

Pontificia Universidad Javeriana Cali  
Facultad de Ingeniería y Ciencias.  
Ingeniería de Sistemas y Computación.  
Trabajo de Grado.

## Grafitis con Realidad Virtual

Victor Antonio Manchola Brokopp

Director: Dr. Andres Adolfo Navarro Newball

Julio 2023





Nota de Aceptación

Aprobado por el Comité de Trabajo de Grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Pontificia Universidad Javeriana para optar el título de Ingeniero de Sistemas y Computación.



**Dr. Hernán Camilo Rocha Niño**  
Decano de la Facultad de Ingeniería



**ING. Gerardo Mauricio Sarria**  
Director Carrera Ingeniería Sistemas y Computación.



**ING. Andrés Navarro Newball**  
Director(a) Trabajo



**ING. Gerardo Mauricio Sarria**  
Jurado 1



**ING. Luisa Fernanda Rincón Pérez**  
Jurado 2



## **Acta de Correcciones al Proyecto de Grado Ingeniería de Sistemas y Computación**

**Fecha:** Agosto 16, 2023

**Autores:** Victor Antonio Manchola

**Nombre del Proyecto de Grado:** Grafitis con Realidad Virtual

**Director:** Andrés Navarro Newball

Como indica el artículo 2.27 de las Directrices de Trabajo de Grado, he verificado que los estudiantes indicados arriba han implementado todas las correcciones que los Jurados del Proyecto de Grado definieron que se efectuarán, como consta en el Acta de Calificación correspondiente.

  
Firma de Director(a) del Proyecto de Grado

Santiago de Cali, Julio 2023.

Señores

**Pontificia Universidad Javeriana Cali.**

Dr. Gerardo Sarria

Director Carrera de Ingeniería de Sistemas y Computación.

Cali.

Cordial Saludo.

Por medio de la presente me permito informarle que el estudiante de Ingeniería de Sistemas y Computación Victor Antonio Manchola Brokopp (cod: 8932111) trabaja bajo mi dirección en el proyecto de grado titulado "Grafitis con Realidad Virtual".

Atentamente,



Dr. Andres Adolfo Navarro Newball

Santiago de Cali, Julio 2023.

Señores

**Pontificia Universidad Javeriana Cali.**

Dr. Gerardo Sarria

Director Carrera de Ingeniería de Sistemas y Computación.

Cali.

Cordial Saludo.

Me permito presentar a su consideración el trabajo de grado titulado “Grafitis con Realidad Virtual” con el fin de cumplir con los requisitos exigidos por la Universidad para llevar a cabo el proyecto de grado y posteriormente optar al título de Ingeniero de Sistemas y Computación.

Al firmar aquí, doy fe que entiendo y conozco las directrices para la presentación de trabajos de grado de la Facultad de Ingeniería aprobadas el 26 de Noviembre de 2009, donde se establecen los plazos y normas para el desarrollo del anteproyecto y del trabajo de grado.

Atentamente,

Victor Manchola

---

Victor Antonio Manchola Brokopp

Código: 8932111



# Abstract

Graffiti, like painting and sculpting, is an art form. Examples of it can be found in Ancient Greece and beyond, making it an old and prevalent art form as well. Despite these facts, it is highly stigmatized due to its association with vandalism. It also has some barriers to accessibility: not everyone is willing to paint over surfaces in their homes, and painting over the walls of other properties is, of course, illegal. On top of that, not every person can deal with the sprays and particles of graffiti cans.

However, it may be possible to reduce or even eliminate this stigma completely by using modern technology. What if people could safely paint graffiti in a virtual environment? And, in order to reduce the barriers between would-be painters and their graffiti, would it be possible to incorporate virtual reality? That's the proposal of this project: creating a virtual environment -with VR support- in order to allow users to paint graffiti without the usual concerns while, hopefully, reducing the stigma attached to this art form.

To this end, a prototype of this environment was created. It was tested with traditional keyboard and mouse controls on a PC, and also tested using the Oculus Quest 2. Further tests were done with volunteers, who submitted their findings in a poll grading different aspects of the prototype. Grades were generally high, and a suggestion from a volunteer was taken into consideration for future work.

**Keywords:** Graffiti, Reality, Virtual, System, Program, Technology, Modern, Accessibility.

# Resumen

El grafiti, como la pintura y la escultura, es una forma de arte. Se pueden encontrar ejemplos del mismo en la Grecia Antigua y otros lugares, por lo que es una forma de arte antigua y muy extendida. A pesar de estos hechos, está muy estigmatizado debido a su asociación con el vandalismo. También tiene algunas barreras de accesibilidad: muchas personas no están dispuestas a pintar sobre las superficies de su casa, y pintar sobre las paredes de otras propiedades es, por supuesto, ilegal. Además, algunas personas no toleran los aerosoles y sus partículas.

Sin embargo, es posible reducir o incluso eliminar por completo este estigma utilizando la tecnología moderna. ¿Qué pasaría si todos pudieran pintar grafitis de forma segura en un entorno virtual? Para reducir las barreras entre los aspirantes y sus grafitis, ¿sería posible incorporar la realidad virtual? Esa es la propuesta de este proyecto: crear un entorno virtual -con el apoyo de la realidad virtual- para que los usuarios puedan pintar grafitis sin las preocupaciones habituales y reducir el estigma asociado a esta forma de arte.

A este fin, se creó un prototipo de este entorno. Se probó con controles tradicionales de teclado y ratón en un PC, y también con el Oculus Quest 2. Se hicieron más pruebas con voluntarios, que presentaron sus conclusiones en una encuesta donde calificaron distintos aspectos del prototipo. En general, las calificaciones fueron altas, y se tuvo en cuenta una sugerencia de un voluntario para trabajo futuro.

**Palabras Clave:** Grafiti, Realidad, Virtual, Sistema, Programa, Tecnología, Actual, Accesibilidad.



# Índice general

<b>1. Introducción</b>	<b>11</b>
<b>2. Descripción del Problema</b>	<b>13</b>
2.1. Planteamiento del Problema . . . . .	13
2.1.1. Formulación . . . . .	14
2.1.2. Sistematización . . . . .	14
2.2. Objetivos . . . . .	14
2.2.1. Objetivo General . . . . .	14
2.2.2. Objetivos Específicos . . . . .	14
2.3. Justificación . . . . .	14
2.4. Delimitaciones y Alcances . . . . .	15
2.4.1. Entregables . . . . .	15
<b>3. Marco Teórico y Trabajos Relacionados</b>	<b>17</b>
3.1. Marco de Referencia . . . . .	17
3.1.1. Áreas Temáticas . . . . .	17
3.2. Marco Teórico . . . . .	17
3.3. Trabajos Relacionados . . . . .	19
3.4. Tipo de Estudio . . . . .	20
3.4.1. Actividades . . . . .	20
<b>4. Metodología, Análisis y Diseño</b>	<b>21</b>
4.1. Metodología . . . . .	21
4.1.1. Etapas de Cascada Aplicadas . . . . .	23
4.1.2. Artefactos . . . . .	23
4.2. Análisis . . . . .	24
4.2.1. Levantamiento de Requisitos . . . . .	24
4.2.2. Requisitos . . . . .	24
4.3. Diseño . . . . .	27
<b>5. Implementación</b>	<b>33</b>
5.1. Dispositivos de Desarrollo y Despliegue . . . . .	33
5.2. Herramienta de Desarrollo . . . . .	33
5.2.1. Particularidades de Unreal . . . . .	33
5.3. Movimiento . . . . .	34
5.4. Creación del Ambiente . . . . .	35
5.5. Funcionamiento de Graftis . . . . .	36

<b>6. Validación y Resultados</b>	<b>37</b>
6.1. Plan de Pruebas . . . . .	37
6.2. Pruebas Funcionales . . . . .	37
6.3. Pruebas con Usuarios . . . . .	38
<b>7. Conclusiones</b>	<b>39</b>
<b>8. Trabajo Futuro</b>	<b>41</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>43</b>

# Introducción

---

El grafiti es una forma de arte estigmatizado y muy controversial. Por definición, el grafiti simplemente consiste en pintar o dibujar sobre una pared o alguna superficie similar. Es un arte que ha existido por mucho tiempo, con algunos grafitis encontrados en civilizaciones antiguas como el Imperio Romano y la Grecia Antigua, llamados "grafito" en contextos arqueológicos. Hoy en día es común ver grafitis con un estilo mas único, realizados con aerosol. Sin embargo, muchos grafitis se hacen sobre la propiedad de otras personas sin permiso. Esto, por supuesto, es vandalismo. Algunas personas lo hacen para contribuir a alguna protesta, y otros lo hacen por parte de una pandilla, contribuyendo al estigma de esta forma de arte, pero estos no son los únicos grafitis. Muchas personas simplemente disfrutan de pintar imágenes o poemas con aerosoles. Para darle un ambiente seguro a estos artistas, y a todas las personas interesadas en el grafiti, se puede utilizar la tecnología de la realidad virtual. En el siguiente documento, se propone un prototipo para un sistema compatible con la realidad virtual que permita a sus usuarios pintar grafitis virtuales. De esta forma, los artistas de grafitis pueden expresarse sin peligro y, a la vez, otras personas podrán tener acceso a una forma de arte que quizás no pudieron probar antes.



# Descripción del Problema

---

## 2.1. Planteamiento del Problema

El grafiti es una forma de arte muy controversial. Por definición, consiste en escribir o pintar sobre una superficie cualquiera. Esto es una definición muy amplia. Incluye varias cosas, desde escrituras rayadas en una pared hasta las pinturas modernas hechas con aerosoles. También es una forma de arte muy vieja. Se han encontrado varios grafitis en civilizaciones antiguas [Wik], incluyendo el Imperio Romano, la Grecia Antigua y Egipto Antiguo. En contextos arqueológicos, estos típicamente se llaman "graffito" y fueron rayados sobre paredes con objetos punzantes, tiza y carbón.

Hoy en día, este arte típicamente se realiza sobre una pared con aerosoles. Pueden ser escrituras sencillas, o pinturas mas elaboradas. Sin embargo, el problema es que estas expresiones, en muchos casos, se hacen sobre paredes de tal forma que constituyen vandalismo: varios grafitis se hacen sobre propiedad publica y privada. Algunas personas lo hacen como forma de protesta o por parte de una pandilla, pero muchos grafitis son expresiones creativas de artistas con un estilo particular. Obviamente, no todos los grafitis son actos de vandalismo y no merecen ser completamente estigmatizados.

Debido a este estigma, y los recursos requeridos para crear un grafiti moderno, existen ciertas barreras de accesibilidad que previenen que algunas personas puedan interactuar con este tipo de arte. Muchas personas no pueden simplemente tomar un aerosol y comenzar a pintar: pueden tener alguna alergia, o simplemente carecer de recursos. La ubicación de las personas puede también tener un impacto en la habilidad que tienen para crear grafitis: por ejemplo, partes de una ciudad con mas accesibilidad tienen mas grafitis [Tok].

Desafortunadamente, no hay muchos estudios o propuestas hechos sobre este tema. La gran mayoría de los discursos e investigaciones hechos al respecto giran en torno del vandalismo, y muy pocos lo tratan como una expresión artística única. Además, existen pocos aportes que utilicen tecnologías actuales o que teorizan sobre el impacto de tecnologías para combatir estos problemas. Por estas razones, se busca hacer un aporte al tema que si trata a los grafitis como una forma de arte, respondiendo a la pregunta de Formulación utilizando una tecnología mas nueva: la realidad virtual.

### 2.1.1. Formulación

¿Como se puede crear el prototipo de un ambiente seguro para interactuar con grafitis utilizando tecnologías de realidad virtual?

### 2.1.2. Sistematización

- ¿Cuales son los elementos del grafiti que deben representarse en la realidad virtual para brindar un ambiente seguro e interactivo al artista?
- ¿Cómo se puede diseñar un programa que incorpore los elementos identificados en un ambiente seguro que permita a los artistas dibujar grafiti?
- ¿Cómo se puede implementar el diseño propuesto en un programa que utilice tecnologías de realidad virtual?
- ¿Como se debe evaluar el programa implementado?

## 2.2. Objetivos

### 2.2.1. Objetivo General

Desarrollar el prototipo de un sistema que permita la creación de grafitis virtuales, con apoyo de la realidad virtual.

### 2.2.2. Objetivos Específicos

- Determinar los elementos necesarios para crear el ambiente de grafiti.
- Realizar el proceso de análisis de software para el prototipo que propicia este ambiente, y el proceso de diseño de software para este prototipo.
- Implementar el prototipo utilizando el diseño propuesto.
- Realizar un proceso de evaluación del prototipo.

## 2.3. Justificación

Los grafitis podrían convertirse en un tipo de arte mas común al reducir su estigma y al eliminar algunas de sus barreras de accesibilidad. Con un ambiente como el propuesto anteriormente, es posible que los grafitis vistos en la vida real disminuirían, pues sus artistas estarían moviéndose a la virtualidad. De esta forma, los artistas se beneficiarían, pues se estarían expresando en un ambiente mas seguro y accesible. Sin embargo, un ambiente como el descrito no necesariamente tiene que ser un programa para uso exclusivo de artistas con experiencia: el sistema podría ser utilizado por cualquier persona interesada en grafitis, por lo que podría beneficiar a varios usuarios.

La realidad virtual puede ser una forma excelente de llevar esto a cabo, pues esta tecnología rompe con las barreras de accesibilidad que el grafiti típicamente tiene. Utilizando un aerosol virtual sobre un muro virtual facilitaría el traslado a este ambiente digital para los artistas con experiencia, y podría dar una experiencia mas autentica a las personas que no pueden pintar grafitis de la forma común con aerosoles y muros reales.

## **2.4. Delimitaciones y Alcances**

El Alcance del proyecto fue limitado a el diseño y la creación del prototipo del programa de realidad virtual, según el ciclo de vida de software. Se excluyó el mantenimiento del programa, que suele ser la ultima etapa del proceso mencionado. Cualquier mantenimiento hecho al programa después de la presentación del proyecto esta fuera del alcance del mismo. Finalmente, el prototipo fue construido con la limitación de un usuario concurrente.

### **2.4.1. Entregables**

- Diseño del programa, incluyendo diagramas y documentos pertinentes a su arquitectura e interfaz
- Documentación de pruebas realizadas
- El programa como tal
- Documento de trabajo de grado



# Marco Teórico y Trabajos Relacionados

---

## 3.1. Marco de Referencia

### 3.1.1. Áreas Temáticas

- H.5.2 Information Interfaces and Presentation - User Interfaces
- Artificial, Augmented, and Virtual Realities
- D.1.7 Visual Programming
- I.3.7 Computer Graphics - Three-Dimensional Graphics and Realism
- Virtual Reality
- I.3.8 Computer Graphics - Applications
- K.8.1 Application Packages (Graphics)

## 3.2. Marco Teórico

- Grafiti

Los grafitis son cualquier inscripción sobre una superficie [Esp], y tienen sus comienzos en Pompeya. [Hoy] Históricamente, se han utilizado por varios propósitos: protestas sociales, mensajes políticos, y expresiones artísticas. Hoy en día, el término de ‘graffiti’ se utiliza sin distinción para referirse a imágenes o palabras trazadas sobre cualquier monumento.

- Continuo virtual

Paul Milgram y Fumio Kishino (1994) acuñaron el término de Continuo de la Virtualidad o “Virtuality Continuum” donde explican el concepto de la realidad mixta, la cual es la interacción entre un ambiente real y un ambiente virtual en diferentes niveles [dIEdTdM]. Describen como un continuo abarca desde el entorno real a un entorno virtual puro. En el medio, hay realidad aumentada (más cerca del entorno real) y virtualidad aumentada (está más cerca del entorno virtual) [Ein].

- Realidad virtual

La realidad virtual es definida como una experiencia tridimensional con un computador que es inmersiva e interactiva, y ocurre en tiempo real. Es un fenómeno que percibimos a través de los sentidos que se desarrolla en un espacio ficticio. Es un sistema interactivo que permite sintetizar un mundo tridimensional, creando una ilusión de realidad. La realidad virtual es una técnica fotográfica de 360 grados, la cual le permite al individuo moverse en diferentes direcciones y realizar acercamientos o alejamientos, teniendo el control absoluto de los movimientos y ofreciendo un sentimiento de “estar” en el lugar [dIEdTdM].

Virtual, en informática, significa ‘algo simulado’. Mas específicamente, algo creado por un software para llevar a cabo un fin. La Realidad Virtual es considerada en muchos aspectos como la interfase definitiva entre los seres humanos y el computador. Consiste en simular todas las posibles percepciones de una persona, como imágenes, sonido, y en algunos casos, tacto. Incluso puede simular sensaciones de aceleración o movimiento. Todas estas percepciones son presentadas de forma que el individuo se siente inmerso en un universo creado por el computador, teniendo la apreciación del entorno virtual como si fuera la realidad [MAL].

### 3.3. Trabajos Relacionados

1. El estudio llamado “Spatial distribution of graffiti types: a complex network approach” [Man] se enfoca en la accesibilidad de los graffitis, partiendo de la ciudad de São Paulo, Brazil. Utilizando una red compleja (Complex Network), se encontró una correlación entre la densidad de graffitis y la accesibilidad de ese sector de la ciudad. Es un estudio que mira al graffiti como una forma de arte, considerando como ciertos factores como la topología de una ciudad puede impactar la creación de graffitis.
2. El estudio “GTGraffiti: Spray Painting Graffiti Art from Human Painting Motions with a Cable Driven Parallel Robot” [CBF<sup>+</sup>] es otro ejemplo de un estudio que mira a los graffitis como una forma de arte, intentando replicar ciertos graffitis utilizando un robot. Tiene la intención de ayudar a artistas con dificultades pintando graffitis a mano, mejorando la accesibilidad de las mismas.
3. El estudio “Imago: presence and emotion in virtual reality” [CLO<sup>+</sup>] se enfoca en una película llamada “Imago”, el cual se observa con un casco de realidad virtual de la plataforma Oculus. La película toma en cuenta la presencia del espectador para provocar emociones negativas y positivas, mostrando el impacto que puede tener la realidad virtual para expresión artística.
4. Partiendo de la observación de este impacto, el estudio “Interactive Narrative in Virtual Reality” [OCF] muestra una herramienta que permitiría una creación más eficiente de narrativas interactivas en un entorno de realidad virtual.
5. El estudio “Using Virtual Environments to Tell the Story: The Battle of Thermopylae” [CMAK] es otro ejemplo de una historia contada en el ambiente de realidad virtual. En este caso, fue para propósitos educacionales. Fue mostrado en el museo de Thermopylae, donde ocurrió el escenario de la historia: la batalla de Lamia, Grecia.

El prototipo realizado para este trabajo tiene un propósito similar a los trabajos relacionados: además de mirar al graffiti como una forma de arte, también se adopta la perspectiva de la realidad virtual como una herramienta artística y educacional. Con esta tecnología, es posible reducir las barreras de accesibilidad a esta forma de arte y, consecuentemente, reducir su estigma.

### 3.4. Tipo de Estudio

Este proyecto es un estudio exploratorio/formulativo, con el fin de diseñar e implementar un prototipo original. Como fuentes de información, se utilizará la documentación del Motor y el Casco Virtual, junto con lecturas sobre el grafiti y el Marco Teórico para una implementación adecuada.

#### 3.4.1. Actividades

- **Objetivo:** Determinar los elementos necesarios para crear el ambiente de grafiti.

**Actividades:**

- Identificar los elementos necesarios para crear grafitis para la formulación de requisitos, incluyendo el nivel de realismo adecuado para el prototipo.
- Proponer un ambiente virtual para la elaboración de los grafitis virtuales.

- **Objetivo:** Realizar el proceso de análisis de software para el prototipo que propicia este ambiente, y el proceso de diseño de software para este prototipo.

**Actividades:**

- Identificar los requisitos.
- Crear el documento que especifica esos requisitos.
- Dibujar los diagramas relevantes a ese diseño.
- Elaborar la arquitectura del programa.
- Crear el documento que especifica el diseño.

- **Objetivo:** Implementar el prototipo utilizando el diseño propuesto.

**Actividades:**

- Identificar el Hardware necesario para crear el programa: los equipos. Incluirá al menos 1 casco de realidad virtual y 1 computador. Idealmente, el Casco elegido incluye un control con al menos un botón (o “trigger”) para simular un aerosol de grafiti.
- Identificar el Software necesario para la creación del prototipo. Esto incluirá al menos 1 motor de juegos, como Unreal [Gama].
- Codificación del programa con el motor elegido.
- Pruebas del programa (en partes y del sistema completo).

- **Objetivo:** Realizar un proceso de evaluación del prototipo.

**Actividades:**

- Determinar cual es la mejor forma de evaluar el prototipo antes de la entrega, ya sea por encuesta de usuarios o pruebas adicionales.
- Ejecutar el proceso determinado.

# Metodología, Análisis y Diseño

---

## 4.1. Metodología

Existen varias distintas metodologías para crear Software. Una de las mas comunes, y la metodología elegida para este proyecto, es “Cascada”, con algunas diferencias. Se llama “Cascada” por la forma en que una etapa fluye hacia la otra. En algunos contextos, también se utiliza este término de forma intercambiable con el Ciclo de Vida de Software. Esta metodología consiste en las siguientes etapas:

1. Requisitos: En esta etapa, el creador del software levanta todos los requerimientos para el proyecto, organizando todos los objetivos del proyecto en un documento.
2. Diseño: Con los requisitos levantados en la fase anterior, el creador crea planos para su proyecto. Aquí se diseña la arquitectura del programa, con distintos diagramas que explican como debería funcionar.
3. Implementación: Como el nombre de la fase indica, aquí es donde se toma el diseño de la fase anterior y se empieza a programar.
4. Pruebas: En esta fase, se pule el programa para asegurar que funciona bien.
5. Despliegue: Como el nombre indica, esta es la fase donde el proyecto sale al público o cliente indicado, dependiendo del proyecto.
6. Mantenimiento: En esta fase, el creador da apoyo a largo plazo al programa. Dependiendo del proyecto, esto puede involucrar varias cosas: el creador puede decidir agregar mas funcionalidades al programa, corregir errores, mantener equipos de hardware relevantes, o ambos.

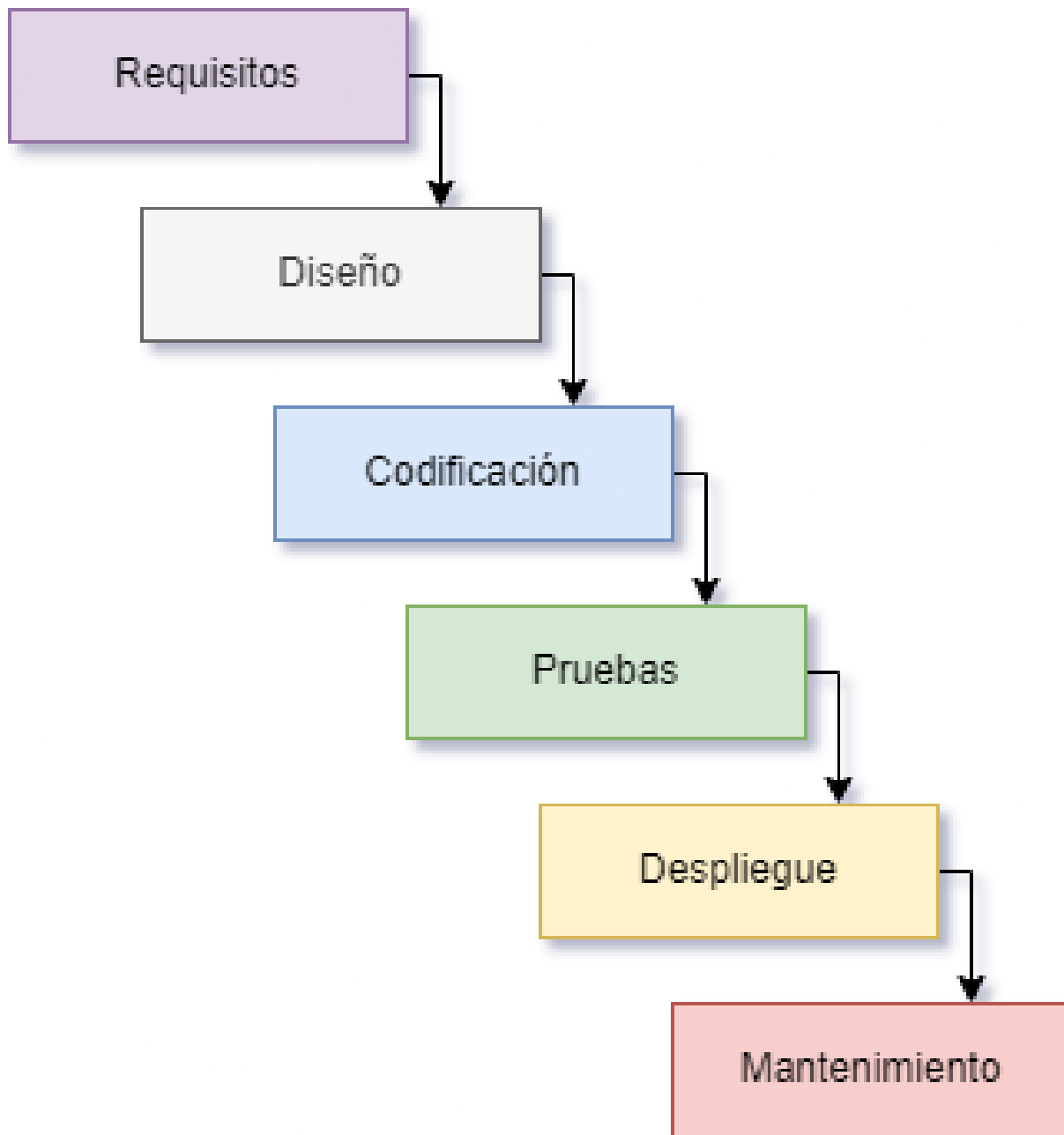


Figura 4.1: Metodología Cascada

### 4.1.1. Etapas de Cascada Aplicadas

En este proyecto, se realizaron las fases de Requisitos, Diseño, Implementación, Pruebas y Despliegue. Sin embargo, como fue explicado anteriormente en este documento, la fase de mantenimiento esta fuera del alcance de esta entrega. Se detallarán trabajos futuros para este programa al final del documento, pero estos trabajos futuros no se realizarán durante esta entrega.

### 4.1.2. Artefactos

De forma similar a otras metodologías de desarrollo de software, esta metodología en cascada implica la creación de ciertos artefactos. Aquí se listarán:

- Documento de Requisitos: Típicamente abreviado a “SRS” por sus siglas en inglés, este es el documento que compila todos los requisitos del programa. Se crea este artefacto durante la primera etapa.
- Documento de Diseño: Comúnmente abreviado a “SAD” por sus siglas en inglés, este es el documento que detalla la arquitectura del programa, con diagramas y explicaciones sobre su estructura. Se crea este artefacto durante la segunda etapa.
- Plan de Pruebas: Como el nombre indica, este es un documento que detalla que pruebas se realizarán para garantizar el funcionamiento del programa. Se crea este artefacto en la cuarta etapa.

## 4.2. Análisis

Para esta sección, se detallará como se levantaron los requisitos identificados, y los requisitos como tal.

### 4.2.1. Levantamiento de Requisitos

Los requisitos fueron levantados de dos formas principales:

- Mirando el estado de arte: Antes de empezar el proyecto, se realizó una entrega de Anteproyecto con una investigación previa donde se observó el estado de arte. En otras palabras, fue necesario tomar una mirada a proyectos similares para identificar que funcionalidades serían razonables esperar de un programa de este tipo.
- Objetivos: También basado en la etapa de Anteproyecto, se establecieron unos objetivos a cumplir al final del trabajo de grado. Con base en estos objetivos, se establecieron los requisitos mas importantes.

### 4.2.2. Requisitos

Hay 4 tipos de Requisitos, dependiendo en la perspectiva que se toma durante el desarrollo de un proyecto de software [Som05]:

- Requisitos Funcionales: Estos se pueden ver como declaraciones de los servicios que debe proporcionar el sistema, de la manera en que éste debe reaccionar a entradas particulares y de cómo se debe comportar en situaciones particulares.
- Requisitos No Funcionales: Estos son los requisitos que no se refieren a las funciones específicas que proporciona el sistema, sino a las propiedades emergentes del mismo. Por ejemplo, la fiabilidad, el tiempo de respuesta, la capacidad de almacenamiento, etc.
- Requisitos de Usuario: Estos requisitos describen todos los requerimientos funcionales y no funcionales de tal forma que serían comprensibles a los usuarios del sistema, aún sin conocimiento técnico detallado.
- Requisitos de Sistema: Estos requisitos agregan detalles sobre los requisitos de usuario, y explican cómo el sistema debe proporcionar los mismos.

En algunos contextos, no es necesario detallar los requisitos de usuario y sistema, pero con la intención de ser detallado y completo, se listaran de todas formas.

#### 4.2.2.1. Requisitos de Usuario

- RU01: Este prototipo permitirá pintar grafitis virtuales, ya sea con un casco de realidad virtual, o teclado y ratón.

- RU02: El prototipo permitirá guardar los grafitis pintados para compartir o continuar mas tarde.

#### 4.2.2.2. Requisitos de Sistema

- RS01: El prototipo permitirá la creación de grafitis virtuales en un ambiente virtual que asemeja un bosque con una pared. Idealmente, propicia un ambiente relajante y entendible para interactuar con esta forma de arte.
- RS02: El prototipo se construirá con apoyo para al menos el Oculus Quest.
- RS03: El prototipo se construirá con la habilidad de crear grafitis con teclado y mouse.
- RS04: El prototipo permitirá guardar un archivo de formato de imagen (preferiblemente PNG) de los grafitis creados en el ambiente virtual, y un formato único para poder continuar un grafiti más tarde.

#### 4.2.2.3. Requisitos Funcionales

- RU01: El prototipo permitirá pintar grafitis virtuales con teclado y mouse sobre una pared virtual.
- RU02: El prototipo permitirá pintar grafitis virtuales con al menos un casco virtual (el Oculus Quest) sobre una pared virtual.
- RU03: El prototipo permitirá pintar grafitis virtuales en un ambiente virtual que asemeja un bosque con una pared en el centro.
- RU04: El prototipo permitirá personalizar la pared con texturas distintas para poder ver ciertos colores o diseños mejor.
- RU05: El prototipo permitirá al usuario un movimiento en el ambiente, junto con unas acciones de crear y deshacer partes de graffiti para realizar la pintura que tienen en mente con más facilidad.
- RU06: El prototipo permitirá al usuario guardar el grafiti que han creado en formato de imagen en su computador (preferiblemente PNG).
- RU07: El prototipo permitirá al usuario guardar el grafiti que han creado en un formato único para poder guardar grafitis incompletos que permitirán al usuario continuarlos más tarde. Este formato, idealmente, recordará los distintos trazos de pintura que el usuario ha hecho para una experiencia más amigable.

#### 4.2.2.4. Requisitos No Funcionales

- RN01: El prototipo se realizará en el motor Unreal Engine.
- RN02: El prototipo será optimizado con tiempos de respuesta bajas para una mejor usabilidad.

## 4.2.2.5. Diagrama de Casos de Uso

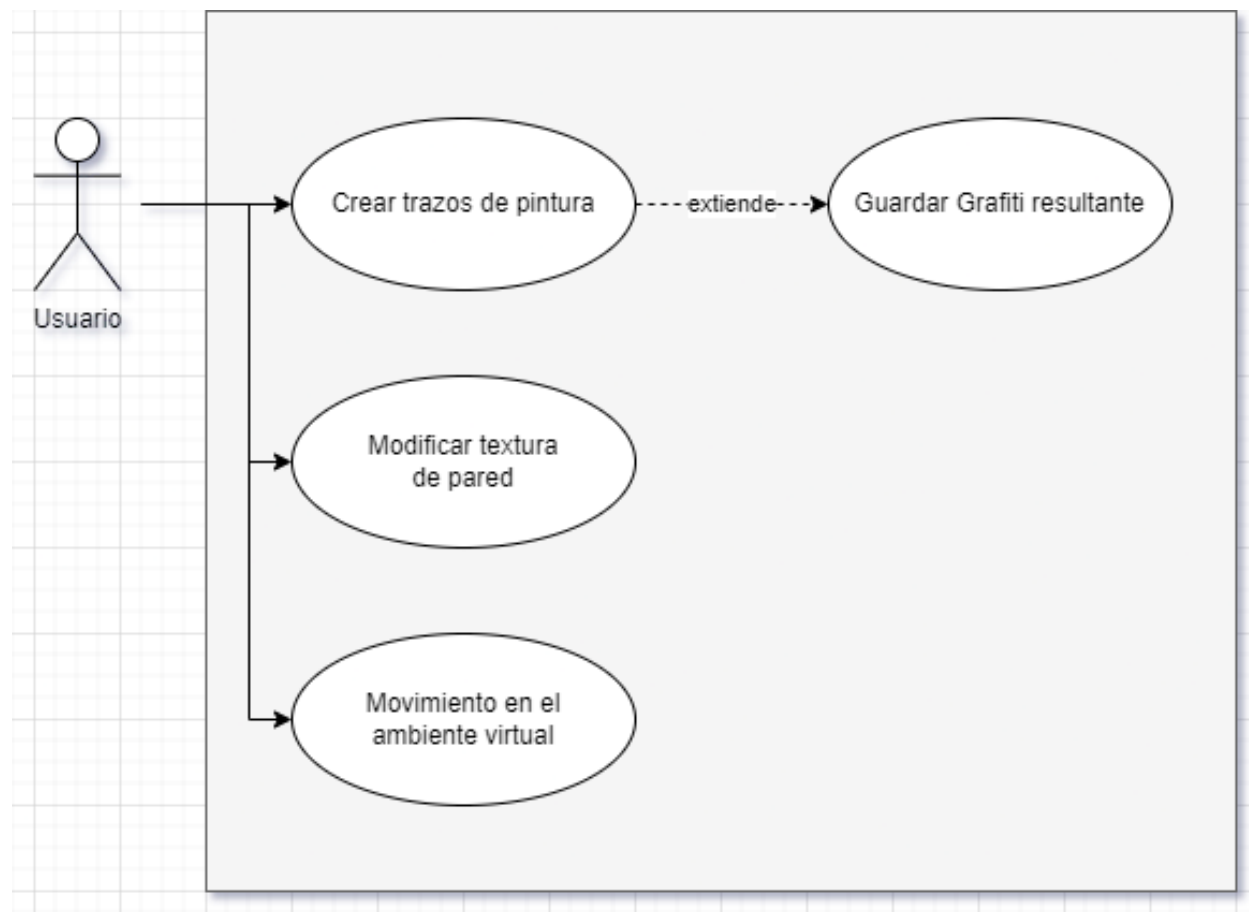


Figura 4.2: Diagrama de Casos de Uso

## 4.3. Diseño

Para esta sección, se detallará la arquitectura creada para el proyecto.

### 4.3.0.1. Diseño de Arquitectura en Distintos Niveles

Aquí, se describirá el sistema desde diferentes perspectivas y niveles para permitir una mejor comprensión de los diferentes actores [IBM]. Cada nivel describe cómo está diseñado el sistema, que lo compone y como es la interacción entre esos componentes. Cabe resaltar que los colores utilizados en estos diagramas no tienen significado especial, y simplemente se usaron para distinguir cada componente mas fácilmente.

El nivel 1 muestra el contexto del sistema. Permite ver el panorama general del sistema, sin muchos detalles y con un enfoque en los actores y sus interacciones con el sistema. En el nivel 2, se describen los contenedores del sistema. El nivel 3 describe los componentes de cada uno de los contenedores.

Empezando con el primer nivel, el usuario interactúa con el programa, creando graffitis con un casco o teclado. Cuando el usuario termina, puede guardar sus graffitis en su computador. El computador no es necesariamente un componente de la arquitectura de software, pero se menciona en este nivel para explicar que los graffitis se pueden guardar.



Figura 4.3: Diseño de Arquitectura Nivel 1

Vistos de la perspectiva del segundo nivel, el usuario crea grafitis en un bosque virtual. El bosque contiene una pared modificable sobre la cual el usuario podrá crear grafitis. Esta pared también tiene una textura que se puede cambiar si el usuario lo desea: madera, ladrillos, etc. para acomodar distintos tipos de grafitis. Dichos gráficos se crean con varias trazas de pintura que el programa permite borrar y cambiar, ya sea con teclado y ratón o un casco de realidad virtual. Cuando el usuario termina de pintar, tendrá la opción de guardar las trazas hechas sobre la pared como una imagen, resultando en un grafiti.

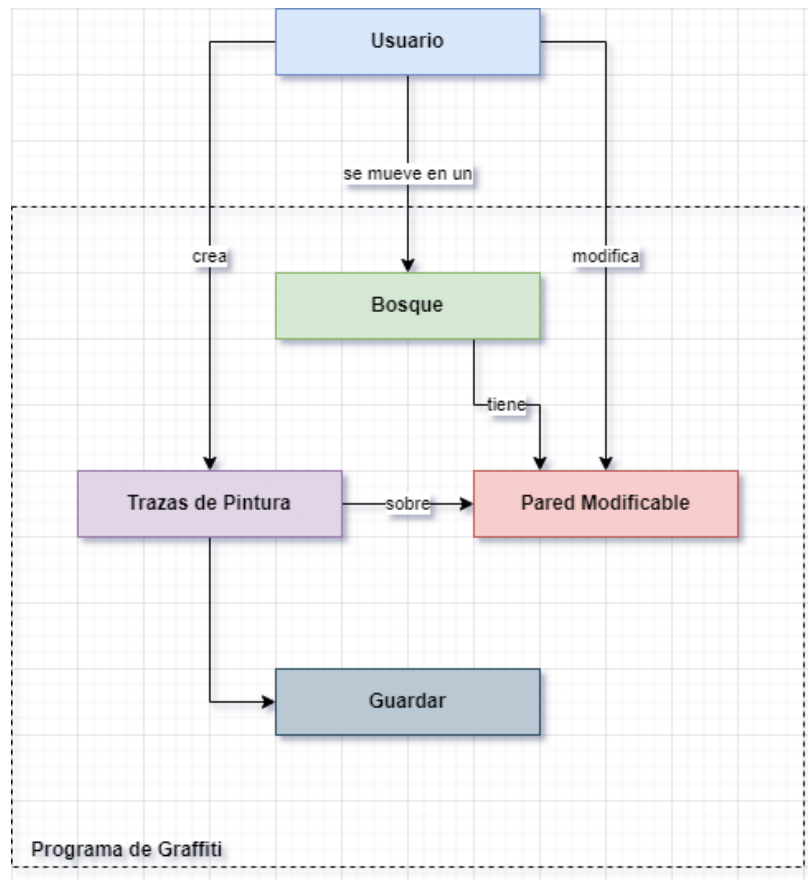


Figura 4.4: Diseño de Arquitectura Nivel 2

Finalmente, desde la perspectiva del tercer nivel, el Usuario puede realizar 4 Acciones que afectan el Mundo Virtual. Las flechas en este diagrama indican qué acciones se pueden realizar sobre cuáles componentes.

- **Movimiento:** El usuario podrá moverse en el Bosque del Mundo Virtual para ver sus graffitis desde distintos ángulos de vista.
- **Pintar:** El usuario podrá crear trazas de pintura que, combinados, resultan en un Graffiti. Estas trazas se crean sobre una Pared Modificable en el mundo virtual. El usuario puede hacer esto con teclado y mouse, o el Oculus Quest.
- **Modificar Pared:** El usuario podrá cambiar la textura de la Pared Modificable. Esta acción existe porque, en la vida real, ciertos tipos de paredes resaltan graffitis de distintos colores y estilos.
- **Guardar:** El usuario podrá guardar las trazas hechas sobre la Pared Modificable a su computador. Se podrá guardar con un formato único que recuerda las trazas hechas sobre la pared (para continuar sus graffitis más tarde), y/o como una imagen (PNG, preferiblemente).

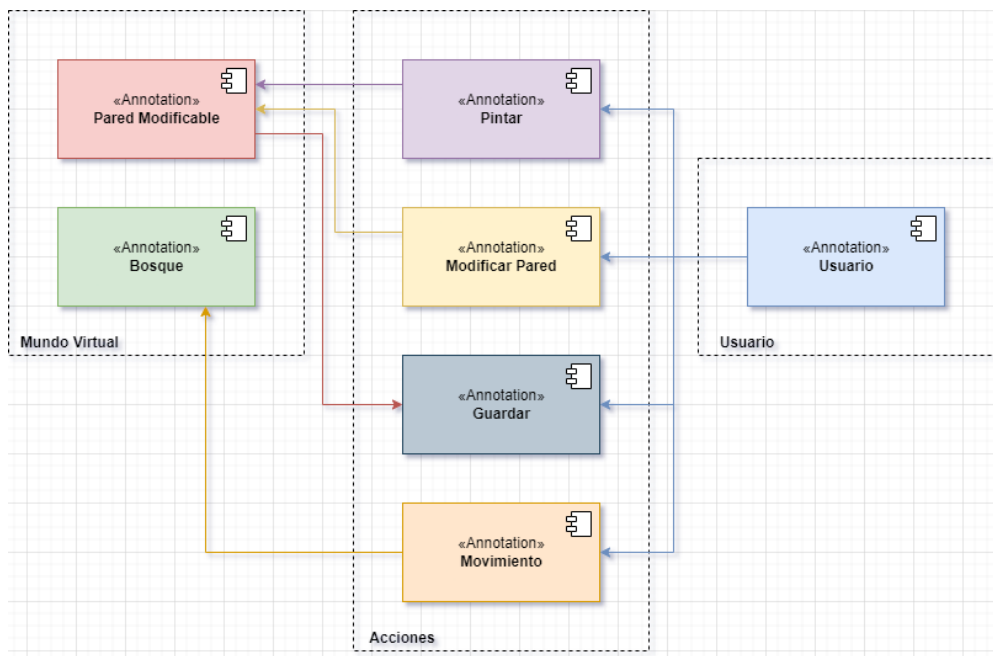


Figura 4.5: Diseño de Arquitectura Nivel 3

#### 4.3.0.2. Diseño de Interfaz

Finalmente, se presenta un prototipo de la interfaz del programa que tiene la intención de mostrar como podría funcionar en la implementación. La implementación no adhirió a este diseño estrictamente, pero si se utilizó como base para la interfaz final.

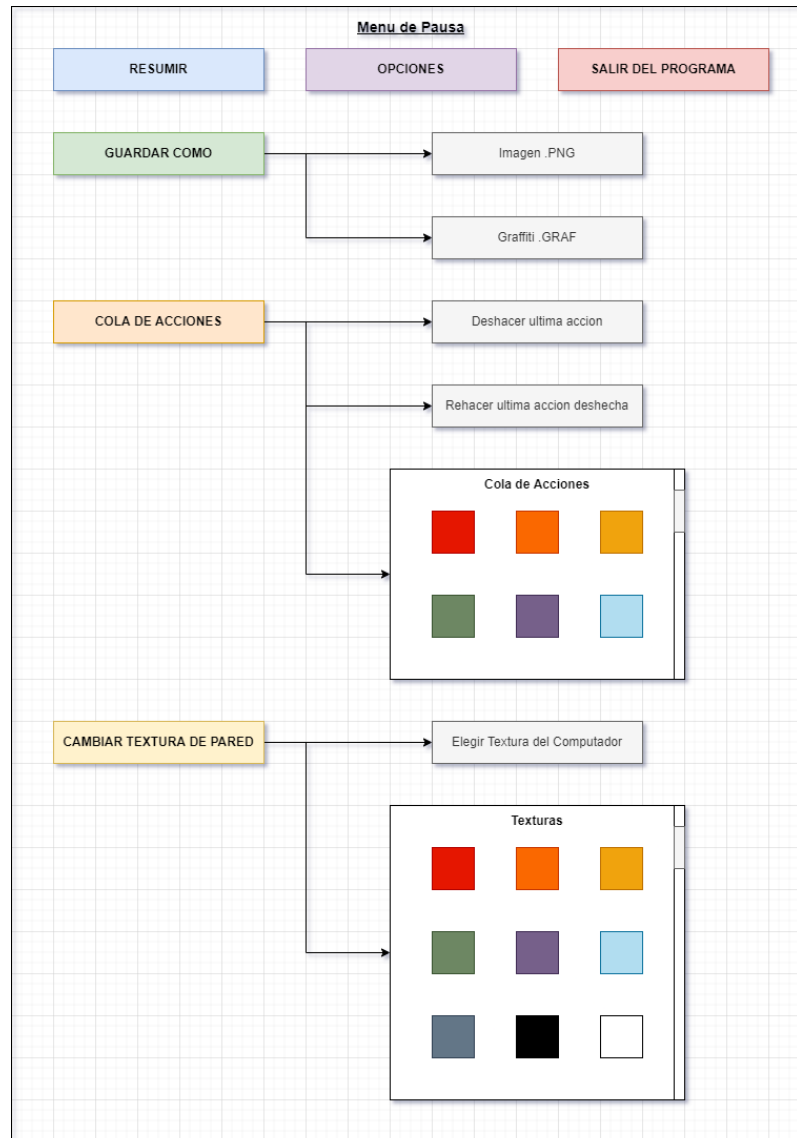


Figura 4.6: Diseño del Interfaz del programa desde una vista general

Algunas de estas funciones existen en la implementación, mientras que otras podrían ser incluidos en un trabajo futuro. Las funciones en este diseño son:

- Menú de Pausa: El usuario tiene la opción de pausar, abriendo un menú con estas opciones:
  - Resumir: El usuario sale del menú, volviendo al programa.
  - Opciones: El usuario abre otro menú por separado con opciones adicionales. Estos incluyen la opción de cambiar el color de la pintura del grafiti, su forma, su tamaño, etc.
  - Salir del Programa: El usuario cierra el programa.
- Guardar Como: El usuario guarda su grafiti creado. Tiene la opción de guardarla como una imagen PNG, o un formato único llamado GRAF.
- Cola de Acciones: El usuario tiene la opción de deshacer o rehacer acciones, gracias a una cola que guarda las pinturas hechas por el usuario. De esta forma, puede borrar o re-hacer grafitis borrados si el usuario comete algún error.
- Cambiar textura de pared: (No Implementado) El usuario puede cambiar la textura de la pared que pinta. Se puede hacer con una textura del computador del usuario, o con una lista de texturas dadas por el programa.

# Implementación

---

## 5.1. Dispositivos de Desarrollo y Despliegue

Para el desarrollo del programa, se utilizó un computador personal. Aunque la universidad puede prestar PCs con mas potencia, se decidió usar este computador en particular por tener especificaciones de medio a alta gama, y por su facilidad de acceso. Las especificaciones del PC son las siguientes:

- GPU: Radeon RX 580
- CPU: AMD Ryzen 5 2600 con seis núcleos y 3.40 GHz
- RAM: 16 GB

El programa fue probado con el Oculus Quest 2.

## 5.2. Herramienta de Desarrollo

Hay dos motores comúnmente usados en el desarrollo de videojuegos y programas similares: Unity y Unreal. Ambos motores son excelentes para desarrollo de programas en realidad virtual, pero se decidió crear el programa utilizando el motor de Unreal (mas específicamente, su versión 5.2) con base a experiencias anteriores con ambos motores. Además, Unreal recibió unas actualizaciones importantes empezando con su versión 5.0 que facilita la creación de ambientes y modelos 3D.

### 5.2.1. Particularidades de Unreal

El motor de Unreal tiene varias herramientas útiles para el proyecto [[Gamb](#)]. Los mas notables para la creación del programa son:

- Plantillas: Se puede empezar el proyecto con plantillas que tienen una inicialización de la cual se puede partir, ahorrando tiempo en ciertos aspectos como, por ejemplo, la implementación de movimiento en el mundo virtual.
- Creación de Terreno: Unreal tiene un “Landscape Mode” donde se pueden crear terrenos. Esto incluye varios aspectos: agregando terreno, modificando sus elevaciones y defectos, cambiando su textura, ajustando su tamaño, entre otros.
- Apoyo para Realidad Virtual.

- Herramientas de Despliegue: Unreal tiene varias opciones para facilitar el despliegue a distintas plataformas, incluyendo cascos de realidad virtual distintas, y otros sistemas operativos. Para este proyecto, solo se utilizó Windows.

### 5.3. Movimiento

Gracias a Unreal, esta parte no tomó mucho tiempo para implementar. Los controles en teclado y ratón son los típicos para varios programas de este estilo (WASD y Mouse para mover y recoger objetos), y el movimiento con los cascos virtuales es del estándar usual para estos programas: el usuario se tele-transporta a ciertas ubicaciones y utiliza su cabeza y controlador para mirar hacia sus alrededores y recoger objetos.

## 5.4. Creación del Ambiente

Según los objetivos establecidos, se creó un ambiente similar a un bosque. La parte mas importante del ambiente es la parte central, donde hay una pared donde el usuario puede pintar sus grafitis.

En orden, se creó el ambiente de la siguiente forma:

- El bosque: Utilizando el modo “Landscape” de Unreal, se creó un terreno. Se ajustó el tamaño del terreno para no ser demasiado grande, ahorrando recursos computacionales para el desarrollador y los usuarios. Después, se agregaron defectos y elevaciones mas o menos realistas para mejorar la impresión visual del ambiente.
- Finalmente, se creó el cuarto central, donde hay una mesa con las herramientas de grafiti para el usuario, y la pared central que servirá como su lona.

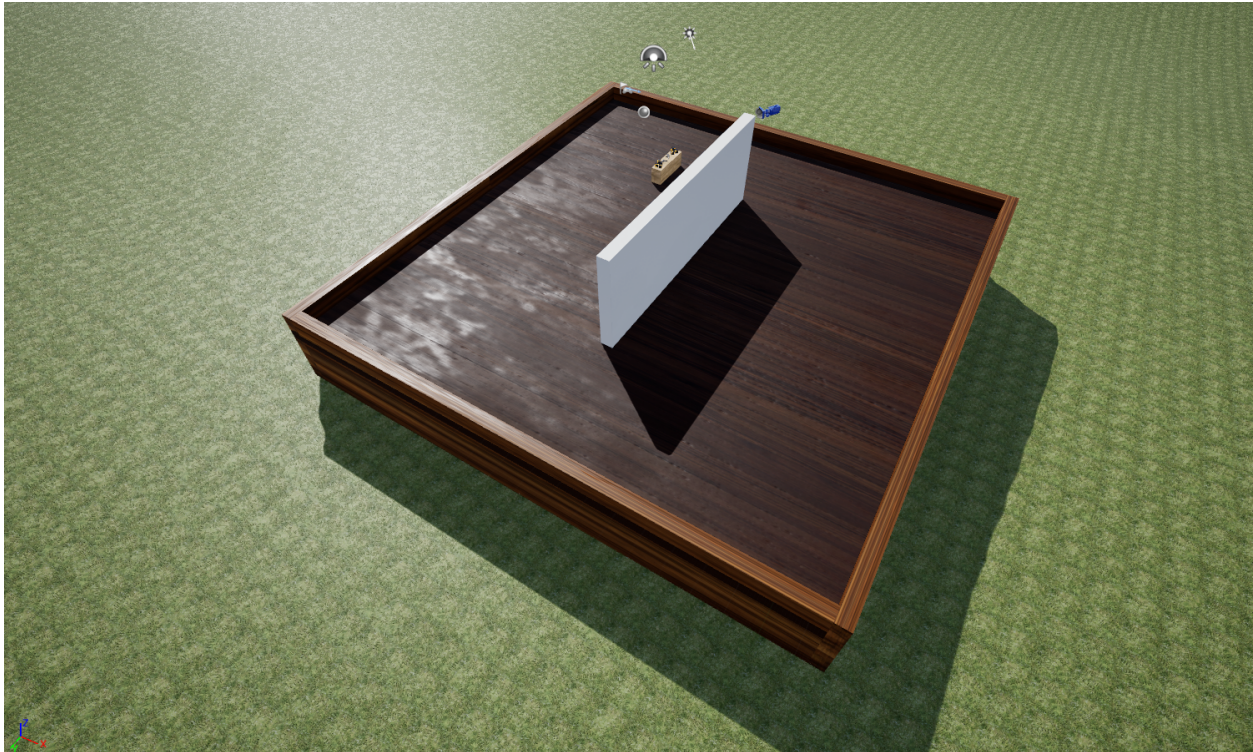


Figura 5.1: Ambiente creado para el programa

## 5.5. Funcionamiento de Grafitis

El programa fue creado partiendo de la plantilla de Realidad Virtual propiciado por el motor de Unreal. La plantilla viene ya con un lanzador de proyectiles con su propio código estilo “Blueprint” y scripts en lenguaje C++. “Blueprints” son una forma de programación en Unreal donde el equipo trabajando en el proyecto toma distintos módulos y conectores, vinculándolos con una interfaz gráfica, con varias opciones y valores modificables. Estos fueron modificados para el proyecto, dando lugar al resultado final. Los grafitis funcionan de la siguiente forma:

- Lata de Grafiti: Es una lata de grafiti que funciona mas o menos como un lanzador de proyectiles donde la diferencia principal es que, obviamente, el proyectil es un grafiti con la habilidad de pintar paredes.
- Grafiti: Este es el “proyectil” de la Lata, que crea una imagen sobre la pared. Su color puede ser cambiado por el usuario.
- Pared: Es la única superficie en el ambiente virtual que se puede modificar con los “proyectiles” de la Lata de Grafiti.



Figura 5.2: Ejemplo de un Grafiti creado con el programa

# Validación y Resultados

---

## 6.1. Plan de Pruebas

Para validar el proyecto antes de entregar, es importante asegurar que funciona bien o que, al menos, funcione lo suficiente para cumplir con los objetivos establecidos durante las fases anteriores. A pesar de la complejidad de la investigación previa e implementación de cualquier videojuego o programa similar, también cabe resaltar que es un proyecto de una escala mas pequeña: principalmente tiene una funcionalidad de pintar grafitis. Por lo tanto, se identificaron los siguientes aspectos mas importantes para probar este programa:

- Movimiento: Probar que se puede mover en el mundo y recoger y dejar objetos sin problemas.
- Grafiti: Probar que los Grafitis funciona de forma adecuada. Es decir, los grafitis se quedan en la pared, pintándola.

Para probar estas funcionalidades, el desarrollador debería probarlos por su propia cuenta después de hacer cambios al programa, ya sean pequeños o grandes. Si algo no funciona, el desarrollador lo intenta arreglar, y después continua con el resto de la implementación hasta terminar. Sin embargo, es difícil tener acceso a cascos de realidad virtual, por lo que se alcanzó un compromiso: El desarrollador probara principalmente los controles de teclado y ratón, simulando controles de casco virtual en pruebas por separado, mientras que las pruebas de usuario se enfocaran en los cascos virtuales. A continuación se presentan las pruebas realizadas, y sus resultados.

## 6.2. Pruebas Funcionales

No es posible continuar con el desarrollo del programa sin que estas pruebas sean exitosas. Antes de realizar esta entrega, todos estas pruebas fueron ejecutadas hasta que fueron exitosas.

- Prueba de Movimiento con teclado: Probar que se puede mover en el mundo y recoger y dejar objetos sin problemas utilizando solo el teclado y ratón.
- Prueba de Movimiento con casco simulado: Probar que se puede mover en el mundo y recoger y dejar objetos sin problemas utilizando los controles simulados de un casco de realidad virtual.
- Prueba de Grafiti con teclado: Probar que se puede pintar grafitis en la pared utilizando solo el teclado y ratón.

- Prueba de Grafiti con casco simulado: Probar que se puede pintar grafitis en la pared utilizando los controles simulados de un casco de realidad virtual.

### 6.3. Pruebas con Usuarios

Para esta prueba, dos usuarios voluntarios probaron el programa con el Oculus Quest 2. Los voluntarios fueron pedidos a simplemente utilizar el programa por un rato y crear un grafiti, y después a llenar una encuesta en inglés. Cada pregunta en la encuesta pide calificar ciertos aspectos de 1 a 5, con una pregunta abierta al final donde los voluntarios tenían la libertad de hacer sugerencias adicionales. La encuesta y sus resultados se presentan a continuación, traducidos al Español:

- Cómo calificarías la usabilidad del programa con controles normales?
  - Voluntario 1: 3
  - Voluntario 2: 4
- Cómo calificarías la usabilidad del programa con realidad virtual?
  - Voluntario 1: 3
  - Voluntario 2: 5
- Cómo calificarías la apariencia estética?
  - Voluntario 1: 3
  - Voluntario 2: 3
- Cómo calificarías la atmósfera del programa? Si piensas que te distrae mucho para la creación de grafitis, puedes dar una baja calificación.
  - Voluntario 1: 3
  - Voluntario 2: 4
- Cómo calificarías el programa en general?
  - Voluntario 1: 3
  - Voluntario 2: 5

El segundo voluntario dio la sugerencia de una galería en línea donde distintos usuarios podrían subir sus grafitis y compartir sus creaciones, y se tomó esta sugerencia en cuenta para la sección de Trabajos Futuros.

# Conclusiones

---

Los resultados de las pruebas fueron positivas: además de las pruebas funcionales, cada voluntario calificó su experiencia en un rango entre 3 y 5. Con los resultados adquiridos y las pruebas finalizadas, todos los objetivos propuestos han sido cumplidos. Para concluir, es pertinente mirar cada objetivo y reflexionar sobre las decisiones tomadas para cada uno.

Antes de empezar el diseño y la implementación, se pensó en los componentes distintos necesarios para el proyecto, junto a trabajos relacionados. Entre todas estas cosas, todo lo relacionado con el motor de Unreal resultó siendo lo más importante. Fue el motor elegido para el proyecto y, junto con la documentación, incluyó varios recursos para facilitar otros procesos relacionados con modelos 3D y texturas.

Algunos aspectos del proceso de diseño fueron elegidos por preferencia subjetiva, como el ambiente, mientras que otros fueron elegidos con el conocimiento de la experiencia previa, especialmente con el motor Unreal.

El proceso de implementación fue la causa de varias demoras, debido a factores relacionados con el motor, y otros factores externos. Sin embargo, se mantuvo una mentalidad optimista y abierta para resolver cada problema que surgió durante esta fase. Lo mismo va para la fase de validación, donde hubo una retro-alimentación productiva para las pruebas del proyecto, junto con consideraciones para los trabajos futuros.



# Trabajo Futuro

---

Con todos los objetivos del proyecto cumplidos, es posible apreciar aspectos donde el mismo puede expandir o mejorar. En otras palabras, es posible pulir el programa en ciertas maneras, o agregarle ciertas funcionalidades para mejorar su uso. Para finalizar, a continuación se listarán algunos de estos posibles trabajos futuros para el proyecto:

- Plataformas adicionales: Hay varios distintos cascos de realidad virtual aparte de los probados durante el desarrollo del proyecto como, por ejemplo, los que existen para teléfonos celulares. Además de estos cascos, hay consolas de videojuego que podrían disfrutar de un programa de grafiti. Por lo tanto, para un trabajo futuro, el programa podría expandir su funcionalidad y apoyo para estas otras plataformas.
- Ambientes adicionales: Durante el proyecto, se decidió ubicar el juego en un bosque con una pared en el centro. Sin embargo, distintas personas pueden relajarse o enfocarse mas en ciertos ambientes que en otros. Por lo tanto, para un trabajo futuro, el programa podría expandir e incluir ambientes adicionales como, por ejemplo, un desierto o una playa.
- Compartiendo grafitis mas fácilmente: Muchos programas dan apoyo para compartir creaciones o imágenes fácilmente por redes sociales, o incluyen una galería donde usuarios pueden ver las creaciones de otros dentro del mismo programa, y esto podría ser un buen trabajo futuro para el programa.
- Multi-jugador: Cualquier esfuerzo artístico en la vida real se puede hacer con mas de una persona: escritura, escultura, pintura y, por supuesto, grafiti. Un buen trabajo futuro para expandir este proyecto podría ser la inclusión de un modo multi-jugador donde mas de una persona puede contribuir a la pared.



# Bibliografía

- [CBF<sup>+</sup>] Gerry Chen, Sereym Baek, Juan-Diego Florez, Wanli Qian, Sang-Won Leigh, Seth Hutchinson, and Frank Dellaert. Gtgraffiti: Spray painting graffiti art from human painting motions with a cable driven parallel robot. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9812008>.
- [CLO<sup>+</sup>] Jaehee Cho, Tsung-Han Lee, Joel Ogden, Amy Stewart, Tsung-Yu Tsai, Junwen Chen, and Ralph Vituccio. Presence and emotion in virtual reality. <https://doi.org/10.1145/2929490.2931000>.
- [CMAK] Dimitrios Christopoulos, Pavlos Mavridis, Anthousis Andreadis, and John Karigianis. Using virtual environments to tell the story. [https://www.researchgate.net/publication/224249387\\_Using\\_Virtual\\_Environments\\_to\\_Tell\\_the\\_Story\\_The\\_Battle\\_of\\_Thermopylae](https://www.researchgate.net/publication/224249387_Using_Virtual_Environments_to_Tell_the_Story_The_Battle_of_Thermopylae).
- [dIEdTdM] Observatorio de Innovacion Educativa del Tecnológico de Monterrey. Realidad aumentada y realidad virtual. <https://innovacioneducativa.upm.es/node/265>.
- [Ein] Einnova. Que es la realidad aumentada. <https://www.einnova.com/servicio/que-es-la-realidad-aumentada>.
- [Esp] Real Academia Espanola. Graffiti. <https://dle.rae.es/graffiti>.
- [Gama] Epic Games. Unreal engine. <https://www.unrealengine.com/>.
- [Gamb] Epic Games. Unreal engine documentation. <https://docs.unrealengine.com/5.2/en-US/>.
- [Hoy] Ana Vazquez Hoys. Pompeya, graffiti, sexo y primeras elecciones municipales. <http://www.blognavazquez.com/2011/05/13/pompeya-graffiti-sexo-y-primeras-elecciones-municipales/>.
- [IBM] IBM. ¿qué es la arquitectura de tres niveles? <https://www.ibm.com/mx-es/topics/three-tier-architecture>.
- [MAL] MARIA CLAUDIA SALCEDO MALDONADO. Realidad virtual para reeducación motora de niños con daño neurológico. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/20514/598081.2011.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [Man] Silvia Maldonado Mangui. Analisis critico del graffiti como herramienta comunicativa de expresion urbana. [https://www.researchgate.net/publication/338442360\\_Analisis\\_critico\\_del\\_Graffiti\\_como\\_herramienta\\_comunicativa\\_de\\_expresion\\_urbana](https://www.researchgate.net/publication/338442360_Analisis_critico_del_Graffiti_como_herramienta_comunicativa_de_expresion_urbana).

- [OCF] Gilad Ostrin, Jessica R. Cauchard, and Jeremy Frey. Interactive narrative in virtual reality. [https://www.researchgate.net/publication/329500280\\_Interactive\\_Narrative\\_in\\_Virtual\\_Reality](https://www.researchgate.net/publication/329500280_Interactive_Narrative_in_Virtual_Reality).
- [Som05] Ian Sommerville. *Ingeniería del software*. Pearson Educación, 2005.
- [Tok] Eric K. Tokuda. Spatial distribution of graffiti types: a complex network approach. <https://link.springer.com/article/10.1140/epjb/s10051-021-00202-y>.
- [Wik] Wikipedia. Graffiti. <https://en.wikipedia.org/wiki/Graffiti>.