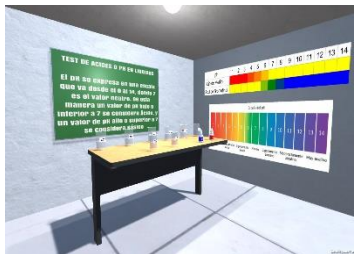
Sección de experimentos física



Nota. Sección de experimentos física.
Elaboración propia

Figura 21

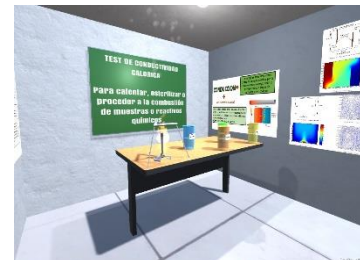
Medición de pH



Nota. Medición de pH.
Elaboración propia

Figura 22

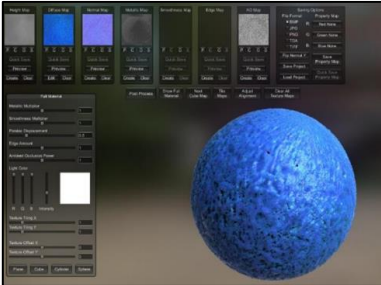
Conductividad Calórica



Nota. Conductividad Calórica.
Elaboración propia

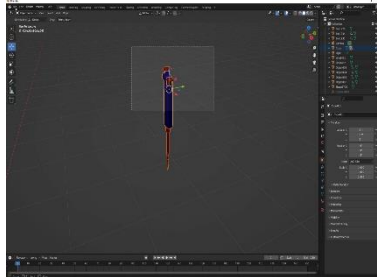
3. **Etapas de Diseño Funcional del Mundo Virtual:** Para la programación de eventos y funcionalidades se realizó por medio del motor gráfico Unity, dichas funcionalidades están plasmadas en los requerimientos funcionales y no funcionales del sistema (Anexo B). A continuación, se refleja la programación de ciertos aspectos del laboratorio virtual con sus diferentes funcionalidades:

Figura 23
Creación de materiales



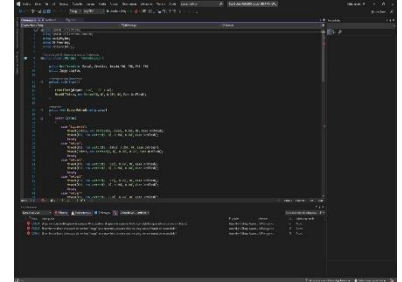
Nota. Proceso de creación de materiales en Unity.

Figura 24
Creación de interfaz grafica



Nota. Proceso de creación de las herramientas de trabajo del laboratorio

Figura 25
Programacion de funcionalidades



Nota. Programacion de funcionalidades y eventos.

- 4. Etapa de implementación:** Para la fase final, se realizaron pruebas al sistema para evaluar su comportamiento de acuerdo con las funcionalidades descritas anteriormente. Dichas pruebas tienen como objetivo revisar el sistema con un enfoque holístico observando que todos los casos de uso se cumplan a cabalidad, a continuación, se evidencian las pruebas realizadas al sistema:
 - **Pruebas de caja blanca:** Dichas pruebas tienen como objetivo garantizar la calidad del software, verificando los comportamientos de los componentes.

❖ Reconocimiento de la aplicación

La siguiente prueba tiene como objetivo validar nuestro laboratorio virtual con las gafas de realidad virtual HTC VIVE con sus respectivos mandos de interacción con el entorno virtual.

Figura 26
Gafas de realidad virtual HTC VIVE



Nota. Gafas de realidad virtual HTC VIVE para la visualización del laboratorio virtual.

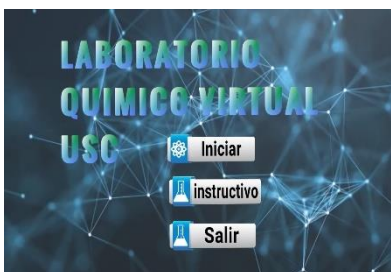
Figura 27
Mandos de interacción HTC VIVE



Nota. Mandos de interacción HTC VIVE para controlar los movimientos del personaje dentro del laboratorio.

Figura 28

Menú principal laboratorio virtual



Nota. Menú principal de la aplicación del laboratorio virtual.

Figura 29

Modo VR del laboratorio virtual



Nota. Vista VR del laboratorio virtual en las gafas HTC VIVE por medio de SteamVR.

❖ Pruebas de usuario

La siguiente prueba consiste en realizar una correcta conexión de la aplicación con las gafas HTC y un VideoWall, para obtener una retroalimentación por parte del usuario. Ya realizada dicha conexión se debe observar la vista del usuario en un pc para obtener una vista global para usuarios ajenos a las gafas de realidad virtual.

Figura 30

Pruebas de usuario

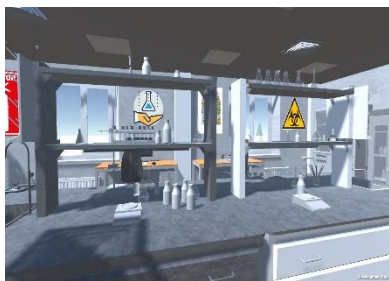


Nota. Transmisión exitosa de la visión de las gafas de VR a un VideoWall para obtener una retroalimentación del usuario

❖ Prueba de renderizado del modelado 3D del laboratorio.

Dicha prueba tiene como propósito observar el renderizado de los objetos 3D del laboratorio para así evaluar la calidad de estos y que tanta influencia tiene en la usabilidad.

Figura 31
Renderizado Laboratorio principal



Nota. Buen Renderizado de los objetos 3D del laboratorio principal.

Figura 32
Renderizado laboratorio pH

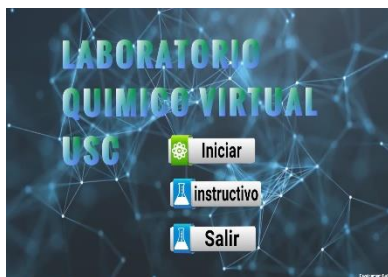


Nota. Buen renderizado de los objetos 3D del laboratorio de pH.

❖ Prueba de interacción con botones virtuales.

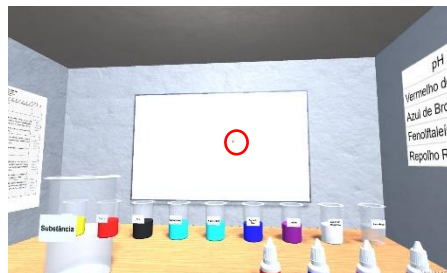
La siguiente consiste en evaluar el tiempo de respuesta de los botones al establecer una interacción con el usuario.

Figura 33
Botones Menú Inicio



Nota. El tiempo de respuesta de los botones es inmediato, menos de 1 segundo la respuesta

Figura 34
Interactuar con los objetos



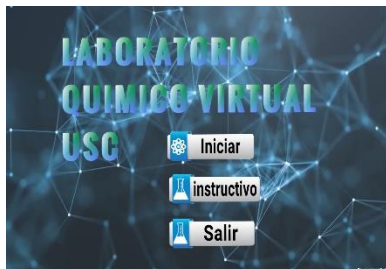
Nota. El punto rojo sirve para la interacción con los objetos del laboratorio, el tiempo de respuesta es de menos de 1 segundo.

- **Pruebas de caja negra:** Dichas pruebas tienen como objetivo verificar el comportamiento y funcionamiento del aplicativo, es decir, validar la interacción con el resultado que se obtiene. (funcionamiento de botones, despliegue de información, activación de animaciones)

❖ Botones de selección del menú principal

La siguiente prueba tiene como propósito validar los botones del menú principal que tengan su direccionamiento correspondiente.

Figura 35
Inicio Aplicación



Nota. Menú principal al iniciar la aplicación.

Figura 36
Botón Instructivo



Nota. Resultado al interactuar con el botón **Instructivo**.

Figura 37
Botón Iniciar



Nota. Resultado al interactuar con el botón **Iniciar**.

Figura 38
Botón Ver antes de entrar



Nota. Resultado al interactuar con el botón **Ver antes de entrar**.

Figura 39
Botón Laboratorio



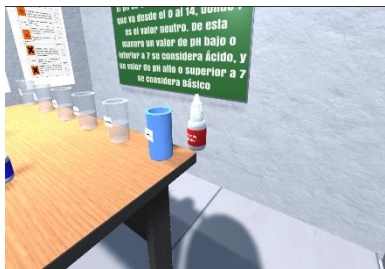
Nota. Resultado al interactuar con el botón **Laboratorio**.

❖ Funciones del laboratorio de fluidos y conductividad calórica

El objetivo de la siguiente prueba es validar las diferentes funciones con las que cuenta el laboratorio de fluidos y el de conductividad calórica, como sería agarrar objetos para combinarlos y obtener una nueva mezcla o poner en contacto dichas mezclas con el fuego.

Figura 40

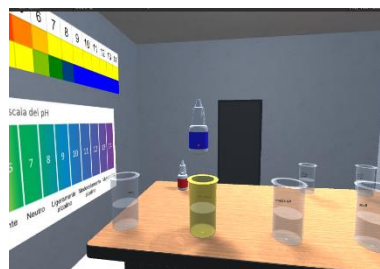
Funciones laboratorio de fluidos



Nota. Resultado de agarrar Rojo de metilo y mezclarlo con jabón, resultado, mezcla de color azul.

Figura 41

Funciones laboratorio de fluidos



Nota. Resultado de agarrar Azul de Bromotimol y mezclarlo con agua dulce, resultado, mezcla de color amarillo.

Figura 42

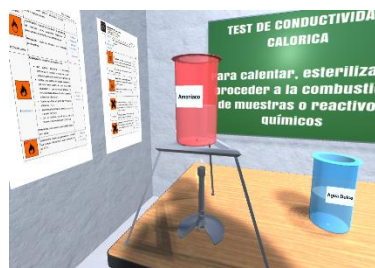
Laboratorio de conductividad calórica



Nota. Resultado de validar la función de agarrar la sustancia **Amoniaco** o alguna otra sustancia.

Figura 43

Laboratorio de conductividad calórica



Nota. Resultado de poner en contacto el amoniaco en un mechero, al hacer contacto el amoniaco cambia a color rojo.

DISCUSIÓN

La construcción de espacios virtuales dedicados a la enseñanza ha tenido un crecimiento exponencial en los últimos años (Tamar et al., 2022), en especial en disciplinas donde la praxis es un pilar fundamental en la demostración de conceptos teóricos, como pueden ser la medicina, química, ingeniería, arquitectura, entre otros (Leser, 2022). Para el diseño de dichos espacios es necesario abordar una investigación teniendo como punto de referencia al estudiante, ya que es el principal implicado en el uso del sistema (Maier et al., 2022).

Como se comentó en el presente trabajo, en el proceso de desarrollo del laboratorio virtual de química se realizaron encuestas para definir nuestro Stakeholders y establecer el nivel de familiaridad con respecto a la realidad virtual. Uno de los resultados esperados y que se cumplió fue que la mayoría de las encuestas respondidas fueron estudiantes de química con un 62%, lo que da a entender que tienen un gran interés en la realización del proyecto al ser los principales implicados. Por otra parte, se observó un 22% por parte de los estudiantes de ingeniería industrial, bastante sorprendente dicho resultado, ya que a priori no dedican tanto tiempo en estar en un laboratorio de química.

Finalmente, el 16% se divide en dos grupos, por un lado, programas relacionados con el uso de los laboratorios de química (bioingeniería, química farmacéutica y microbiología), no se vieron fuertemente reflejados en los resultados de las encuestas con un 14%, y por el otro lado, un 2% relacionado con ingeniería de sistemas y energías, que se puede interpretar que son disciplinas que no tienen mucha relación con la química, pero los estudiantes quieren conocer una visión general del laboratorio de química de sus prácticas, normativas e instrumentos de trabajo.

Como se mencionó, la elaboración del diseño se basó en una observación del espacio físico por medio de fotos y en encuestas para conocer que practicas e instrumentos de trabajo se utilizan constantemente. En cuanto a la observación del espacio se pueden observar duchas para solventar accidentes químicos, vitrinas de bioseguridad, balanzas, neveras con sustancias y computadores. Por medio del apartado de la comparación de escenarios, ofrece ambas vistas (espacio físico y virtual) para una fácil comprensión por parte del lector, además se puede observar una gran similitud entre dichos espacios (Vista general del laboratorio, mesas de trabajo, estante de reactivos y sección de experimentos), es decir, se cumplió con uno de los objetivos del proyecto, diseño virtual del laboratorio teniendo como base el laboratorio físico.

En cuanto a las practicas que se realizan con mayor frecuencia dentro del laboratorio se evidencio que dedican gran tiempo al reconocimiento general del espacio de trabajo con su respectiva normatividad (**VER ANEXO C**), es importante mencionar que la Universidad Santiago de Cali cuenta con sus manuales de seguridad que todo estudiante relacionado con el uso de laboratorios debe leer, en las encuestas se reflejó un 14% que desconocen dichas guías, se puede suponer que son estudiantes nuevos o simplemente las desconocen.

Otro de los resultados que nos pareció interesante para discutir es que en la pregunta de que si conocen el concepto de tecnologías emergentes, para sorpresa de la investigación, se vio reflejado que un 43% no han escuchado hablar del término, en cambio en la pregunta de que si conocen la realidad virtual hubo un 100% de respuesta positiva, esto se puede interpretar como que la mayoría de estudiantes conocen tecnologías que tuvieron cierto tiempo de evolución para mantenerse en el mercado con evolución constante (Dorn et al., 2022), en cambio desconocen el origen y objetivo de dichas tecnologías.

Cabe destacar que, para vivir una experiencia de realidad virtual de la manera más inmersiva posible, es necesario contar con la tecnología adecuada, a razón de esto uno de los resultados a discutir es el nivel de satisfacción de los estudiantes con las experiencias inmersivas con una calificación promedio de 3,27, esto se debe a que casi la mitad de los estudiantes conozcan la tecnología de realidad virtual mas no han tenido la oportunidad de vivir este tipo de experiencias, porque al ser una tecnología que requiera bastante inversión económica, son pocos espacios que cuenta con dicha tecnología. En cambio, la otra mitad que han obtenido una excelente experiencia es porque se han encontrado con espacios propicios para ofrecer este tipo de experiencias como son las universidades, centros comerciales, eventos de tecnología, entre otros.

El presente proyecto al implementar la realidad virtual en el campo de la educación, esta ofrece una gran cantidad de beneficios para los estudiantes, como es la simulación de escenarios fuera de riesgos, comprensión de temas abstractos, aumentar la motivación para el aprendizaje, entre otros. Gracias a esto se están generando ambientes de aprendizaje virtuales, donde por medio de internet se crean comunidades entre estudiantes e instituciones para la construcción de conocimiento (Oliver & Oliver, 2022). En cuanto a la implementación de realidad virtual, esta ofrece a los usuarios un alto nivel de inmersión dependiendo de los dispositivos que se cuenten, con gafas de realidad virtual es suficiente para vivir una experiencia realista. En el caso de la química, los ambientes virtuales son un factor importante a tener en cuenta, ya que en dicha disciplina se presentan constantes accidentes en la manipulación de objetos, vestimenta inadecuada o desinformación general del uso de un laboratorio. (Consejo Colombiano de Seguridad, 2021) Con los ambientes virtuales, dichos accidentes se anulan ya que al ser un ambiente controlado no presentara ningún riesgo para el estudiante.

5. CONCLUSIONES

En la presente investigación se realizó un análisis exhaustivo con respecto a la implementación de realidad virtual en la educación, donde la información se sintetizó en ventajas y retos a cumplir que involucra dicha tecnología en ambientes educativos dependiendo de la aceptación del consejo superior. En contexto de literatura relacionada, depende de la preparación y supervisión adecuada de la docencia en direccionar la realidad virtual como recurso efectivo para el aprendizaje, por consiguiente, que contribuya a mantener la participación activa de los estudiantes de la Universidad Santiago de Cali.

Al momento de hablar de realidad virtual, quedo evidenciado los beneficios que ofrece al campo de la educación (Allcoat et al., 2021), en este caso, al programa de Química y el gran nivel de familiaridad que tienen los estudiantes sobre dicha tecnología y sobre cómo debe usarse correctamente un laboratorio de química. Destaca también la importancia de implementar laboratorios virtuales en la Universidad Santiago de Cali por ahorrar dinero para el mantenimiento de estos espacios o seguir impulsando la transformación digital de la universidad (Correani et al., 2020). Los laboratorios virtuales enfocados a la química tienen un gran impacto positivo en la comunidad educativa, ya que al tratarse de una disciplina que maneja conceptos abstractos, presentan un desafío para ser comprendidos por el estudiante (Yazici & Nakiboğlu, 2023). A razón de lo expuesto, con ayuda de las TIC, en especial con la realidad virtual, se logró crear una conexión entre la teoría y las prácticas académicas e investigativas, teniendo como objetivo que el laboratorio virtual no sea un reemplazo de los laboratorios físicos tradicionales, con miras a que sea un recurso de aprendizaje para generar interés, la motivación y el desarrollo correcto de los conocimientos químicos. (Gnesdilow & Puntambekar, 2022)

A la hora de realizar la presente investigación, quedó en evidencia que nuestro público objetivo no está familiarizado con el concepto de **tecnologías emergentes**, donde la transformación digital es constante, es importante estar al pendiente de dichas tecnologías y reflexionar de como sería de relevante aplicarlos en los campos de estudio (Beumer, 2019). A razón de esto en escuelas y empresas están actualizadas respecto a estas tecnologías, las personas que no estén al margen de estas tecnologías están desconectadas del mundo digital en el que vivimos. Por otro lado, la totalidad de nuestros Stakeholders si comprenden el concepto de la realidad virtual, esto se puede interpretar que, con el paso del tiempo, las tecnologías emergentes paulatinamente van siendo relevantes en el mercado laboral, esto hace referencia al Hype Cycle de Gartner, lo cual nos brindan una representación gráfica de la madurez y la adopción de tecnologías y aplicaciones. (Jang et al., 2021)

Uno de los aspectos positivos de este proyecto es que se diseñó el laboratorio virtual teniendo en cuenta las dimensiones espaciales, ya que para definir el diseño de laboratorio y sus diferentes funcionalidades, se basó en fotos a un laboratorio tradicional y en las encuestas a los estudiantes, el resultado se interpretó como positivo ya que se obtuvo una gran cercanía al laboratorio físico con sus herramientas más elementales y a las actividades que se realizan en él. En las encuestas se observa que realizan pruebas tanto simples como complejas, gracias a las respuestas de los estudiantes y la información presentada, se establecieron las prácticas a implementar con su respectiva guía.

Cabe destacar que para el desarrollo del laboratorio virtual se alcanzó el objetivo teniendo como referencia fundamental de la simulación de procesos dentro de un entorno educativo, es decir, se recreó el proceso en primera persona, al hacer uso del laboratorio de química con fines de práctica académica. Se pudo observar qué herramientas son indispensables en un laboratorio y por medio de las encuestas, se ejemplificaron conceptos que se consideran elementales para comenzar en la disciplina de la química, como la medición de pH y Conductividad calórica. Debido a esto, las funcionalidades desarrolladas son acordes a los estudiantes poco experimentados en el uso adecuado de un laboratorio, dichas funcionalidades fueron programadas en el motor gráfico UNITY, donde facilitó la programación de diferentes eventos y la exportación al dispositivo de realidad virtual (HTC VIVE).

La realidad virtual ofrece inmersidad; que genera ambientes virtuales de aprendizaje (AVA), simulación de escenarios riesgosos y proporciona una forma divertida de aprender temas complejos. El proyecto implementó las gafas de realidad virtual HTC VIVE donde se visualiza en gran calidad el laboratorio virtual y los mandos de interacción para controlar los movimiento y funciones dentro del laboratorio, dicha solución tiene alto grado de satisfacción por parte del usuario, ya que,

al contar con un dispositivo de gama alta, se puede tener una experiencia de VR comfortable. A razón de esto, la realización de las pruebas unitarias al sistema se retroalimentó en revisión de grupo de trabajo, se verificaron todas las funciones exigidas en los requerimientos funcionales (**VER ANEXO B**) Otro punto para destacar la evaluación del sistema es que la conexión entre las gafas HTC y el laboratorio virtual es de fácil comprensión, ya que el proceso interno lo realiza STEAMVR. Además, se puede ofrecer una experiencia satisfactoria a la comunidad teniendo los periféricos con las funcionalidades requeridas.

En el transcurso del proyecto se evidenció toda la trazabilidad del mismo, donde la revisión de la literatura el entorno químico de la Universidad Santiago de Cali, elaboración del diseño del laboratorio virtual a partir de fotos del laboratorio físico, el software y dispositivos de realidad virtual HTC VIVE para la programación de las diferentes funcionalidades del laboratorio, teniendo como eje principal al usuario, porque con la solución se puede experimentar la inmersión de la realidad virtual en alta calidad, ya que la Universidad Santiago de Cali cuenta con la equipo pertinente para ofrecer este tipo de experiencias.

6. REFERENCIAS

- Aguilar Carrasco, L. A., & AGUILAR CARRASCO, L. A. (2020). *Incorporación de ambientes virtuales de aprendizaje en química. Un caso para enseñar química analítica.*
- Aliyo, A., & Edin, A. (2023). Assessment of Safety Requirements and Their Practices Among Teaching Laboratories of Health Institutes. *Microbiology Insights*, 16, 11786361231174414. <https://doi.org/10.1177/11786361231174414>
- Allcoat, D., Hatchard, T., Azmat, F., Stansfield, K., Watson, D., & von Mühlennen, A. (2021). Education in the Digital Age: Learning Experience in Virtual and Mixed Realities. *Journal of Educational Computing Research*, 59(5), 795–816. <https://doi.org/10.1177/0735633120985120>
- Becerra, L. Y. (2020). Tecnologías de la información y las Comunicaciones en la era de la cuarta revolución industrial: Tendencias Tecnológicas y desafíos en la educación en Ingeniería. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 14, 76–81.
- Beck, D. (2019). Special Issue: Augmented and Virtual Reality in Education: Immersive Learning Research. *Journal of Educational Computing Research*, 57(7), 1619–1625. <https://doi.org/10.1177/0735633119854035>
- Beumer, K. (2019). Nation-Building and the Governance of Emerging Technologies: the Case of Nanotechnology in India. *NanoEthics*, 13(1), 5–19. <https://doi.org/10.1007/s11569-018-0327-8>
- Beyoglu, D., Hursen, C., & Nasiboglu, A. (2020). Use of mixed reality applications in teaching of science. *Education and Information Technologies*, 25(5), 4271–4286. <https://doi.org/10.1007/s10639-020-10166-8>
- Biello, S., Yoss, S., Walker, E. R., Druss, B., & Lang, D. L. (2020). Addressing Public Mental Health Challenges: A Mixed-Methods Evaluation of Problem-Based Learning. *Pedagogy in Health Promotion*, 8(1), 59–66. <https://doi.org/10.1177/2373379920944963>
- Blender. (2023). Blender Documentation. *Blender Technologies.*
- Chiu, T. K. F., & Lim, C. P. (2020). Strategic Use of Technology for Inclusive Education in Hong Kong: A Content-Level Perspective. *ECNU Review of Education*, 3(4), 715–734. <https://doi.org/10.1177/2096531120930861>
- Consejo Colombiano de Seguridad. (2021). *Riesgo químico en lugares de trabajo* (Consejo Colombiano de Seguridad, Ed.; 1st ed., Vol. 1).
- Correani, A., De Massis, A., Frattini, F., Petruzzelli, A. M., & Natalicchio, A. (2020). Implementing a Digital Strategy: Learning from the Experience of Three Digital Transformation Projects. *California Management Review*, 62(4), 37–56. <https://doi.org/10.1177/0008125620934864>
- Elsherbiny, M. M. K., & H. Al Maamari, R. H. (2021). Game-based learning through mobile phone apps: effectively enhancing learning for social work students. *Social Work Education*, 40(3), 315–332. <https://doi.org/10.1080/02615479.2020.1737665>
- Gawor, A., Kurek, E., Ruszczynska, A., & Bulska, E. (2021). Key issues related to the accreditation of academic laboratories. *Accreditation and Quality Assurance*, 26(6), 285–291. <https://doi.org/10.1007/s00769-021-01483-7>
- Geitz, G., Donker, A., & Parpala, A. (2023). Studying in an innovative teaching–learning environment: design-based education at a university of applied sciences. *Learning Environments Research*. <https://doi.org/10.1007/s10984-023-09467-9>
- Gnesdilow, D., & Puntambekar, S. (2022). Comparing Middle School Students' Science Explanations During Physical and Virtual Laboratories. *Journal of Science Education and Technology*, 31(2), 191–202. <https://doi.org/10.1007/s10956-021-09941-0>
- Guevara, M., Vértiz, R., Huayama, M., Rivera, R., Vértiz, J., & Damián, J. (2020). La educación universitaria en la era del

- hombre tecnológico: ¿Quo Vadis? *Revista Científica Pakamuros*, 8(2). <https://doi.org/10.37787/pakamuros-unj.v8i2.124>
- Housni, H., Bendahhou, K., Tahiri, M., & Tahiri Jouti, N. (2022). Compliance Assessment of Scientific Research Laboratories with Legal Requirements Regarding the Integrated Management of Chemicals and Hazardous Waste. *Chemistry Africa*, 5(4), 1167–1189. <https://doi.org/10.1007/s42250-022-00386-5>
- Housni, H., Bendahhou, K., Tahiri, M., & Tahiri Jouti, N. (2023). Evaluation of Chemical Risks Management During Handling Operations and Determination of Storage Conditions in Scientific Laboratories. *Chemistry Africa*, 6(2), 1087–1101. <https://doi.org/10.1007/s42250-022-00530-1>
- Hu-Au, E., & Okita, S. (2021). Exploring Differences in Student Learning and Behavior Between Real-life and Virtual Reality Chemistry Laboratories. *Journal of Science Education and Technology*, 30(6), 862–876. <https://doi.org/10.1007/s10956-021-09925-0>
- Jang, W., Park, Y., & Seol, H. (2021). Identifying emerging technologies using expert opinions on the future: A topic modeling and fuzzy clustering approach. *Scientometrics*, 126(8), 6505–6532. <https://doi.org/10.1007/s11192-021-04024-8>
- Jiang, S., Tatar, C., Huang, X., Sung, S. H., & Xie, C. (2021). Augmented Reality in Science Laboratories: Investigating High School Students' Navigation Patterns and Their Effects on Learning Performance. *Journal of Educational Computing Research*, 60(3), 777–803. <https://doi.org/10.1177/07356331211038764>
- Ke, F., Pachman, M., & Dai, Z. (2020). Investigating educational affordances of virtual reality for simulation-based teaching training with graduate teaching assistants. *Journal of Computing in Higher Education*, 32(3), 607–627. <https://doi.org/10.1007/s12528-020-09249-9>
- Kobayashi, R. (2021). Technological Advances in Remote Collaborations. *Topics in Current Chemistry*, 379(6), 41. <https://doi.org/10.1007/s41061-021-00354-6>
- Leser, H. (2022). Virtuality and Reality of Landscape: Theoretical and Methodological Problems in Their Capture and Representation. *KN - Journal of Cartography and Geographic Information*, 72(4), 269–277. <https://doi.org/10.1007/s42489-022-00123-5>
- Maier, A., Oehmen, J., & Vermaas, P. E. (2022). Introducing Engineering Systems Design: A New Engineering Perspective on the Challenges of Our Times. In A. Maier, J. Oehmen, & P. E. Vermaas (Eds.), *Handbook of Engineering Systems Design* (pp. 3–32). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-81159-4_1
- Melazco, D., Hinostroza, E., Benavides, A., & Gualpa, C. (2022). LA REALIDAD AUMENTADA EN LA ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE DE LA BIOLOGIA Y QUIMICA UNIVERSITARIA: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA. *RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar - ISSN 2675-6218*, 3, e381766. <https://doi.org/10.47820/recima21.v3i8.1766>
- Oliver, P. G., & Oliver, S. (2022). Innovative online learning in entrepreneurship education: The impact of embedding real-life industry practice in the virtual learning environment. *Industry and Higher Education*, 36(6), 756–767. <https://doi.org/10.1177/09504222221121283>
- Ortega Rodríguez, P. J. (2022). De la Realidad Extendida al Metaverso: una reflexión crítica sobre las aportaciones a la educación. *Teoría de La Educación. Revista Interuniversitaria*, 34(2), 189–208. <https://doi.org/10.14201/teri.27864>
- Shi, Y., Yang, H., MacLeod, J., Zhang, J., & Yang, H. H. (2019). College Students' Cognitive Learning Outcomes in Technology-Enabled Active Learning Environments: A Meta-Analysis of the Empirical Literature. *Journal of Educational Computing Research*, 58(4), 791–817. <https://doi.org/10.1177/0735633119881477>
- Singh, M. N. (2021). Inroad of Digital Technology in Education: Age of Digital Classroom. *Higher Education for the Future*, 8(1), 20–30. <https://doi.org/10.1177/2347631120980272>

- Steele, P., Burleigh, C., Bailey, L., & Kroposki, M. (2019). Studio Thinking Framework in Higher Education: Exploring Options for Shaping Immersive Experiences Across Virtual Reality/Augmented Reality Curricula. *Journal of Educational Technology Systems*, 48(3), 416–439. <https://doi.org/10.1177/0047239519884897>
- Tamar, C.-L., Yaffa, B., Lea, S., Haia, A., & Nitzan, E. (2022). Digital Leadership: Managing Schools' Virtual Spaces in Times of Crisis. *International Journal of Educational Reform*, 32(2), 127–147. <https://doi.org/10.1177/10567879221142551>
- Thompson, L., & Schonthal, D. (2020). The Social Psychology of Design Thinking. *California Management Review*, 62(2), 84–99. <https://doi.org/10.1177/0008125619897636>
- Tisoglu, S., Cagiltay, K., & Kursun, E. (2020). Adoption of online multimedia resources in a general chemistry laboratory course context: A case study. *E-Learning and Digital Media*, 18(2), 185–208. <https://doi.org/10.1177/2042753020954968>
- Tlili, A., Zhang, J., Papamitsiou, Z., Manske, S., Huang, R., Kinshuk, & Hoppe, H. U. (2021). Towards utilising emerging technologies to address the challenges of using Open Educational Resources: a vision of the future. *Educational Technology Research and Development*, 69(2), 515–532. <https://doi.org/10.1007/s11423-021-09993-4>
- Tziakou, E., Fragkaki, A. G., & Platis, A. N. (2023). Identifying risk management challenges in laboratories. *Accreditation and Quality Assurance*, 28(4), 167–179. <https://doi.org/10.1007/s00769-023-01540-3>
- USC Laboratory. (2023). *USC Laboratory Documentation*.
- Weng, C., Rathinasabapathi, A., Weng, A., & Zagita, C. (2018). Mixed Reality in Science Education as a Learning Support: A Revitalized Science Book. *Journal of Educational Computing Research*, 57(3), 777–807. <https://doi.org/10.1177/0735633118757017>
- Wronowski, M., Urick, A., Wilson, A. S. P., Thompson, W., Thomas, D., Wilson, S., Elizondo, F. J., & Ralston, R. (2019). Effect of a Serious Educational Game on Academic and Affective Outcomes for Statistics Instruction. *Journal of Educational Computing Research*, 57(8), 2053–2084. <https://doi.org/10.1177/0735633118824693>
- Yazici, S. Ç., & Nakıboğlu, C. (2023). Examining experienced chemistry teachers' perception and usage of virtual labs in chemistry classes: a qualitative study using the technology acceptance model 3. *Education and Information Technologies*. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-11985-1>
- Yoon, D. (2021). Operational Process for R&D Laboratory Safety. *SAGE Open*, 11(1), 2158244020988853. <https://doi.org/10.1177/2158244020988853>
- Zhao, X., Ren, Y., & Cheah, K. S. L. (2023). Leading Virtual Reality (VR) and Augmented Reality (AR) in Education: Bibliometric and Content Analysis From the Web of Science (2018–2022). *SAGE Open*, 13(3), 21582440231190820. <https://doi.org/10.1177/21582440231190821>

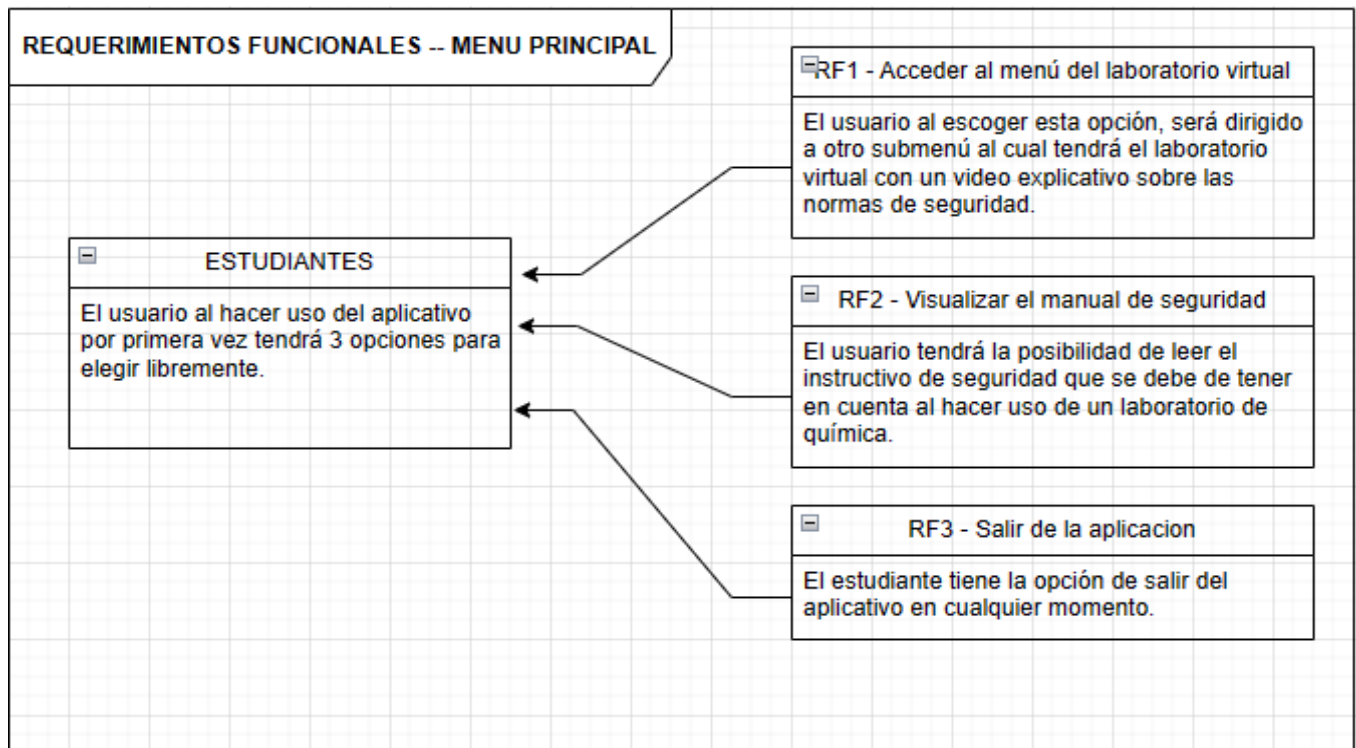
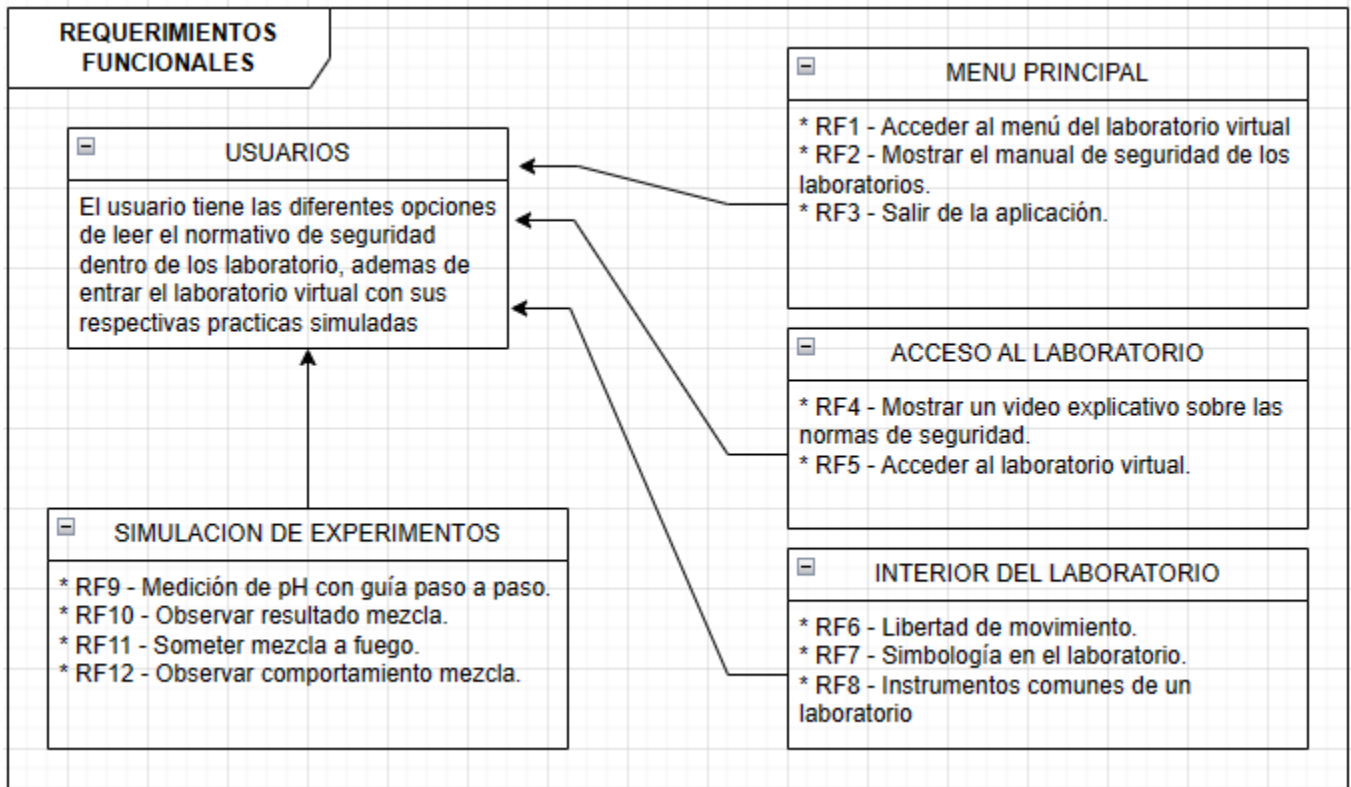
7. ANEXOS

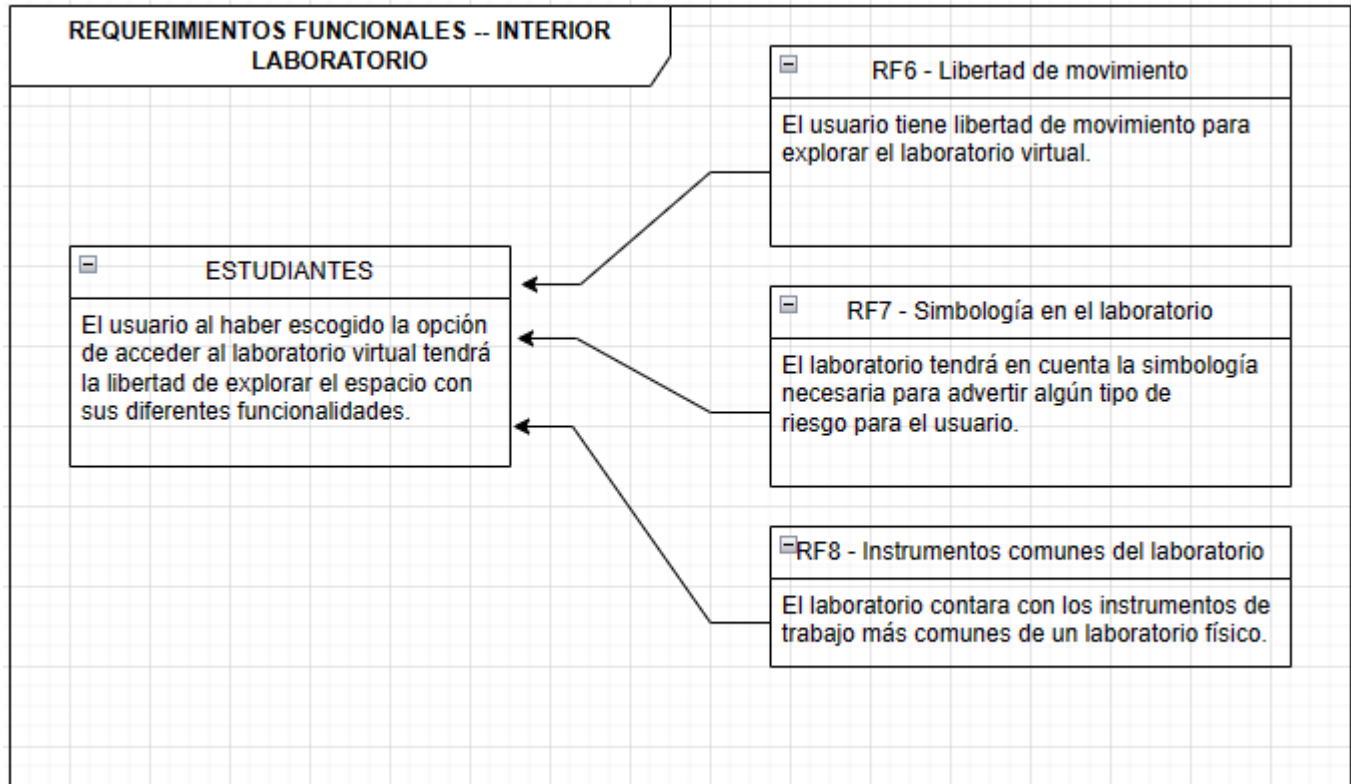
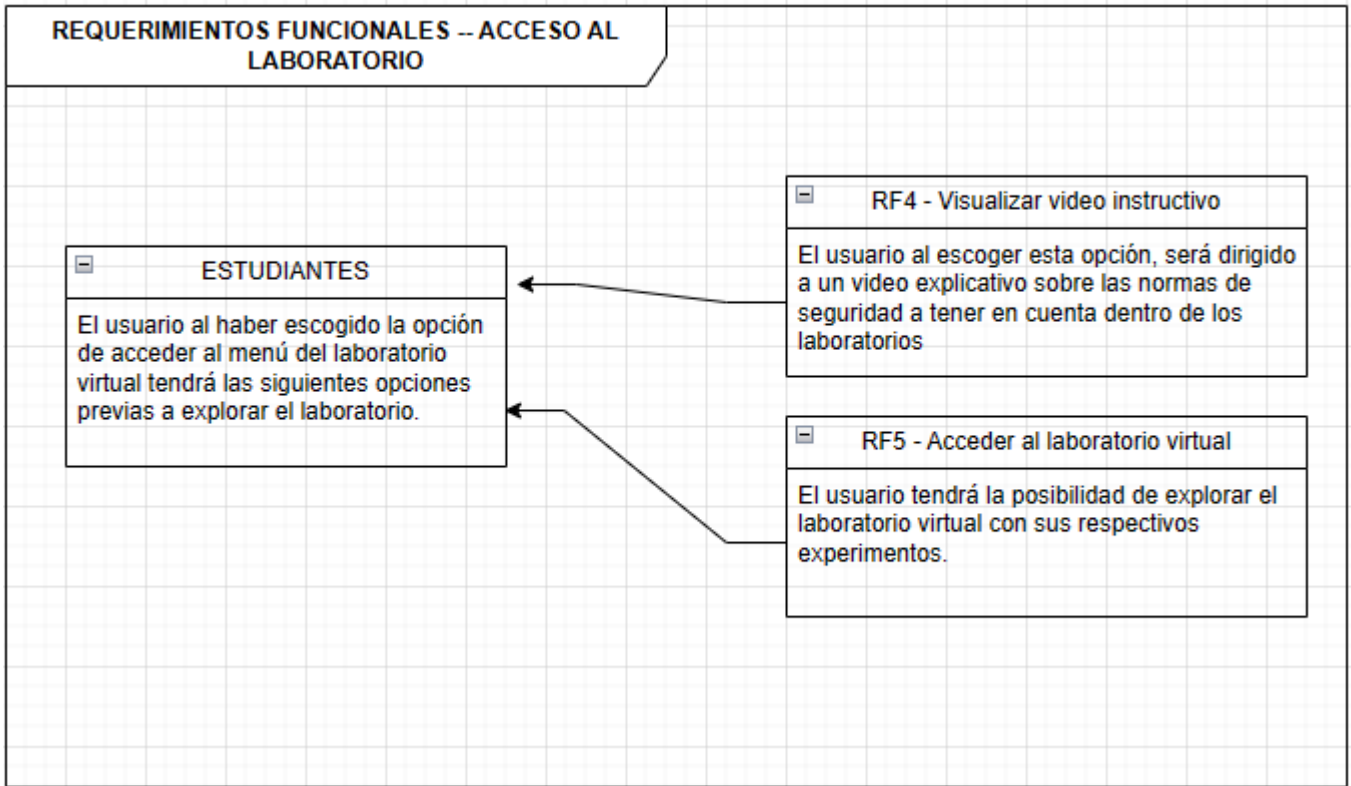
Anexo A. Formato Encuesta Planeación

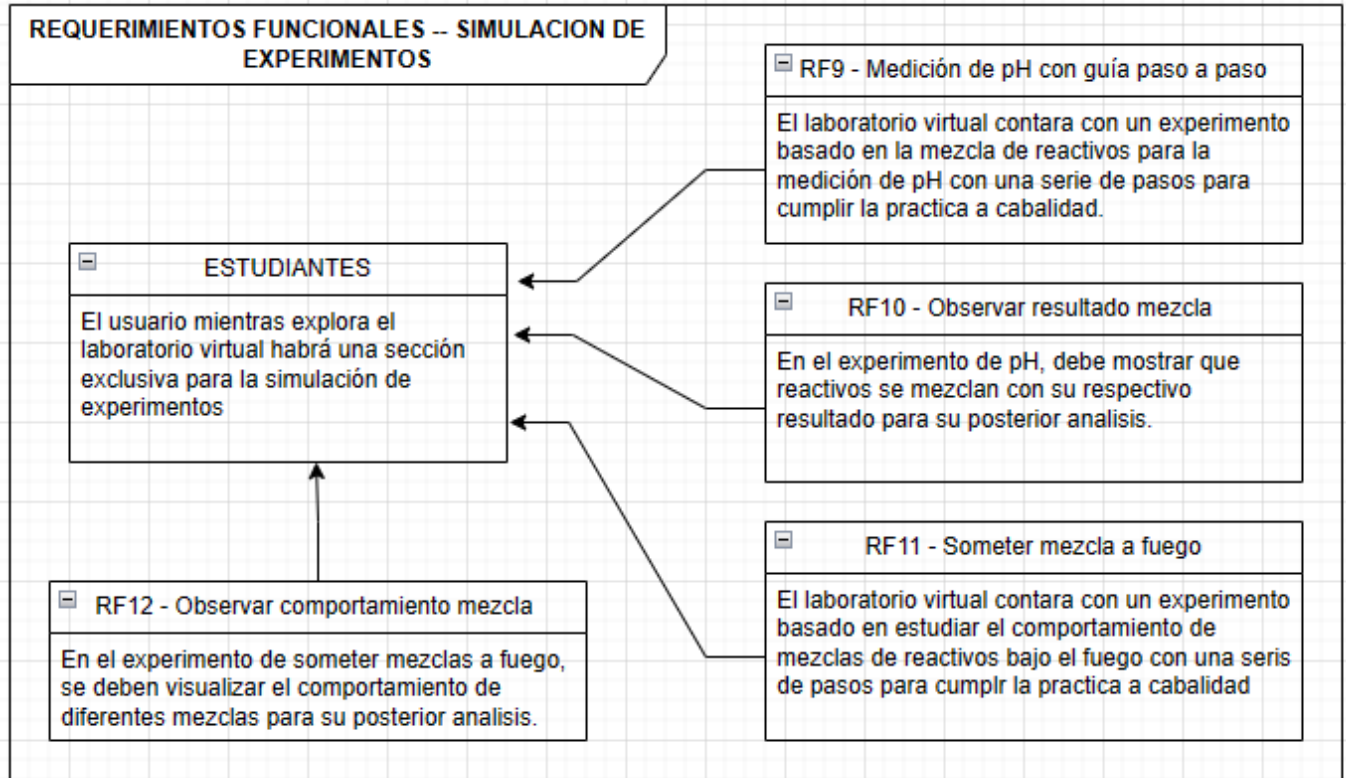
Lista de preguntas utilizadas en la encuesta para determinar nuestro público objetivo, conocer las necesidades construcción de los requerimientos necesarios para el desarrollo del sistema.

OBJETIVO	PREGUNTAS
Identificar características básicas del usuario	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuál es tu carrera? • ¿Cuál es tu edad?
Conocer el nivel de compromiso de los estudiantes con los recursos y actividades de la USC.	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Pertenece a algún grupo de investigación o semillero de la USC?
Definir el nivel de conocimiento que tienen los estudiantes de química acerca de los equipos y actividades que se pueden realizar dentro del laboratorio.	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuáles son las actividades o proyectos que se realizan dentro del laboratorio de química? • ¿Cuáles son los equipos tecnológicos con los que cuenta el laboratorio?
Conocer si los estudiantes poseen una experiencia previa en el laboratorio de química y conocer sus experiencias en la participación de actividades. Esto nos ayudara a determinar la información adecuada para que mejorar la experiencia de los usuarios.	<ul style="list-style-type: none"> • Para un buen uso del laboratorio, ¿Existe algún manual de seguridad o reglamentaciones generales? • CuaDichas guías son de fácil comprensión por parte de los estudiantes? • ¿Cómo describirías tu experiencia en el laboratorio?
Conocer el nivel de familiaridad que tienen los estudiantes acerca de las tecnologías emergentes e inmersivas. Las preguntas nos ayudaran a identificar la cultura tecnología de los estudiantes y saber si una experiencia inmersiva es una solución para el problema.	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Ha escuchado hablar sobre las tecnologías emergentes? • ¿Sabe en qué consiste el concepto de realidad virtual (VR)? • ¿Ha tenido alguna experiencia de RV? ¿Como fue? • ¿Cuál es tu nivel de satisfacción con este tipo de experiencias? • ¿Crees que este tipo de experiencias pueden tener un gran impacto en los procesos de aprendizaje? ¿Por qué?

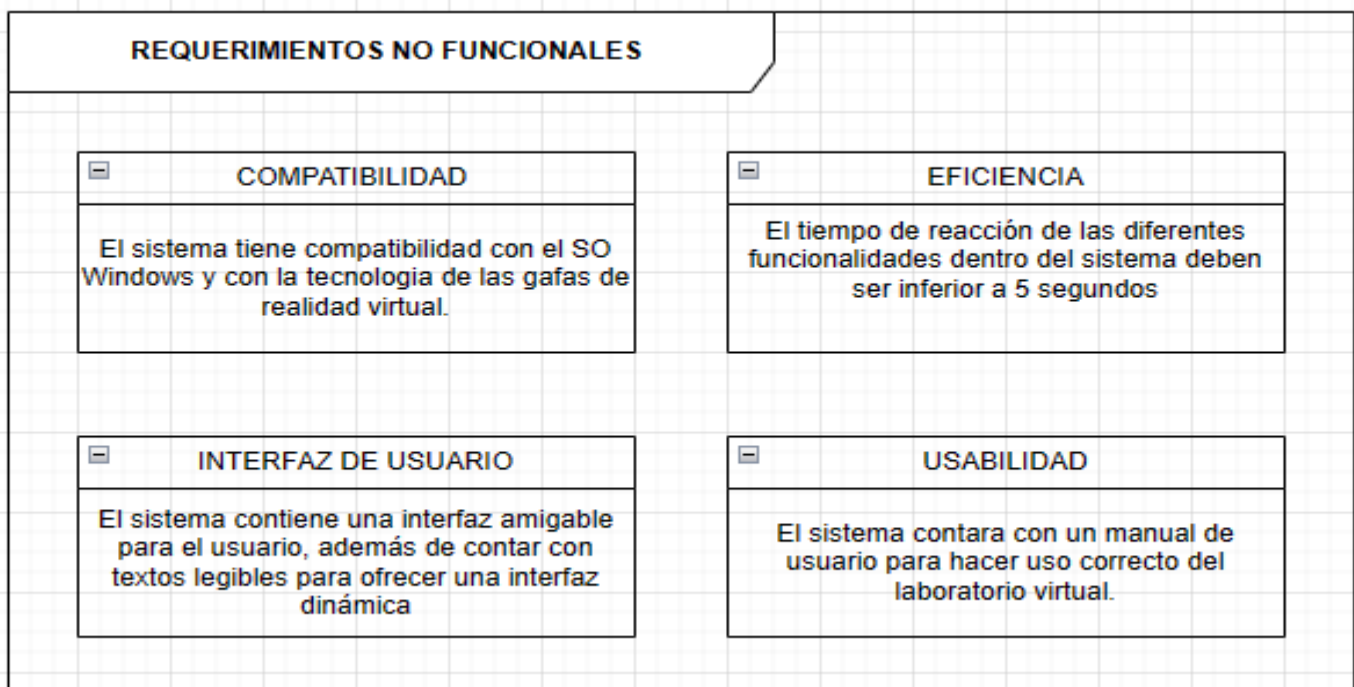
Anexo B. REQUERIMIENTOS FUNCIONALES







Anexo C. REQUERIMIENTOS NO FUNCIONALES



Anexo C. Respuestas de encuesta descriptivas

