



**Escuela Superior
de Ingeniería y Tecnología**
Universidad de La Laguna

Trabajo de Fin de Grado

Modelo CityGML de San Cristóbal de La
Laguna en aplicaciones de Realidad
Virtual

*CityGML Model of the city San Cristóbal de La Laguna in
Virtual Reality Applications*

Elena Montserrat Sacramento Delgado

La Laguna, 7 de septiembre de 2021

D.^a **Isabel Sánchez Berriel**, con N.I.F. 42.885.838-S profesora Contratada Doctora adscrita al Departamento de Ingeniería Informática y de Sistemas de la Universidad de La Laguna, como tutora

D. **Fernando Andrés Pérez Nava**, con N.I.F. 42.091.420-V profesor Titular de Universidad adscrito al Departamento de Ingeniería Informática y de Sistemas de la Universidad de La Laguna, como cotutor

C E R T I F I C A (N)

Que la presente memoria titulada:

"Modelo CityGML de San Cristóbal de La Laguna en aplicaciones de Realidad Virtual"

ha sido realizada bajo su dirección por D. **Elena Montserrat Sacramento Delgado**, con N.I.F. 79.074.055-D.

Y para que así conste, en cumplimiento de la legislación vigente y a los efectos oportunos firman la presente en La Laguna a 7 de septiembre de 2021

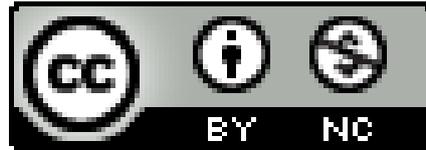
Agradecimientos

En primer lugar, quería agradecer a mis padres y a mis hermanos, el apoyo continuo que me han dado a lo largo de los años.

En segundo lugar, a mis amigos, en especial a aquellos que conocí en la carrera. Gracias por compartir este viaje conmigo.

Por último, agradecer también a mis tutores en este proyecto, en especial a Isabel, por enseñarme la importancia que tiene la tecnología en la conservación del patrimonio histórico y por guiarme a lo largo del desarrollo de este proyecto.

Licencia



© Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-
NoComercial 4.0 Internacional.

Resumen

El objetivo de este Trabajo de Fin de Grado consiste en recrear en un mundo virtual cómo fueron algunos de los edificios más emblemáticos de la Ciudad de San Cristóbal de La Laguna en el siglo XVI, como es el caso de La Iglesia de La Concepción o de La Catedral. Como medio de difusión, se ha desarrollado una aplicación de Realidad Virtual con el objetivo de almacenar, difundir y proporcionar la información del patrimonio histórico que a día de hoy continúa conservando intacto su trazado original.

El desarrollo del proyecto se ha realizado principalmente con el motor de videojuegos, Unity, con el uso de sus potentes librerías para aplicaciones de Realidad Virtual. Mientras que por otro lado se ha utilizado como modelo de datos el estándar CityGML para almacenar los datos urbanos geométricos/topológicos así como los semánticos y temáticos, correctamente georreferenciados. El modelo utilizado incluye una extensión para la información sobre edificios del patrimonio histórico.

Palabras clave: San Cristóbal de La Laguna, Los Remedios, La Concepción, Los Dolores, San Miguel, S.XVI, Realidad Virtual, Unity, Oculus, CityGML, C#

Abstract

The purpose of this project is to recreate in a virtual world how were some of the most emblematic buildings of the City of San Cristóbal de La Laguna in the 16th century, such as the Concepcion's Church or the Cathedral. As a broadcast medium, a Virtual Reality application has been developed with the aim of preserving, consolidating and enhancing the historical heritage that continues to preserve intact its original mapping to this day.

The development of this project has been executed mainly with the game engine, Unity, with the use of its powerful libraries for Virtual Reality applications. While on the other hand the CityGML standard has been used as a data model to store geometric / topological urban data as well as semantic and thematic data, correctly georeferenced. The model that has been used includes an extension for the information on historical heritage buildings.

Keywords: San Cristobal de La Laguna, Los Remedios, La Concepcion, Los Dolores, San Miguel, S.XVI, Virtual Reality, Unity, Oculus, CityGML, C#

Índice general

1. Introducción	1
1.1. Justificación	1
1.2. Antecedentes y estado actual	2
1.3. Objetivos	3
2. Herramientas y Tecnologías utilizadas	4
2.1. Desarrollo de la aplicación	4
2.1.1. Unity	4
2.1.2. C#	6
2.1.3. Blender	6
2.2. Dispositivo de Realidad Virtual	7
2.2.1. Oculus VR	7
2.3. Modelo de datos	8
2.3.1. CityGML	8
2.3.2. Sqlite	11
2.3.3. PostgreSQL	12
2.3.4. QGIS	12
2.3.5. Trello	12
3. Desarrollo del proyecto	13
3.1. Planificación del Proyecto	13
3.2. Formación inicial	14
3.3. Modelos 3D	14
3.3.1. Edificios emblemáticos	15
3.3.2. Viviendas tradicionales	18
3.4. Desarrollo de aplicación de Realidad Virtual	22
3.4.1. Proyecto en Unity	22
3.4.2. Player/Jugador	22
3.4.3. Creación del mundo virtual	23
3.4.4. Iluminación y optimización	26
3.4.5. Base de datos local	27
3.5. Integración de información histórica en la base de datos CityGML	28
3.6. Integración de la base de datos CityGML en la aplicación de Realidad Virtual	30
3.6.1. Integración de PostgreSQL en Unity	30
3.6.2. Creación de un menú	30
3.7. Resultado de la aplicación	31
3.7.1. Tests de usuarios	31
3.7.2. Comparativa con la realidad	32

4. Conclusiones y líneas futuras	35
4.1. Conclusiones	35
4.2. Líneas futuras	35
5. Summary and Conclusions	36
5.1. Conclusions	36
5.2. Future lines	36
6. Presupuesto	37
6.1. Justificación del presupuesto	37

Índice de Figuras

1.1. Mapa <i>Torriani - 1588</i>	1
2.1. Plataforma <i>Unity</i> con el proyecto en desarrollo	5
2.2. Estructura del <i>plug-in XR</i> y cómo funciona	6
2.3. <i>Oculus Quest</i>	7
2.4. <i>Controladores Oculus Touch</i>	8
2.5. Niveles de detalle	9
2.6. Ciudad de Delft, Países Bajos	10
2.7. Estructura de la base de datos <i>3DCityDB</i>	11
2.8. <i>QGIS</i>	12
3.1. Metodología <i>Kanban</i> en <i>Trello</i>	13
3.2. Página web <i>Unity Learn</i> dónde se encuentran los tutoriales	14
3.3. Modelo 3D de la edificación: La iglesia de La Concepción	15
3.4. Modelo 3D de la edificación: La Iglesia de Los Remedios	16
3.5. Modelo 3D de la edificación: Hospital de Dolores	17
3.6. Modelo 3D de la edificación: Ermita de San Miguel	18
3.7. Modelo 3D de la edificación: Armera	19
3.8. Modelo 3D de la edificación: Sobradada	20
3.9. Modelo 3D de la edificación: Granero	20
3.10 Modelo 3D de la edificación: Terrera	21
3.11 Estructura del objeto Jugador/ <i>Player</i>	22
3.12 Ciudad de San Cristóbal de La Laguna	23
3.13 Terreno en <i>Unity</i>	23
3.14 Límites en La Concepción	24
3.15 Personajes del mundo virtual	25
3.16 Portales ubicados en La Plaza del Adelantado	25
3.17 Punto de información ubicado en Los Remedios	26
3.18 Escena de La Plaza de Los Remedios	27
3.19 Tablas en <i>Sqlite</i>	28
3.20 Tablas en <i>PostgreSQL</i>	29
3.21 Conexión entre la base de datos <i>Sqlite</i> y la de <i>PostgreSQL</i>	30
3.22 Diagrama de clases	31
3.23 Plaza del Adelantado	32
3.24 Calle Obispo Rey Redondo desde la Plaza del Adelantado	32
3.25 Calle Obispo Rey Redondo desde la Plaza de los Remedios	32
3.26 Calle Obispo Rey Redondo desde la Plaza de la Concepción	33
3.27 Lateral derecho de La Concepción	33
3.28 Lateral izquierdo de La Concepción	33

3.29	Catedral	34
3.30	Ermita de San Miguel	34
3.31	Hospital de Los Dolores	34

Índice de Tablas

1.1. Leyenda 2

2.1. Especificaciones *Oculus Quest* 7

6.1. Resumen del presupuesto 38

Identificador	Edificación	Identificador	Edificación
A	Los Remedios	H	Plaza de Los Remedios
B	La Concepción	M	Hospital Los Dolores
C	San Agustín	N	San Sebastián
D	Santo Domingo	O	San Juan
E	San Francisco	P	San Cristóbal
F	San Miguel	Q	San Roque
G	Plaza del Adelantado	R	Santa Clara

Tabla 1.1: Leyenda

Es indiscutible la importancia que tiene para una ciudad cultural y turística como San Cristóbal de La Laguna que se realice una aplicación que permita dar un paseo virtual por sus calles. Visitando de manera realista sus edificios y entendiendo su historia, a través del uso de herramientas de código libre.

Es importante contemplar en este tipo de proyectos un método eficiente y un modelo de datos que se adapte a estándares interoperables. *CityGML* es un modelo de datos estándar para almacenar información 3D e información semántica urbana para el que se han definido extensiones orientadas al Patrimonio Cultural (PC). En entornos urbanos los modelos de edificios deben ser integrados con la información geográfica manejada por los sistemas de información geográfica (SIG). Los sistemas de información permiten en la actualidad vincular la información geográfica con datos de documentación histórica. De tal forma que dichos entornos, se pueden visualizar y difundir para una mejor comprensión y percepción de su evolución a través del tiempo.

1.2. Antecedentes y estado actual

El actual trabajo se encuentra dentro del proyecto de investigación “Reconstrucción Histórica Virtual de San Cristóbal de La Laguna”. En esta línea se han realizado otros Trabajos de Fin de Grado [1] [2] en los que se han diseñado y modelado entornos en 3D sobre la arquitectura, vestimenta y costumbres de la sociedad lagunera en el siglo XVI. El resultado de estos trabajos ha sido el desarrollo de aplicaciones de Realidad Virtual y Web a través de tecnologías como *Unity*, *Blender*, *Samsung Gear VR* o *WebGL* que han permitido difundir el patrimonio cultural e histórico del municipio.

En cuanto al uso de *CityGML* como herramienta para el almacenamiento de información de modelo de ciudades en 3D y edificios del patrimonio urbano, sirve de ejemplo el caso piloto de la ciudad de Segovia [3]. En este proyecto se cargaron en el modelo los datos pertenecientes a la ciudad de edificios, parcelas, carreteras e incluso zonas verdes, junto con un modelo de *3D Warehouse* de la Iglesia de San Martín de Segovia con niveles de detalle 2 y 3, correctamente georreferenciado y con información semántica que permite identificar tanto sus paredes como sus tejados.

1.3. Objetivos

El objetivo principal de la aplicación de Realidad Virtual es recrear un mundo virtual que nos hará sumergirnos en el paisaje urbano colonial de la época. En ella la información de los edificios más emblemáticos se almacenará usando el modelo de datos estándar *CityGML* que permitirá disponer de la información 3D georreferenciada junto con información semántica de la ciudad. Esta información propia del modelo urbano, se complementará con una extensión orientada a la integración de los datos. Con la que se ilustrará la visita y la información histórica de los edificios representados en la leyenda del plano de Torriani.

Para ser capaces de cumplir dicho propósito, se han propuesto los siguientes objetivos:

- Recopilación de información histórica del patrimonio de San Cristóbal de La Laguna en el siglo XVI
- Integración de la información histórica y de los modelos 3D en la base de datos *CityGML*
- Realización de una aplicación de Realidad Virtual para la plataforma Oculus Quest.
- Integración de la base de datos *CityGML* en la aplicación de Realidad Virtual.

Capítulo 2

Herramientas y Tecnologías utilizadas

En el anterior capítulo se detalló de qué trata el proyecto, cuáles eran sus antecedentes, el porqué es importante llevarlo a cabo y cuáles son sus principales objetivos. A continuación, se explicará con mayor detalle cuáles han sido las tecnologías y herramientas utilizadas a lo largo del proyecto.

2.1. Desarrollo de la aplicación

2.1.1. Unity

Unity [4] es un motor de desarrollo o de videojuegos, que permite la programación, el diseño, la creación y el funcionamiento de un entorno interactivo. Actualmente la plataforma de desarrollo soporta distintos sistemas operativos como *Microsoft Windows*, *Mac OS* o *Linux*.

La interfaz de Unity proporciona un editor de escenas tanto 2D como 3D, en este proyecto se usa la modalidad 3D. Desde esta interfaz, se puede diseñar una experiencia como una colección de objetos configurables, a los que se les puede aplicar simulaciones físicas, *shaders*, características avanzadas para la iluminación, el renderizado y comportamientos avanzados, incluyendo técnicas de inteligencia artificial básica y avanzadas. Además de la colección de objetos que integran *Unity*, los programadores pueden agregar sus propios objetos y comportamientos a través de los scripts extendiendo la *API* de *Unity*.

El motivo por el que se ha escogido ésta tecnología y no otras como *Unreal Engine* [5] o *Cryengine* [6], es por la facilidad y la rapidez con la que se pueden empezar a crear aplicaciones, así como por la cantidad de tutoriales de los que dispone Unity. Otra de las ventajas que proporciona esta herramienta es el desarrollo multiplataforma, que permite generar versiones para diferentes soportes como *Android*, *iOS*, *Oculus*, *HTC Vive*, *WebGL*, etc.

Para este proyecto se ha utilizado *Unity* para desarrollar una aplicación de Realidad Virtual, como se muestra en la Figura 2.1. Con el uso de algunas herramientas y extensiones de *Unity* se ha creado un mundo virtual que permite interactuar con algunos de los edificios más emblemáticos, para conocer un poco más de su historia, brindando la posibilidad de pasear por las calles de la ciudad de La Laguna.

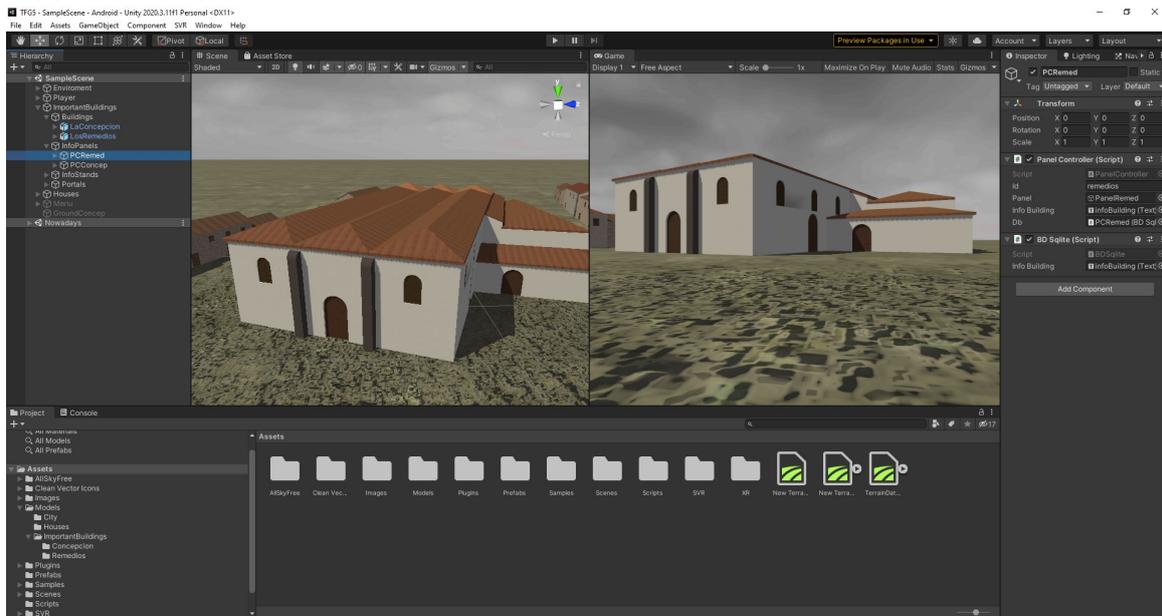


Figura 2.1: Plataforma *Unity* con el proyecto en desarrollo

Unity Asset Store

Unity Asset Store [7] es un repositorio online de recursos comerciales y gratuitos proporcionados por *Unity Technologies* y por los miembros de la comunidad. En la tienda de *Unity* se pueden encontrar modelos 3D, animaciones, audios, algunas plantillas de ejemplo y extensiones del editor.

En el proyecto se ha utilizado el repositorio por un lado para enriquecer la experiencia, importándose recursos de modelos 3D, o texturas y por otro lado para incluir algunas extensiones necesarias para el desarrollo de la aplicación.

Unity XR Plug-in Management

Unity XR Plug-in [8] es un complemento que habilita la integración directa de aplicaciones XR (Realidad Extendida), para múltiples plataformas. Esta tecnología utiliza una API que permite a los distintos proveedores (*Oculus*, *Magic Leap*), crear sus propios complementos en *Unity*. Hasta la aparición de este, para llevar a cabo el desarrollo de aplicaciones de realidad virtual era necesario la inclusión de librerías que fueran propias de cada tipo de controlador. Con la llegada de *Unity XR Plug-in*, se aproxima la programación de aplicaciones de realidad extendida al desarrollo multiplataforma de *Unity*.

En el siguiente diagrama podemos ver la estructura que tiene el plug-in. En la parte baja, se encuentran los distintos proveedores de aplicaciones de realidad extendida, que interactúan con la *Unity XR SDK*. Esta se encarga de abstraer las distintas especificaciones para crear un subsistema que controle la cámara o el input entre otras cosas. Y a partir de ahí se conecta con las herramientas de desarrollo para crear aplicaciones de realidad virtual, aumentada o mixta. En concreto en este proyecto se está utilizando el *Plug-in Oculus XR*, porque ha sido el dispositivo elegido, así como la herramienta de desarrollo *XR Interaction Toolkit* para realizar la aplicación de realidad virtual.

Unity XR Tech Stack

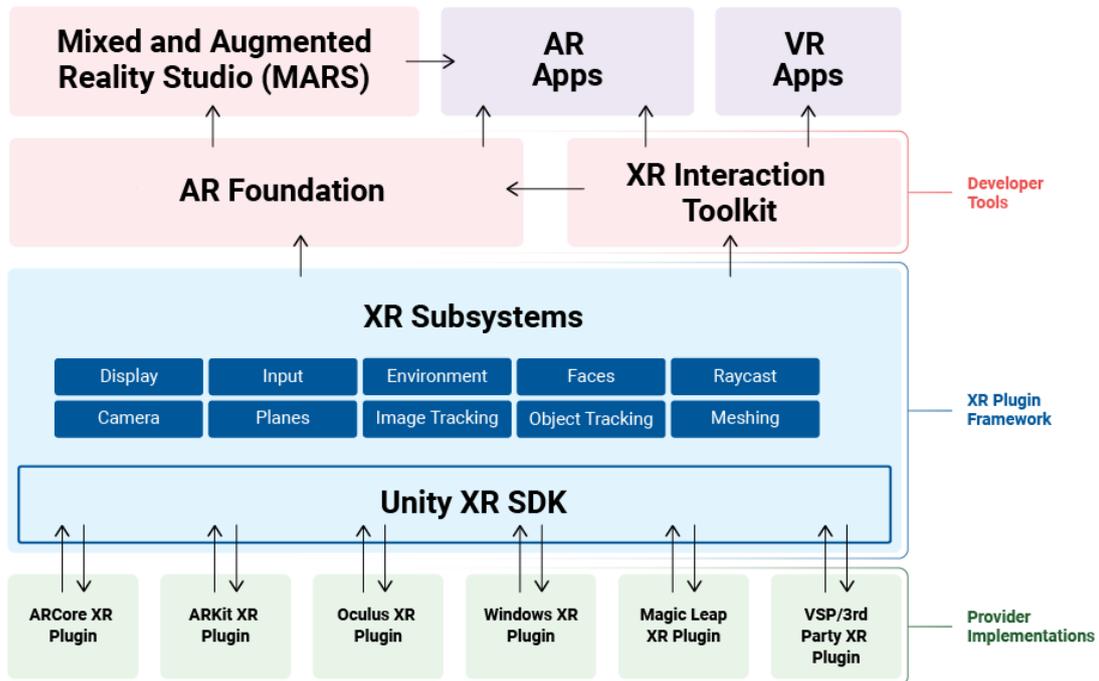


Figura 2.2: Estructura del *plug-in* XR y cómo funciona

2.1.2. C#

C# [9] es un lenguaje de programación multiparadigma elaborado por *Microsoft* como parte de su plataforma *.NET*. Tiene una sintaxis que deriva de otros lenguajes de programación como *C/C++* y utiliza un modelo de objetos similar al de *Java*.

Dicho lenguaje es el utilizado en *Unity*, a través de los *scripts* descritos con *C#* se puede acceder o modificar los elementos y crear objetos, mecánicas o interacciones nuevas en el juego.

2.1.3. Blender

Blender [10] es un software multiplataforma de código libre que se utiliza para trabajar con modelos 3D, enfocándose principalmente en el modelado, pintado de texturas, control de la iluminación, el renderizado y la animación entre otros.

Se ha utilizado *Blender* para retocar la iluminación de alguno de los modelos proporcionados, o alguna que otra textura de estos mismos.

2.2. Dispositivo de Realidad Virtual

2.2.1. Oculus VR

Oculus VR [11] es una empresa dedicada al desarrollo de dispositivos de realidad virtual, entre ellos se encuentran: *Oculus Rift*, *Samsung Gear VR*, *Oculus Go* y *Oculus Quest*. Desde el año 2014 *Oculus* pertenece a *Facebook*.

Oculus Quest

En este caso el dispositivo utilizado en el proyecto han sido las *Oculus Quest*.



Figura 2.3: *Oculus Quest*

En la siguiente tabla podemos ver con mayor detalle cuáles son sus características.

Especificaciones	Oculus Quest
Procesador	Qualcomm Snapdragon 385
RAM	4GB RAM
Almacenamiento	64/128 GB
Tipo de Pantalla	OLED
Resolución	1440 x 1600 (por ojo)
Tasa de refresco	72 Hz
Batería	Litio (2 o 3 horas de autonomía)
Tipo de trackeo	6 grados de libertad (6DoF)
Peso	571g

Tabla 2.1: Especificaciones *Oculus Quest*

Controladores Oculus Touch

Oculus Quest utiliza los controladores *Oculus Touch* de segunda generación. Estos contienen una serie de emisores infrarrojos, además de sensores de orientación, giroscopio y acelerómetro, que pueden ser rastreados por las cámaras de los auriculares.



Figura 2.4: Controladores Oculus Touch

Oculus XR Plug-in

Oculus XR Plugin [12] es un complemento de *Oculus* que permite crear aplicaciones para sus dispositivos *Rift* o *Quest* entre otros. Es recomendable utilizarlo junto al *XR Management* para poder utilizarlo de una manera más simple y sencilla.

En este proyecto, como se mencionó previamente se utiliza este Plug-in junto con el *Plug-in XR Management*.

2.3. Modelo de datos

2.3.1. CityGML

CityGML [13] es un modelo de datos estándar para el almacenamiento, la representación y el intercambio de modelos virtuales de ciudades en 3D. Se trata de un esquema que permite el intercambio de datos espaciales, geométricos y semánticos, siendo su objetivo definir de una forma común cuáles son las entidades básicas, los atributos y las posibles relaciones existentes en un modelo de ciudad en 3D.

Este modelo permite representar la información gráfica a distintos niveles de detalle (*LOD - Level Of Detail*), este sistema permite visualizar y analizar los datos a diferente tipo de resolución y dependiendo de los requisitos de cada área.

A continuación, se muestran los diferentes niveles de detalle:

- LOD0: representa el modelo digital del terreno en dos dimensiones.
- LOD1: incluye un modelo de bloques donde los edificios tienen un techo plano.
- LOD2: diferencia las estructuras del techo.
- LOD3: permite reflejar paredes, tejados o balcones y vehículos de transporte.
- LOD4: añade estructuras interiores como paredes, ventanas, puertas y muebles entre otros.

En la siguiente figura 2.5 podemos ver con mayor detalle como se representarían los niveles mencionados previamente, así como los subniveles que existen en cada uno de ellos [14].

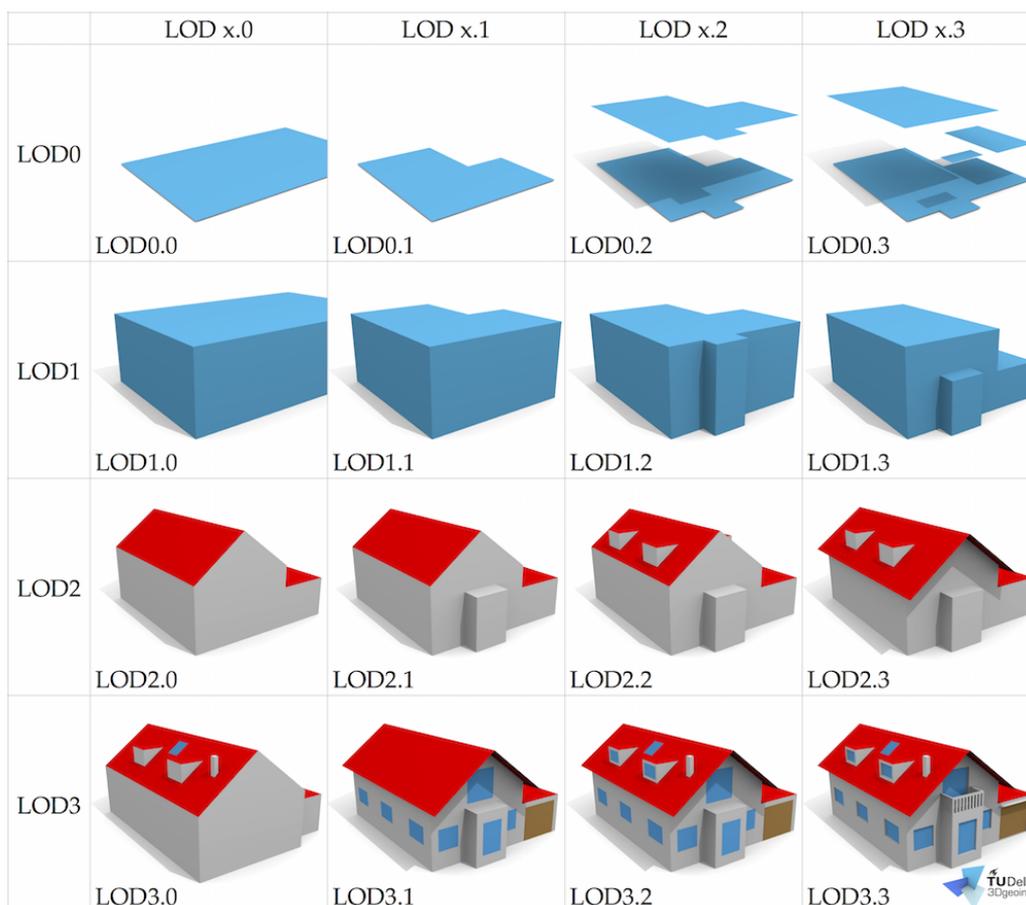


Figura 2.5: Niveles de detalle

3D City DB

3D City DB [15] es una base de datos geográfica en 3D gratuita, que se utiliza para almacenar, representar y administrar modelos de ciudades virtuales en 3D para bases de datos relacionales. Su esquema está basado en el estándar creado por el *OGC - Open Geospatial Consortium* que persigue la interoperabilidad entre los sistemas de geoprocésamiento, así como facilitar el intercambio de la información geográfica dentro de la comunidad geoespacial global.

Actualmente, hay numerosas ciudades o regiones que cuentan con modelos en el formato de *CityGML* gestionados con *3D City DB*. Algunas de estas ciudades son Melbourne, Vienna, Delft o Dublín, entre otras [16].

A continuación, vemos dos imágenes del modelo de la ciudad de Delft, Países Bajos. En la imagen de la izquierda podemos ver el modelo con nivel de detalle 1 en el que vemos los edificios con los techos planos, mientras que en el de la derecha que tiene el nivel de detalle 2, ya se pueden apreciar las estructuras de los techos.

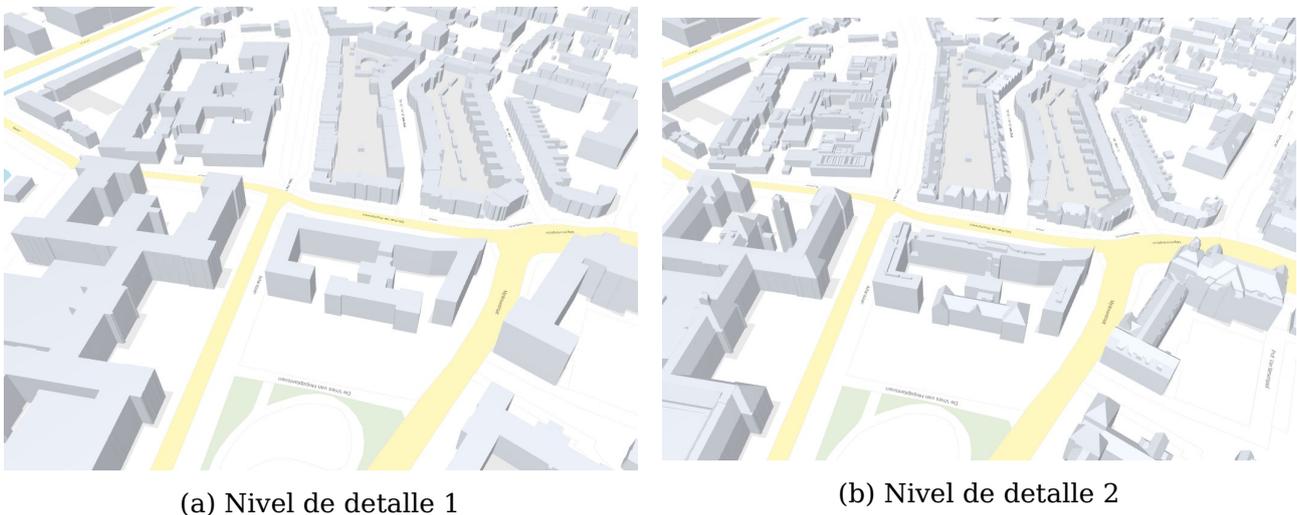


Figura 2.6: Ciudad de Delft, Países Bajos

El modelo de datos del proyecto se ha implementado siguiendo dichos estándares. En él se representan elementos específicos de la ciudad de La Laguna como pueden ser los edificios emblemáticos y su respectiva información histórica, y algunos objetos de agua para registrar la laguna que hubo en su día. En la figura 2.7 podemos ver como es la estructura de la base de datos.

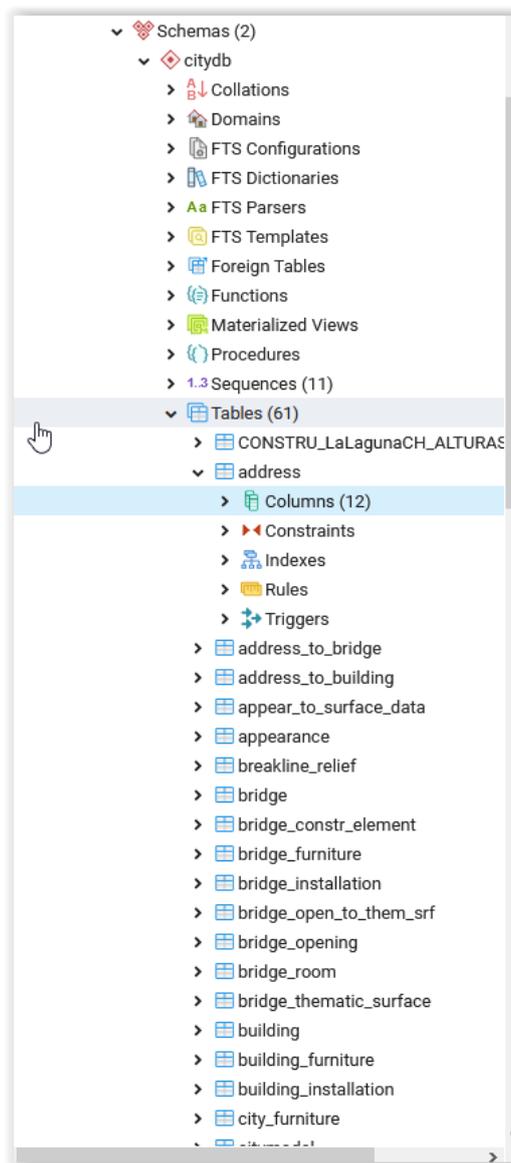


Figura 2.7: Estructura de la base de datos 3DCityDB

2.3.2. Sqlite

Sqlite [17] es una librería software que posibilita la gestión de bases de datos relacionales, incluyendo transacciones de bases de datos atómicas, consistencia de los datos, *triggers* y consultas complejas. Todo ello a través de llamadas simples a subrutinas y funciones.

Una de las principales razones por las que se utiliza en este proyecto, es porque al tratarse de una base de datos que ocupa poco espacio, que no requiere instalación y que tiene un óptimo rendimiento (solo carga los datos que son necesarios), es ideal para utilizarla como software integrado en dispositivos con recursos limitados.

Este sistema gestor de bases de datos se ha integrado con el proyecto de *Unity* para actuar como base de datos local de la aplicación, esta usará dichos datos para mostrar la información almacenada de los edificios con mayor importancia.

2.3.3. PostgreSQL

PostgreSQL [18] es un sistema de gestión de bases de datos relacionales de código abierto y orientado a objetos, que está dirigido por una comunidad de desarrolladores que trabajan en ella de manera altruista.

PostGIS

PostGIS [19] es una extensión de *PostgreSQL* que le añade soporte a datos geográficos, convirtiéndolo en una base de datos espacial.

La base de datos *Postgres* junto al módulo *PostGIS* serán las que almacenarán el modelo urbano con la extensión para la información histórica relevante de la ciudad de La Laguna que se irá actualizando a lo largo del tiempo. Esta ha sido proporcionada por el equipo del proyecto. La base de datos local a la aplicación se conectará a ella para recibir la información necesaria que le mostrará a los usuarios.

2.3.4. QGIS

Es un sistema de información geográfica libre y de código abierto, impulsado por voluntarios que te permite visualizar, analizar, gestionar, editar y diseñar mapas.

Se ha utilizado el programa *QGIS* [20] para ir visualizando los resultados del modelo de datos *CityGML* en la base de datos *PostGIS*. En la figura 2.8 podemos ver la iglesia de La Concepción representada.



Figura 2.8: QGIS

2.3.5. Trello

Trello [21] es un software de organización y administración para proyectos, que emplea el sistema *Kanban* y que por medio de una serie de tarjetas, permite organizar las determinadas tareas que son necesarias para llevar a cabo un proyecto.

Para la realización de este proyecto fue necesario usar esta herramienta para ir anotando el número de tareas y subtareas que eran necesarias para alcanzar los objetivos principales del proyecto.

Capítulo 3

Desarrollo del proyecto

En el capítulo previo se especificaron cuáles han sido las tecnologías y herramientas que se han utilizado para el desarrollo del proyecto. En este capítulo, se detallara cuál ha sido el desarrollo que se ha llevado a cabo para hacerlo posible.

3.1. Planificación del Proyecto

Antes de comenzar con el desarrollo del proyecto, se llevaron a cabo una serie de reuniones en las que se especificaron cuáles serían los objetivos, el alcance y el tiempo estimado del Trabajo de Fin de Grado.

Una vez determinados los objetivos principales, con la herramientas de planificación *Trello*, se establecieron qué grandes tareas había que desarrollar y cuáles eran sus subtareas correspondientes. Y siguiendo la metodología *Kanban* se fue visualizando el flujo de trabajo de la siguiente manera:

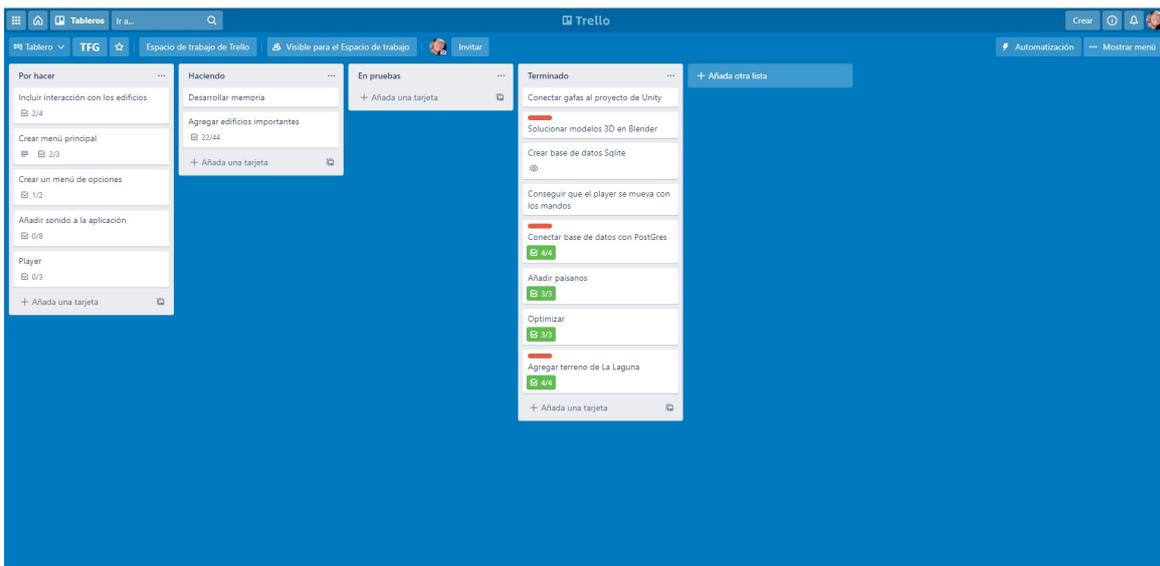


Figura 3.1: Metodología *Kanban* en *Trello*

3.2. Formación inicial

Al tratarse de una aplicación de Realidad Virtual en la plataforma *Unity*, y al no tener los suficientes conocimientos en aplicaciones XR, ni con el motor de videojuegos, fue precisa una etapa inicial de formación en la que se adquirieran dichas competencias necesarias para ser capaz de abordar el proyecto.

Con la ayuda de algunos tutoriales de iniciación proporcionados por la misma plataforma se empezó a comprender cómo era su funcionamiento y cuáles eran sus herramientas. Fue gracias al tutorial de *Unity* de *John Lemon* [22] que se consiguieron los conceptos fundamentales para el desarrollo de videojuegos en el editor de *Unity*.

Tras este manual, fue necesario investigar qué posibles extensiones eran necesarias para hacer la aplicación en realidad virtual. Esto fue posible gracias a la documentación facilitada tanto por *Oculus*, como por *Unity*, así como, al visionado de algunos vídeos creados por desarrolladores de dichas plataformas.

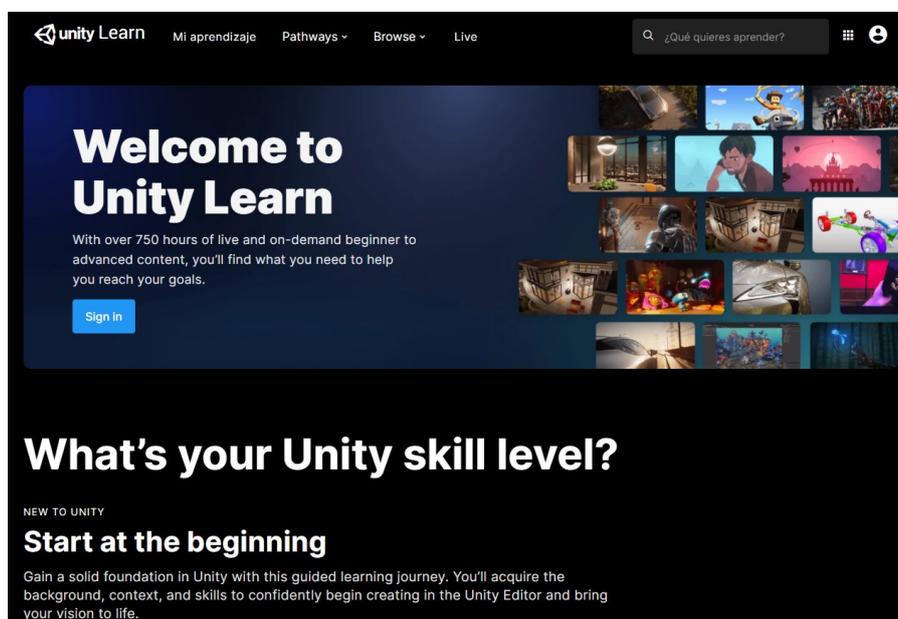


Figura 3.2: Página web *Unity Learn* dónde se encuentran los tutoriales

3.3. Modelos 3D

Los modelos 3D que se han utilizado representan como eran las edificaciones laguneras de la época, se pueden diferenciar dos grupos, unos modelos que representan algunos de los edificios con mayor importancia y otros que reproducen algunas de las viviendas tradicionales. Todos los modelos han sido proporcionados por el equipo del proyecto de investigación *Reconstrucción Histórica Virtual de San Cristóbal de La Laguna*.

3.3.1. Edificios emblemáticos

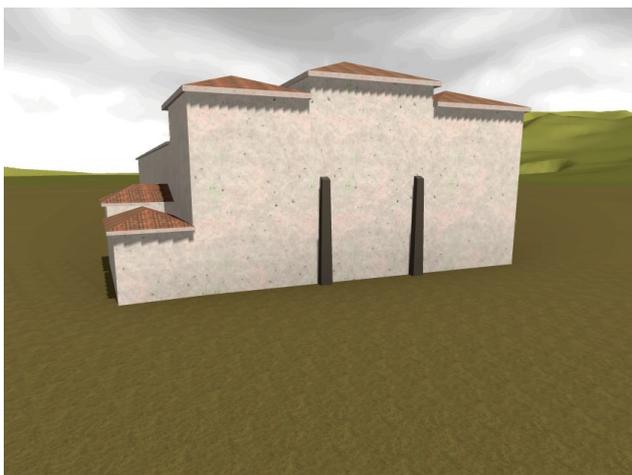
Los edificios emblemáticos [23] [24] [25] [26] [27] son aquellos que en el plano de Torriani aparecen de manera destacada, y referenciados en la leyenda. Entre ellos se encuentran principalmente iglesias, plazas y algunos conventos, las casas cabildo, hospitales y la casa del Adelantado.

Este trabajo se centra principalmente en algunas de ellas: la Iglesia de Santa María de Los Remedios, que es la actual Catedral, la iglesia de La Concepción, el Hospital de Dolores, la ermita de San Miguel. En los espacios alrededor se han ubicado modelos de casas en algunas de las tipologías documentadas respecto a las viviendas en la ciudad a finales del S.XVI.

Parroquia Matriz de Nuestra Señora de la Concepción

Es la parroquia matriz tanto de la ciudad de San Cristóbal de La Laguna como de la isla de Tenerife. Se encuentra entre las plazas de Doctor Olivera y la plaza a la que le da nombre, La Concepción. Fue fundada en el año 1511 y disponía de tres naves principales y algunas capillas. Corresponde a la B en el plano de Torriani. En la época era una iglesia de tres naves más cortas que las actuales, con dos danzas de arcos con cuatro pares de columnas, dos pilares adosados y techumbres a dos aguas a la misma altura. Parejas de contrafuertes que sobresalen tanto en la cabecera como a los pies.

La Capilla de San Andrés ya estaba construida en 1580, sobresaliendo en el lado de la epístola. La portada del lado norte, construida en 1568 se mantiene en la actualidad. Los cimientos de su Torre se abrieron en 1581, estaba en construcción en el momento en que Torriani realiza el plano, es por esto que en el modelo que se ha utilizado, la torre se encuentra a medio construir.



(a) Parte delantera



(b) Parte trasera

Figura 3.3: Modelo 3D de la edificación: La iglesia de La Concepción

Iglesia Santa María de Los Remedios

La iglesia de Santa María de Los Remedios es el origen de la actual Catedral de La Laguna, corresponde a la A en el plano de Torriani. Era una Iglesia de tres naves, más cortas que las actuales. La capilla mayor era más elevada y sin capillas colaterales tanto en la cabecera como en las naves, con contrafuertes semicirculares en la fachada principal. La portada principal era semejante a la de San Marcos de Icod, realizada por el mismo cantero, Miguel Antunes, con anterioridad a 1568. Se conservan las imágenes de San Pedro y San Pablo de dicha portada en colección particular. En medio de las naves, se abrían sendas puertas laterales. No disponía de torre, en su lugar existía un campanario y un reloj en el lado sur, junto a la sacristía, en el lugar donde luego se levantó la segunda capilla colateral. Se dispuso un cementerio en el lado norte.

La cabecera hacia el este incrustada en los corrales y edificaciones domésticas y junto a la casa del emparedamiento. Las casas de emparedamiento eran otra forma de vida en clausura. Encerradas entre sus muros, las beatas emparedadas hacían voto de castidad y de no violar la clausura durante el resto de su vida. Sin pertenecer a ninguna comunidad religiosa, prestaban obediencia directamente al obispo diocesano o a sus ministros. Adosadas o unidas a una iglesia, estas casas de emparedamiento poseían los elementos necesarios para funcionar como conventos en miniatura: puerta reglar, rejas y torno para la comunicación con el exterior; comulgatorio y tribuna o ventana de celosías para seguir los oficios religiosos sin romper el voto de clausura.



Figura 3.4: Modelo 3D de la edificación: La Iglesia de Los Remedios

Hospital de Dolores

El Hospital de Dolores, se denota con una M en el plano de Torriani. Las primeras decisiones respecto a la sanidad en la isla de Tenerife se orientaron a evitar la expansión de epidemias confinando a las personas que llegaran infectadas y al control de la lepra, enviando a los enfermos a la leprosería ubicada en Gran Canaria.

El Adelantado proyectó la construcción de un hospital que no prosperó. El primer hospital, conocido por Hospital de Nuestra Señora de la Antigua, se construyó por iniciativa privada de Juan de Valladolid en 1507 en la calle San Agustín, en la esquina donde actualmente se encuentra la iglesia.

Años más tarde, los benefactores Martín de Jerez y su esposa, Catalina Gutierrez, ceden sus propiedades, incluyendo casas adyacentes al hospital. Estos también solicitan al rey Fernando el católico su intercesión con el Papa para obtener autorización para la fundación del Hospital bajo la advocación de Nuestra Señora de Dolores. Se autoriza su construcción en 1515. El hospital comienza a funcionar en la casa del benefactor y se inicia su edificación en un solar contiguo. El Hospital de Dolores absorbe el de Nuestra Señora de la Antigua. La portada de la iglesia es de 1656-1662.



Figura 3.5: Modelo 3D de la edificación: Hospital de Dolores

Ermita de San Miguel

La ermita de San Miguel, denotada por una F en el plano de Torriani. Se construyó hacia el año 1506 por decisión del adelantado Alonso Fernández de Lugo y siendo su patrón el arcángel San Miguel, debido a la gran devoción que tenía y en agradecimiento por la victoria conseguida contra los Guanches. Pese a ser el lugar en el que iba a ser enterrado, no le dio nunca las atenciones necesarias para que la ermita funcionara adecuadamente, por lo que por su estado deteriorado se tuvo que reconstruir en 1574 y en 1759.



Figura 3.6: Modelo 3D de la edificación: Ermita de San Miguel

3.3.2. Viviendas tradicionales

En la aplicación se muestran una serie de viviendas tradicionales de la época [28], todas ellas se caracterizan por su diseño austero, pequeñas edificaciones hechas principalmente de muros de piedra y cubiertas de estructuras de madera a cuatro aguas.

En la ciudad de San Cristóbal, las viviendas se ajustan al tipo casa-corral, que hace referencia a una casa con huerta y espacio para cría de animales, esta parte del solar estaba vallada y es a lo que se da nombre de corral. Cuando se construyen ampliaciones de la vivienda, ésta era la zona de crecimiento. El acceso se realiza por una puerta principal que accedía a la sala, opuesta directamente a la de acceso al corral en las viviendas más sencillas. También se levanta en el corral la cocina, en la zona protegida del viento. En la huerta se plantan principalmente árboles frutales: perales, membrillo, limoneros y viñas. Se fabrican también casas sobradadas, en referencia a las que tienen una planta superior. A continuación veremos los cuatro tipos diferentes que podemos encontrar:

Armera

Edificación sobre grandes solares, frecuentemente con salida a dos calles y con una fachada sencilla y asimétrica de la que destaca una franja vertical hecha de piedra blasonada hacia la calle principal, aunque no siempre. Se encontraban en las calles más céntricas de la ciudad. Constituyen las viviendas de conquistadores y vecinos con títulos de nobleza.

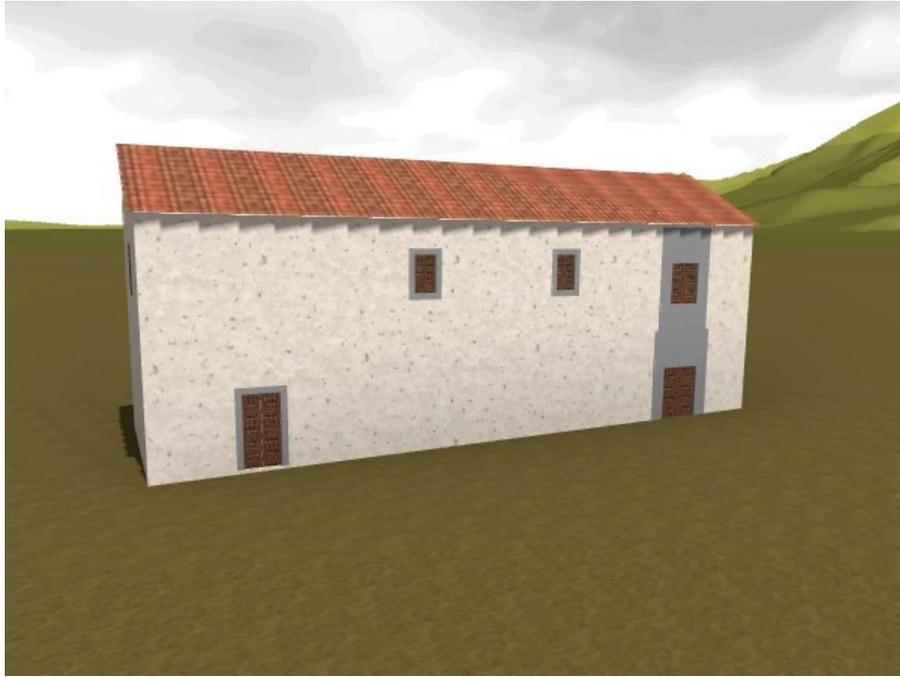


Figura 3.7: Modelo 3D de la edificación: Armera

Sobradada

Las casas sobradadas son aquellas de dos plantas cuya organización se dispone en base a uno o varios patios que intercomunican las dependencias que la componen. Este tipo de inmuebles eran más habituales en los núcleos urbanos dado que era la residencia habitual de aquellos con mayor poder adquisitivo. La casa alta se reparte de manera homogénea por toda la trama urbana. Los propietarios suelen ser acomodados dueños de tierras que arriendan y en algunos casos, en los huecos inferiores se instalaban comercios.

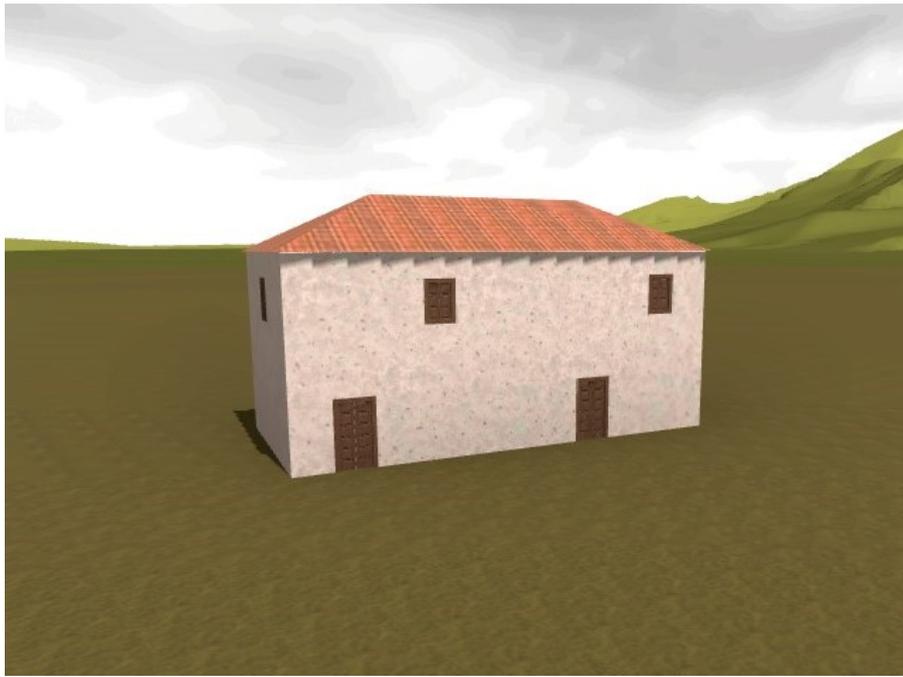
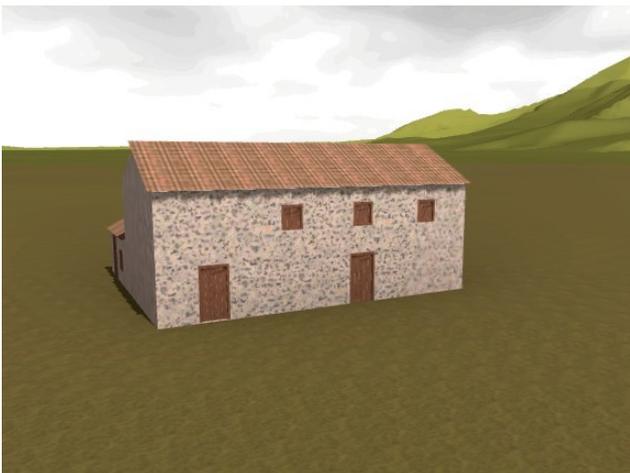


Figura 3.8: Modelo 3D de la edificación: Sobradada

Granero

Las casas granero eran casas tradicionales a las que se les incorporaba un granero que podían mostrarse tanto hacia la fachada de la calle como a la fachada trasera. Este tipo de edificaciones eran muy abundantes debido a que La Laguna era una zona además de fértil, apta para los cultivos de secano, por lo que fue una de las principales áreas de cultivo de cereales de la isla. En concreto la calle San Agustín fue asiento de mercaderes de productos agrarios. Es el tipo con mayor distribución a lo largo de las calles de la ciudad, tanto principales como secundarias.



(a) Parte delantera



(b) Parte trasera

Figura 3.9: Modelo 3D de la edificación: Granero

Terrera

Casa baja en parcela de pequeñas dimensiones, generalmente en la zona de la Villa de Arriba en torno a la Parroquia de la Concepción, en los extremos de la ciudad, en las calles traseras a calles reales y en la zona repartida en 1514 a partir de la calle de Anchieta hasta el límite de los solares en la calle de Quintín Benito. Se dispone en torno a un patio y cuenta con una pequeña huerta o corral. Suelen estar arrendadas o estar ocupadas por sus dueños, que suelen ser trabajadores, agricultores, artesanos y ganaderos.

Las casas terreras fueron sustituyendo lo que en su día fueron casas pajizas, a partir del siglo XVI, consistían en un rectángulo alargado que se solía subdividir en tres espacios. Siendo el espacio central al que se accedía desde la calle y que daba paso al patio o terreno situado en el interior de la parcela.



Figura 3.10: Modelo 3D de la edificación: Terrera

3.4. Desarrollo de aplicación de Realidad Virtual

3.4.1. Proyecto en Unity

Este proyecto se ha llevado a cabo en la versión 2020.3.11, incluyendo los módulos de *Android SDK & NDK Tools*, además del módulo *OpenJDK* y con la plantilla de proyecto 3D.

Además, se ha descargado el *XR Plugin Management* con la extensión de *Oculus*. Y en el *Package Manager* (administrador de paquetes) de *Unity*, se importó el paquete *OpenXR Plugin* y el *XR Interaction Toolkit*. Para llevar a cabo toda la interacción de Realidad Virtual sin que importe el tipo de dispositivo que interactúe.

Igualmente fue necesario incorporar al proyecto una serie de extensiones y modelos, para las animaciones, los personajes o la creación del terreno.

3.4.2. Player/Jugador

Al tratarse de una aplicación de realidad virtual, la cámara principal se encuentra dentro de la mecánica de movimiento del jugador. Es por ello que con el paquete, *XR Interaction Toolkit*, se ha generado la siguiente estructura del jugador:



Figura 3.11: Estructura del objeto Jugador/Player

A continuación, se explicaran los elementos más destacables de la estructura:

- *XR Interaction Manager*: es un objeto que contiene el *script* que facilita la interacción del jugador con los objetos interactivos.
- *XR Rig*: es el objeto que representa al jugador, compuesto por lo que ve (*Main Camera*) y los controladores de sus manos izquierda y derecha (*LeftHand Controller* y *RightHand Controller*).
- *Locomotion System*: es el objeto que contiene una serie de *scripts* que se encargan de determinar que movimiento va a tener el jugador. En el caso de este proyecto el jugador se mueve teletransportándose por el mundo.

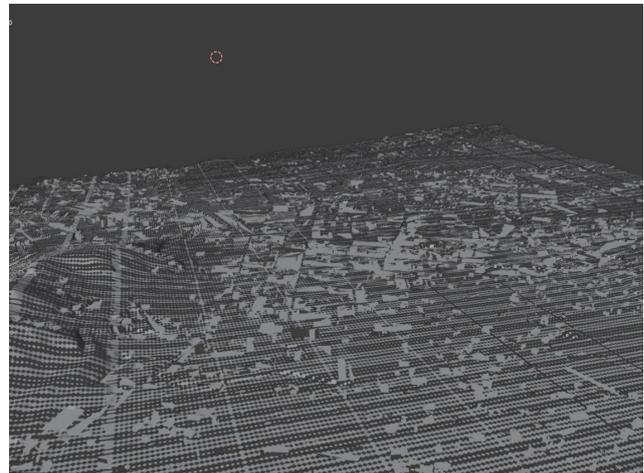
3.4.3. Creación del mundo virtual

Terreno de La Laguna

Con respecto al terreno de la aplicación, toma como referencia el suelo de la ciudad actual. Por ello, se ha generado una malla 3D a través de los datos geospaciales y como resultado se ha obtenido el modelo de la ciudad que vemos en la imagen (b).



(a) Mapa de la ciudad en *Google Earth*



(b) Modelo 3D de la ciudad actual en *Blender*

Figura 3.12: Ciudad de San Cristóbal de La Laguna

Una vez se obtiene el modelo de la ciudad, se suprimen las edificaciones y se diezma el modelo para reducir el número de triángulos que genera la malla y reducir por tanto el tamaño del objeto. Tras esto se genera un terreno en *Unity*, como vemos en la imagen.

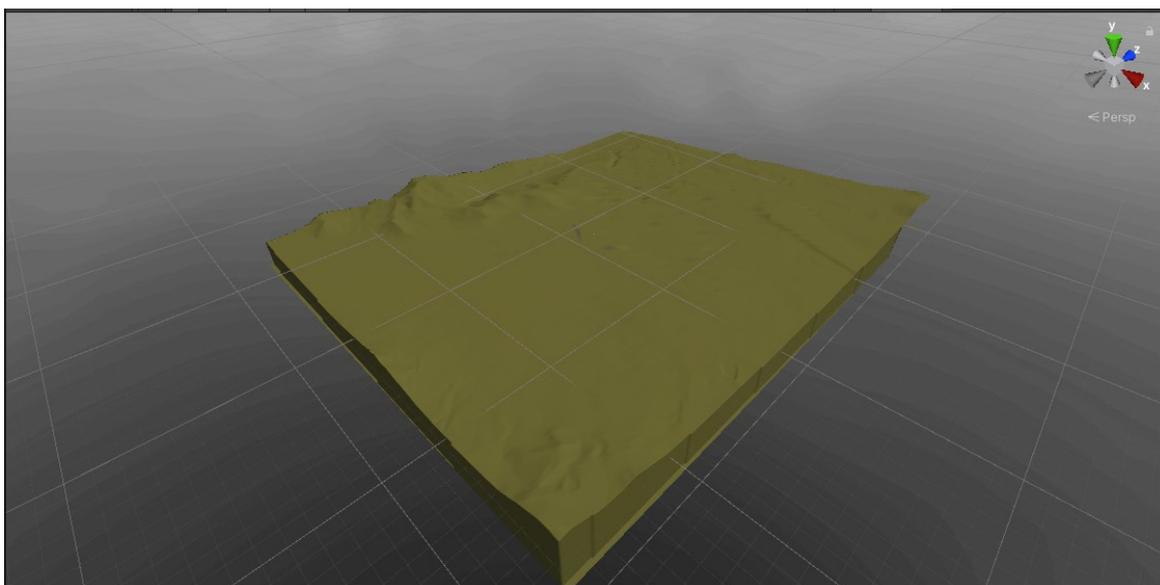


Figura 3.13: Terreno en *Unity*

Ciudad de La Laguna

La ciudad virtual combina los edificios más representativos junto con las viviendas tradicionales más icónicas, creando el trazado de calles que a día de hoy mantenemos. Además posee elementos característicos de la época como carretillas, sacos o cestos. Así como, personajes que deambulan por las calles de La Laguna o que entablan conversaciones con otros.

Límites de la ciudad

Con el objetivo de que ni el jugador ni los personajes puedan moverse libremente por el mundo, se han creado unos muros transparentes con el componente *Box Collider*, para que al llegar a dichos puntos se impida que se atraviesen.

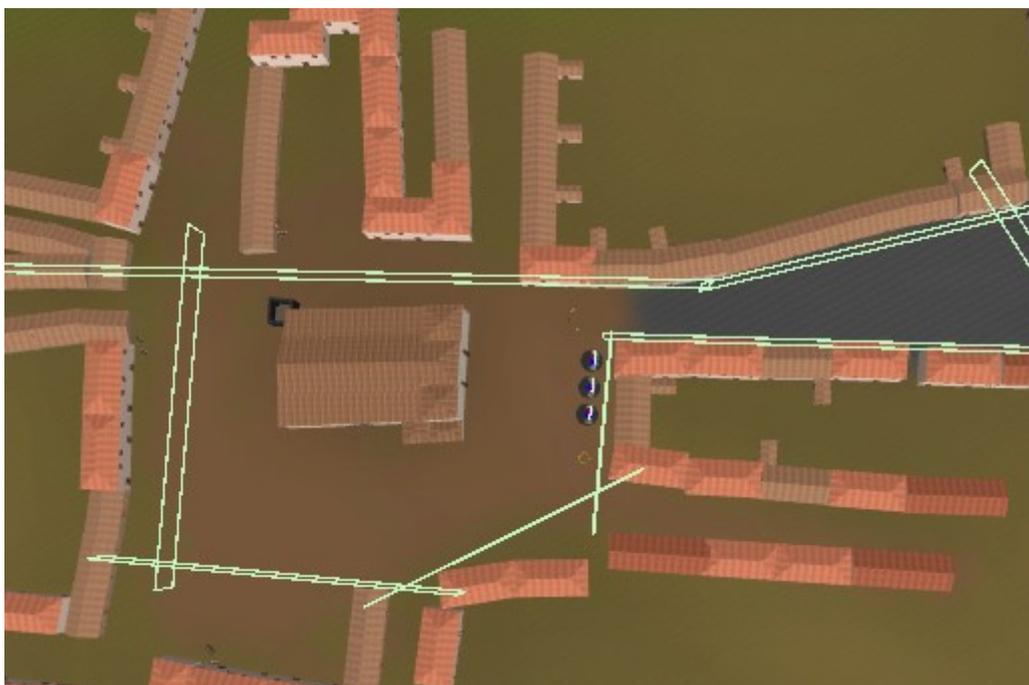


Figura 3.14: Límites en La Concepción

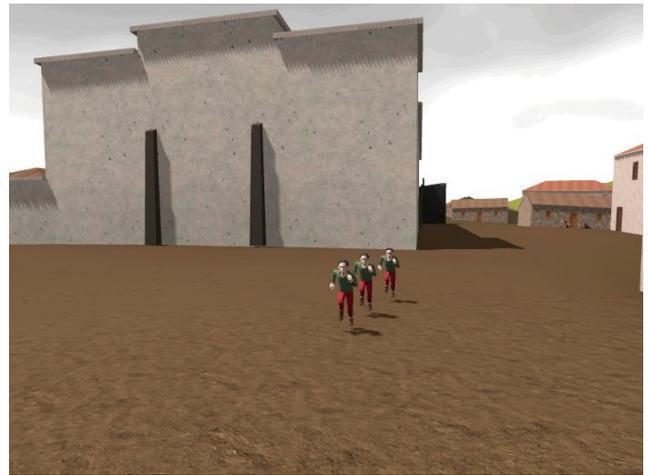
Personajes

En la ciudad se pueden encontrar una serie de personajes, que se pueden diferenciar en dos tipos:

- **Personajes estáticos:** son aquellos que están sentados hablando o riendo. Estos modelos tienen un controlador de animación que se encarga de reproducir las animaciones.
- **Personajes dinámicos:** son los que van paseando por la ciudad. Además de tener el controlador de animación estos personajes tienen dos componentes más, un *Nav Mesh Agent* (Agente de navegación de malla) que le permite caminar por el terreno, y un *script* que le indica al agente, a qué puntos debe dirigirse el personaje.



(a) Mujeres sentadas hablando



(b) Niños corriendo

Figura 3.15: Personajes del mundo virtual

Portales

Los portales son puntos de interconexión entre los distintos edificios emblemáticos que permiten al jugador ir cruzando de uno a otro, sin necesidad de ir desplazándose por el suelo lagunero.

Cada portal incluye una superficie interactiva que contiene la clase *Teleportation Anchor*, ésta permite agregar el punto de destino, que será la base del portal objetivo.



Figura 3.16: Portales ubicados en La Plaza del Adelantado

Puntos de información

Los puntos de información son aquellos en los que se muestra la información histórica referente a cada uno de los edificios que se encuentra almacenada en la base de datos interna.

Cada punto de información consiste en una superficie *Trigger* que cuando el jugador se pone encima activa un panel con la información de la base de datos.

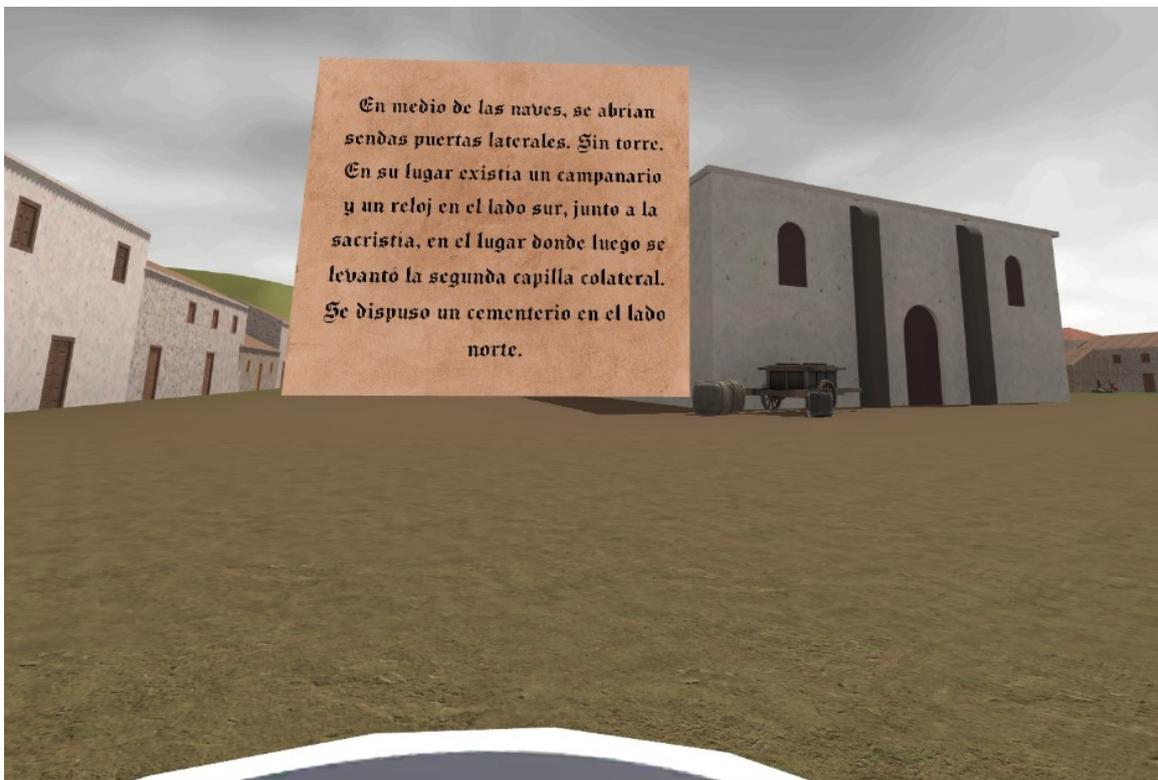


Figura 3.17: Punto de información ubicado en Los Remedios

3.4.4. Iluminación y optimización

Una vez creada la ciudad virtual, era necesario optimizar el rendimiento y mejorar la iluminación de la escena.

Es por esto que en primer lugar se configuró la luz direccional (*Directional Light*), para que creara las sombras esperadas y que coincidiera lo mejor posible con el cielo de la aplicación.

En segundo lugar, todos los objetos estáticos se marcaron como tal, de esta manera la mayor parte de la iluminación de la escena se renderiza previamente y no fotograma a fotograma, a este término se le llama *bakear*.

En último lugar, con la ayuda del paquete *Post Processing* se le incluyeron a la cámara principal dos componentes nuevos *Post-process Layer* y *Post-process Volume* que permitieron mejorar la intensidad, el color y la saturación del ambiente. En las siguientes figuras podemos ver una comparativa de la escena antes y después de realizar el proceso.



(a) Antes de iluminar y optimizar



(b) Después de iluminar y optimizar

Figura 3.18: Escena de La Plaza de Los Remedios

3.4.5. Base de datos local

Los datos históricos que se muestran en los puntos de información, se almacenan en una base de datos local de *Sqlite*.

Integración de *Sqlite* en Unity

El proyecto consta de un *plug-in Sqlite* que nos permite realizar la conexión con la base de datos. A través de un *script*, se establece la conexión con ella y se realizan consultas para obtener y mostrar los datos necesarios.

Estructura de la base de datos

Está formada por dos tablas:

- La tabla ***cdihbm_historicalsummary*** almacena los resúmenes históricos de los edificios. Consta de dos claves primarias *build_ref* e *id*, que referencian la primera al edificio y la segunda al punto de información. También tiene el campo *title* que recoge que tipo de resumen es, resumen general o una curiosidad. Y el campo *summary* que es donde se encuentra el texto del resumen.
- La tabla ***updates*** almacena las fechas en las que la tabla anterior se actualizó. Tiene como clave primaria *id* que es el identificador de la actualización y un campo *date* que almacena la fecha de ejecución.

En la figura 3.19, se muestran las tablas mencionadas previamente:

cdihbm_historicsummary	
PK	<u>build_ref</u> int NOT NULL
PK	<u>id</u> int NOT NULL
	summary varchar
	title varchar

updates	
PK	<u>id</u> int NOT NULL
	date date

Figura 3.19: Tablas en Sqlite

3.5. Integración de información histórica en la base de datos CityGML

Como se mencionó previamente la información se encuentra almacenada en una base de datos de tipo *Postgre*, en una máquina virtual del *IaaS*. Siguiendo el esquema *CityGML*, que contiene por una parte las tablas que almacenan los datos característicos de la ciudad, como direcciones, edificios u objetos de la ciudad. Y por otra parte las tablas que recogen la información de los edificios, como su funcionalidad, que tipo de protección recoge, o resúmenes históricos sobre este.

Estructura de la base de datos

A continuación se nombran algunas de las tablas con mayor importancia:

- La tabla ***cdihbm_historicsummary*** almacena los resúmenes históricos de los edificios. Consta de dos claves primarias, *build_ref*, que referencia al edificio e *id*, que identifica al resumen. Adicionalmente se compone de tres campos más, uno para la fecha, *date*, otro para el texto del resumen, *summary*, y otro para el tipo de resumen, *title*.
- La tabla ***cdihbm_funcionaltype*** almacena la funcionalidad que tiene el edificio. Tiene una clave primaria, *id* que es el identificador catastral del edificio. Y tres campos, uno para el tipo de edificio, *type*, otro para la fecha de construcción, *date* y otro para la categoría de este, *category*.
- La tabla ***cdihbm_protection*** almacena que tipo de protección tiene el edificio. Contiene una clave primaria para referenciar al edificio, *build_ref*, y otra para identificar la protección. Además, almacena el grado de interés patrimonial, *grade* y la fecha en la que fue valorado, *granted_date*.
- La tabla ***cdihbm_references*** almacena la referencia al edificio. Contiene una clave primaria que referencia al edificio, *id*. También registra el nombre del edificio en cuestión, *name*, la fecha en la que se almacenó, *recordingdate* y por la organización que lo registró, *recordingorg*.

- La tabla **updates** almacena los registros que han sufrido alguna modificación. Tiene dos claves primarias, *id* que es el identificador de la actualización y la clave *date* que almacena la fecha de actualización. Además de esto almacena el nombre de la tabla en la que se realizó el cambio, *table_name*, que información se incluyó o modificó, *data_changed*, que campo de la tabla se alteró, *value_modified*, y dos identificadores, uno para el edificio *build_ref* y otro para el identificador del punto de información *id*.

Cabe mencionar que ésta última tabla, la tabla *updates* se creó con el objetivo de crear una aplicación que actualizara su base de datos local con la base de datos que contenía la información histórica de La Laguna. En el siguiente apartado, lo veremos con mayor detalle.

En la figura 3.20, se muestran las tablas que han tenido mayor relevancia en el desarrollo de este proyecto:

cdihbm_historicalsummary	
PK	<u>build_ref int NOT NULL</u>
PK	<u>id int NOT NULL</u>
	date timestamp
	summary varchar
	title varchar

cdihbm_funcionaltype	
PK	<u>id int NOT NULL</u>
	type varchar
	date date
	category varchar

cdihbm_protection	
PK, FK	<u>build_ref int NOT NULL</u>
PK	<u>id int NOT NULL</u>
	grade varchar
	granted_date date

cdihbm_references	
PK	<u>id int NOT NULL</u>
	name varchar
	recordingdate date
	recordingorg varchar

updates	
PK	<u>update_id int NOT NULL</u>
PK	<u>date date NOT NULL</u>
	table_name varchar
	data_changed varchar
	value_modified varchar
	build_ref integer
	id integer

Figura 3.20: Tablas en PostgreSQL

3.6. Integración de la base de datos CityGML en la aplicación de Realidad Virtual

El objetivo consiste en conectar la aplicación de realidad virtual con la base de datos que contiene la información de la ciudad de La Laguna para mantener la información actualizada.

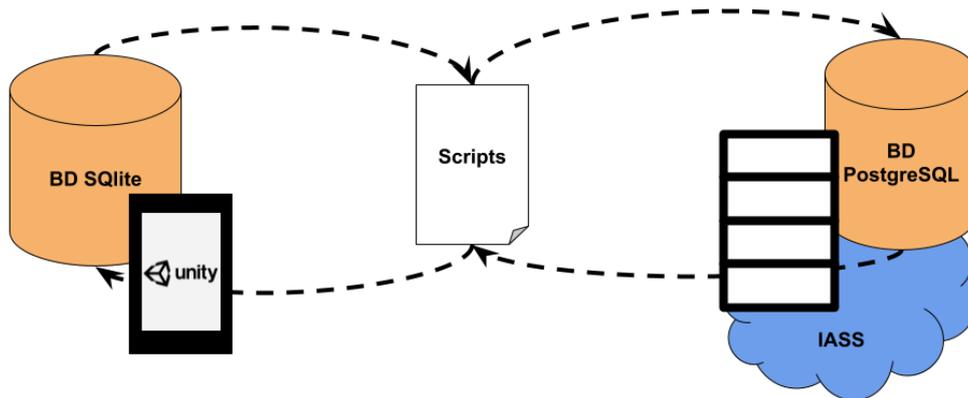


Figura 3.21: Conexión entre la base de datos *SQLite* y la de *PostgreSQL*

3.6.1. Integración de PostgreSQL en Unity

Al igual que a la hora de integrar *SQLite* con *Unity*, fue necesario agregar el *plug-in Npgsql* a la aplicación para que se encargara de realizar la conexión con la base de datos *PostgreSQL*.

3.6.2. Creación de un menú

Para que la actualización de la información se lleve a cabo solo al inicio de esta, existe una escena principal. Esta escena contiene un *script* que al iniciar la aplicación, compara las tablas *updates* de ambas bases de datos y actualiza en la tabla *cdihbm_historicalsummary* de la base de datos local los campos que contiene la tabla *updates* de la base de datos externa.

En la figura 3.22 vemos el diagrama de clases que hacen posible la actualización de la base de datos *SQLite* con la de *PostgreSQL*.

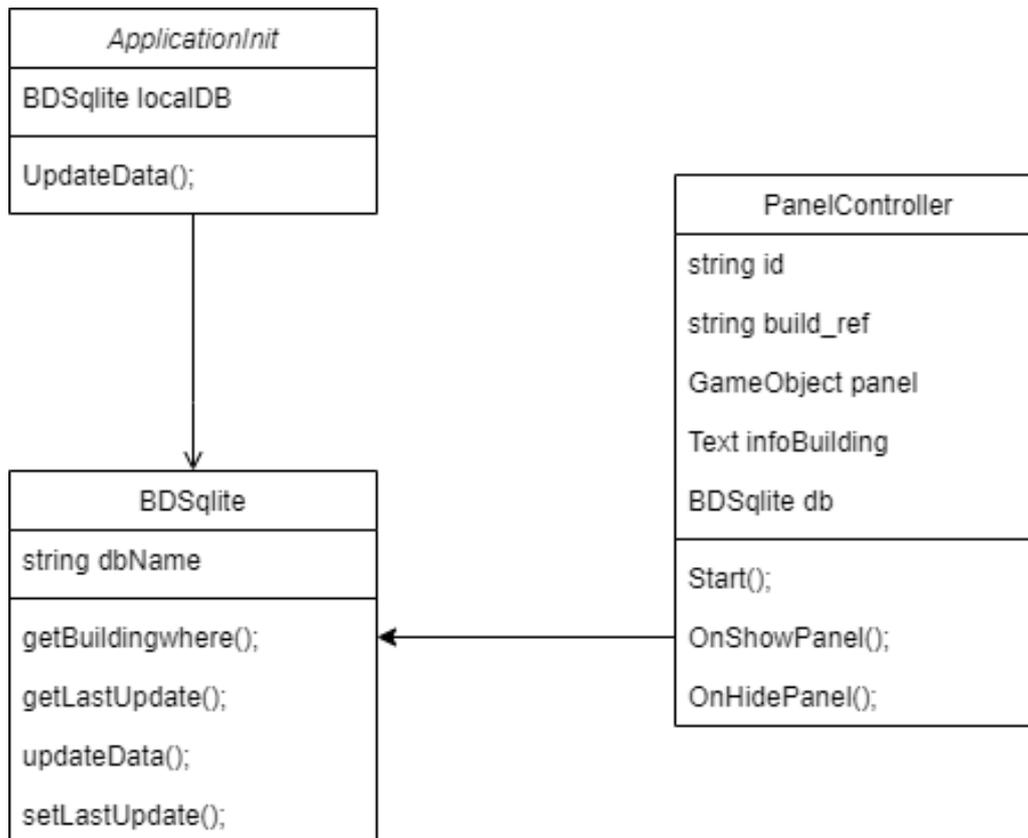


Figura 3.22: Diagrama de clases

3.7. Resultado de la aplicación

3.7.1. Tests de usuarios

Tras acabar la aplicación se hicieron pruebas con distintos usuarios, que notificaron algunos errores. Uno de ellos comentó que en vez de usar el teletransporte como método de desplazamiento, le gustaría poder desplazarse con el *joystick* como si de un videojuego se tratase, de manera que el controlador derecho hiciera esa función y el izquierdo funcionara para mover la cámara y teletransportarse.

Comentar que al inicio del desarrollo de la aplicación se tenían ambas opciones, sin embargo, al final fue necesario descartarlo debido a la textura del terreno, que hacía imposible ese movimiento más natural.

3.7.2. Comparativa con la realidad

A continuación, se ve una secuencia de imágenes que muestran la comparativa de la ciudad de La Laguna actual con la del siglo XVI que se ha creado en la aplicación.



(a) En la actualidad



(b) En la aplicación

Figura 3.23: Plaza del Adelantado



(a) En la actualidad



(b) En la aplicación

Figura 3.24: Calle Obispo Rey Redondo desde la Plaza del Adelantado



(a) En la actualidad



(b) En la aplicación

Figura 3.25: Calle Obispo Rey Redondo desde la Plaza de los Remedios



(a) En la actualidad



(b) En la aplicación

Figura 3.26: Calle Obispo Rey Redondo desde la Plaza de la Concepción



(a) En la actualidad



(b) En la aplicación

Figura 3.27: Lateral derecho de La Concepción



(a) En la actualidad



(b) En la aplicación

Figura 3.28: Lateral izquierdo de La Concepción



(a) En la actualidad La Catedral



(b) En la aplicación la antigua Iglesia de Los Remedios

Figura 3.29: Catedral



(a) En la actualidad



(b) En la aplicación

Figura 3.30: Ermita de San Miguel



(a) En la actualidad



(b) En la aplicación

Figura 3.31: Hospital de Los Dolores

Capítulo 4

Conclusiones y líneas futuras

En este capítulo se comentan cuáles han sido las conclusiones del proyecto, así como, se manifiestan cuáles son las posibles mejoras o futuros pasos a seguir para el desarrollo de este.

4.1. Conclusiones

Finalmente se ha desarrollado una aplicación de realidad virtual que es capaz de abstraerse del tipo de dispositivo de entrada y que además actualiza su información con respecto a la base de datos de la que obtiene la información, cumpliendo así con los objetivos planteados al inicio del proyecto.

Asimismo, se ha construido una base de datos cuya estructura es capaz de almacenar de manera ordenada y eficaz toda la información necesaria que se pueda recoger de la ciudad. De esta forma diversas aplicaciones podrán conectarse a ella y utilizar los datos actualizados.

Como resultado podemos pasear por las calles de la ciudad de San Cristóbal La Laguna del siglo XVI, fijándonos no solo en cómo eran las viviendas tradicionales, sino conociendo la historia de aquellos edificios que en su día y a día de hoy siguen siendo los más importantes de la ciudad.

4.2. Líneas futuras

A pesar de haberse conseguido los objetivos, uno de los aspectos a mejorar en la aplicación sería que no solo mantenga la información actualizada, sino que al insertarse un nuevo dato en la base de datos principal, se genere un nuevo registro en la base de datos local. Sin embargo, habría que hacer algunos cambios en el mecanismo de esta para que pudiera acceder a la información precisa.

Otra mejora que se podría incluir sería la integración de elementos para personas con algún tipo de discapacidad. Cómo la creación de un menú que hiciera de mayor tamaño el texto, o la opción de poder escuchar los resúmenes en vez de leerlos.

Finalmente se podría realizar el mismo proceso con otras ciudades con importancia histórica en Canarias, e ir creando distintas bases de datos que contengan las especificaciones de los edificios más representativos y sus características historias.

Capítulo 5

Summary and Conclusions

In this chapter, the conclusions of the project are given below. As well as, the results and the possible improvements or future steps to follow for the development of this.

5.1. Conclusions

Finally, a virtual reality application has been developed that is capable of abstracting itself from the type of input device and that also updates its information with its respective database from which it obtains the information, achieving the goals established at the beginning of the project.

Likewise, a database has been built which structure is capable of storing in an orderly and efficient manner all the necessary information that can be collected from the city. In other to allow that various applications can connect to it and use the updated data.

As a result, we can walk through the streets of the City of San Cristóbal La Laguna from the 16th century, not only looking at how the traditional houses were, but also knowing the history of those buildings that are the most important in the city.

5.2. Future lines

Despite achieving the objectives, one of the aspects to improve the application would be, not only keep the information updated, but also when a new data is inserted in the main database, generate a new record in the local database . However, some changes in the mechanism would be necessary to access the precise information.

Another improvement that could be included would be the integration of elements for people with some type of disability. Such as, create a menu that makes the text larger, or the option of being able to listen to the summaries instead of reading them.

Finally, the same process could be carried out with other cities with historical importance in the Canary Islands, and different databases could be created in order to contain its most representative buildings and its characteristics.

Capítulo 6

Presupuesto

En este capítulo se detalla el presupuesto necesario para desarrollar el proyecto, en un tiempo estimado de cuatro meses.

6.1. Justificación del presupuesto

En la tabla 6.1 podemos ver el presupuesto del proyecto de manera detallada, en la que se especifican cuales son los costes de llevarlo a cabo.

- En primer lugar, al tratarse de un proyecto de realidad virtual será necesario utilizar un dispositivo adecuado. En este caso el dispositivo utilizado es el Oculus Quest, cuyo precio estimado actual es de 597.00€.
- En segundo lugar, debido a que el desarrollo se ha llevado a cabo utilizando software libre y gratuito el coste de este es de 0.00€.
- En tercer lugar, puesto que se trata de un proyecto con contexto histórico será necesario recopilar la información necesaria. Siendo el precio por hora estimado de unos 15.00€, y unas 30h de trabajo necesarias el coste total es de 450.00€.
- En cuarto lugar, para desarrollar la aplicación será necesario por una parte realizar un análisis de las tecnologías necesarias, que llevará unas 25h y siendo la hora 20.00€, el coste total será de 500.00€. Por otro lado, la aplicación necesita una base de datos por lo que el diseño y la integración de esta, siendo el coste del primero 25.00€/h y el segundo 20.00€/h, costará 1125.00€ y 50h necesarias. Y finalmente serán necesarias 180h de desarrollo de la aplicación, que valiendo 20.00€ la hora, costará un total de 3600.00€.
- En último lugar, deberá documentarse el proyecto, por lo que serán 20h necesarias y costando 15.00€ la hora el coste total será de 300.00€.

Descripción	Cantidad	Coste total
Dispositivo de realidad virtual - Oculus Quest	1ud.	597,00€
Software - Unity, Assets	-	0,00€
Recopilación de la información histórica	30h	450,00€
Análisis de las tecnologías necesarias	25h	500,00€
Diseño de la BD	25h	625,00€
Integración de la información histórica en la BD	25h	500,00€
Desarrollo de aplicación de Realidad Virtual	180h	3.600,00
Documentación del proyecto	20h	300,00€
TOTAL		6572,00€

Tabla 6.1: Resumen del presupuesto

Bibliografía

- [1] González González, Alejandro (2020). Aplicación web de una casa Lagunera del S.XVI. <https://riull.ull.es/xmlui/handle/915/21323>.
- [2] Estévez Expósito, Kevin (2018). Realidad Virtual en San Cristóbal de La Laguna Patrimonio Histórico. <https://riull.ull.es/xmlui/handle/915/10415>.
- [3] Prieto, I., Usobiaga, E., Izkara, J. L. (2012). Generación semiautomática de ciudades en 3D en CityGML a partir de fuentes de datos libres. In X Congreso TOPCART 2012-I Congreso Iberoamericano de Geomática YCC de La Tierra. https://www.researchgate.net/publication/308296336_Generacion_semiautomatica_de_ciudades_en_3D_en_CityGML_a_partir_de_fuentes_de_datos_libres.
- [4] Unity. <https://unity.com/>.
- [5] Unreal Engine. <https://www.unrealengine.com/en-US/>.
- [6] Cryengine. <https://www.cryengine.com/>.
- [7] Unity Asset Store. <https://assetstore.unity.com/>.
- [8] Unity XR Plugin. <https://docs.unity3d.com/Manual/com.unity.xr.management.html>.
- [9] Documentación lenguaje C#. <https://docs.microsoft.com/es-es/dotnet/csharp/>.
- [10] Blender. <https://www.blender.org/>.
- [11] Oculus VR. https://www.oculus.com/?locale=es_ES.
- [12] Oculus XR Plugin. <https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.xr.oculus@1.9/manual/index.html>.
- [13] CityGML. <https://www.ogc.org/standards/citygml>.
- [14] Página web con diagrama de modelos 3D - LOD. <https://3d.bk.tudelft.nl/news/2016/05/16/CEUS-improved-CityGML-LODs.html>.
- [15] 3D CityDB. <https://www.3dcitydb.org/3dcitydb/>.
- [16] Repositorio con modelos de ciudades en CityGML. <https://github.com/0lo0cki/awesome-citygml>.
- [17] Sqlite. <https://www.sqlite.org/index.html>.

- [18] PostgreSQL. <https://www.postgresql.org/>.
- [19] PostGIS. <https://postgis.net/>.
- [20] QGIS. <https://www.qgis.org/es/site/>.
- [21] Trello. <https://trello.com/>.
- [22] Tutorial de Unity de John Lemon. <https://learn.unity.com/project/john-lemon-s-haunted-jaunt-3d-para-principiantes>.
- [23] Cioranescu, A. (1965). La Laguna: guía histórica y monumental. Ayuntamiento de San Cristobal de la Laguna.
- [24] Guadalupe, D. C. LA ARQUITECTURA DE LAS ERMITAS DEL SIGLO XVI, EN EL MUNICIPIO DE LA LAGUNA.
- [25] Navarro Segura, M. I. (1999). La Laguna 1500: la ciudad-república. Una utopía insular según "Las leyes" de Platón. Excmo. Ayuntamiento de San Cristóbal de La Laguna. S/C de Tenerife. .
- [26] Gestor documental del CICOP - Consultada el día 15 de Junio. . <https://gestorpatrimoniocultural.cicop.com/>.
- [27] Rodríguez Moure, J. HISTORIA DE LA PARROQUIA MATRIZ DE NTRA. SEÑORA DE LA CONCEPCIÓN.
- [28] Larraz Mora, A. A vista de oficiales y a su contenido. Tipología y sistemas constructivos de la vivienda en La Laguna y Tenerife a raíz de la conquista (1497-1526).