Desarrollo de una aplicación web interactiva para el fomento de la Cultura Ambiental en Humedales Urbanos en Bogotá

Michael Leandro Gonzalez Padilla

Universitaria Agustiniana - Uniagustiniana

Facultad de ingeniería

Tecnología en desarrollo de Software

Bogotá D.C

2026

Desarrollo de una aplicación web interactiva para el fomento de la Cultura Ambiental en Humedales Urbanos en Bogotá

Michael Leandro Gonzalez Padilla

Tutor: Mauricio Alonso Villalba

Trabajo para optar al título de Tecnólogo en Desarrollo de Software

Universitaria Agustiniana - Uniagustiniana

Facultad de ingeniería

Tecnología en desarrollo de Software

Bogotá D.C

2026

Tabla de contenido

Resumen (Abstract)..... 12

Abstract (resumen)..... 13

Introducción..... 15

Planificación del proyecto..... 17

Planteamiento del problema..... 17

Objetivos del proyecto..... 18

Objetivo general..... 18

Objetivos específicos..... 18

Alcance de la solución..... 19

Metodología de desarrollo de software..... 21

Estructura del proceso Scrum..... 21

Roles del equipo Scrum..... 22

Especificación de requisitos de software (IEEE830) 23

Funcionalidad del producto..... 23

Interfaz de usuario.....23

Funcionalidades principales.....23

Gestión de progreso y evaluación.....24

Compatibilidad y soporte técnico..... 24

Características de los usuarios.....25

Requisitos del software.....25

Requisitos funcionales.....25

Requisitos No Funcionales..... 29

CU-01: Navegación e Interacción en el Entorno WebGL.....32

CU-02: Especificación - Interacción con Puntos de Información Ambiental.....34

CU-03: Especificación - Interacción y Ejecución de Actividades de Aprendizaje (Compostera).....36

CU-04: Especificación - Sincronización y Persistencia de Resultados (Supabase)..... 37

CU-05: Especificación - Consulta de Ranking Global y Tabla de Líderes.....40

Restricciones y atributos de calidad.....42

Atributos de Calidad.....42

Restricciones.....42

Diseño del software (ISO 12207-1).....48

Diseño detallado del software.....48

Diagrama de clases.....48

Diagrama de componentes.....49

Diagrama de actividades.....50

Diagrama de despliegue.....50

Diseño de la interfaz.....51

Interfaces de entrada.....51

Interfaces interactivas.....53

Interfaz de salida.....55

Diseño de la arquitectura del software.....55

Diagrama de contexto.....56

Diagrama de contenedor.....57

Implementación.....58

Herramientas utilizadas en el desarrollo del proyecto.....58

Entornos de desarrollo.....58

Herramientas externas/servicios.....58

Modelado y diseño de diagramas.....59

Requisitos del hardware.....59

Desarrollo.....59

Servidor (local).....60

Servidor remoto (nube).....60

Usuario.....60

Lenguajes de programación.....61

Pruebas del software.....62

Inspección de software (Validación y Verificación) 62

Resultados generales..... 62

Conclusión..... 64

Pruebas de usabilidad..... 64

Descripción general..... .65

Resumen cuantitativo general..... 66

Principales observaciones cualitativas..... 66

Aspectos positivos más mencionados..... 66

Aspectos a mejorar..... 67

Comentarios destacados..... 67

Conclusión..... 67

Pruebas de interacción..... 68

Descripción general..... .68

Análisis cualitativo de comentarios..... 70

Aspectos más valorados..... 70

Aspectos por mejorar..... 71

Comentarios destacados..... 71

Conclusión..... 72

Modificaciones realizadas..... 75

Claridad en minijuegos e interacción..... 75

Optimización de la interfaz y legibilidad..... 75

Mejora del rendimiento y fluidez..... 75

Orientación visual y experiencia de usuario..... 75

Conclusiones y recomendaciones..... 78

Referencias..... 80

Anexos..... 82

Anexo A..... 82

Anexo B..... 87

Lista de Tablas

Tabla 1.....26

Tabla 2.....29

Tabla 3.....32

Tabla 4.....34

Tabla 5.....36

Tabla 6.....38

Tabla 7.....40

Tabla 8.....42

Tabla 9.....44

Tabla 11.....63

Tabla 12.....65

Tabla 13.....68

Tabla 14.....84

Tabla 15.....86

Tabla 16..... 91

Lista de Figuras

Figura 1.....34

Figura 2.....48

Figura 3.....49

Figura 4.....50

Figura 5.....51

Figura 6.....52

Figura 7.....52

Figura 8.....53

Figura 9.....54

Figura 10.....55

Figura 11.....56

Figura 12.....57

Figura 13.....72

Figura 14.....73

Figura 15.....73

Figura 16.....74

Resumen (Abstract)

Este proyecto ha sido planeado y se centra en el desarrollo de una plataforma web interactiva virtual basada en la tecnología WebGL de Unity, su diseño está enfocado en fomentar la cultura ambiental y contribuir a la conservación de los humedales en Bogotá. A diferencia de las páginas web actuales de la misma temática, esta aplicación permite una experiencia inmersiva donde el usuario interactúa mediante juegos y aprendizaje activo. Está diseñada para ser multiplataforma y se pueda jugar tanto en Pcs como en Moviles, integra también una base de datos en tiempo real para la gestión de puntajes según lo que se realice en el juego. Por lo tanto se busca no solo ofrecer una experiencia entretenida si no también brindar conocimiento sobre los cuidados en los humedales, frente a las amenazas urbanas que enfrenta este ecosistema.

Palabras clave: WebGL, Supabase, educación ambiental, interactividad, humedales urbanos.

Abstract (resumen)

This project focuses on the development of an interactive virtual web platform based on Unity's WebGL technology, designed to promote environmental culture and contribute to the conservation of wetlands in Bogotá. Unlike current web pages on the same topic, this application provides an immersive experience where the user interacts through games and active learning. It is designed to be multiplatform, playable on both PCs and mobile devices, and integrates a real-time database to manage scores based on in-game performance. Therefore, the goal is not only to offer entertaining experience but also to provide knowledge about wetland care in the face of the urban threats this ecosystem faces.

Keywords: WebGL, Supabase, environmental education, interactivity, urban wetlands.

Introducción

Bogotá es una ciudad con muchos humedales, para la mayoría de sus habitantes, estos espacios son invisibles. Su función contra inundaciones y que son el hogar de muchas especies locales y migratorias los hacen un ecosistema que debemos preservar. Hoy enfrentan deterioro y reducción de espacios causada en su mayoría por la contaminación y la expansión urbana. El obstáculo más grande para su conservación no es solo la falta de recursos para su conversación si no también el desconocimiento de la población.

Normalmente se hacen charlas o salidas de campo para concientizar, pero están alejadas de llegar al grueso de la población. Aquí es donde proponemos algo distinto. Este proyecto nace con la idea de usar la tecnología y el desarrollo de software para llegar a más público, permitiendo que cualquier persona, desde un navegador web y sin necesidad de equipos especiales, pueda explorar y entender la problemática de estos entornos. No se busca solo mostrar el humedal, sino crear un espacio donde el usuario pueda interactuar y aprender.

Desde el punto de vista técnico, el reto fue integrar la capacidad visual de Unity con las tecnologías web moderna. Al combinar WebGL con un frontend dinámico en React, logramos que la experiencia no sea solo contemplativa, sino activa: el usuario enfrenta desafíos, toma decisiones y ve su puntaje al final de forma inmediata. Fuera de eso, la implementación de una base de datos para registrar el progreso transforma el juego en una experiencia más allá de un recorrido normal.

A lo largo de este documento, explico el camino recorrido para construir esta plataforma: desde el análisis y la definición en la arquitectura, hasta la validación con usuarios finales. El resultado es una apuesta tecnológica que busca demostrar que la protección de nuestra biodiversidad puede empezar con algo tan cotidiano como abrir un enlace en el celular o el computador.

Planificación del proyecto

Planteamiento del problema

Los humedales de Bogotá son ecosistemas estratégicos que enfrentan una crisis crítica debido a la expansión urbana, la contaminación y la disposición de residuos. Sin embargo, el obstáculo más persistente para su conservación no es solo físico, sino cultural: existe una desconexión profunda entre los ciudadanos y estos entornos. A pesar de su importancia hídrica y biológica, la mayoría de los habitantes de la ciudad desconocen su función ecológica, lo que deriva en una falta de sentido de pertenencia y protección.

Actualmente, las estrategias de educación ambiental presentan limitaciones importantes que dificultan masificar este conocimiento:

1. **Limitación de alcance:** Las visitas presenciales y charlas pedagógicas, aunque efectivas, no logran cubrir a la totalidad de la población y dependen de logística física.
2. **Pasividad de los recursos digitales:** Los materiales disponibles en la web suelen ser estáticos (textos, fotos o videos planos). Al no permitir la interacción, el usuario adopta un rol pasivo, lo que reduce drásticamente el interés y la retención de la información.
3. **Falta de seguimiento y datos:** No existen plataformas abiertas que permitan medir el impacto real del aprendizaje. Las herramientas actuales no registran el progreso del usuario, impidiendo que las instituciones tengan datos concretos sobre el nivel de conciencia ambiental generado.

Desde la perspectiva del desarrollo de software, el problema radica en la ausencia de una herramienta tecnológica accesible y dinámica que combine la potencia de la simulación interactiva con la facilidad de acceso de la web. Sin una plataforma que permita "vivir" el humedal de forma activa y que gestione los resultados del aprendizaje en tiempo real, la educación ambiental seguirá siendo un recurso poco atractivo y difícil de escalar, dejando la supervivencia de estos ecosistemas a merced de la indiferencia ciudadana.

Objetivos del proyecto

Objetivo general

Desarrollo de una Aplicación Web Interactiva para el Fomento de la Cultura Ambiental en Humedales Urbanos de Bogotá**,** que integre un entorno virtual en WebGL y servicios de backend en la nube, con el fin de fortalecer la educación ambiental sobre los humedales de Bogotá mediante mecánicas de gamificación y persistencia de datos.

Objetivos específicos

1. Construir una interfaz web responsiva utilizando **React y Tailwind CSS**, que sirva como contenedor del entorno virtual y garantice la accesibilidad desde diversos dispositivos y navegadores.

2. Implementar un puente de comunicación bidireccional entre el motor **Unity WebGL** y el ecosistema web, permitiendo que las acciones del usuario dentro del entorno 3D se traduzcan en eventos capturables por la aplicación.

3. Diseñar y configurar una arquitectura de base de datos en **Supabase** para gestionar la autenticación de usuarios y garantizar la persistencia de los puntajes y progresos obtenidos en los minijuegos..

4. Realizar pruebas de usabilidad con usuarios finales para evaluar la eficiencia de la plataforma y la estabilidad de la integración entre el entorno gráfico y la base de datos.

Alcance de la solución

El alcance del presente proyecto comprende el diseño y desarrollo de una plataforma web interactiva que evoluciona el concepto de visualización pasiva hacia un entorno de participación activa. La solución no se limita a la exhibición de contenido, sino que establece un ecosistema digital donde la arquitectura de software sirve como soporte para la educación ambiental.

Los pilares que definen el alcance son:

1. **Interoperabilidad y Accesibilidad Web:** A diferencia de las soluciones basadas en hardware especializado (como la realidad virtual inmersiva), este proyecto se centra en la democratización del acceso. El alcance técnico incluye la adaptación de un entorno tridimensional mediante el estándar **WebGL**, permitiendo que la plataforma sea ejecutada en cualquier navegador moderno. Esto garantiza que el impacto social llegue a cualquier ciudadano con un dispositivo móvil o computador, eliminando barreras económicas o técnicas de acceso.

2. **Gamificación y Aprendizaje Dinámico:** La plataforma integra mecánicas de interacción directa, como el sistema de gestión de compostaje y desafíos de conocimientos. El alcance funcional permite que el usuario deje de ser un observador para convertirse en un actor dentro del ecosistema virtual. Desde el punto de vista pedagógico, esto busca fortalecer la retención de información y generar un vínculo emocional con la conservación de los humedales a través del aprendizaje basado en retos.

3. **Arquitectura de Datos y Medición de Impacto:** Un componente crítico de este desarrollo es la implementación de una capa de backend mediante **Supabase**. El alcance del sistema cubre la autenticación de usuarios y la persistencia de puntajes en tiempo real. Esta característica permite transformar una experiencia lúdica en una herramienta de análisis educativo, proporcionando datos concretos sobre el progreso de los usuarios, algo fundamental para colectivos ambientales e instituciones que busquen medir el alcance de sus campañas de sensibilización.

4. **Soporte a la Identidad y Cultura Local:** Socialmente, el proyecto actúa como una vitrina digital de los humedales de la ciudad. El contenido está diseñado para que los líderes comunitarios y docentes utilicen la herramienta como un recurso didáctico complementario en sus talleres, fomentando el sentido de pertenencia y la apropiación social del territorio sin los riesgos o limitaciones logísticas de las visitas presenciales masivas.

5. **Limitaciones del Proyecto:** El desarrollo se enfoca exclusivamente en la interacción virtual y el procesamiento de datos educativos. No se contempla la intervención física en los ecosistemas ni el suministro de infraestructura de red a los

usuarios, centrando el esfuerzo en entregar una plataforma de software estable, escalable y de alta disponibilidad.

Metodología de desarrollo de software

Para la ejecución de este proyecto se seleccionó la metodología ágil **Scrum**, debido a su enfoque colaborativo y su capacidad para gestionar desarrollos iterativos e incrementales. Esta elección es fundamental dado que la integración de tecnologías diversas (Unity, React y Supabase) requiere de pruebas constantes y ajustes sobre la marcha para asegurar la estabilidad del sistema (Schwaber & Sutherland, 2020).

El desarrollo se estructuró en **6 Sprints** de dos semanas cada uno. Se definieron **Historias de Usuario** que abarcan desde la navegación básica en el entorno 3D hasta la persistencia de datos en la nube. Estas historias se organizaron en un *Product Backlog*, priorizando aquellas que representaban un mayor reto técnico, como la comunicación entre el motor WebGL y el frontend.

Estructura del proceso Scrum

1. **Sprint Planning:** Al inicio de cada iteración, se definieron los objetivos técnicos y las historias de usuario a desarrollar. En esta fase se diseñó un flujo de trabajo para cubrir los requisitos funcionales, asegurando que cada incremento de software fuera testeable y funcional en el navegador.

2. **Sincronización (Daily Scrum):** Se establecieron sesiones de revisión de avances tres veces por semana. En estas reuniones se monitoreó el progreso del código,

se identificaron cuellos de botella en la integración de scripts de Unity y se ajustaron las tareas para cumplir con los tiempos de cada sprint.

3. **Sprint Review:** Al cierre de los hitos principales, se realizaron revisiones de la funcionalidad del producto. En estas sesiones se validó el correcto funcionamiento de los minijuegos y la respuesta de la base de datos, contando con la retroalimentación del tutor **Mauricio Alonso Villalba** para asegurar que el desarrollo se alineara con los objetivos académicos.

4. **Sprint Retrospective:** Al finalizar cada ciclo, se evaluaron los aciertos y dificultades técnicas, especialmente en lo relacionado con la optimización del build de WebGL y el consumo de recursos en el navegador, permitiendo mejorar la eficiencia del código para el siguiente sprint.

Roles del equipo Scrum:

1. **Product Owner:** El rol fue asumido por el tutor del proyecto, **Mauricio Alonso Villalba**, quien se encargó de validar que las funcionalidades desarrolladas cumplieran con los requisitos de calidad y los estándares de la facultad.

2. **Scrum Master:** Responsable de velar por el cumplimiento de la metodología y de gestionar los impedimentos técnicos durante el desarrollo, asegurando la fluidez entre las fases de diseño y programación.

3. **Equipo de Desarrollo:** Encargado de la arquitectura de software, modelado 3D, implementación de lógica en C#, desarrollo del frontend en React y configuración de servicios en Supabase. El equipo está integrado por **Michael Leandro Gonzalez Padilla**.

Especificación de requisitos de software (IEEE830)

Funcionalidad del producto

Interfaz de usuario

La plataforma presenta una interfaz intuitiva y responsiva desarrollada en **React y Tailwind CSS**, diseñada para facilitar la navegación a usuarios con diversos niveles de competencia técnica. A diferencia de las visualizaciones estáticas, el sistema integra un contenedor dinámico que aloja el entorno **WebGL**, permitiendo una transición fluida entre los menús de la aplicación y la experiencia inmersiva. Los controles están adaptados tanto para periféricos tradicionales (teclado y ratón) como para interfaces táctiles mediante mandos virtuales, asegurando una experiencia de usuario (UX) coherente en cualquier dispositivo.

Funcionalidades principales

Entre las capacidades técnicas del producto se destacan:

1. **Navegación Interactiva en 3D:** Exploración libre del humedal en un entorno tridimensional mediante un controlador de primera persona (FPS), permitiendo al usuario interactuar con objetos y desplazarse por puntos de interés estratégicos.

2. **Sistema de Comunicación Bidireccional (Bridge):** Implementación de un puente de comunicación entre Unity y el navegador para enviar datos de progreso y eventos de juego en tiempo real.

3. **Mecánicas de Aprendizaje Activo:** Inclusión de minijuegos funcionales como la gestión de una compostera y sistemas de recolección de objetos (GrabObject), que transforman la teoría ambiental en mecánicas de juego.

4. **Despliegue Multiplataforma:** Acceso inmediato a través de navegadores web modernos sin necesidad de descargas externas, gracias al alojamiento distribuido en Vercel e Itch.io.

Gestión de progreso y evaluación

El sistema cuenta con una capa de persistencia de datos que registra el desempeño del usuario de manera automática. Al completar desafíos o evaluaciones de conocimiento (quices), los resultados son validados y enviados a una base de datos en **Supabase**. Esta funcionalidad permite generar un ranking global y un historial de progreso individual, transformando la experiencia en una herramienta pedagógica medible y competitiva que incentiva la retención de los conceptos aprendidos sobre el ecosistema.

Compatibilidad y soporte técnico

La aplicación está optimizada para funcionar en estándares web modernos, asegurando compatibilidad con los motores de renderizado de Chrome, Firefox y Safari. Al ser una solución basada en la nube, el soporte técnico se simplifica mediante documentación técnica que incluye los requisitos mínimos del sistema, guías de navegación y el manual de arquitectura del software para futuras escalabilidades (como la adición de nuevos humedales).

Características de los usuarios

El producto está diseñado para una audiencia diversa interesada en la educación ambiental y el uso de herramientas digitales:

1. **Estudiantes (Primaria a Superior):** Usuarios que requieren recursos didácticos inmersivos para fortalecer su formación académica.
2. **Docentes y Colectivos Ambientales:** Líderes que necesitan una herramienta de apoyo tecnológica para sus procesos de sensibilización comunitaria.
3. **Ciudadanía General:** Personas interesadas en conocer la biodiversidad urbana y participar en acciones de conservación desde la virtualidad.
4. **Entidades Gubernamentales:** Organismos que pueden integrar la plataforma en sus estrategias de cultura ciudadana y gestión de recursos naturales.

Requisitos del software

Requisitos funcionales

Los requisitos funcionales son aquellos requisitos que definen las funciones concretas que debe cumplir un sistema para cubrir las necesidades del usuario, tales como procedimientos, acciones o tareas que el software debe ejecutar (gestionar datos, facilitar la búsqueda, gestionar archivos, consultar con el usuario, etc.) y que son determinantes a la hora de definir el alcance funcional del sistema, expresándose en términos de entradas, salidas y procesos.

“Los requerimientos funcionales especifican qué debe hacer el sistema, incluyendo las funciones, cálculos, datos y comportamientos que se esperan.” (López, I. D., 2023).

Tabla 1

Tabla de requisitos funcionales

ID-RQF	Funcionalidad	Descripción del requisito	Actor
1	Exploración en entorno 3D	El sistema debe permitir la navegación libre en un entorno tridimensional mediante controladores de primera persona (FPS) para escritorio y joysticks virtuales para dispositivos móviles.	Usuario (Estudiante)
2	Interacción con objetos	El sistema debe permitir al usuario recolectar y manipular objetos dentro del entorno virtual (GrabObject) para resolver los desafíos de los minijuegos.	Usuario (Estudiante)

3	Comunicación Unity-Web (Bridge)	El sistema debe sincronizar en tiempo real los eventos ocurridos en el motor de juego con la interfaz de React mediante un puente de comunicación (postMessage).	Sistema

4	Gestión de Minijuegos	El software debe procesar la lógica de actividades pedagógicas específicas, como el sistema de compostaje y quices, calculando puntajes basados en el desempeño del usuario.	Usuario (Estudiante)
5	Autenticación de Usuarios	El sistema debe permitir el registro e ingreso de usuarios mediante **Supabase Auth** para vincular el progreso y los	Usuario (Estudiante)

		puntajes a una identidad única.	
6	Persistencia de Resultados	El sistema debe almacenar de forma permanente los puntajes, tiempos y niveles completados en una base de datos escalable en la nube.	Sistema
7	Visualización de Ranking Global	La interfaz debe consultar y mostrar una tabla de posiciones actualizada con los mejores puntajes registrados por los usuarios en los diferentes minijuegos.	Usuario
8	Adaptabilidad de Interfaz	La aplicación debe ajustar su layout y controles de manera automática (Responsividad) utilizando React y Tailwind CSS según el dispositivo de acceso.	Usuario

Nota: Autoridad propia (2026)

Requisitos No Funcionales:

Los requisitos no funcionales establecen no cómo debe comportarse el sistema sino más bien su funcionamiento a partir de cómo debería comportarse atendiendo a sus funcionalidades. Se habla de atributos como rendimiento, seguridad, usabilidad, escalabilidad, mantenibilidad, etcétera. Como hemos dicho, estos requisitos no son acciones específicas y, por el contrario, son condiciones de calidad que el sistema tiene que satisfacer de forma tal que se reconozcan como los válidos en el caso que sean superados.

> "Los requisitos no funcionales determinan qué tan bien debe funcionar el sistema, afectando su rendimiento, experiencia de usuario y éxito a largo plazo" (Visure Solutions, 2025).

Tabla 2

Tabla de requisitos no funcionales

ID-RNF	Funcionalidad	Descripción del requisito	Actor
1	Disponibilidad	La plataforma debe estar disponible en línea el 99% del tiempo, garantizado mediante el despliegue en servicios de hosting tipo PaaS (**Vercel** e **Itch.io**)	Usuario

2	Rendimiento	El entorno WebGL debe cargar en un tiempo promedio inferior a 10 segundos en conexiones de banda ancha estándar, optimizando el tamaño del build de Unity.	Usuario
3	Seguridad	La gestión de usuarios y protección de datos debe realizarse mediante los protocolos de autenticación de **Supabase Auth (JWT)**.	Usuario
4	Portabilidad	Funcionalidad consistente en Chrome, Firefox, Edge, Safari, Android e iOS.	Usuario
5	Usabilidad	La interfaz debe ser intuitiva, permitiendo que un usuario nuevo comprenda la navegación básica en menos de 1 minuto de interacción.	Usuario

6	Localización	El sistema estará configurado inicialmente en idioma español, con una arquitectura que permita la escalabilidad a otros idiomas (Internacionalización) en versiones futuras.	Usuario
7	Compatibilidad	La aplicación debe ser compatible con las versiones más recientes de navegadores basados en Chromium (Chrome, Edge), Firefox y Safari.	Usuario

Nota: Autoridad propia (2026)

Casos de USO

Los casos de uso son descripciones estructuradas que se crean para los usuarios con el fin de que estos puedan interactuar con el sistema y conseguir un objetivo determinado. Se presentan situaciones funcionales que describen los requerimientos desde la perspectiva de los usuarios, sirviendo para la comunicación entre programadores y fuentes de interés. Un caso de uso estará conformado por actores, flujos de sucesos, precondiciones y resultados esperados.

"Un caso de uso es una técnica que permite capturar los requerimientos funcionales mediante la descripción de interacciones entre el sistema y sus usuarios" (López Méndez, 2020).

CU-01: Navegación e Interacción en el Entorno WebGL

Este caso de uso describe cómo el usuario interactúa con el mundo tridimensional, utilizando los controles programados para explorar el ecosistema de forma activa.

Tabla 3

Tabla para el caso de uso 01

Nombre:	Navegación e Interacción en el Entorno WebGL
Autor:	Usuario
Fecha:	04-04-2026
Descripción: El usuario se desplaza a través del modelo 3D del humedal utilizando controles de primera persona (FPS), permitiendo la exploración libre y la interacción con objetos del entorno.	
Precondiciones: ● El navegador del usuario debe ser compatible con el estándar WebGL y tener acceso a internet para cargar los assets del motor.	

<table>
<tr><td>Flujo normal:

1. El usuario accede al sitio

2. Se carga el recorrido virtual

3. El usuario aparece en el punto de</td><td>Flujo Alternativo

1A. El hardware del usuario no soporta aceleración gráfica (el sistema muestra un mensaje de error de compatibilidad)</td></tr>
<tr><td>inicio definido

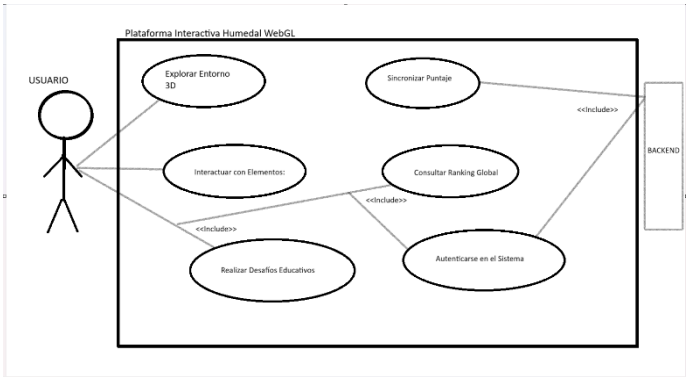
4. El usuario interactúa con el entorno del checkpoint en el que se encuentra
5. El usuario utiliza las teclas WASD o el joystick virtual para desplazarse.

6. El sistema gestiona las colisiones y la visualización de la cámara en tiempo real.</td><td>5A. El usuario intenta atravesar límites del mapa (el sistema de colisiones bloquea el paso).</td></tr>
<tr><td colspan="2">Postcondiciones: El usuario ha explorado el entorno y está listo para activar los puntos de interacción o minijuegos.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Prioridad: Alta</td></tr>
</table>

Nota: Autoridad propia (2026)

Figura 1

Diagrama de caso de uso 01 - Navegación e interacción en el entorno WebGL



Fuente: Autoridad propia (2026)

CU-02: Especificación - Interacción con Puntos de Información Ambiental

Este caso de uso describe cómo el usuario consume la información pedagógica que ya se encuentra distribuida y visible dentro del mundo 3D.

Tabla 4

Tabla para el caso de uso 02

Nombre:	Interacción con Puntos de Información Ambiental
Autor:	Usuario visitante
Fecha:	04-04-2026

<table>
<tr><td colspan="2">Descripción:

El usuario observa y lee la información técnica y ambiental dispuesta en carteles e infografías integradas como activos visuales (texturas/objetos) dentro del recorrido.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Precondiciones:

● El usuario debe estar navegando en el entorno WebGL y encontrarse en el ángulo de visión correcto hacia el activo informativo.</td></tr>
<tr><td>Flujo normal:

1. Usuario se desplaza por el humedal utilizando los controles de navegación.
2. El sistema renderiza los activos visuales (carteles informativos) en tiempo real.
3. El usuario posiciona la cámara frente al cartel para realizar la lectura de los contenidos (flora, fauna o datos ecológicos).
4. El usuario continúa con el recorrido tras absorber la información.</td><td>Flujo Alternativo

1A. La distancia o el ángulo de la cámara impiden la lectura clara (el usuario debe reajustar su posición mediante el controlador FPS).</td></tr>
</table>

Postcondiciones: El usuario adquiere conocimientos teóricos necesarios para resolver los desafíos posteriores (Quices/Minijuegos).
Prioridad: Media

Nota: Autoridad propia (2026)

CU-03: Especificación - Interacción y Ejecución de Actividades de Aprendizaje (Compostera)

Este caso de uso describe el proceso mediante el cual el usuario ejecuta acciones lógicas dentro del entorno para cumplir objetivos pedagógicos y generar resultados cuantificables.

Tabla 5

Tabla para el caso de uso 03

Nombre:	Interacción y Ejecución de Actividades (Compostera)
Autor:	Usuario visitante
Fecha:	04-04-2026
Descripción: El usuario activa mecánicas de juego específicas (como la gestión de residuos en la compostera) mediante la tecla **E**, procesando una tarea que resulta en una actualización de puntaje.	

<table>
<tr><td colspan="2">Precondiciones:

● El usuario debe estar en el rango de proximidad del objeto interactivo y tener el controlador de personaje activo.</td></tr>
<tr><td>Flujo normal:

1. Usuario se acerca a la compostera o al objeto de recolección.
2. El sistema detecta el colisionador (Trigger) y habilita el mensaje visual de acción.
3. El usuario presiona la tecla E.
4. El script CompostManager.cs (o GrabObject.cs) ejecuta la lógica de interacción.
5. El sistema procesa la acción (ej. depositar residuo) y actualiza el valor de la variable de puntaje en Unity.</td><td>Flujo Alternativo

1A. El usuario presiona la tecla sin estar en el rango correcto (el sistema no ejecuta ninguna acción).

2A. El usuario realiza una acción incorrecta dentro del minijuego (el sistema descuenta puntos o muestra un mensaje de error pedagógico).</td></tr>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">Postcondiciones: El puntaje final es retenido localmente para ser enviado al servicio de base de datos (CU-04).</td></tr>
</table>

Prioridad: Alta

Nota: Autoridad propia (2026)

CU-04: Especificación - Sincronización y Persistencia de Resultados (Supabase)

Este caso de uso describe el flujo técnico de información desde el motor de ejecución (Unity) hacia la capa de datos en la nube, garantizando que el progreso del usuario sea permanente

Tabla 6

Tabla para el caso de uso 04

Nombre:	Sincronización y Persistencia de Resultados (Supabase)
Autor:	Usuario visitante
Fecha:	04-04-2026
Descripción: El sistema transmite los datos de desempeño obtenidos en Unity hacia el frontend en React para ser almacenados en la base de datos de Supabase.	
Precondiciones: ● El usuario debe haber completado un minijuego (CU-03) y contar con una sesión activa en la plataforma web.	

Flujo normal:	Flujo Alternativo
1. El script de gestión en Unity (QuizManager.cs o CompostManager.cs) finaliza el cálculo del puntaje. 2. Se invoca el método de comunicación del WebGLBridge.cs 3. El puente .jslib dispara un evento postMessage hacia la ventana padre (Navegador) 4. El componente Game.jsx en React captura la trama de datos enviada. 5. La aplicación web ejecuta una petición insert hacia la tabla de *scores* en Supabase. 6. El sistema confirma el almacenamiento y actualiza el Ranking Global.	**1A.** El mensaje no es capturado por el componente React (el sistema intenta un reenvío automático). **2A** Fallo de conexión con la API de Supabase (el sistema notifica al usuario que el progreso no pudo guardarse en ese momento).
Postcondiciones: Los datos del usuario están disponibles para ser consultados en la tabla de líderes y en su perfil de progreso	

Prioridad: Alta

Nota: Autoridad propia (2026)

CU-05: Especificación - Consulta de Ranking Global y Tabla de Líderes

Este caso de uso describe el proceso de recuperación y visualización de datos desde la nube para fomentar la competitividad y el compromiso de los usuarios con el aprendizaje ambiental.

Tabla 7

Tabla para el caso de uso 05

Nombre:	Consulta de Ranking Global / Tabla de Líderes
Autor:	Usuario
Fecha:	04-04-2026
Descripción: El sistema recupera los puntajes más altos almacenados en la base de datos y los muestra de forma organizada en la interfaz de la aplicación web.	
Precondiciones: ● Debe existir una conexión estable a internet y registros previos de puntajes en la tabla de resultados de Supabase.	

Flujo normal:	Flujo Alternativo
1. El usuario accede a la sección de "Ranking" o "Puntajes" desde el menú de React. 2. El componente Leaderboard.jsx realiza una consulta (select) a la API de Supabase. 3. El sistema solicita los datos ordenados de forma descendente por la columna de puntaje.Guarda cambios. 4. Supabase retorna la lista de los mejores usuarios y sus respectivos logros. 5. La interfaz renderiza la información en una tabla dinámica utilizando Tailwind CSS.	**1A.** La tabla de la base de datos está vacía (el sistema muestra un mensaje indicando que aún no hay registros). **2A** Error en la respuesta del servidor (el sistema muestra un aviso de "Servicio no disponible temporalmente").
Postcondiciones: El usuario visualiza su posición respecto a otros participantes y puede decidir regresar al entorno 3D para mejorar su puntaje.	
Prioridad: Media	

Nota: Autoridad propia (2026)

Restricciones y atributos de calidad

Atributos de Calidad

Los atributos de calidad son características que permiten evaluar el desempeño del software en términos de eficiencia, fiabilidad, usabilidad, mantenibilidad, entre otros. Estos atributos no definen funciones, sino propiedades que influyen en la experiencia del usuario y en la sostenibilidad técnica del sistema.

"Los atributos de calidad del software son patrones consensuados que permiten medir el comportamiento de los sistemas en ejecución y su estructura interna" (Solop Software, 2025).

Tabla 8

Tabla de atributos

ID-AC	Atributo de Calidad	Funcionalidad	Prioridad
1	La interfaz (UI) debe seguir principios de diseño responsivo y heurísticas de Nielsen, garantizando una curva de aprendizaje inferior a 2 minutos para usuarios novatos.	Usabilidad	Alta
2	El entorno WebGL debe mantener una tasa de refresco mínima de **30 FPS** en dispositivos de gama media, optimizando el *draw call* y el uso de texturas comprimidas.	Rendimiento	Alta

3	Al estar desplegada en una arquitectura *Serverless* (Vercel), la plataforma debe garantizar un tiempo de actividad (Uptime) del 99.9%.	Disponibilidad	Alta
4	El tamaño del build inicial de Unity debe estar optimizado (inferior a 50MB) para asegurar tiempos de carga menores a 1 minuto en conexiones estándar.	Eficiencia	Media
5	La integridad de los puntajes y la sesión del usuario debe protegerse mediante el estándar JWT (JSON Web Tokens) proporcionado por Supabase Auth.	Seguridad	Alta
6	La latencia de escritura en la base de datos de Supabase no debe superar los 500ms bajo condiciones normales de red.	Persistencia	Alta
7	La arquitectura debe permitir la incorporación de nuevos modelos 3D de otros humedales sin requerir cambios en la lógica del backend (Diseño desacoplado).	Escalabilidad	Baja

8	Soporte garantizado para navegadores con soporte **WebAssembly (Wasm)** y WebGL 2.0 (Chrome, Firefox, Safari, Edge).	Compatibilidad	Alta

Nota: Autoridad propia (2025)

Restricciones

Las restricciones en ingeniería de software son limitaciones impuestas al desarrollo o funcionamiento del sistema. Pueden derivarse de normas legales, estándares técnicos, condiciones del entorno o decisiones organizacionales. Estas restricciones afectan el diseño, la implementación y la operación del software, y deben ser consideradas desde las etapas iniciales del proyecto.

"Son restricciones a los servicios o funciones provistas por el sistema, como restricciones de tiempo, sobre el proceso de desarrollo, estándares, entre otros" (Universidad de la República, 2020).

Tabla 9

Tabla de restricciones

ID-AC	Restricción	Funcionalidad	Prioridad

1	**Entorno de Ejecución:** El sistema está restringido a navegadores web con soporte para el estándar **WebGL 2.0**. No se requiere hardware especializado (VR), priorizando la accesibilidad universal	Tecnologia	Alta
2	**Conectividad:** La plataforma requiere una conexión activa a internet para la carga de *assets* pesados desde el servidor de hosting y para la comunicación vía API con **Supabase**.	Infraestructura	Alta
3	**Optimización de Memoria:** Debido a las limitaciones de memoria del navegador, el *build* de Unity no debe exceder el límite de gestión de memoria de JavaScript (usualmente configurado en 256MB o 512MB).	Rendimiento	Alta
4	**Seguridad de Datos:** La persistencia de datos debe cumplir con la Ley 1581 de 2012 (Habeas Data en Colombia), asegurada a través de la encriptación de **Supabase Auth**.	Legal	Alta

5	**Motor de Desarrollo:** Se restringe el uso de Unity a la versión **2021 LTS o superior** para garantizar la compatibilidad con los paquetes de WebGL y React-Unity-Webgl.	Tecnologia	Baja
6	**Cronograma:** El desarrollo total, desde el diseño hasta el despliegue final, está restringido a un periodo académico, siguiendo la metodología **Scrum** en ciclos de 2 semanas.	Gestión de Proyecto	Alta
7	**Interoperabilidad:** Solo se permite el uso de librerías y *plugins* de C# que sean compatibles con la compilación a **WebAssembly (wasm)**, excluyendo librerías de Windows nativas.	Infraestructura / Tecnología / Desarrollo	Alta
8	La calidad gráfica debe equilibrarse con el rendimiento para garantizar una experiencia fluida en todos los dispositivos soportados.	Diseño / Gráficos	Media
9	Se utilizarán únicamente plugins y assets de la Unity Asset Store compatibles con WEBGL	Recursos / Licenciamiento	Media

Nota: Autoridad propia (2026)

Diseño del software (ISO 12207-1)

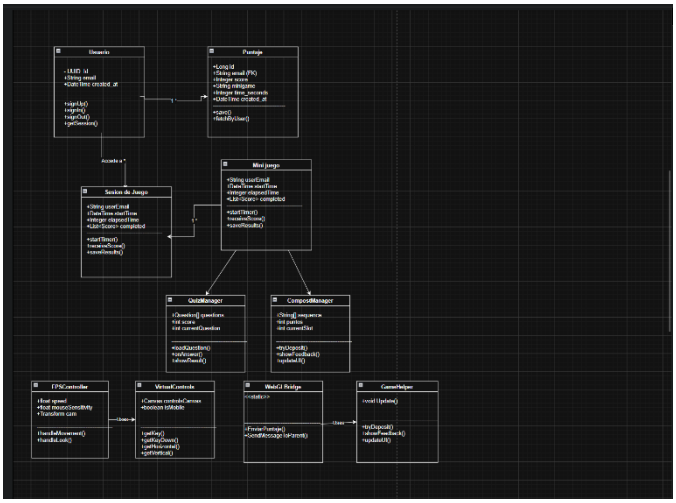
Diseño detallado del software

Diagrama de clases:

El diagrama de clases muestra la estructura de un sistema mediante clases, atributos, métodos y relaciones entre clases. Conforme a la especificación de la OMG, “los diagramas de clases describen la estructura de un sistema a partir de clases, atributos y operaciones, relaciones entre objetos” (Object Management Group [OMG], 2017). En el presente diagrama se describe el modelo de dominio con las principales clases, teniendo estas mismas sus respectivos atributos y métodos.

Figura 2

Diagrama de clases del sistema



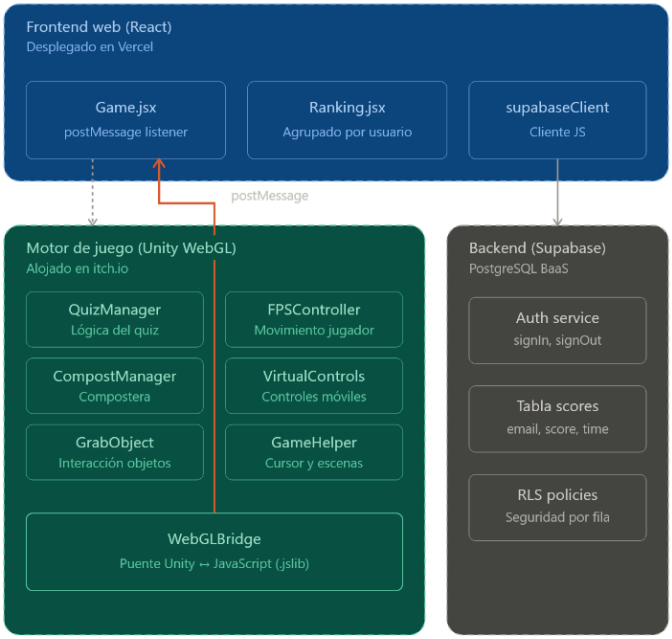
Fuente: Autoridad propia (2026)

Diagrama de componentes:

El El diagrama de componentes representa la composición y las dependencias que establecen los módulos de software desplegables del sistema. Tal y como indica la norma ISO/IEC 19505, "un diagrama de componentes muestra el modo en el que se relacionan los componentes para dar lugar a sistemas más grandes" (International Organization for Standardization [ISO], 2012).

Figura 3

Diagrama de componentes del sistema



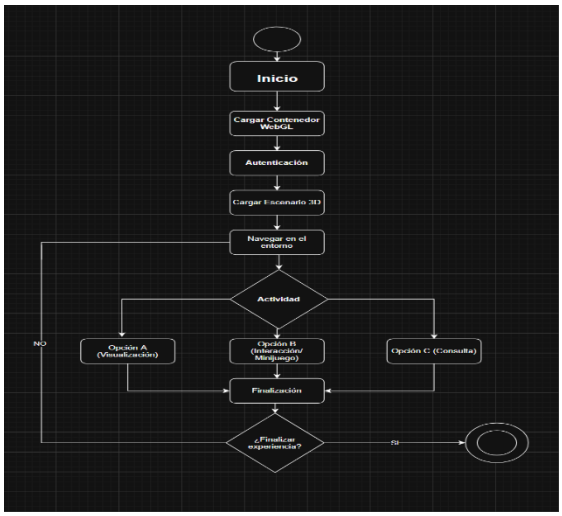
Fuente: Autoridad propia (2026)

Diagrama de Actividades

El diagrama de Actividades modela el flujo de trabajo y los procesos del sistema, permite una visualización de actividades, decisiones y paralelismo. Según la OMG (2017), “los diagramas de actividades representan el comportamiento dinámico de un sistema, dejando documentado el flujo de control o de datos”. Para el proyecto Unity, en este diagrama se propone el proceso de navegación del usuario: desde que elige uno de los puntos de interés hasta visualizar panoramas y volver al menú.

Figura 4

Diagrama de actividades - Flujo de navegación del usuario



Fuente: Autoridad propia (2026)

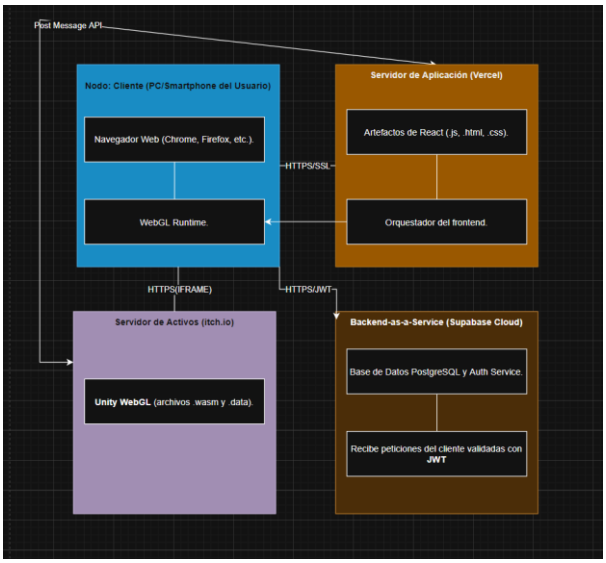
Diagrama de despliegue:

El diagrama de despliegue concreta la arquitectura física del sistema, es decir, los nodos de hardware y los artefactos de software. En ISO/IEC 19505 (2012) se establece que este diagrama: “modela la topología de hardware en la que el sistema será ejecutado”. En el caso del

recorrido 360° en Unity, el diagrama realiza la distribución en contextos distintos y con los artefactos generados en el build de Unity.

Figura 5

Diagrama de actividades - Despliegue del sistema



Fuente: Autoridad propia (2026)

Diseño de la interfaz

Interfaces de entrada

En la interfaz de entrada se puede visualizar el letrero de bienvenida al humedal y un botón de avanzar para seguir a la siguiente escena. El usuario también podrá navegar por un plano y visualizar como se ve la entrada al humedal y su panorama.

Figura 6

Interfaz de entrada



Nota: el usuario puede visualizar la escena del mirador uno, en donde se le explica el funcionamiento del recorrido virtual / autoridad propia (2026)

Figura 7

Mirador uno



Fuente: Autoridad propia (2026)

Interfaces interactivas

Nuestras interfaces interactivas se componen de tres momentos, la escena de compostera, la escena del mirador y por último la escena del quiz. Cada una de estas escenas componen puntos claves del humedal y algunos de los procesos que se llevan a cabo para su conservación.

En la primera interfaz “Escena compostera”, se plantea un minijuego interactivo en donde el usuario, mediante instrucciones que se le suministran de manera secuencial, realiza el proceso de composta que se lleva a cabo en varias zonas del humedal.

Figura 8

Compostera



Fuente: Autoridad propia (2026)

Interfaces interactivas 2

La siguiente interfaz planteada para la interacción del usuario, lleva por nombre “Escena mirador”, en esta escena se puede visualizar parcialmente un punto de interés en el humedal donde se puede contemplar gran parte de su componente acuático, también se plantea el desarrollo de un laberinto en donde el usuario va a poder aprender sobre el humedal mediante carteles informativos que dan datos sobre el mismo. Mediante el avance del usuario, él va a poder ver estos carteles y aprender sobre este valioso ecosistema.

Figura 9

Mirador



Fuente: Autoridad propia (2026)

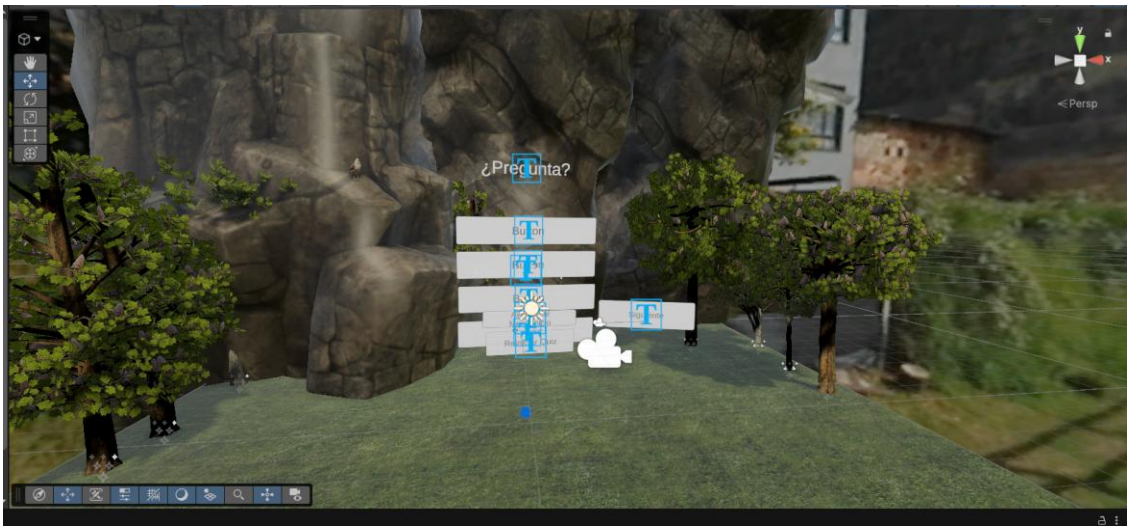
Interfaces interactivas 3

Y, por último, se presenta la interfaz llamada “Escena Quiz”. En esta interfaz, el usuario podrá llevar a cabo la prueba de sus conocimientos adquiridos durante el recorrido. La interfaz

contiene una evaluación que retroalimenta el contenido educativo expuesto en el humedal, esta evaluación busca dar un feedback positivo al usuario para que el mismo pueda seguir aprendiendo sobre este ecosistema y reconocer que tanto aprendió durante el recorrido.

Figura 10

Quiz



Fuente: Autoridad propia (2026)

Interfaz de salida

Diseño de la arquitectura del software

El C4 model es una técnica de representación arquitectónica que permite representar de un sistema software en el que representar sistemas software en niveles de detalle que van desde una visión general de contexto hasta el código fuente. Tal como asevera Brown (2018), “C4 es un enfoque jerárquico que combina diagramas de contexto, contenedores, componentes y código para comunicar arquitectura de software de forma clara a diferentes públicos”. Su objetivo es

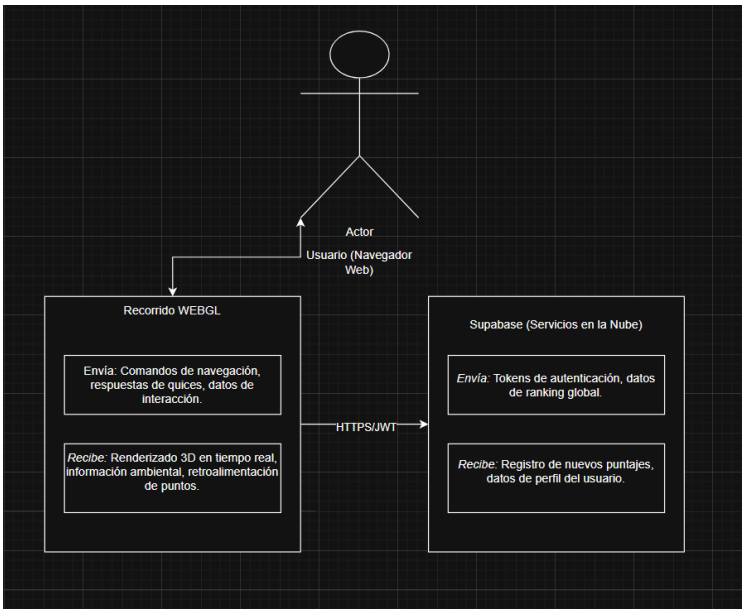
ofrecer una narrativa visual estandarizada como medio para mejorar la comunicación entre los desarrolladores, arquitectos del software y otros públicos interesados.

Diagrama de contexto

El diagrama de contexto permite representar el sistema como una "caja negra", esto es un sistema determinado por sus relaciones con elementos externos al mismo. Según Brown (2018) este nivel es muy práctico para facilitar a los interesados un entendimiento preciso sobre el alcance del sistema y sus dependencias básicas. En el caso de recorrido 360° en Unity se encuentra el usuario final interactuando con un navegador web.

Figura 11

Diagrama de contexto del sistema



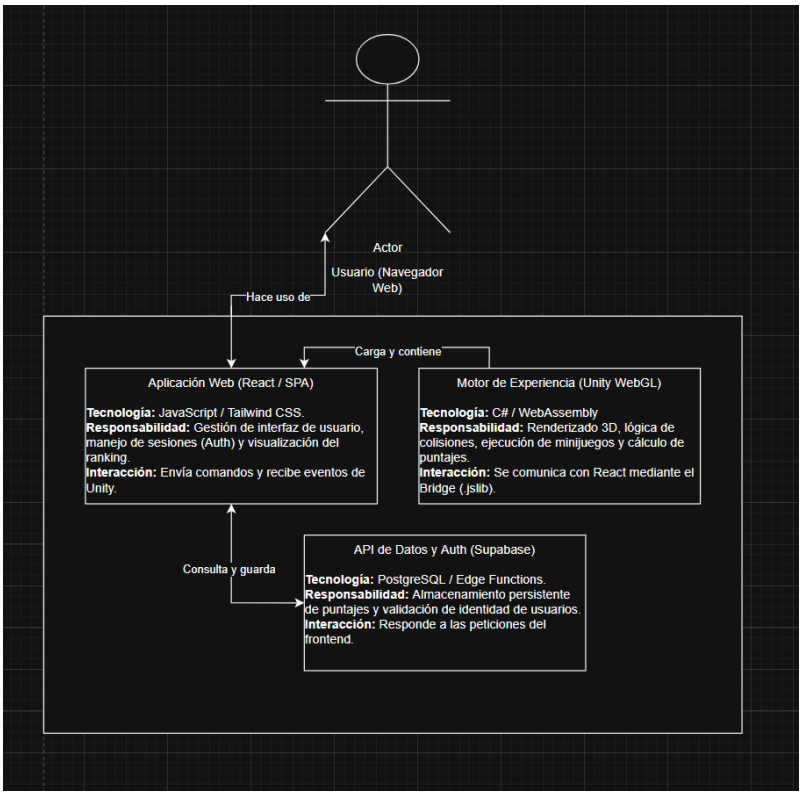
Fuente: Autoridad propia (2026)

Diagrama de contenedor

El diagrama de contenedores representa los principales runtimes o despliegues que se realizan en el sistema. Según explica Brown (2018), “los contenedores son las aplicaciones ejecutables o las bases de datos que constituyen la aplicación en sí, de los cuales cada contenedor tiene definida su responsabilidad específica”.

Figura 12

Diagrama de contenedor del sistema



Fuente: Autoridad propia (2026)

Implementación

Herramientas utilizadas en el desarrollo del proyecto

Entornos de desarrollo

Se utilizó Unity Hub como gestor principal de proyectos y Unity Editor como entorno de desarrollo. El editor "ofrece un conjunto completo de herramientas para diseñar escenas, animaciones, físicas e interacciones (Unity Technologies, s.f.-b, párr. 2).

Para la escritura del código se utilizó Visual Studio 2022, un IDE muy bien integrado con Unity, que Microsoft (s.f.-b) define como "un entorno de desarrollo completo que aporta potentes herramientas de depuración, colaboración y refactorización para varios lenguajes" (párrafo 1).

Herramientas externas/servicios

Para el diseño de los diagramas fue utilizado StarUML, que a su vez "es un sofisticado modelador de software para un modelado ágil y conciso" (StarUML, s.f., párr. 1). También se utilizó Mermaid, una librería que permite crear diagramas mediante la sintaxis de texto en

Markdown y navegadores modernos. Tal como dice Knut Sveidqvist (creador de Mermaid), "Mermaid ayuda a crear diagramas y visualizaciones en línea a partir del texto, lo que resulta en documentación viva y dinámica" (Mermaid, s.f., párr. 1).

- **Supabase:** Plataforma *Backend-as-a-Service* (BaaS) utilizada para la autenticación de usuarios y la persistencia de datos mediante una base de datos PostgreSQL.

- **React.js:** Biblioteca de JavaScript utilizada para construir la interfaz de usuario (UI) y gestionar la lógica de comunicación con el motor Unity.

- **Vercel:** Plataforma de despliegue en la nube utilizada para el hosting del frontend, garantizando alta disponibilidad y certificados SSL automáticos.

Modelado y diseño de diagramas

La creación de los diagramas de clases, diagramas de componentes, diagramas de actividades y diagramas de despliegue fue realizada a través de Mermaid Live Editor para luego exportarlos a formato gráfico y ser incorporados en el documento final.

Requisitos del hardware

Desarrollo

Para el desarrollo del proyecto y las pruebas del entorno del editor Unity se usaron los siguientes requerimientos mínimos recomendados:

1. Procesador: Intel Core i5 de 6ª generación o superior / AMD Ryzen 5.
2. Memoria-RAM: 8 GB o más (recomendado 16 GB).
3. Almacenamiento: 512 GB SSD.
4. Tarjeta Gráfica: NVIDIA GTX 1060 o equivalente
5. Sistema Operativo: Windows 10/11 o macOS 12 en adelante.

Servidor (local)

Para pruebas de visualización en navegadores mediante WebGL y para almacenamiento local de builds se requiere:

1. Servidor web local (Apache o Nginx).
2. RAM: 4 GB mínimo.
3. Almacenamiento: 100 GB SSD.
4. Compatibilidad con el protocolo HTTP/HTTPS.

Servidor remoto (nube)

Para proceder con la publicación del recorrido en la web con soporte de acceso simultáneo es necesario:

1. Servidor en la nube o CDN (Vercel e itch.io, GitHub Pages, por ejemplo).
2. Ancho de banda: 10 Mbps o más.
3. Conexiones simultáneas: 100 o más.
4. Almacenamiento: 5 GB disponibles para el paquete WebGL.
5. Certificado SSL para acceso seguro (HTTPS).

Usuario

Requisitos de usuario para acceder al recorrido:

1. Para navegador web:

    a. Navegadores compatibles con WebGL (Chrome, Edge, Firefox)

    b. Conexión a Internet: 10 Mbps o más.

    c. Dispositivo: PC o portátil con GPU básica.

Lenguajes de programación

El desarrollo, diseño e implementación del recorrido virtual interactivo estaba realizado mediante el uso de Unity, un motor de videojuegos multiplataforma destinado, en este caso específico, para la creación de experiencias en 2D y 3D.

Según Unity Technologies (s.f), "Unity es la plataforma de creación en tiempo real más utilizada del mundo, que da la oportunidad a artistas, diseñadores y desarrolladores para crear conjuntamente experiencias interactivas" (párr. 1).

El lenguaje principal que se utilizó para el desarrollo de scripts fue C#, que “es un lenguaje de programación orientado a objetos, simple, moderno y flexible que se utiliza en gran medida para aplicaciones de escritorio, móviles, servicios web y videojuegos” (Microsoft, s.f.-a, párr. 2).

A su vez, para poder exportar hacia WebGL se utilizaron las librerías y los módulos de compilación que ofrece Unity, facilitando la portabilidad hacia los navegadores web.

Pruebas del software

Inspección de software (Validación y Verificación)

Esta fue la fase en la que se hizo la revisión del software, mediante el proceso de validación y verificación para comprobar si el sistema cumplía con los requerimientos correspondientes al recorrido virtual interactivo del Humedal de Techo en su versión WebGL, a nivel funcional y no funcional. Para comprobar lo anterior se llevó a cabo la elaboración de un cuestionario de Google Forms, en el cual se incorporaron preguntas sobre la facilidad de navegación, claridad de la interfaz, identificación de objetos interactivos, calidad visual, rendimiento técnico (tiempos de carga y fluidez), actividades educativas, autenticación y visualización del ranking. Para ello cada usuario final podía elegir entre opciones de escala del 1 al 5 o de selección múltiple, además de un campo abierto para observaciones personales. Participaron cuatro (4) usuarios finales (estudiantes, visitantes y conocidos), quienes respondieron el formulario tras completar el recorrido y los minijuegos.

Resultados generales

Con base en las respuestas obtenidas de los cuatro participantes, el sistema obtuvo un promedio general de 4.25 / 5 (85 % de cumplimiento), considerando las cinco categorías cuantitativas evaluadas: facilidad de navegación, claridad de interfaz, identificación de objetos, calidad visual y fluidez durante el recorrido.

Los resultados indican que el software cumple satisfactoriamente con la mayoría de los requisitos funcionales y no funcionales planteados. La autenticación y el registro de puntajes en el ranking fueron validados positivamente por el 100 % de los participantes.

Las observaciones más recurrentes se relacionaron con:

1. Necesidad de adaptar los letreros y botones al tamaño de pantalla en dispositivos móviles.

2. Interés en un mayor nivel de interactividad en los minijuegos.

3. Sugerencia de incorporar carteles con flechas para orientar al usuario dentro del recorrido.

En contraste, los puntos más destacados fueron:

1. Facilidad de navegación dentro del entorno 3D.

2. Correcta visualización del puntaje en el Ranking al finalizar los minijuegos.

3. Proceso de autenticación claro y sin errores.

Tabla 11

Tabla resumen de validación y verificación

Tipo de requisito	Cumple	No cumple	Observaciones
Funcionales	95 %	5 %	El 100 % de los usuarios completó autenticación y visualizó su puntaje en el Ranking sin errores. Un usuario indicó dificultad

			menor para identificar objetos interactivos en móvil.
No funcionales	85 %	15 %	Dos usuarios reportaron lag ocasional durante el recorrido. Se sugiere mejorar la legibilidad de letreros y botones en dispositivos móviles, e incorporar carteles con flechas orientadoras.

Nota: Autoridad propia (2026)

Conclusión

Los resultados de la validación y verificación demuestran que el recorrido virtual interactivo del Humedal de Techo en su versión WebGL cumple con los requerimientos establecidos para su correcto funcionamiento. Los usuarios valoraron positivamente la facilidad de navegación, la autenticación, el registro de puntajes en el ranking y la calidad estética del entorno 3D, obteniendo un promedio global de 4.25 / 5 (85 % de cumplimiento general).

Las observaciones obtenidas servirán como base para realizar ajustes menores en la interfaz y la usabilidad, principalmente en la legibilidad de textos en dispositivos móviles y en la orientación visual dentro del recorrido, antes de aplicar las pruebas de usabilidad y evaluación.

Pruebas de usabilidad

Descripción general

El formulario fue aplicado a cuatro participantes (usuarios finales, estudiantes y visitantes) después de explorar el recorrido virtual interactivo del Humedal de Techo en su versión WebGL y sus minijuegos.

Las preguntas usaron una escala de 1 a 5, donde:

A. 1 = No cumple / Muy insatisfecho

B. 5 = Cumple totalmente / Muy satisfecho

El objetivo fue evaluar aspectos de usabilidad, claridad, diseño, interacción y satisfacción general, según los principios de la evaluación heurística y la experiencia de usuario (UX). Adicionalmente se incluyeron preguntas de selección múltiple sobre rendimiento técnico, autenticación y preferencia de actividad educativa, así como un campo abierto para sugerencias.

Tabla 12

Tabla sobre resultados generales

Categoría evaluada	Promedio general	Nivel de cumplimiento	Observaciones
Facilidad de navegación	4.75 / 5	Muy alto	Tres de cuatro usuarios calificaron con 5/5.
			explicaciones más visuales.

Claridad de interfaz y ranking	4.0 / 5	Alto	Un usuario indicó dificultad menor con letreros en móvil
Identificación de objetos	4.5 / 5	Muy alto	Dos usuarios calificaron con 5/5.
Calidad visual del entorno 3D	4.0 / 5	Alto	Calificación uniforme de 4/5 en todos los participantes.
Fluidez durante el recorrido	4.0 / 5	Alto	Dos usuarios reportaron lag ocasional (3/5); dos sin inconvenientes

Nota: Autoridad propia (2026)

Resumen cuantitativo general

Tomando el promedio de todas las respuestas numéricas (sin incluir observaciones abiertas), el recorrido obtuvo: **Promedio global: 4.25 / 5 (85 % de cumplimiento).** Principales observaciones cualitativas

Esto indica que la mayoría de los usuarios consideran que el sistema cumple con los principios de usabilidad, consistencia visual y satisfacción educativa.

Principales observaciones cualitativas

Aspectos positivos más mencionados:

1. La navegación por el entorno 3D resultó fluida e intuitiva para la mayoría de los participantes.

2. El proceso de autenticación y registro de puntajes funcionó correctamente en todos los casos.

3. Los minijuegos fueron valorados de forma equitativa: el Quiz y la Compostera obtuvieron igual preferencia entre los usuarios.

4. La calidad visual del entorno fue calificada consistentemente con 4/5 por todos los participantes.

Aspectos a mejorar:

1. Se sugiere adaptar los letreros y botones al tamaño de pantalla en dispositivos móviles.

2. Dos usuarios reportaron lag ocasional durante el recorrido, especialmente en dispositivos de gama media.

3. Se propone incorporar carteles con flechas para orientar al usuario dentro del recorrido.

4. Un usuario sugirió mayor nivel de interactividad en los minijuegos.

Comentarios destacados:

1. *"Adecuar los letreros de los botones al móvil."*

2. *"Un juego un poco más interactivo, nada más eso."*

3. *"Todo ok."*

4. *"Carteles con flechas."*

Conclusión

El análisis del formulario evidencia que la experiencia cumple satisfactoriamente con los objetivos de usabilidad, claridad y coherencia visual.

Con un 85 % de cumplimiento general, los resultados confirman que el recorrido virtual interactivo del Humedal de Techo en su versión WebGL proporciona una experiencia educativa efectiva, accesible y visualmente armónica.

Las sugerencias obtenidas servirán como base para optimizar la legibilidad de la interfaz en dispositivos móviles, incorporar elementos de orientación visual dentro del recorrido y enriquecer la interactividad de los minijuegos en futuras versiones del sistema.

Pruebas de interacción

Descripción general

Este formulario de validación tuvo como objetivo evaluar de forma específica la interacción y percepción del usuario frente a las secciones principales del recorrido virtual interactivo del Humedal de Techo en su versión WebGL: la navegación en primera persona, el minijuego del Quiz de conocimientos y el minijuego de la Compostera, así como la interfaz web de autenticación y ranking.

Participaron cuatro usuarios (estudiantes, visitantes y familiares), quienes calificaron diversos aspectos mediante escala numérica del 1 al 5, preguntas de selección múltiple y comentarios libres, describiendo su experiencia, facilidad de uso y satisfacción general.

Tabla 13

Tabla sobre resultados generales por categorías

Categoría evaluada	Nivel de satisfacción	Descripción de resultados
Autenticación e inicio de sesión	Muy alta	El 100 % de los participantes pudo registrarse e iniciar sesión sin errores. La pantalla de acceso fue percibida como clara y directa.
Facilidad de navegación y controles	Muy alta (4.75 / 5)	Tres de cuatro usuarios calificaron la navegación con 5/5. Los controles WASD y el movimiento en primera persona resultaron intuitivos para la mayoría.
Identificación de objetos interactivos	Alta (4.5 / 5)	Dos usuarios calificaron con 5/5. Un participante sugirió incorporar carteles con flechas para orientar mejor la interacción con los objetos del entorno.
Fluidez y rendimiento técnico	Alta (4.0 / 5)	Dos usuarios no experimentaron inconvenientes (5/5); otros dos reportaron lag ocasional (3/5), principalmente en dispositivos de gama media. El 100 % cargó la aplicación en menos de 60 segundos.
Minijuego del Quiz	Alta	Seleccionado por el 50 % como la actividad más educativa. Las preguntas fueron percibidas como claras y acordes con la temática del humedal.

Minijuego de la Compostera	Alta	Seleccionado por el 50 % como la actividad más educativa. Un participante sugirió mayor señalización visual para identificar los depósitos al inicio de la actividad.
Interfaz web y Ranking	Alta (4.0 / 5)	El 100 % de los usuarios vio su puntaje reflejado correctamente en el Ranking al finalizar. Un usuario indicó que los letreros podrían adaptarse mejor al tamaño de pantalla en móvil.
Calidad visual y estética del entorno	Alta (4.0 / 5)	Calificación uniforme de 4/5 por todos los participantes. El entorno 3D fue percibido como visualmente coherente con la temática ambiental del humedal.
Aprendizaje y satisfacción global	Muy alta	Todos los participantes expresaron satisfacción general con la experiencia y ninguno reportó fallas críticas en el funcionamiento del sistema.

Nota: Autoridad propia (2026)

Análisis cualitativo de comentarios

Aspectos más valorados

1. La navegación en primera persona resultó intuitiva y fluida para la mayoría de los participantes.
2. Los minijuegos fueron considerados educativos y entretenidos, combinando aprendizaje con interacción directa con el entorno.
3. La interfaz web de autenticación y ranking funcionó correctamente en todos los casos, generando confianza en el sistema.
4. La calidad visual del entorno 3D fue valorada de forma consistente, destacando la coherencia estética con la temática ambiental del humedal.

Aspectos por mejorar

5. Adaptar el tamaño de letreros y botones para dispositivos móviles, mejorando la legibilidad en pantallas pequeñas.
6. Incorporar carteles con flechas u otros elementos de orientación visual dentro del recorrido.
7. Añadir mayor nivel de interactividad en los minijuegos existentes.
8. Mejorar el rendimiento en dispositivos de gama media para reducir el lag ocasional reportado.

Comentarios destacados

9. *"Adecuar los letreros de los botones al móvil."*
10. *"Un juego un poco más interactivo, nada más eso."*
11. *"Todo ok."*
12. *"Carteles con flechas."*

Conclusión

13. Los resultados del formulario de pruebas de interacción demuestran que la experiencia general del recorrido virtual interactivo del Humedal de Techo es satisfactoria y cumple con los principios de usabilidad, coherencia temática y valor educativo.

14. Los usuarios destacaron la facilidad de navegación, el correcto funcionamiento del sistema de autenticación y ranking, y la calidad visual del entorno 3D, percibiendo la experiencia como accesible, atractiva y educativa. El grado de cumplimiento estimado, basado en la frecuencia de respuestas positivas y observaciones, fue de aproximadamente **85 % de satisfacción general**, con un promedio global de **4.25 /**

Figura 13

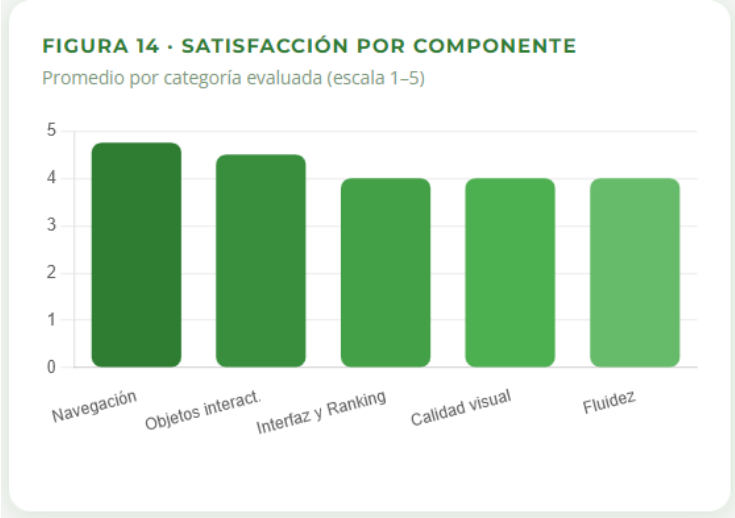
Análisis de validación



Nota: En esta figura se muestra una vista general de las tres encuestas aplicadas / autoridad propia (2026)

Figura 14

Satisfacción por componente



Fuente: Autoridad propia (2026)

Figura 15

Comparativos de aspectos evaluados

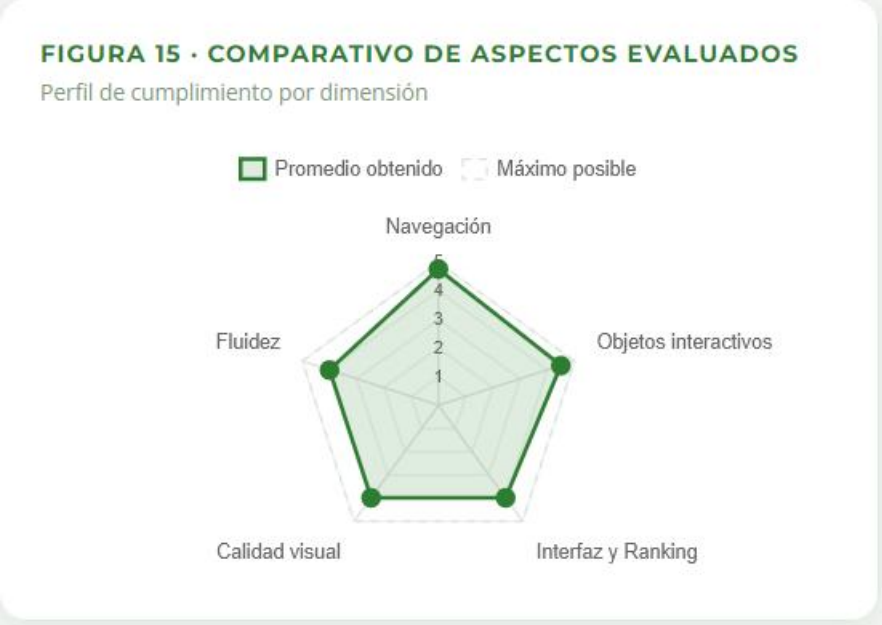
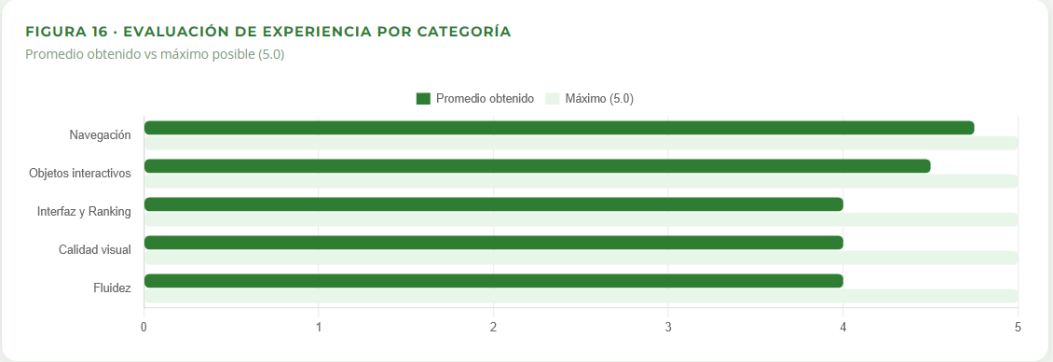


Figura 16

Evaluación de experiencia por categoría



Fuente: Autoridad propia (2026)

Modificaciones Realizadas

Claridad en minijuegos e interacción

Una de las observaciones más frecuentes se relacionó con la dificultad inicial para identificar los objetos interactivos y los depósitos correspondientes en el Minijuego de la Compostera, así como la sugerencia de incorporar elementos de orientación visual dentro del recorrido en primera persona. Para abordar esto, se ejecutaron las siguientes acciones:

1. ***Compostera*:** Se añadieron carteles informativos flotantes sobre cada depósito, indicando explícitamente qué tipo de residuo corresponde a cada sección, reduciendo la ambigüedad al inicio de la actividad. Adicionalmente se incorporaron etiquetas visuales sobre los objetos recogibles para facilitar su identificación dentro del entorno 3D.

Optimización de la interfaz y legibilidad

Las dificultades leves en la lectura de letreros y la interacción con botones en dispositivos móviles fueron un punto recurrente en las observaciones. La optimización se centró en la mejora de la accesibilidad y la legibilidad multiplataforma:

1. ***Tipografía y contraste:*** Se incrementó el tamaño de fuente en los carteles informativos del entorno 3D. Se ajustó el contraste de textos sobre fondos del entorno para mejorar la legibilidad, especialmente en pantallas de menor resolución.

2. ***Botones y letreros en móvil:*** Se adaptó el tamaño y disposición de los botones de la interfaz web para dispositivos móviles, atendiendo directamente la

observación de adecuar los letreros al tamaño de pantalla. Se verificó la correcta respuesta al primer toque en los controles virtuales del juego.

Mejora de rendimiento y fluidez

Para abordar el lag ocasional reportado por dos de los cuatro participantes en dispositivos de gama media, se realizaron los siguientes ajustes:

1. ***Configuración del build WebGL:*** Se redujo la resolución de renderizado de 720p a 480p y se ajustó el nivel de iluminación de High a Normal, logrando compatibilidad con dispositivos Android de generaciones recientes sin sacrificar la calidad visual percibida.

2. ***Optimización móvil:*** Se configuró el parámetro devicePixelRatio = 1 en el archivo index.html del build, reduciendo la carga de renderizado en dispositivos móviles. Adicionalmente se aumentó la memoria mínima y máxima asignada a 512 MB para garantizar la estabilidad en dispositivos iOS.

Orientación visual y experiencia de usuario

Finalmente, se integraron mejoras para responder a la solicitud de mayor interactividad y orientación dentro del recorrido:

1. ***Carteles informativos:*** Se revisó y amplió el contenido de los carteles educativos dentro del entorno 3D, ajustando el tamaño de texto para mejorar su legibilidad en diferentes dispositivos.

2. ***Mayor interactividad:*** Se identificó la sugerencia de enriquecer la interactividad de los minijuegos como línea de trabajo para versiones futuras del sistema, priorizando la estabilidad y usabilidad de la versión actual de cara a la evaluación final.

Estas acciones correctivas buscan afianzar los aspectos positivos ya consolidados — navegación fluida, autenticación sin errores y ranking funcional— y garantizar que el recorrido virtual interactivo del Humedal de Techo se presente como una herramienta educativa y de usabilidad óptima de cara a la evaluación heurística final.

Conclusiones y recomendaciones

El desarrollo del presente trabajo representa un importante hito en la apropiación y divulgación de los ecosistemas de humedales urbanos en Bogotá. A través de la construcción de una aplicación web educativa interactiva, se logró integrar tecnologías modernas de desarrollo web y motores de videojuego para crear una herramienta accesible, funcional y con propósito pedagógico claro, orientada a fomentar la conciencia ambiental sobre la importancia de los humedales urbanos y su conservación.

El sistema desarrollado cumple con los objetivos planteados: permite a cualquier usuario explorar virtualmente un ecosistema de humedal urbano desde un navegador web, interactuar con minijuegos educativos sobre compostaje y conocimiento ambiental, y registrar su desempeño en un ranking en tiempo real. Los resultados de las pruebas de validación con usuarios reales confirmaron un nivel de satisfacción del 85 %, con un promedio global de 4.25 / 5, evidenciando que la experiencia es percibida como accesible, visualmente coherente y educativamente efectiva.

Se espera que este proyecto sirva como referente para futuras iniciativas académicas que busquen combinar el desarrollo de software con la educación ambiental, demostrando que es posible construir herramientas tecnológicas de impacto social desde el ámbito universitario. La aplicación no debe ser utilizada para perjudicar la imagen de ninguna institución ni de los ecosistemas representados; su propósito es estrictamente educativo e informativo.

Como trabajo futuro se propone enriquecer el contenido educativo con información sobre otras especies y procesos ecológicos representativos de los humedales urbanos, ampliar la

interactividad de los minijuegos según las sugerencias recogidas en las pruebas de usuario, y optimizar la experiencia en dispositivos móviles de gama baja para garantizar el acceso al mayor número posible de usuarios.

Referencias

Brown, S. (2018). The C4 model for visualising software architecture [El modelo C4 para visualizar arquitectura de software]. https://c4model.com/

International Organization for Standardization. (2012). ISO/IEC 19505-2:2012—Information technology—Object Management Group Unified Modeling Language (OMG UML), Part 2: Superstructure. [ISO/IEC 19505-2:2012—Tecnología de la información—Lenguaje Unificado de Modelado del Object Management Group (OMG UML), Parte 2: Superestructura] https://www.iso.org/standard/56736.html

López, I. D. (2023). Requerimientos funcionales y no funcionales: La guía completa. Byspel. https://byspel.com/requerimientos-funcionales-y-no-funcionales-la-guia-completa/#google_vignette

López Méndez, S. A. (2020). Guía para la elaboración y presentación de casos de uso [Trabajo académico, Departamento Nacional de Planeación]. https://colaboracion.dnp.gov.co/CDTI/Oficina%20Informatica/Sistemas%20de%20informaci%C3%B3n/Gu%C3%ADas%20Formatos%20Plantillas/Gu%C3%ADa%20para%20la%20Elaboraci%C3%B3n%20y%20Presentaci%C3%B3n%20de%20Casos%20de%20Uso.pdf

Mermaid. (s.f.). Mermaid – Markdownish syntax for generating diagrams [Mermaid – Sintaxis tipo Markdown para generar diagramas]. https://mermaid-js.github.io/

Microsoft. (s.f.-a). C# documentation [Documentación de C#]. Microsoft Learn. https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/csharp/

Microsoft. (s.f.-b). Visual Studio IDE [Entorno de desarrollo integrado Visual Studio]. Microsoft. https://visualstudio.microsoft.com/

Object Management Group. (2017). OMG Unified Modeling Language (OMG UML) specification, Version 2.5.1 [Especificación del Lenguaje Unificado de Modelado (UML), versión 2.5.1]. https://www.omg.org/spec/UML/2.5.1/

Schwaber, K., & Sutherland, J. (2020). The Scrum Guide: The definitive guide to Scrum: The rules of the game [La guía Scrum: La guía definitiva de Scrum: Las reglas del juego]. https://scrumguides.org/

Solop Software. (2025). ¿Qué son los atributos de calidad del software? https://solopsoftware.com/es/que-son-los-atributos-de-calidad-del-software/

StarUML. (s.f.). StarUML documentation [Documentación de StarUML]. https://docs.staruml.io/

Universidad de la República. (2020). Ingeniería de requisitos [Trabajo de grado, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República]. https://www.fing.edu.uy/tecnoinf/mvd/cursos/ingsoft/material/teorico/is03a-IngReq.pdf

Unity Technologies. (s.f.-a). About Unity [Acerca de Unity]. https://unity.com/

Unity Technologies. (s.f.-b). Unity Editor [Editor de Unity]. https://unity.com/products/unity-editor

Visure Solutions. (2025). ¿Qué son los requisitos no funcionales? Tipos, ejemplos y enfoques. https://visuresolutions.com/es/requirements-management/

Anexos

Anexo A: Manual de Acceso — Aplicación Web Educativa Humedales Urbanos

Tipo de aplicación: Aplicación web educativa interactiva Versión: 1.0 Desarrollado con: React + Vite, Unity WebGL, Supabase URL oficial: https://humedal-web-gl-proyecto.vercel.app

Objetivo del manual

Este manual explica el proceso para acceder y utilizar la aplicación web educativa sobre humedales urbanos de forma sencilla, sin necesidad de instalar ningún programa ni realizar configuraciones adicionales.

Está diseñado para que cualquier usuario, estudiante o docente pueda acceder a la experiencia educativa de manera rápida desde cualquier dispositivo con navegador web.

Requisitos previos

Antes de comenzar, asegúrese de contar con:

Dispositivo con navegador web actualizado (Google Chrome, Mozilla Firefox, Microsoft Edge o Safari).

Conexión a internet estable.

Para mejor experiencia: computadora de escritorio o portátil. La aplicación también es compatible con dispositivos móviles Android e iOS en orientación horizontal.

Correo electrónico válido para el registro de usuario.

No se requiere descarga, instalación ni configuración adicional.

Acceso a la aplicación

Abra su navegador web preferido.

Ingrese la siguiente URL en la barra de direcciones: **https://humedal-web-gl-proyecto.vercel.app**

Espere a que cargue la página de inicio de la aplicación.

Registro de usuario

Para acceder al recorrido interactivo y al ranking es necesario crear una cuenta:

En la página de inicio, localice el formulario de registro.

Ingrese su correo electrónico y una contraseña.

Haga clic en **"Registrarse"**.

El sistema creará su cuenta automáticamente y lo redirigirá al contenido principal.

Si ya posee una cuenta registrada:

Ingrese su correo electrónico y contraseña.

Haga clic en **"Iniciar sesión"**.

Navegación por la aplicación

Una vez autenticado, la barra de navegación superior permite acceder a las secciones principales:

Acceso al recorrido interactivo

Haga clic en **"Juego"** en la barra de navegación.

Espere a que cargue el entorno 3D (entre 30 y 60 segundos según la velocidad de conexión).

Una vez cargado, utilice los controles para explorar el humedal.

Tabla 14

Controles del recorrido:

Acción	**Control (escritorio)**	**Control (móvil)**
Mover	Teclas W A S D	Botones virtuales en pantalla
Girar cámara	Mover el mouse	Deslizar con el dedo
Interactuar / Soltar objeto	Tecla E	Botón E en pantalla
Modo exploración	Tecla C	—
Reiniciar escena	Tecla R	—

Fuente: Autoridad propia (2026)

Minijuegos educativos

El recorrido incluye dos minijuegos que deben completarse para registrar el puntaje en el ranking:

Minijuego 1 — Quiz de conocimientos:

Responda las preguntas sobre humedales urbanos que aparecen en el entorno.

Cada respuesta correcta suma puntos.

Minijuego 2 — Compostera:

Recoja los materiales disponibles en el entorno con clic izquierdo.

Deposítelos en el contenedor correcto presionando **E**.

Complete los 4 depósitos para finalizar.

Al completar ambos minijuegos, el sistema registrará automáticamente su puntaje y tiempo total en la base de datos.

Visualización del Ranking

Haga clic en **"Ranking"** en la barra de navegación.

Se mostrará la tabla de clasificación con los usuarios que han completado ambos minijuegos.

Haga clic en **"Actualizar"** para ver los resultados más recientes.

Tabla 15

Solución de problemas comunes

Problema	**Posible causa**	**Solución**
El juego no carga	Conexión lenta o navegador desactualizado	Actualice el navegador o verifique su conexión a internet
El juego no funciona en móvil	Dispositivo de gama baja o muy antiguo	Acceda desde una computadora para mejor experiencia
El puntaje no aparece en el Ranking	No se completaron ambos minijuegos	Complete tanto el Quiz como la Compostera
No puedo iniciar sesión	Correo o contraseña incorrectos	Verifique sus datos o regístrese nuevamente
La pantalla aparece en negro	Error de carga del entorno WebGL	Recargue la página con Ctrl + Shift + R

Fuente: Autoridad propia (2026)

Soporte técnico

Equipo de desarrollo: Proyecto Aplicación Web Educativa Humedales Urbanos URL oficial: https://humedal-web-gl-proyecto.vercel.app Correos de contacto: michaelwow3@gmail.com

Resumen general del proceso

Abra su navegador web e ingrese a **https://humedal-web-gl-proyecto.vercel.app**

Regístrese con su correo electrónico o inicie sesión si ya tiene cuenta.

Haga clic en **"Juego"** y espere a que cargue el entorno 3D.

Explore el humedal usando los controles WASD y el mouse.

Complete el **Quiz** y la **Compostera** para registrar su puntaje.

Consulte el **Ranking** para ver su posición.

Anexo B

Manual de Usuario

Aplicación Web Educativa — Humedales Urbanos Universidad Uniagustiniana Versión 1.0 — mayo 20

Objetivo

El presente manual de usuario tiene como objetivo orientar al usuario en la correcta utilización de la aplicación web educativa interactiva sobre humedales urbanos, una experiencia educativa en formato de recorrido virtual 3D que busca promover la conciencia ambiental y el conocimiento sobre la importancia ecológica de los humedales urbanos en Colombia.

A través de un entorno tridimensional explorable y minijuegos interactivos, los participantes aprenden sobre procesos ecológicos, biodiversidad y la importancia de la conservación de estos ecosistemas.

Alcance

Este manual cubre el uso completo del sistema, desde el registro y autenticación del usuario, la exploración del entorno 3D, la participación en los minijuegos educativos (Quiz de conocimientos y Compostera), hasta la visualización del ranking de resultados.

Está dirigido a cualquier usuario que desee explorar un humedal urbano de manera educativa desde su navegador web, sin necesidad de conocimientos técnicos previos.

Funcionalidad

El sistema ofrece una experiencia web interactiva basada en un recorrido en primera persona por un entorno 3D de humedal urbano. El usuario puede:

Registrarse e iniciar sesión de forma segura.

Explorar libremente el entorno 3D del humedal.

Interactuar con objetos y carteles informativos del ecosistema.

Participar en dos minijuegos educativos.

Acumular puntos por desempeño en cada minijuego.

Consultar su posición en el ranking global de usuarios.

Mapa del sistema

Modelo Lógico

La aplicación está estructurada en cuatro secciones principales accesibles desde la barra de navegación:

Inicio: Página de bienvenida con información general sobre humedales urbanos.

Juego: Recorrido interactivo 3D con los dos minijuegos educativos integrados.

Recursos: Material educativo complementario sobre humedales urbanos.

Ranking: Tabla de clasificación con los puntajes y tiempos de todos los usuarios registrados.

Navegación

El flujo de uso del sistema es el siguiente:

El usuario accede a la URL de la aplicación e inicia sesión o se registra.

Desde la barra de navegación accede a la sección **Juego**.

El entorno 3D carga en el navegador; el usuario explora el humedal con los controles WASD y el mouse.

Durante el recorrido encuentra y completa el **Quiz de conocimientos** y la **Compostera**.

Al completar ambos minijuegos, el sistema registra automáticamente el puntaje y el tiempo total.

El usuario puede consultar su posición en la sección **Ranking**.

Descripciones detalladas por secciones

Inicio — Página principal

El usuario visualiza la página de bienvenida con información contextual sobre los humedales urbanos: su importancia ecológica, datos relevantes sobre biodiversidad y su rol en la sostenibilidad urbana.

Desde esta sección puede iniciar sesión o registrarse para acceder al recorrido interactivo.

Juego — Recorrido interaction 3D

Esta es la sección principal de la aplicación. El usuario accede a un entorno tridimensional que representa un humedal urbano, explorable en primera persona.

Al ingresar, se muestra un temporizador en la esquina superior izquierda que registra el tiempo transcurrido desde el inicio del recorrido. Este tiempo forma parte del puntaje registrado en el ranking.

El usuario puede moverse libremente por el entorno, interactuar con objetos y carteles informativos, y acceder a los dos minijuegos educativos disponibles.

Controles del recorrido:

Tabla 16

Controles

Acción	Escritorio	Móvil
Avanzar	W	Botón ↑ virtual
Retroceder	S	Botón ↓ virtual
Moverse lateralmente	A / D	Botones ← → virtuales
Girar cámara	Mover mouse	Deslizar pantalla
Recoger objeto	Clic izquierdo	Toque sobre objeto
Soltar / Interactuar	Tecla E	Botón E virtual
Activar modo exploración	Tecla C	—
Reiniciar escena	Tecla R	—

Fuente: Autoridad propia (2026)

Minijuego 1 — Quiz de conocimientos

El usuario encuentra en el recorrido un área de evaluación con preguntas sobre humedales urbanos. Al interactuar con el cartel del quiz, se inicia la actividad.

El jugador debe seleccionar la respuesta correcta entre las opciones presentadas para cada pregunta. Cada respuesta correcta suma puntos al marcador. Al finalizar las preguntas, el sistema registra el puntaje obtenido en el Quiz.

Minijuego 2 — Compostera

El usuario encuentra en el recorrido el área de la compostera, identificada por carteles informativos que indican los tipos de residuos aceptados en cada depósito.

El jugador debe:

Acercarse a un objeto recogible en el entorno.

Hacer clic izquierdo para recogerlo.

Llevarlo al depósito correspondiente según su tipo.

Presionar **E** para depositarlo.

Completar los 4 depósitos correctamente, el sistema registra el puntaje de la Compostera.

Al finalizar ambos minijuegos, aparece un mensaje de confirmación con el tiempo total del recorrido y se guardan automáticamente los resultados en el ranking.

Recursos

Sección con material educativo complementario sobre humedales urbanos: especies representativas, procesos ecológicos y recomendaciones de conservación.

Ranking

Tabla de clasificación que muestra los usuarios que han completado ambos minijuegos, ordenados por puntaje total (Quiz + Compostera) y tiempo de recorrido. Los tres primeros

lugares se destacan con medallas 🥇 🥈 🥉. El usuario puede actualizar la tabla en cualquier momento con el botón **"Actualizar"**.

FAQ (Preguntas Frecuentes)

¿Necesito instalar algo para usar la aplicación? No. La aplicación funciona directamente desde el navegador web sin ninguna instalación adicional.

¿Necesito conexión a internet? Sí, la aplicación es completamente web y requiere conexión a internet para cargar el entorno 3D y registrar los puntajes.

¿Puedo repetir los minijuegos? Sí, recargando la página desde la sección Juego puedes volver a completar el recorrido. El sistema tomará el mejor puntaje registrado para el ranking.

¿Por qué no aparezco en el Ranking? Para aparecer en el ranking debes completar ambos minijuegos (Quiz y Compostera) en la misma sesión. Si solo completas uno, el puntaje no se registra.

¿La aplicación funciona en móvil? Sí, con compatibilidad en dispositivos Android e iOS de gama media-alta (2022 en adelante) en orientación horizontal. Para mejor experiencia se recomienda usar una computadora.

¿Qué hago si el juego se congela o no carga? Realice un hard refresh con **Ctrl + Shift + R** (Windows) o **Cmd + Shift + R** (Mac) para limpiar el caché y recargar la aplicación.

GLOSARIO

Humedal urbano: Ecosistema acuático ubicado en zonas urbanas donde el suelo permanece saturado de agua, albergando alta diversidad biológica y cumpliendo funciones de regulación hídrica y climática.

Compostera: Estructura destinada a transformar residuos orgánicos en abono natural (compost), fundamental en los procesos de reciclaje de nutrientes del ecosistema.

WebGL: Tecnología web que permite renderizar gráficos 3D directamente en el navegador sin necesidad de plugins adicionales.

Ranking: Tabla de clasificación que ordena a los usuarios según su desempeño en los minijuegos educativos.

Supabase: Plataforma de base de datos utilizada para el almacenamiento seguro de usuarios y puntajes de la aplicación.

SOPORTE TÉCNICO

Equipo de desarrollo: Proyecto Aplicación Web Educativa Humedales Urbanos URL oficial: https://humedal-web-gl-proyecto.vercel.app Correo de contacto: michaelwow3@gmail.com