



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

BARCELONATECH

Facultat d'Informàtica de Barcelona



# EINA PER LA VISUALITZACIÓ WEB EN 3D DE MODELS DE PATRIMONI CULTURAL ANOTATS

MAX VIVES RIBERA

**Director/a:** IMANOL MUÑOZ PANDIELLA (Departament de Ciències de la Computació)

**Codirector/a:** CARLOS ANDUJAR GRAN (Departament de Ciències de la Computació)

**Titulació:** Grau en Enginyeria Informàtica (Enginyeria del Software)

Memòria del treball de fi de grau

Facultat d'Informàtica de Barcelona (FIB)

Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) - BarcelonaTech

15/05/2024

## Resum

Aquest projecte explora la creació d'un visualitzador 3D basat en web destinat a la digitalització del patrimoni cultural, amb un enfocament especial en la integració de funcionalitats d'anotació. Utilitzant els avenços recents en la tecnologia de targetes gràfiques, la plataforma permet la visualització i la interacció amb models 3D anotats que oferixen informació detallada sobre elements específics dels objectes culturals. Destinat tant a experts com a la població general, el sistema millora l'accessibilitat i l'educació cultural, facilitant l'exploració remota i enriquint l'ensenyament i la recerca. El projecte inicia amb models d'esglésies, com Sant Quirze de Pedret, i té com a objectiu expandir-se a més exemples de patrimoni cultural.

## Resumen

Este proyecto explora la creación de un visualizador 3D basado en web destinado a la digitalización del patrimonio cultural, con un enfoque especial en la integración de funcionalidades de anotación. Utilizando los avances recientes en la tecnología de tarjetas gráficas, la plataforma permite la visualización e interacción con modelos 3D anotados que ofrecen información detallada sobre elementos específicos de los objetos culturales. Destinado tanto a expertos como a la población general, el sistema mejora la accesibilidad y la educación cultural, facilitando la exploración remota y enriqueciendo la enseñanza y la investigación. El proyecto comienza con modelos de iglesias, como Sant Quirze de Pedret, y tiene como objetivo expandirse a más ejemplos de patrimonio cultural.

## Abstract

This project explores the creation of a web-based 3D visualizer aimed at the digitalization of cultural heritage, with a special focus on integrating annotation functionalities. Utilizing recent advances in graphics card technology, the platform allows for the visualization and interaction with annotated 3D models that provide detailed information about specific elements of cultural objects. Intended for both experts and the general population, the system enhances accessibility and cultural education, facilitating remote exploration and enriching teaching and research. The project begins with models of churches, such as Sant Quirze de Pedret, and aims to expand to more examples of cultural heritage.

# Índex

<b>1 Context i justificació</b>	<b>4</b>
1.1 Introducció . . . . .	4
1.2 Definició de conceptes . . . . .	5
1.3 Actors implicats . . . . .	5
1.4 Descripció del problema a resoldre . . . . .	6
<b>2 Justificació</b>	<b>7</b>
2.1 Estat de l'art . . . . .	7
2.2 Solucions existents . . . . .	7
2.3 Justificació de l'elecció . . . . .	8
<b>3 Abast</b>	<b>10</b>
3.1 Objectius i subobjectius . . . . .	10
3.2 Requisits no funcionals . . . . .	11
3.3 Obstacles i riscos . . . . .	12
<b>4 Metodologia</b>	<b>13</b>
4.1 Eines . . . . .	13
4.2 Adquisició dels recursos . . . . .	15
<b>5 Especificació</b>	<b>16</b>
5.1 Diagrama de casos d'ús . . . . .	16
5.2 Descripció de casos d'ús . . . . .	19
5.2.1 Cas d'ús 1: Log in . . . . .	19
5.2.2 Cas d'ús 2: Registrar-se . . . . .	19
5.2.3 Cas d'ús 3: Log Out . . . . .	20
5.2.4 Cas d'ús 4: Canviar a la pròxima diapositiva del carousel . . . . .	20
5.2.5 Cas d'ús 5: Iniciar l'àudio . . . . .	21
5.2.6 Cas d'ús 6: Parar l'àudio . . . . .	21
5.2.7 Cas d'ús 7: Canviar la parada del tour . . . . .	21
5.2.8 Cas d'ús 8: Canviar el segle del model 3D . . . . .	22
5.2.9 Cas d'ús 9: Moure la càmera . . . . .	22
5.2.10 Cas d'ús 10: Zoom in/out . . . . .	22
5.2.11 Cas d'ús 11: Ajustar hora del dia . . . . .	23
5.2.12 Cas d'ús 12: Veure materials gràfics associats . . . . .	23
5.2.13 Cas d'ús 13: Veure anotacions . . . . .	23
5.2.14 Cas d'ús 14: Canviar a la pròxima diapositiva dels materials gràfics . . . . .	24
5.2.15 Cas d'ús 15: Contactar amb l'administrador . . . . .	24
<b>6 Disseny i implementació del visualitzador</b>	<b>25</b>
6.1 React . . . . .	27
6.2 Cesium . . . . .	27
6.2.1 CesiumJS . . . . .	27

6.2.2	CesiumIon . . . . .	27
6.3	Components . . . . .	28
6.3.1	NavBar . . . . .	29
6.3.2	CarouselPage . . . . .	30
6.3.3	FAQ . . . . .	31
6.4	Visualitzador (Component "Model 3D") . . . . .	33
6.4.1	Introducció al component . . . . .	33
6.4.2	Estructura del codi . . . . .	34
6.4.3	Gestió d'estats i referències . . . . .	35
6.4.4	Configuració de Cesium . . . . .	36
6.4.5	Interfície i components de Bootstrap . . . . .	38
6.4.6	Gestió d'àudio . . . . .	39
6.4.7	Anotacions i interactivitat amb imatges . . . . .	42
6.4.8	Controladors d'events . . . . .	44
6.4.9	Navegació i visualització de dades . . . . .	46
6.4.10	Conclusió i potencials ampliacions . . . . .	48
6.5	Base de dades . . . . .	49
6.5.1	Descripció dels arxius XML . . . . .	49
6.5.2	Diagrama de classes . . . . .	50
6.5.3	Estructura del XML d'anotacions . . . . .	51
6.5.4	Processament i Utilització del XML . . . . .	52
6.5.5	Impacte en l'experiència d'usuari . . . . .	52
6.5.6	Conclusió . . . . .	53
<b>7</b>	<b>Validació i proves</b>	<b>54</b>
7.1	Validació de requisits no funcionals . . . . .	54
<b>8</b>	<b>Planificació temporal</b>	<b>56</b>
8.1	Descripció de les tasques . . . . .	56
8.1.1	Tasques de gestió del projecte . . . . .	56
8.1.2	Tasques de desenvolupament . . . . .	57
8.1.3	Recursos . . . . .	59
8.2	Estimacions i Gantt . . . . .	60
8.3	Gestió del risc: Plans alternatius i obstacles . . . . .	63
<b>9</b>	<b>Gestió econòmica</b>	<b>64</b>
9.1	Costos de personal per activitat . . . . .	64
9.2	Costos materials . . . . .	66
9.3	Costos genèrics . . . . .	66
9.4	Contingències . . . . .	66
9.5	Cost dels imprevistos . . . . .	67
9.6	Pressupost final . . . . .	68
9.7	Control de gestió . . . . .	68

<b>10 Sostenibilitat</b>	<b>69</b>
10.1 Dimensió econòmica . . . . .	69
10.2 Dimensió ambiental . . . . .	69
10.3 Dimensió social . . . . .	69
10.4 Matriu de sostenibilitat . . . . .	70
10.5 Autoavaluació . . . . .	70
<b>11 Conclusions</b>	<b>72</b>
11.1 Competències tècniques . . . . .	72
11.2 Treball futur . . . . .	72
11.3 Valoració personal . . . . .	73
<b>12 Referències bibliogràfiques</b>	<b>74</b>
<b>13 Glossari</b>	<b>76</b>

# 1 Context i justificació

Aquest treball de final de grau d'Enginyeria Informàtica es desenvolupa dins de l'especialitat de Software i es centra en la creació d'una eina que permet visualitzar models 3D del patrimoni cultural de Catalunya, amb anotacions redactades pels professors de la Facultat de Belles Arts de la Universitat de Barcelona. Aquest projecte s'ha dut a terme en la modalitat A, a la Facultat d'Informàtica de Barcelona, sota la supervisió d'Imanol Muñoz com a director i de Carlos Andújar com a codirector.

## 1.1 Introducció

El projecte que estem estudiant es focalitza en l'església de Sant Quirze de Pedret, tal com es pot veure a la Figura 1. Aquest temple és un exemplar de l'arquitectura preromànica a Catalunya que ha passat per diversos processos de restauració i conservació al llarg del segle XX. Recentment, ha estat objecte d'un procés de digitalització.[1]

La digitalització es va dur a terme amb la finalitat de renderitzar aquest patrimoni cultural i crear models 3D físicament acurats. El desenvolupament de models realistes des del punt de vista físic en contextos de patrimoni cultural continua sent un àmbit d'interès en creixement per a les comunitats de gràfics per ordinador i història de l'art.

En resum, la nostra missió serà donar suport als historiadors de l'art per a difondre els coneixements sobre l'església. M'encarregaré de desenvolupar una eina de visualització de models 3D anotats mitjançant una aplicació web. Aquest projecte no només es revelarà essencial per a l'església de Sant Quirze de Pedret, sinó que també serà aplicable a altres llocs del patrimoni cultural.



Figura 1: Sant Quirze de Pedret. Font: [2]

## 1.2 Definició de conceptes

Abans d'entrar en matèria en el context d'una eina per a la visualització web en 3D de models de patrimoni cultural anotats, és important adquirir uns coneixements bàsics que serviran com a fonament per comprendre la complexitat i l'abast d'aquesta eina. Començarem amb una definició essencial:

La visualització web en 3D és el procés de mostrar models tridimensionals i les seves anotacions en un entorn web interactiu, utilitzant tecnologies informàtiques i gràfiques. Aquest procés implica diversos aspectes, i ens centrarem en alguns dels conceptes fonamentals per a una millor comprensió:

- **Models 3D:** Aquests són representacions digitals tridimensionals d'objectes o patrimoni cultural. Els models 3D poden estar formats per una xarxa de punts (vèrtex) i superfícies (polígons) que defineixen la geometria de l'objecte.
- **Anotacions:** Les anotacions són metadades associades als models 3D que proporcionen informació addicional sobre l'objecte. Poden incloure descripcions històriques, dades relacionades amb el patrimoni cultural o altres informacions rellevants.
- **Visualització 3D en web:** Aquesta tecnologia permet als usuaris interactuar amb els models 3D mitjançant un navegador web. Això implica la capacitat de visualitzar els models des de diversos angles, fer zoom i accedir a les anotacions associades.
- **Tecnologies web 3D:** S'empren tecnologies com WebGL, Three.js i altres llibreries i estàndards relacionats per a la renderització i l'interacció amb models 3D en navegadors web.[3] [4]

Aquest coneixement bàsic servirà com a base per aprofundir en el desenvolupament i l'ús de l'eina per a la visualització web en 3D de models de patrimoni cultural anotats, i ajudarà a comprendre la importància d'aquesta tecnologia en la preservació i la divulgació del patrimoni cultural.

## 1.3 Actors implicats

A continuació es llisten els diferents actors implicats (stakeholders), ja siguin persones interessades, que se'n beneficiaran, persones afectades o participants en el desenvolupament.

- **Desenvolupador:** El projecte constarà d'un únic desenvolupador, el Max Vives Ribera, com a part del treball de fi de grau d'enginyeria informàtica. Ell serà l'encarregat de desenvolupar l'aplicació, fer les proves de testing, i de documentar el projecte.
- **Director del treball de fi de grau:** El director Imanol Muñoz Pandiella és membre del professorat de la Universitat Politècnica de Catalunya i està involucrat en supervisar el projecte i intentar que vagi en bona direcció

- **Persones interessades en l'art:** Gràcies al fet que l'eina serà completament gratuïta per tothom que vulgui utilitzar-la, podran utilitzar-la per estudiar i gaudir de les obres visualitzades.

#### 1.4 Descripció del problema a resoldre

El problema a resoldre en la creació d'una eina per a la visualització web en 3D de models de patrimoni cultural anotats consisteix en desenvolupar una plataforma que permeti als usuaris explorar i interactuar amb models tridimensionals de patrimoni cultural, mentre ofereix informació anotada rellevant sobre aquests objectes. Aquesta eina ha de ser capaç de combinar la representació 3D d'artefactes i monuments amb anotacions textuales o multimèdia que expliquin el seu context històric, artístic o cultural.

Els desafiaments principals d'aquest problema inclouen la gestió eficient de grans quantitats de dades tridimensionals i d'anotacions associades i l'entrega d'una experiència de visualització interactiva a través d'una interfície web amigable i àgil. També és important considerar la seguretat i la privadesa de les dades, així com l'accessibilitat per a tots els usuaris, incloent-hi aquells amb necessitats especials.

Resumidament, el repte és crear una eina web en 3D que faci accessible el patrimoni cultural de manera enriquidora, educativa i entretinguda, permetent als usuaris explorar a fons aquests objectes i entendre la seva importància històrica i cultural a través d'anotacions informatives i visuals.

## 2 Justificació

### 2.1 Estat de l'art

L'estat de l'art dels gràfics 3D ha evolucionat de manera significativa en els últims anys, impulsat per avenços en tecnologies de programari i maquinari. Actualment, la capacitat de generar imatges tridimensionals de gran realisme és aplicada tant en l'entreteniment, com en pel·lícules i videojocs, com en camps professionals, incloent-hi la simulació mèdica, la planificació urbana i la preservació del patrimoni cultural.

Les tècniques modernes com la renderització en temps real, gràcies a motors gràfics avançats i a l'ús de GPUs potents, permeten una visualització i interacció gairebé immediata amb models 3D complexos. A més, la realitat augmentada i la realitat virtual han obert noves vies per a l'experiència immersiva i interactiva dels usuaris amb entorns虚拟s.

En l'àmbit acadèmic i de recerca, els gràfics 3D estan jugant un paper clau en l'estudi i la reconstrucció d'objectes i escenaris històrics, permetent als investigadors i al públic general explorar èpoques passades de manera visual i educativa. Això no només enriqueix la comprensió del nostre patrimoni, sinó que també facilita una aproximació més accessible i detallada a estudis que abans depenien exclusivament de descripcions textuales o fotogràfiques.

### 2.2 Solucions existents

La visualització de models de patrimoni cultural anotats és un servei que ja s'ha creat en altres instàncies per tal de poder representar models diferents. Tot i això, tots tenen algunes limitacions que fan que sigui difícil el seu ús en altres països i cultures. Les més significatives són les següents:

- **TerriaJS:** TerriaJS és una plataforma de desenvolupament de codi obert que permet la creació de mapes web interactius i aplicacions geoespcionals personalitzades. Aquesta eina ofereix una gran flexibilitat i facilitat per gestionar dades geoespcionals i visualitzar-les en una interfície web.[5]
- **Cesium:** Cesium és una plataforma de codi obert que possibilita la creació d'aplicacions geoespcionals 3D interactives i la visualització d'informació geoespcial en un entorn tridimensional a través del web. Aquesta eina ofereix una potent capacitat per gestionar dades geoespcionals i crear experiències immersives basades en mapes i models 3D.[6]

	<b>TerriaJS</b>	<b>Cesium</b>
<b>Llenguatge de programació</b>	JavaScript [7]	JavaScript
<b>Llicència</b>	Llicència d'Open Source	Llicència d'Open Source
<b>Tipus d'aplicacions</b>	Mapes interactius i visualitzacions geoespacials	Visualització geoespatial 3D i cartografia
<b>Suport per a WebGL</b>	Sí	Sí
<b>Comunitat activa</b>	Sí	Sí
<b>Documentació</b>	Bona documentació en línia	Bona documentació en línia
<b>Plataformes suportades</b>	Navegadors web moderns	Navegadors web moderns
<b>Funcionalitats clau</b>	Creació de mapes, capes personalitzades, visualització de dades geoespacials	Visualització 3D, suport per a terreny 3D, geocodificació
<b>Integració amb altres llibreries</b>	Suport per a integració amb React, Angular, i altres [8][9]	Integració amb altres llibreries mitjançant CesiumJS-React [10]
<b>Càrrega de dades geoespacials</b>	Suport per a diverses fonts de dades, com GeoJSON i WMS [11][12]	Suport per a diverses fonts de dades, com KML i GeoJSON [13]
<b>Exemples d'ús</b>	Mapes interactius, visualitzacions geoespacials en llocs web	Visualització de terreny 3D, simulacions geoespacials

Taula 1: Comparació entre TerriaJS i Cesium. Font: Elaboració pròpia.

### 2.3 Justificació de l'elecció

Els dos marcs de treball, TerriaJS i Cesium, són opcions vàlides per a la visualització web en 3D de models de patrimoni cultural anotats, i la selecció depèn de diversos factors i requisits específics del projecte. A continuació, oferiré una justificació per triar una de les dues opcions basant-me en algunes consideracions clau:

#### Triar TerriaJS:

- **Simplicitat i facilitat d'ús:** TerriaJS és conegut per ser més senzill d'utilitzar en comparació amb Cesium. Si el projecte requereix una implementació ràpida i directa sense una gran corba d'aprenentatge, TerriaJS pot ser la millor opció. És adequat per a desenvolupadors que no tenen experiència prèvia en visualització 3D.

- **Enfocament en la visualització geoespacial:** Si el patrimoni cultural es vincula a dades geoespitals i necessites una integració fàcil amb mapes interactius, TerriaJS pot ser una opció més coherent. Aquesta llibreria està dissenyada específicament per a la visualització geoespacial i permet una integració relativament senzilla amb altres mapes i capes de dades.
- **Llibertat de llicència:** TerriaJS és de codi obert, el que significa que tens més llibertat per personalitzar-lo i adaptar-lo al teu projecte sense restriccions de llicència.

#### **Triar Cesium:**

- **Visualització 3D avançada:** Si el teu projecte requereix una visualització 3D més avançada, com arquitectura en 3D o recreació precisa de patrimoni cultural, Cesium és fortament recomanable. Té un suport més ampli per a efectes visuals avançats i suport per a terreny 3D realista.
- **Gestió de grans Volums de dades:** Si el teu patrimoni cultural implica una gran quantitat de dades i requereix un alt nivell de rendiment, Cesium està optimitzat per a la visualització de terreny i la gestió eficient de grans volums de dades geoespitals.
- **Comunitat i suport actius:** Cesium té una comunitat activa i una gran quantitat de recursos de suport disponibles. Si necessites ajuda o trobes problemes durant el desenvolupament, és més probable que trobis suport i recursos en línia per resoldre els teus problemes.

Finalment, la tria entre TerriaJS i Cesium dependrà de la complexitat del projecte, les necessitats específiques de visualització 3D, l'experiència dels desenvolupadors i altres factors. TerriaJS és una opció excel·lent per als projectes més senzills centrats en la visualització geoespacial, mentre que Cesium brilla en projectes que requereixen una visualització 3D més avançada i un alt rendiment.

Després d'avaluar les necessitats específiques del nostre projecte de visualització web en 3D de models de patrimoni cultural anotats, hem decidit que Cesium és la millor opció per a la nostra implementació. El nostre projecte implica una visualització 3D avançada amb una gran quantitat de dades geoespitals i una necessitat crítica de rendiment òptim. Cesium ofereix funcionalitats avançades per a la visualització 3D i la gestió eficient de dades, a més de comptar amb una comunitat activa que pot proporcionar suport i recursos addicionals. Això ens permetrà crear una experiència de visualització immersiva i precisa del nostre patrimoni cultural anotat, satisfent les expectatives dels usuaris i assegurant la qualitat del projecte.

### **3 Abast**

#### **3.1 Objectius i subobjectius**

L'objectiu principal d'aquest projecte és desenvolupar una eina de visualització web en 3D que combini la capacitat d'interpretació i representació precisa dels models de patrimoni cultural amb anotacions. Aquesta eina permetrà als usuaris explorar i comprendre el patrimoni cultural de manera interactiva i informativa.

Per aconseguir aquest objectiu, s'han establert els següents objectius i sub-objectius:

##### **1. Recopilació i preparació de dades:**

- (a) Recopilar i curar les dades de models 3D del patrimoni cultural, incloent-hi anotacions si estan disponibles.
- (b) Preparar i convertir les dades als formats necessaris per a la visualització web en 3D.

##### **2. Desenvolupament de la plataforma web:**

- (a) Crear una plataforma web interactiva i amigable per a la visualització 3D del patrimoni cultural anotat.
- (b) Implementar eines de navegació, zoom i rotació per permetre als usuaris explorar els models de manera efectiva.
- (c) Habilitar funcionalitats d'interacció amb les anotacions, com ara informació contextual o detalls històrics.
- (d) Optimitzar el rendiment per a una visualització fluida i àgil.

##### **3. Integració de tecnologies 3D:**

- (a) Utilitzar tecnologies i llibreries 3D com WebGL o Three.js per a la renderització i la visualització de models.
- (b) Assegurar la compatibilitat amb diversos navegadors web i dispositius.

##### **4. Seguretat i privadesa:**

- (a) Garantir la seguretat de les dades de patrimoni cultural i les anotacions emmagatzemades a la plataforma.
- (b) Proporcionar opcions de control d'accés per a la privadesa de les anotacions, si s'escau.

##### **5. Documentació i recursos:**

- (a) Crear documentació completa per a usuaris i desenvolupadors sobre com utilitzar i personalitzar l'eina.

- (b) Proporcionar recursos d'assistència i suport en línia per a resoldre problemes i proporcionar orientació.

**6. Proves i validació:**

- (a) Provar l'eina amb diversos models de patrimoni cultural anotats per assegurar-ne la funcionalitat i precisió.  
(b) Recollir i incorporar la retroalimentació dels usuaris per a la millora continua.

**7. Desplegament i distribució:**

- (a) Desplegar l'eina de visualització web en 3D en un entorn de producció accessible en línia.  
(b) Garantir que l'eina sigui fàcilment accessible i utilitzable pel públic objectiu.

**8. Formació i promoció:**

- (a) Proporcionar formació i suport als usuaris i als possibles interessats en la utilització de l'eina.  
(b) Promocionar l'eina com a recurs valuós per a la visualització del patrimoni cultural anotat.

En resum, aquests objectius i subobjectius establerts són essencials per a la creació i l'èxit d'una eina de visualització web en 3D de models de patrimoni cultural anotats. S'espera que aquest projecte permeti una exploració enriquidora i educativa del patrimoni cultural per a una àmplia audiència en línia.

### **3.2 Requisits no funcionals**

A més dels objectius fonamentals del projecte, existeixen una sèrie de requisits no funcionals que el producte ha de satisfer per assegurar el correcte rendiment de l'eina desenvolupada.

- **Usabilitat i facilitat d'utilització:** L'eina ha de ser fàcil d'utilitzar per a tots els usuaris.
- **Disponibilitat:** L'eina ha de ser sempre accessible, sense interrupcions del sistema.
- **Escalabilitat:** El sistema ha de ser capaç de gestionar un augment del nombre d'usuaris inicial.
- **Adaptabilitat:** El sistema ha de ser compatible amb els principals motors de cerca web.
- **Seguretat i privadesa:** Només les persones amb permisos han de poder accedir a les dades del sistema.

### 3.3 Obstacles i riscos

Tot projecte presenta diferents desafiaments que cal analitzar amb antelació per minimitzar-ne l'impacte. A continuació, es detallen algunes de les possibles dificultats i reptes que podrien sorgir en el desenvolupament d'una eina per a la visualització web en 3D de models de patrimoni cultural anotats:

- **Retard en l'entrega del software:** Risc de no complir amb els terminis establerts a causa de problemes tècnics, canvis d'abast o manca de recursos.
- **Incompatibilitat de plataformes:** Dificultats tècniques derivades de l'operativitat del software en diferents sistemes operatius o versions de hardware, limitant la seva funcionalitat.
- **Falta d'experiència en l'ús de noves tecnologies:** Desafiaments en el desenvolupament degut a la falta de coneixement tècnic o capacitació en tecnologies emergents o actualitzades.
- **Problemes de seguretat en el codi:** Vulnerabilitats en el software que poden ser explotades per atacs maliciós, comprometent la seguretat de la informació.
- **Pèrdua de dades:** Risc de pèrdua d'informació crítica a conseqüència d'errors de software, falles en el hardware o mala gestió de dades.
- **Bugs en el software:** Existència d'errors en el codi que poden afectar la funcionalitat, rendiment o estabilitat del software, impactant negativament en l'usuari final.
- **Limitacions de recursos computacionals:** Resticcions en la capacitat de processament, memòria o emmagatzematge que poden frenar el desenvolupament o deteriorar el rendiment del software.

Tenir en compte aquestes dificultats i abordar-les de manera proactiva és essencial per al desenvolupament amb èxit d'una eina per a la visualització web en 3D de models de patrimoni cultural anotats. Aquesta anticipació pot ajudar a minimitzar els obstacles i assegurar que el projecte es desenvolupi de manera eficient i efectiva.

## 4 Metodologia

El desenvolupament del projecte s'ha realitzat utilitzant la metodologia Agile, concretament Scrum, ja que es centra en el desenvolupament iteratiu i incremental del projecte. D'aquesta manera, el desenvolupador ha estat validant i verificant els requisits durant l'Sprint. L'Imanol Muñoz i el Carlos Andujar assumeixen el paper de Product Owners i el Max Vives és el desenvolupador del projecte.

Per a la planificació del projecte, s'ha establert un Sprint per setmana, amb reunions setmanals entre l'estudiant, el director i el codirector per a revisar l'estat del projecte.

Es va dur a terme una planificació inicial, però s'ha hagut d'adaptar degut a canvis en els requisits a mesura que el projecte avançava. Això ha implicat modificacions, addicions i supressions de tasques. A més, es van produir canvis temporals a causa de la càrrega lectiva de la facultat, el que va provocar un ajornament en el treball.

Les tasques es van determinar a mesura que el projecte progressava. En les primeres etapes, es va dedicar temps a investigar sobre GEP i a estudiar Cesium. En les etapes posteriors, es va iniciar la integració de Cesium amb React, generant diversos prototips que aprofitaven al màxim les capacitats de Cesium i proporcionaven una interfície d'usuari amigable.

### 4.1 Eines

Durant el procés de desenvolupament del projecte, s'han emprat tres tipus d'eines: eines de seguiment, eines de desenvolupament i eines de validació:

#### Eines de seguiment:

- **Google Meet:** Aquesta aplicació va esdevenir l'instrument clau per al seguiment del projecte. Va facilitar la realització de reunions per discutir qüestions i abordar problemes a mesura que apareixien. A més, abans de finalitzar cada trucada, programàvem esdeveniments a Google Calendar per organitzar les futures reunions.
- **Google Drive:** Aquesta eina es va emprar per guardar i distribuir els arxius importants del projecte, incloent-hi models 3D i textures. Aquest mètode permetia que tot l'equip tingués accés fàcilment a la informació necessària.
- **Gmail:** S'utilitzava el correu electrònic Gmail per a la comunicació puntual amb el director i el codirector del projecte. Aquesta plataforma va ser fonamental per abordar qüestions específiques i coordinar esforços.

- **Overleaf:** Aquesta eina en línia es va utilitzar per a la documentació del projecte en format LaTeX. Va permetre l'accés als documents del projecte al director i el codirector, garantint que estiguessin al corrent del contingut i els avenços. [14]
- **GanttProject:** Per a la planificació i el seguiment del cronograma del projecte, es va fer servir GanttProject. Aquesta aplicació va facilitar la creació i la gestió del diagrama de Gantt per a una visió clara de les tasques i els terminis associats.[15]

#### **Eines de desenvolupament:**

- **Cesium:** Cesium és una plataforma de visualització geoespatial en 3D que proporciona una excel·lent base per a la creació de visualitzacions web en 3D. S'aplicarà per a la representació i la interacció amb els models 3D relacionats amb el patrimoni cultural anotat. Cesium permet la visualització des de diversos angles, suporta la interacció i és adequat per a projectes de geolocalització.
- **Visual Studio Code:** Aquest editor de text proporcionarà un entorn de desenvolupament integrat (IDE) per a l'escriptura i la depuració del codi relacionat amb la visualització 3D, així com la integració amb Cesium.[16]
- **Consola de Linux:** S'utilitzarà la consola de Linux per a tasques de gestió del sistema i automatització relacionades amb la visualització web 3D.[17]
- **Git i GitHub:** Aquest sistema de control de versions es farà servir per al seguiment del codi font i per a la col·laboració entre els membres del projecte. El projecte es gestionarà mitjançant les branques "feature"(per al desenvolupament en curs) i "main"(per a la versió estable del projecte). El progrés es fusionarà de la branca "feature" a "main" segons sigui necessari.[18][19]

#### **Eines de validació:**

- **Reunions de seguiment amb Google Meet:** A més de ser eines de seguiment, les reunions de seguiment amb Google Meet serviran com a mitjà de validació. Durant aquestes reunions es revisarà el progrés de les tasques.
- **Atenea:** Aquesta plataforma s'utilitzarà per a l'entrega dels lliuraments de GEP.
- **El Racó:** Aquest recurs permetrà l'enviament de l'informe de seguiment i la memòria final.

Aquest conjunt d'eines de validació assegura un control efectiu i una garantia de qualitat en el desenvolupament de l'eina per a la visualització web en 3D de models de patrimoni cultural anotats.

## 4.2 Adquisició dels recursos

Aquest treball de final de carrera no s'inicia a partir de zero, sinó que es sustenta en recursos preexistents i materials ja disponibles al començament del projecte. Tot i que l'eina desenvolupada ha estat elaborada des de zero, la seva creació ha requerit l'ús de diverses biblioteques per a la programació web i per la representació de gràfics 3D; a més, ha estat imprescindible la utilització d'imatges, anotacions i models digitals proporcionats pel director i codirector del projecte, fonamentals per a la viabilitat del projecte. Alhora, per tal de redactar apartats d'aquest TFG s'ha consultat informació trobada en altres treballs de final de carrera similars com per exemple "Eina per a la generació d'imatges físicament acurada de models 3D de patrimoni cultural" de Miriam Méndez, "Exploració Interactiva de Models de Patrimoni Cultural" de Pau Núñez i "DISSENY I GESTIÓ D'UNA APP PER LA GESTIÓ D'ANIME" de l'Eloi Balaer.[20][21][22]

Finalment, aquest TFG utilitza àudios, descripcions, imatges i models 3D generats en el marc del projecte europeu Enhancement of Heritage Experiences in the Middle Ages (EHEM). El projecte EHEM ha estat coordinat per Milagros Guardia i ha inclòs la col·laboració en la documentació i històries de Milagros Guardia, Immaculada Lorés, Begoña Cayuela, Juan Antonio Olañeta, Carles Mancho i Roser Pinyol. El disseny i la programació de l'aplicació han estat a càrrec d'Evripidis Avraam, Imanol Muñoz-Pandiella i Carlos Andújar, amb Imanol Muñoz-Pandiella també coordinant el desenvolupament. Els models 3D han estat desenvolupats per Imanol Muñoz-Pandiella, Oscar Argudo, Immaculada Lorés, Joan Font, Genís Ávila, Carlos Andújar, Marc Comino, Jordi Moyés, Carles Bosch i Xavier Pueyo. Les fotografies per a la fotogrametria han estat realitzades per Gaetano Alfano, Imanol Muñoz-Pandiella, Beatriz Navarro, Marc Comino i Carlos Andújar. El concepte de la interfície d'usuari ha estat obra de Begoña Cayuela, Immaculada Lorés, Milagros Guardia, Imanol Muñoz-Pandiella i Carlos Andújar. El projecte també compta amb els agraïments al Museu Diocesà i Comarcal de Solsona, especialment a Carles Freixes i Lídia Fàbregas, al Museu Nacional d'Art de Catalunya, especialment a Gemma Ylla-Català, i amb el suport del Departament de Recerca i Universitats del Govern de Catalunya (2021 SGR 01035).[23]

## 5 Especificació

En aquest apartat, es descriuen les especificacions dels casos d'ús que constitueixen la base de les funcionalitats del nostre sistema. Aquests casos d'ús es presenten mitjançant diagrames que ofereixen una visió clara de les interaccions entre el sistema i els actors participants.

### 5.1 Diagrama de casos d'ús

#### Gestió d'usuaris:

A la Figura 2, es presenta el diagrama de casos d'ús enfocat a la gestió d'usuaris. Aquest diagrama actua com a recurs visual que ressalta les diferents funcions relacionades amb la gestió dels perfils d'usuari dins del sistema.

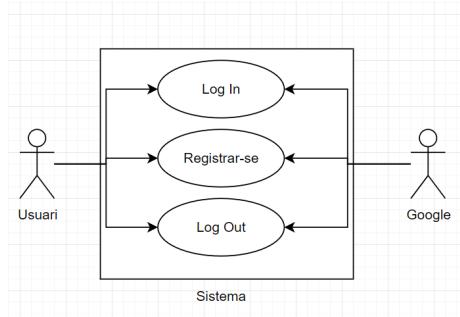


Figura 2: Diagrama de casos d'ús per la gestió d'usuari.Font: Elaboració pròpia

#### Navegació:

A la Figura 3, es mostra el diagrama de casos d'ús enfocat a la navegació. Aquest diagrama serveix com a recurs visual que destaca com els usuaris poden moure's i accedir a les diverses seccions de la plataforma.

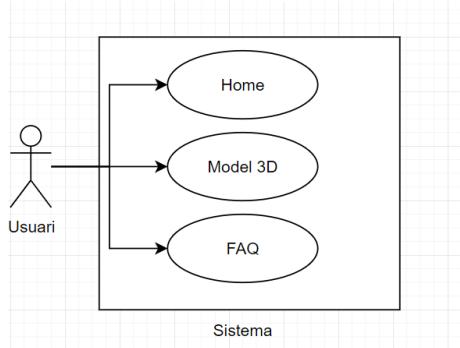


Figura 3: Diagrama de casos d'ús per la navegació.Font: Elaboració pròpia

**Home:** A la Figura 4, es presenta el diagrama de casos d'ús enfocat a les accions que pot realitzar l'usuari dins la secció "Home" de l'aplicació web.

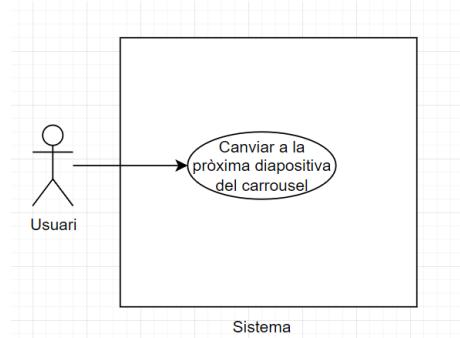


Figura 4: Diagrama de casos d'ús per la secció "Home". Font: Elaboració pròpia

**Model 3D:** A la Figura 5, es presenta el diagrama de casos d'ús enfocat a les accions que pot realitzar l'usuari dins la secció "Model 3D" de l'aplicació web.

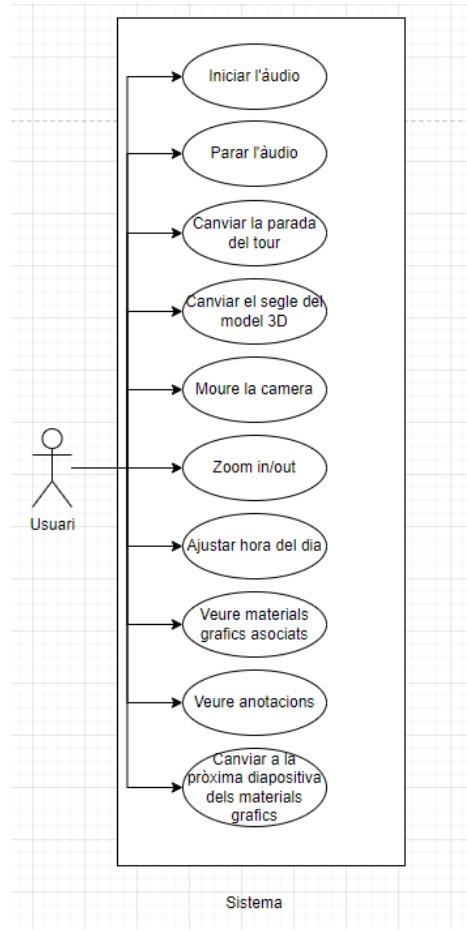


Figura 5: Diagrama de casos d'ús per la secció "Model 3D".Font: Elaboració pròpia

**FAQ:** A la Figura 6, es presenta el diagrama de casos d'ús enfocat a les accions que pot realitzar l'usuari dins la secció "FAQ" de l'aplicació web.

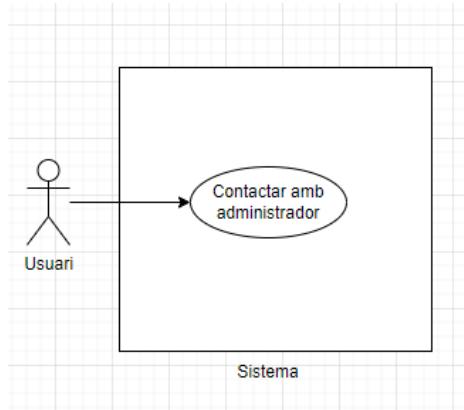


Figura 6: Diagrama de casos d'ús per la secció "FAQ". Font: Elaboració pròpria

## 5.2 Descripció de casos d'ús

Aquesta secció aprofundeix en la descripció detallada de cada cas d'ús identificat en els diagrames anteriors. Es desenvolupa cada cas d'ús considerant el seu actor principal, les precondicions, el desencadenant, l'escenari principal i les extensions.

### 5.2.1 Cas d'ús 1: Log in

- **Actor principal:** Usuari.
- **Precondició:** Cap.
- **Detonant:** L'usuari desitja accedir a l'aplicació amb el seu compte de Google.
- **Escenari principal:**
  1. L'usuari selecciona el seu compte de Google quan el sistema ho indica.
  2. El sistema es comunica amb Google per validar el compte.
  3. El sistema redirigeix l'usuari a la pantalla principal de l'aplicació.
- **Extensions:** Cap.

### 5.2.2 Cas d'ús 2: Registrar-se

- **Actor principal:** Usuari.
- **Precondició:** Cap.

- **Detonant:** L'usuari desitja registrar-se a l'aplicació amb el seu compte de Google.
- **Escenari principal:**
  1. L'usuari selecciona el seu compte de Google quan el sistema ho indica.
  2. El sistema es comunica amb Google per validar el compte.
  3. El sistema redirigeix l'usuari a la pantalla principal de l'aplicació.
- **Extensions:** Cap.

#### 5.2.3 Cas d'ús 3: Log Out

- **Actor principal:** Usuari.
- **Precondició:** L'usuari està logejat dins el sistema.
- **Detonant:** L'usuari desitja tancar la seva sessió del seu compte de Google a l'aplicació.
- **Escenari principal:**
  1. L'usuari selecciona el seu compte de Google.
  2. El sistema tanca la sessió del usuari.
  3. El sistema redirigeix l'usuari a la pantalla principal de l'aplicació.
- **Extensions:** Cap.

#### 5.2.4 Cas d'ús 4: Canviar a la pròxima diapositiva del carousel

- **Actor principal:** Usuari.
- **Precondició:** Cap.
- **Detonant:** L'usuari desitja canviar a la pròxima diapositiva del carousel.
- **Escenari principal:**
  1. L'usuari selecciona o bé la fletxa esquerra o la dreta per moure les diapositives del carousel.
  2. El carousel reacciona canviant la diapositiva.
- **Extensions:** Cap.

### 5.2.5 Cas d'ús 5: Iniciar l'àudio

- **Actor principal:** Usuari.
- **Precondició:** L'usuari està a la secció de "Model 3D" de l'aplicació web.
- **Detonant:** L'usuari desitja escoltar l'àudio associat a la parada del tour.
- **Escenari principal:**
  1. L'usuari fa clic al botó de "Start Audio"
  2. L'àudio comença a reproduir-se.
- **Extensions:** Cap.

### 5.2.6 Cas d'ús 6: Parar l'àudio

- **Actor principal:** Usuari.
- **Precondició:** L'usuari està a la secció de "Model 3D" de l'aplicació web.
- **Detonant:** L'usuari desitja parar l'àudio associat a la parada del tour.
- **Escenari principal:**
  1. L'usuari fa clic al botó de "Stop Audio"
  2. L'àudio para de reproduir-se.
- **Extensions:** Cap.

### 5.2.7 Cas d'ús 7: Canviar la parada del tour

- **Actor principal:** Usuari.
- **Precondició:** L'usuari està a la secció de "Model 3D" de l'aplicació web.
- **Detonant:** L'usuari desitja canviar la parada del tour.
- **Escenari principal:**
  1. L'usuari fa clic al punt de la "timeline" on vol estar.
  2. El sistema modifica el visualitzador per tal d'estar en el punt del tour que l'usuari desitja.
- **Extensions:** Cap.

### 5.2.8 Cas d'ús 8: Canviar el segle del model 3D

- **Actor principal:** Usuari.
- **Precondició:** L'usuari està a la secció de "Model 3D" de l'aplicació web.
- **Detonant:** L'usuari desitja canviar el segle del model 3D.
- **Escenari principal:**
  1. L'usuari fa clic al botó que permet canviar el segle del model 3D.
  2. El sistema modifica el visualitzador per tal que aparegui el model 3D del segle corresponent.
- **Extensions:** Cap.

### 5.2.9 Cas d'ús 9: Moure la càmera

- **Actor principal:** Usuari.
- **Precondició:** L'usuari està a la secció de "Model 3D" de l'aplicació web.
- **Detonant:** L'usuari desitja moure la càmera per navegar l'entorn amb els models 3D.
- **Escenari principal:**
  1. L'usuari fa clic al visualizer i alhora mou el ratolí per tal de moure la càmera.
  2. El visualitzador reacciona movent la càmera dins de l'entorn virtual.
- **Extensions:** Cap.

### 5.2.10 Cas d'ús 10: Zoom in/out

- **Actor principal:** Usuari.
- **Precondició:** L'usuari està a la secció de "Model 3D" de l'aplicació web.
- **Detonant:** L'usuari desitja fer zoom cap a dins o cap a fora dins de l'entorn amb els models 3D
- **Escenari principal:**
  1. L'usuari utilitza la roda del ratolí per tal de fer zoom cap a dins o cap a fora.
  2. El visualitzador reacciona augmentant o disminuint el zoom de la càmera dins de l'entorn virtual.
- **Extensions:** Cap.

### **5.2.11 Cas d'ús 11: Ajustar hora del dia**

- **Actor principal:** Usuari.
- **Precondició:** L'usuari està a la secció de "Model 3D" de l'aplicació web.
- **Detonant:** L'usuari desitja modificar l'hora del dia per tal de veure els models 3D amb una altra il·luminació.
- **Escenari principal:**
  1. L'usuari utilitza el scroll lateral que proporciona Cesium per tal de modificar l'hora del dia.
  2. El visualitzador reacciona modificant la il·luminació segons l'hora del dia seleccionada.
- **Extensions:** Cap.

### **5.2.12 Cas d'ús 12: Veure materials gràfics associats**

- **Actor principal:** Usuari.
- **Precondició:** L'usuari està a la secció de "Model 3D" de l'aplicació web.
- **Detonant:** L'usuari desitja veure materials gràfics associats a la parada del tour en la que es troba.
- **Escenari principal:**
  1. L'usuari fa clic al botó de "Graphic Materials"
  2. El sistema reacciona amb un pop-up que conté un carousel de materials gràfics associats a la parada del tour.
- **Extensions:** Cap.

### **5.2.13 Cas d'ús 13: Veure anotacions**

- **Actor principal:** Usuari.
- **Precondició:** L'usuari està a la secció de "Model 3D" de l'aplicació web dins del pop-up de "Graphic Materials".
- **Detonant:** L'usuari desitja veure anotacions dins dels materials gràfics associats a la parada del tour.
- **Escenari principal:**
  1. L'usuari pasa el ratolí per sobre dels quadrats que apareixen a sobre dels materials gràfics.
  2. El sistema reacciona amb una bombolla de text on apareix l'anotació corresponent.
- **Extensions:** Cap.

#### **5.2.14 Cas d'ús 14: Canviar a la pròxima diapositiva dels materials gràfics**

- **Actor principal:** Usuari.
- **Precondició:** L'usuari està a la secció de "Model 3D" de l'aplicació web dins del pop-up de "Graphic Materials".
- **Detonant:** L'usuari desitja canviar a la pròxima diapositiva del carousel.
- **Escenari principal:**
  1. L'usuari selecciona o bé la fletxa esquerre o la dreta per moure les diapositives del carousel.
  2. El carousel reacciona canviant la diapositiva.
- **Extensions:** Cap.

#### **5.2.15 Cas d'ús 15: Contactar amb l'administrador**

- **Actor principal:** Usuari.
- **Precondició:** L'usuari està a la secció de "FAQ" de l'aplicació web.
- **Detonant:** L'usuari desitja contactar amb l'administrador.
- **Escenari principal:**
  1. L'usuari escriu un missatge a la bombolla de text i fa clic al botó d'enviar.
  2. El sistema reacciona enviant un correu electrònic a l'administrador amb el missatge.
- **Extensions:** Cap.

## 6 Disseny i implementació del visualitzador

Aquesta secció està destinada a descriure el component fonamental d'aquest projecte de final de carrera: una aplicació web dedicada a la visualització de models de patrimoni cultural en 3D amb anotacions. A més, es proporcionarà una explicació exhaustiva del seu desenvolupament, des de la fase inicial de disseny fins a la seva completa implementació.[24]

Per començar aquesta secció, presentarem un esquema conceptual que abasta l'estructura completa de la plataforma, incloent-hi les tecnologies emprades en la seva construcció, els components principals, i com aquests components estan interconnectats. Tot això es representarà visualment a continuació en la figura 7.

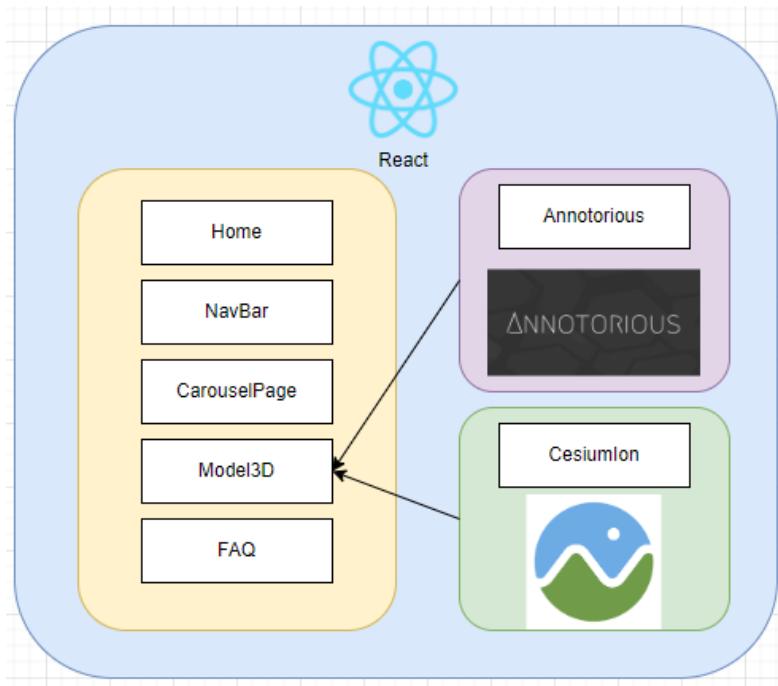


Figura 7: Esquema conceptual del visualitzador. Font: Elaboració pròpria

En aquesta figura, es pot veure que el projecte utilitza la biblioteca de JavaScript React. A l'esquerra, dins una caixa de color groc, s'ubiquen els components desenvolupats per al funcionament del visualitzador. A la dreta, dins una caixa verda, es presenta la plataforma CesiumIon, que ofereix serveis per a la visualització de dades 3D geoespaciales. Finalment, dins una caixa lila, trobem Annotorious, una biblioteca de JavaScript dissenyada per a l'addició d'anotacions en imatges dins d'aplicacions web.[25][26]

També resulta útil examinar l'estructura de l'aplicació web, és a dir, l'estruc-

tura de fitxers del directori del projecte. Aquesta informació es visualitzarà a continuació en la figura 8.

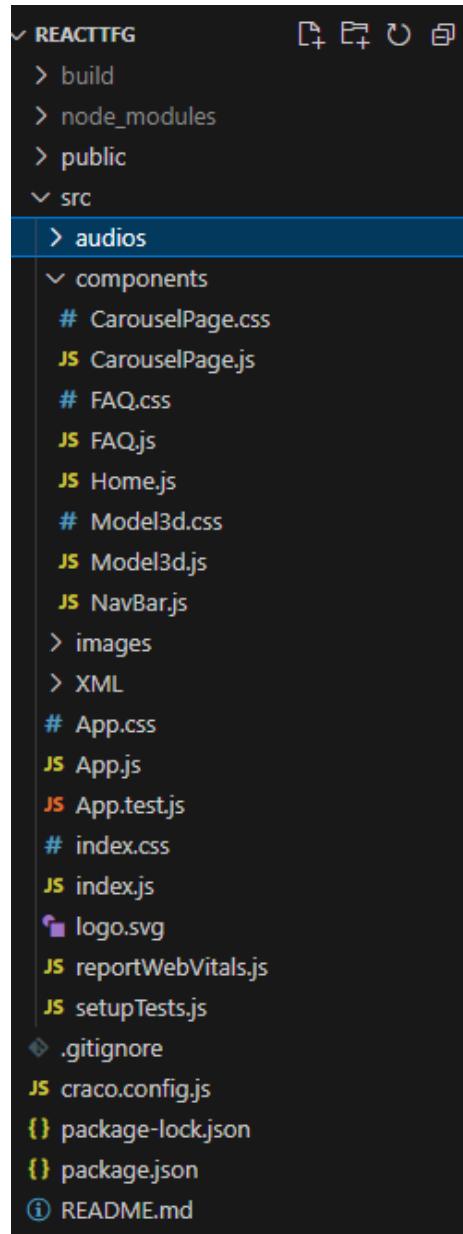


Figura 8: Estructura del directori del projecte.Font: Elaboració pròpia

Segons es pot observar a la Figura 8, cada component de la web disposa d'un arxiu .js (JavaScript) associat, juntament amb el seu corresponent fitxer .css (Cascading Style Sheets).

## 6.1 React

React és una biblioteca de JavaScript popular i potent utilitzada per construir interfícies d'usuari (UI) d'aplicacions web. La seva popularitat rau en la seva capacitat per crear components reutilitzables, els quals poden ser compostos per construir aplicacions complexes. A través del concepte de componentització , React permet dividir l' interfície d'usuari en petits components independents, cada un controlant la seva pròpia lògica i estil. Això facilita el desenvolupament i el manteniment del codi, ja que els components poden ser modificats, reutilitzats i combinats de manera modular.

Una altra característica clau de React és la seva eficiència i rendiment. Utilitzant una tècnica anomenada "Virtual DOM", React actualitza la interfície d'usuari de manera eficient, només redibuixant els elements necessaris en resposta als canvis de dades. Això es tradueix en una millora de la velocitat i la capacitat de resposta de les aplicacions web desenvolupades amb React. A més, React és compatible amb altres tecnologies i llibreries, permetent la seva integració fàcil amb altres eines i frameworks de desenvolupament web.

## 6.2 Cesium

Cesium és una plataforma open-source dedicada a la visualització de dades geoespacials en navegadors web. Aprofita tecnologies com WebGL i HTML5 per proporcionar una experiència de visualització en 3D immersiva. Amb funcionalitats avançades com la representació tridimensional del terreny, la visualització de models 3D i la integració de dades geoespacials en temps real, Cesium és utilitzat en una àmplia gamma d'aplicacions, incloent-hi la planificació urbana, la navegació i la simulació de missions.

### 6.2.1 CesiumJS

CesiumJS és una llibreria JavaScript desenvolupada per Cesium per al desenvolupament de mapes interactius en 3D. Amb CesiumJS, els desenvolupadors poden crear aplicacions web que ofereixen una experiència de visualització immersiva i rica en funcionalitats. La llibreria proporciona funcions per manipular i visualitzar dades geoespacials en temps real, així com per integrar elements com models 3D i capes de terreny.

### 6.2.2 CesiumIon

CesiumIon és un servei en línia proporcionat per Cesium per a l'emmagatzematge i la gestió de dades geoespacials. Amb CesiumIon, els desenvolupadors poden carregar, processar i compartir grans conjunts de dades geoespacials de

manera eficient. Aquest servei ofereix funcionalitats com la conversió de dades a formats compatibles amb CesiumJS, la visualització de dades en temps real i la col·laboració en equips de desenvolupament, proporcionant una solució integral per a la gestió i la visualització de dades geoespitals en aplicacions web.

### 6.3 Components

En aquesta secció, explorarem els components que formen part de l'aplicació web, amb excepció del visualitzador, el qual rebrà la seva pròpia atenció en una secció separada. Abans de començar a explicar cada component ens centrarem específicament en el funcionament de l'enrutament entre aquests components, que s'ha implementat mitjançant el component Router de React.

```
<Router>
  <div className="nav-container">
    <div className="barra-navegacion">
      <BarraNavegacion fixed="top" />
    </div>
    <div className="signIn-container">
      <div id="signInDiv"></div>
    </div>
  </div>
  <Routes>
    <Route path="/" element={<CarouselPage />} />
    <Route path="/home" element={<Home />} />
    <Route path="/faq" element={<FAQ />} />
    <Route path="/model3d" element={<Model3d />} />
  </Routes>
</Router>
```

Figura 9: Component Router de l'aplicació web. Font: Elaboració pròpia

En aquest fragment de codi, s'implementa el Router de React per gestionar l'enrutament entre les diferents vistes de l'aplicació web. El Router de React és una eina fonamental per a la creació d'aplicacions web reactives i dinàmiques, ja que permet la gestió de les URL i la renderització dels components corresponents en funció de la ruta actual de l'aplicació.

En primer lloc, s'inicia el Router de React amb l'etiqueta <Router>. Aquesta etiqueta crea un context de navegació per a tota l'aplicació, permetent la gestió de l'enrutament dins de l'aplicació.

Dins del <Router>, es defineix l'estructura bàsica de l'aplicació web, que inclou una barra de navegació i un espai per al contingut principal. Aquesta estructura és comuna en moltes aplicacions web i proporciona una manera ordenada de presentar la informació als usuaris.

Dins de l'etiqueta <Routes>, es defineixen les diferents rutes de l'aplicació utilitzant l'etiqueta <Route>. Cada <Route> especifica una URL i l'element que s'ha de renderitzar quan aquesta URL coincideix amb la ruta actual de l'aplicació. Això permet la definició de les rutes de l'aplicació i l'associació dels components corresponents a cadascuna d'aquestes rutes.

En conjunt, aquest fragment de codi permet una navegació dinàmica entre les diferents vistes de l'aplicació web. Quan l'usuari canvia la URL o fa clic en enllaços de navegació, el Router de React redirigeix l'aplicació a la ruta corresponent i renderitza el component associat, proporcionant una experiència de navegació fluida i intuïtiva per als usuaris de l'aplicació.

### 6.3.1 NavBar

Aquest component és una barra de navegació creada amb React Bootstrap. Utilitza els components Navbar, Container i Nav proporcionats per React Bootstrap per crear una barra de navegació estilitzada.[27]



Figura 10: Component NavBar.Font: Elaboració pròpia

```
import Container from 'react-bootstrap/Container';
import Nav from 'react-bootstrap/Nav';
import Navbar from 'react-bootstrap/Navbar';

function BarraNavegacion() {
  return (
    <>
      <Navbar bg="dark" data-bs-theme="dark">
        <Container>
          <Navbar.Brand href="#home">Menu</Navbar.Brand>
          <Nav className="me-auto">
            <Nav.Link href="#home">Home</Nav.Link>
            <Nav.Link href="#model3d">Model 3D</Nav.Link>
            <Nav.Link href="#FAQ">FAQ</Nav.Link>
          </Nav>
        </Container>
      </Navbar>
    </>
  );
}

export default BarraNavegacion;
```

Figura 11: Codi del component NavBar.Font: Elaboració pròpia

Dins del cos de la funció BarraNavegacion, es retorna l'estruccura de la barra de navegació utilitzant JSX. La barra de navegació consta d'una Navbar amb un fons fosc (bg="dark") i un Container que conté els elements de la barra de navegació.

Dins del Container, hi ha un Navbar.Brand que conté el text 'Menu' i utilitza ref="#home" com a enllaç. Aquest enllaç no està destinat a una pàgina concreta sinó que apunta a la mateixa pàgina (anomenat enllaç intern) per tal de retornar a la pàgina "Home" al clicar el text "Menu". A continuació, hi ha una secció de Nav amb tres enllaços (NavLink) que apunten a diferents seccions de la pàgina: "Home", "Model 3D" i "FAQ".

En resum, aquest component defineix la barra de navegació de l'aplicació, que permet als usuaris navegar fàcilment entre les diferents seccions o pàgines

de l'aplicació. Això millora l'experiència de l'usuari facilitant la navegació i l'accés a la informació rellevant del projecte.

### 6.3.2 CarouselPage

Aquest component CarouselPage utilitza la biblioteca react-bootstrap per crear un carrusel d'imatges reactiu. La funció del component és mostrar una sèrie d'imatges en un carrusel que es desplaça automàticament o que pot ser controlat manualment per l'usuari.



Figura 12: Component CarouselPage en la pàgina Home. Font: Elaboració pròpia

```

<Carousel fade className="mi-carousel">
  <Carousel.Item>
    <img
      className="d-block w-100"
      src={img1}
      alt="First slide"
    />
    <Carousel.Caption>

      </Carousel.Caption>
  </Carousel.Item>
  <Carousel.Item>
    <img
      className="d-block w-100"
      src={img2}
      alt="Second slide"
    />

    <Carousel.Caption>

      </Carousel.Caption>
  </Carousel.Item>
  <Carousel.Item>
    <img
      className="d-block w-100"
      src={img3}
      alt="Third slide"
    />

    <Carousel.Caption>
      </Carousel.Caption>
  </Carousel.Item>
</Carousel>

```

Figura 13: Codi del component CarouselPage.Font: Elaboració pròpia

En aquest cas, el carrusel consisteix en tres elements (Carousel.Item), cada un amb una imatge diferent (<img>) i una llegenda opcional (<Carousel.Caption>). Les imatges són importades des de fitxers locals utilitzant la importació de mòduls de React (import) i s'utilitza el component img per mostrar-les.

El component CarouselPage està estilitzat amb CSS local mitjançant l'arxiu CarouselPage.css, que s'importa al principi del fitxer.

En resum, la funció d'aquest component és proporcionar una interfície visual atractiva per a la presentació d'imatges en un format de carrusel interactiu. Aquest component s'utilitza per fer la pàgina principal atractiva.

### 6.3.3 FAQ

Aquest component serveix com una pàgina FAQ (Frequently Asked Questions) centrada en l'església de Sant Quirze de Pedret.

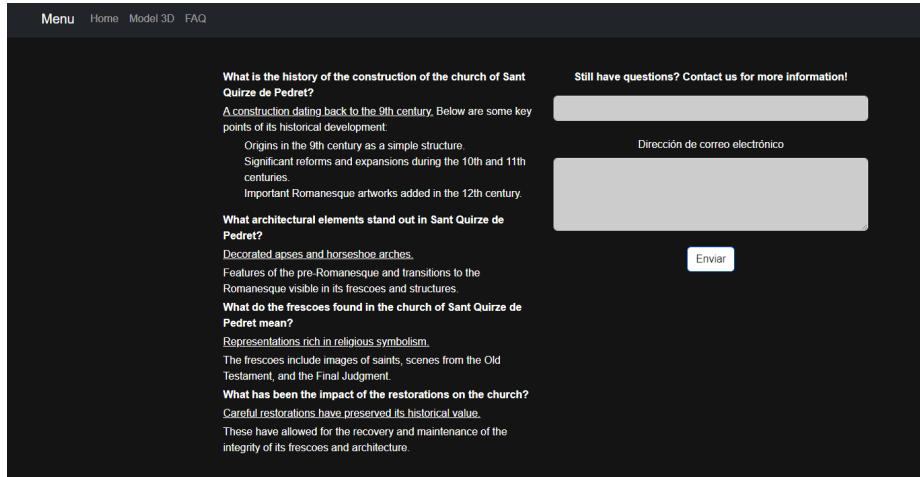


Figura 14: Component FAQ .Font: Elaboració pròpia

El component comença amb una secció que enumera diverses preguntes freqüents relacionades amb l'església de Sant Quirze de Pedret. Cada pregunta està ressaltada amb un títol en negreta, seguit d'una resposta detallada. Aquestes respostes donen informació rellevant sobre diversos aspectes de l'església, com la seva història de construcció, els seus elements arquitectònics destacats i el significat dels frescos trobats dins de l'edifici. El component té un estil visual coherent amb el tema del lloc web. Els camps del formulari i la secció de preguntes freqüents tenen un estil personalitzat que utilitza un fons gris i text blanc per a una millor llegibilitat.

A la dreta de la secció de preguntes freqüents es troba un formulari de contacte. Aquest formulari permet als usuaris enviar consultes o comentaris addicionals a l'administrador del lloc web. El formulari sol·licita l'adreça de correu electrònic de l'usuari i un missatge de consulta. Quan l'usuari envia el formulari, les dades s'envien a través de la plataforma EmailJS a una adreça de correu electrònic específica.

```

function handleSubmit(event) {
  event.preventDefault(); // Evita l'enviament per defecte del formulari

  // Envia les dades del formulari a través de EmailJS
  emailjs.sendForm('service_daaxeus', 'template_npfrmsa', event.target, 'pxvq40Xs5urIbaFrF')
    .then((result) => {
      console.log(result.text);
    }, (error) => {
      console.log(error.text);
    });
}

```

Figura 15: Codi enviament de correu al administrador.Font: Elaboració pròpia

Quan un usuari envia el formulari, s'evita l'enviament per defecte del formulari mitjançant la funció handleSubmit. Les dades del formulari s'envien mitjançant EmailJS, permetent als usuaris obtenir suport addicional si tenen més preguntes o dubtes sobre l'església de Sant Quirze de Pedret.

## 6.4 Visualitzador (Component "Model 3D")

### 6.4.1 Introducció al component

El component Model3d representa una fusió innovadora de tecnologia i patrimoni cultural, oferint una plataforma interactiva que permet als usuaris explorar virtualment una estructura medieval a través de diferents períodes històrics. Desenvolupat utilitzant React, una biblioteca de JavaScript per a construir interfícies d'usuari, aquest component s'aprofita de la potència de Cesium, una biblioteca de gràfics 3D que permet visualitzacions detallades i dinàmiques del terreny i objectes 3D. A més, incorpora components de Bootstrap per a una interfície d'usuari estèticament agradable i funcional, juntament amb la biblioteca Annotorious per a afegir anotacions interactivament sobre imatges específiques.

Aquest component és especialment útil en àmbits com l'educació i la investigació en història, arquitectura i arqueologia, ja que proporciona una eina per a visualitzar canvis arquitectònics en el temps sense la necessitat de desplaçar-se físicament al lloc. Els usuaris poden veure detalls de diferents construccions i reformes que s'han dut a terme a través dels segles en un sol clic, així com escoltar àudios que ofereixen informació contextual sobre les diferents èpoques.

Resumint, el component Model3d és una potent eina educativa i de divulgació que porta el passat al present, permetent als usuaris d'arreu del món experimentar i aprendre sobre patrimoni cultural de manera interactiva i immersiva. La seva aplicació pot estendre's més enllà de la simple visualització a ser una part integral de l'experiència en museus, centres educatius i plataformes en línia dedicades a l'educació i la conservació del patrimoni.

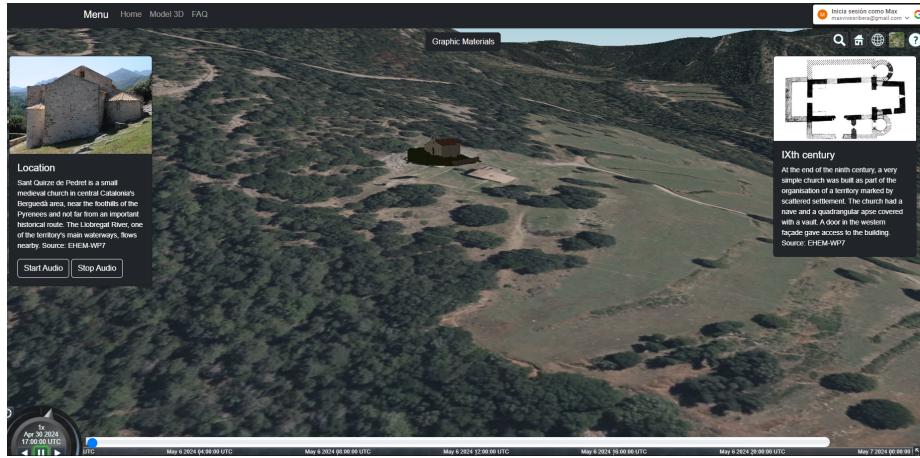


Figura 16: Captura del visualizer. Font: Elaboració pròpria

#### 6.4.2 Estructura del codi

El component Model3d està estructurat meticulosament per integrar diverses tecnologies i recursos, fent d'aquest una solució robusta per a la visualització interactiva. Aquí es detalla la configuració inicial, les dependències i els elements claus del codi que conformen aquest component.

##### Imports i dependències

El component fa ús de múltiples imports que habiliten les seves funcionalitats:

- **React i Hooks:** S'utilitza React per gestionar la interfície d'usuari, juntament amb useState i useRef per al maneig d'estats i referències, respectivament. Aquests hooks són essencials per gestionar canvis dinàmics en la UI i referenciar elements del DOM sense re-renderitzar tot el component.
- **Cesium:** Es fa ús extensiu de la biblioteca Cesium per a la creació i manipulació de visualitzacions 3D. Aquesta integració permet modelar terrenys, edificis i altres objectes en un entorn tridimensional interactiu.
- **Bootstrap:** Els components de Bootstrap com Card, Modal, Button, i Carousel són utilitzats per construir una interfície d'usuari estètica i responsive. Aquests elements faciliten la presentació de la informació de manera neta i accessible.
- **Annotorius:** Aquesta biblioteca s'utilitza per afegir funcionalitats d'anotació a les imatges, permetent als usuaris obtenir més informació sobre segments específics de les visualitzacions.
- **Recursos locals:** El component carrega una sèrie d'arxius locals, incloent-hi arxius CSS per l'estil, imatges històriques i arxius d'àudio. Aquests

recursos són importats al principi del fitxer per ser utilitzats dins del component.

#### Configuració inicial i constants

Dins del codi, hi ha diverses configuracions inicials que estableixen les bases per a les funcionalitats del component:

- **Access Token de Cesium:** Es defineix un defaultAccessToken per a Cesium, que autentica i habilita l'ús de les funcionalitats premium de la biblioteca.
- **Referències a Cesium:** Utilitzant useRef, es creen referències persistents als objectes de Cesium com el visor 3D i els conjunts de dades (tilesets), assegurant que aquests no es re-inicialitzin innecessàriament.
- **Dades de configuració:** Les coordenades geogràfiques, les configuracions de la càmera, i les propietats de la lluminació són especificades com constants o estats, facilitant la gestió i modificació de la visualització 3D.

En resum, l'estructura del codi en el component Model3d està ben organitzada per facilitar el manteniment i l'escalabilitat. Cada part del codi serveix un propòsit específic i està clarament delimitada per facilitar la comprensió i el desenvolupament futur. Aquesta organització no només optimitza el rendiment sinó que també millora l'experiència de desenvolupament i usuari final, creant una aplicació interactiva que és tant potent com fàcil d'usar.

#### 6.4.3 Gestió d'estats i referències

Dins del component Model3d, la gestió d'estats i referències és crucial per mantenir una interfície d'usuari reactiva i eficient, així com per gestionar la interacció amb models 3D complexos sense haver de recarregar tot el component constantment. A continuació, es detalla com s'utilitzen els hooks de React i les referències dins del codi.

##### Ús dels Hooks useState i useRef

**useState:** Aquest hook de React permet al component Model3d gestionar l'estat local de manera eficient. Cada crida a useState retorna una parella de valors: l'actual estat i una funció que l'actualitza. Aquest mètode és utilitzat per controlar dades com ara el títol actual de la targeta, la imatge mostrada, o l'estat de la visualització dels models 3D i els àudios. Per exemple:

- const [open, setOpen] = useState(false); — aquesta línia inicialitza l'estat de open com a false, i setOpen és la funció utilitzada per actualitzar aquest estat.

**useRef:** Aquest hook és utilitzat per crear referències persistents a elements del DOM o a objectes que no es volen reinicialitzar amb cada render. Això és particularment útil per a objectes com el visor de Cesium, que és costós de

inicialitzar i no hauria de resetear-se innecessàriament. Les referències també són essencials per manejar les interaccions amb elements d'àudio i models 3D carregats dinàmicament. Per exemple:

- const cesiumContainer = useRef(null); — aquesta referència apunta al contenidor DOM on el visor de Cesium serà muntat.
- const tilesets = useRef([]); — aquesta referència guarda un array de tilesets que poden ser mostrats o ocultats basat en la interacció de l'usuari.

La conclusió és que la combinació dels hooks useState i useRef permet que Model3d gestioni de manera eficaç tant l'estat mutable com les referències immutables, assegurant que el component es comporti de manera previsible i eficient. Aquesta gestió d'estats i referències és essencial per a l'escalabilitat del component, permetent que aquest manege una gran quantitat de dades i interaccions sense degradar el rendiment ni l'experiència de l'usuari.

#### 6.4.4 Configuració de Cesium

El component Model3d fa un ús intensiu de la biblioteca Cesium per a la creació i manipulació de visualitzacions 3D. Aquesta secció explora la configuració inicial, la càrrega de tilesets, i la gestió de la il·luminació i altres propietats visuals que permeten al component oferir una experiència interactiva rica i immersiva.

##### Inicialització del visor 3D de Cesium

La configuració del visor 3D de Cesium comença amb la creació d'una instància del Viewer, que es col·loca dins d'un contenidor específic al DOM, referenciat per cesiumContainer. Aquest contenidor es defineix a través de l'ús del hook useRef, assegurant que el visor no es reinicialitzi innecessàriament durant els rerenders del component:

```
// Asegurarse de que el contenedor DOM está listo
if (cesiumContainer.current && !viewerRef.current) {
    // Configura el token de acceso de Cesium Ion
    viewerRef.current = new Cesium.Viewer(cesiumContainer.current, {
        terrain: Cesium.Terrain.fromWorldTerrain(),
        infoBox: false
    });
}
```

Figura 17: Codi per inicialitzar el visor 3D. Font: Elaboració pròpria

Aquesta inicialització també inclou la configuració de terreny per defecte i la desactivació de certes opcions de la UI que no són necessàries per a l'ús específic del visor en aquest component.

##### Càrrega i gestió de Tilesets 3D

Els tilesets 3D són conjunts de dades que representen objectes o entorns en 3D. El component gestiona dinàmicament aquests tilesets per mostrar diferents aspectes de l'estructura medieval a mesura que l'usuari navega a través de diferents períodes històrics. La càrrega dels tilesets es realitza mitjançant identificadors únics obtinguts de Cesium Ion:

```

for (let i = 0; i < assets.length; i++) {
    const tileset = await Cesium.Cesium3DTileset.fromIonAssetId(assets[i]);
    tileset.style = new Cesium.Cesium3DTileStyle({
        emissive: "true", // Hace que el tileset emita luz propia
        emissiveBrightness: 2.0 // Ajustar el brillo de la emisión
    });

    viewerRef.current.scene.primitives.add(tileset);
    tileset.show = i === 0; // Solo muestra el primer tileset inicialmente
    tilesets.current.push(tileset); // Almacena la referencia del tileset en el array global
}

```

Figura 18: Codi per carregar els tilesets 3D dels models. Font: Elaboració pròpia

Aquests tilesets es poden mostrar o ocultar segons el context o la selecció de l'usuari, permetent canvis visuals ràpids i efectius sense necessitat de recarregar dades constantment.

#### Configuració de la il·luminació i altres propietats visuals

La il·luminació i altres propietats visuals són essencials per a la correcta visualització dels models en Cesium. La configuració de la il·luminació pot incloure ajustos específics de la posició del sol, la intensitat de la llum, i altres factors que afecten com els objectes són visualitzats:

```

viewerRef.current.scene.globe.enableLighting = true;
viewerRef.current.scene.globe.lightingBrightness = 10.0; // Ajustar el brillo de la iluminación
viewerRef.current.scene.postProcessStage.enabled = true;
viewerRef.current.scene.postProcessStage.brightness = 20.0; // Ajustar la exposición

```

Figura 19: Codi per configurar la il·luminació. Font: Elaboració pròpia

Aquestes propietats ajuden a millorar la percepció de profunditat i detall dels models 3D, fent que les visualitzacions siguin més realistes i informatives.

Resumint, la configuració de Cesium dins del component Model3d és un element clau que permet crear una experiència d'usuari rica i detallada. La correcta gestió del visor, els tilesets, i la configuració visual no només enriqueixen la visualització sinó que també optimitzen el rendiment, assegurant que les interaccions dels usuaris siguin fluides i immersives. Aquesta capacitat per manipular complexos models 3D de manera eficient és el que distingeix aquest component com una eina potent per a l'educació i la divulgació del patrimoni cultural.

#### 6.4.5 Interfície i components de Bootstrap

Per a millorar la interactivitat i la presentació visual del component Model3d, s'utilitza extensivament la biblioteca Bootstrap. Aquesta secció explora com els components de Bootstrap són integrats dins del component per crear una interfície d'usuari neta, moderna i responsiva.

##### Ús de components de Bootstrap

El component Model3d fa servir diversos controls i elements de Bootstrap que ajuden a millorar l'accessibilitat i l'estètica de la interfície d'usuari. Alguns dels components més destacats inclouen:

- **Cards (Targetes):** S'utilitzen per mostrar informació agrupada i organitzada visualment de manera atractiva. Cada targeta pot contenir imatges, textos, i botons que faciliten la interacció amb l'usuari.

```
<Card style={{ width: '18rem', backgroundColor: '#212529', color: 'white' }}>  
  <Card.Img variant="top" src={cardImage} />  
  <Card.Body>  
    <Card.Title>{cardTitle}</Card.Title>  
    <Card.Text>{cardText}</Card.Text>  
    <Button variant="outline-light" onClick={handleAudioPlay}>Start Audio</Button>{' '}  
    <Button variant="outline-light" onClick={handleAudioPause}>Stop Audio</Button>{' '}  
  </Card.Body>  
</Card>
```

Figura 20: Codi d'una targeta i la seva configuració. Font: Elaboració pròpia

- **Modal:** Utilitzat per presentar informació en una finestra flotant que es pot ocultar o mostrar segons l'acció de l'usuari. És ideal per a mostrar detalls addicionals sense sortir de la vista actual.

```
<Modal show={showModal} onHide={handleClose} onEntered={handleOnEntered} className="custom-modal-size" centered>  
  <Modal.Header closeButton>  
    <Modal.Title>Graphic Materials</Modal.Title>  
  </Modal.Header>  
  <Modal.Body>...</Modal.Body>  
</Modal>
```

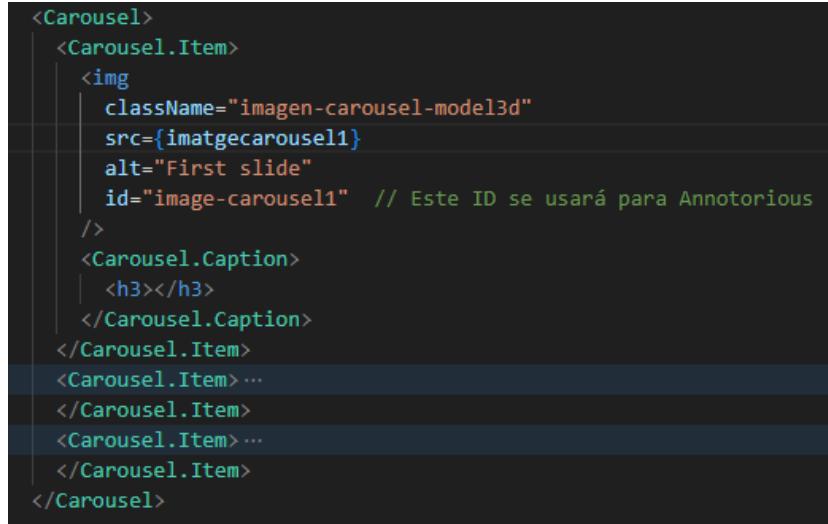
Figura 21: Codi d'un modal i la seva configuració. Font: Elaboració pròpia

- **Buttons (Botons):** Són utilitzats per a realitzar accions específiques com iniciar o aturar àudio, canviar visualitzacions, o obrir modals. Els botons són estilísticament coherents gràcies a Bootstrap.

```
<Button variant="dark" onClick={showCarousel}>Graphic Materials</Button>{' '}
```

Figura 22: Codi d'un botó i la seva configuració. Font: Elaboració pròpia

- **Carousel (Carousel):** Aquest component permet als usuaris navegar entre múltiples imatges o continguts en un format lliscant, el que és útil per a visualitzar diferents fases o característiques d'un objecte o lloc.



```
<Carousel>
  <Carousel.Item>
    <img
      className="imagen-carousel-model3d"
      src={imatgecarousel1}
      alt="First slide"
      id="image-carousel1" // Este ID se usará para Annotorious
    />
    <Carousel.Caption>
      <h3></h3>
    </Carousel.Caption>
  </Carousel.Item>
  <Carousel.Item> ...
  </Carousel.Item>
  <Carousel.Item> ...
  </Carousel.Item>
</Carousel>
```

Figura 23: Codi d'un carousel i la seva configuració. Font: Elaboració pròpia

### Integració i personalització

La integració de Bootstrap dins del component Model3d no només facilita la construcció d'una interfície d'usuari consistent i atractiva sinó que també permet una ràpida adaptació als canvis de disseny sense necessitat de manipular massa CSS personalitzat. Bootstrap ofereix una àmplia varietat d'opcions de personalització que poden ser ajustades per complir amb les necessitats específiques del projecte, com per exemple colors, mides, i comportaments responsius.

En conjunt, l'utilització de Bootstrap en el component Model3d proporciona una base sòlida per a crear elements d'interfície d'usuari que no només són funcionals sinó també visualment agradables i fàcils d'utilitzar. Aquesta aproximació ajuda a assegurar que els usuaris poden interactuar amb el component de manera intuïtiva, millorant així la seva experiència general i facilitant l'accés a informació complexa de manera simplificada i efectiva.

#### 6.4.6 Gestió d'àudio

Dins del component Model3d, la gestió d'àudio és una característica clau que enriqueix la interacció de l'usuari amb els continguts visuals, proporcionant un context addicional i millorant la immersió en l'experiència. Aquesta secció

descriu com s'implementa la gestió d'àudio utilitzant React i com s'integra amb la interfície d'usuari.

#### Carregament i control d'àudio

L'àudio és carregat mitjançant imports de fitxers MP3 al principi del component, assegurant que els recursos estiguin disponibles immediatament quan són requerits. Cada fitxer d'àudio correspon a una peça diferent de la narrativa o a una època diferent de la història representada pels models 3D.

```
//Secció audio
import sound1 from '../audios/A1a.mp3'
import sound2 from '../audios/origin.mp3'
import sound3 from '../audios/A1b.mp3'
import sound4 from '../audios/first-decoration.mp3'
import sound5 from '../audios/Introduction-romanesque-decoration.mp3'
import sound6 from '../audios/Introduction-reforms.mp3'
```

Figura 24: Codi d'importació dels àudios. Font: Elaboració pròpia

Aquests àudios són gestionats utilitzant l'objecte Audio de JavaScript, que proporciona mètodes per controlar la reproducció d'àudio, com play, pause, i load. Aquest objecte s'associa a una referència de React per a mantenir la seva disponibilitat durant tot el cicle de vida del component:

```
let wonAudio = new Audio(sound1)
```

Figura 25: Codi d'inicialització d'un àudio. Font: Elaboració pròpia

#### Funcions per Reproduir i Pausar Àudio

Les funcions handleAudioPlay i handleAudioPause són utilitzades per controlar l'àudio. Aquestes funcions s'activen mitjançant botons en la interfície d'usuari, permetent als usuaris iniciar i aturar l'àudio segons desitgin:

```

const handleAudioPlay = () => {
    wonAudio.play();
};

const handleAudioPause = () => {
    wonAudio.pause();
};

```

Figura 26: Codi de les funcions d'inici i pauza d'un àudio. Font: Elaboració pròpia

Cada botó en la interfície d'usuari està vinculat a aquestes funcions, facilitant el control directe de l'àudio per part de l'usuari.

#### **Integració amb la interfície d'usuari**

Els controls d'àudio s'integren perfectament dins de la interfície d'usuari, com per exemple dins de les targetes de Bootstrap, on cada targeta pot tenir botons per reproduir o pausar l'àudio associat a la informació que mostra:

```

<Button variant="outline-light" onClick={handleAudioPlay}>Start Audio</Button>{' '}
<Button variant="outline-light" onClick={handleAudioPause}>Stop Audio</Button>{' '}

```

Figura 27: Codi on s'associa la funció de començar i pausar un àudio a un botó. Font: Elaboració pròpia

Aquesta integració no només proporciona un accés fàcil als controls d'àudio sinó que també manté la interfície neta i organitzada, afavorint una experiència d'usuari coherent i sense distraccions.

Globalment, la gestió d'àudio dins del component Model3d afegeix una dimensió addicional a l'experiència visual, permetent als usuaris no només veure sinó també escoltar elements del contingut històric. Aquesta funcionalitat fa l'aprenentatge més interactiu i immersiu, millorant significativament l'engagement dels usuaris amb el material presentat. La implementació eficient

d'aquesta característica, combinada amb una interfície d'usuari intuïtiva, fa del component Model3d una eina poderosa per a l'educació i la difusió cultural.

#### 6.4.7 Anotacions i interactivitat amb imatges

El component Model3d incorpora funcionalitats avançades d'anotacions gràcies a l'ús de la biblioteca Annotorious, permetent als usuaris obtenir informació detallada sobre imatges específiques dins de la visualització 3D. Aquesta secció descriu com s'implementen les anotacions i com aquestes milloraran la interacció de l'usuari amb el contingut visual.

##### Integració d'Annotorious

Annotorious és una biblioteca JavaScript que permet afegir, editar, i gestionar anotacions sobre imatges. Dins del component Model3d, Annotorious s'utilitza per destacar i descriure elements específics dels models 3D o de les imatges històriques associades. La configuració inicial implica vincular Annotorious amb les imatges que es mostren a l'usuari:

```
const annotorious = new Annotorious({
  image: 'image-carousel1',
  readOnly: true
});
```

Figura 28: Codi de vinculació entre una anotació i una imatge. Font: Elaboració pròpia

##### Gestió d'anotacions

Les anotacions són definides i carregades juntament amb les imatges. Per cada element visual, es poden definir múltiples anotacions que descriuen diferents parts o característiques d'aquest element. Aquestes anotacions són gestionades dinàmicament segons el context o la selecció de l'usuari, permetent una visualització personalitzada de la informació:

```
// Afegint una anotació a la imatge
annotorious.addAnnotation({
  ...
  id: 'unique-annotation-id',
  type: 'Annotation',
  body: [
    {
      ...
      type: 'TextualBody',
      value: 'Descripció de la part de la imatge',
      purpose: 'describing'
    }
  ],
  target: {
    selector: {
      type: 'FragmentSelector',
      conformsTo: 'http://www.w3.org/TR/media-frags/',
      value: 'xywh=pixel:10,20,30,40'
    }
  }
});

```

Figura 29: Codi de configuració d'una anotació. Font: Elaboració pròpia

### Interactivitat de les anotacions

Les anotacions no només proporcionen textos descriptius sinó que també poden interactuar amb l'usuari. Per exemple, al passar el cursor sobre una anotació, es pot mostrar informació addicional o destacar altres elements relacionats en la visualització 3D. Aquesta capacitat d'interacció fa que les anotacions siguin una eina poderosa per a l'educació i la investigació, permetent als usuaris comprendre millor el context i la importància dels elements visuals:

```
// Itera sobre cada anotación para agregar el evento mouseover
annotations.forEach(annotation, index) => {
  annotation.addEventListener('mouseover', () => {
    // Obtiene la descripción de la anotación actual
    const description = initialAnnotations[index].body[0].value;
    // Muestra la descripción en el cuadro de texto
    descriptionBox.innerHTML = description;
    // Posiciona el cuadro de descripción encima de la anotación
    const rect = annotation.getBoundingClientRect();
    descriptionBox.style.top = `${rect.top - descriptionBox.offsetHeight+50}px`;
    descriptionBox.style.left = `${rect.left}px`;
    // Muestra el cuadro de descripción
    descriptionBox.style.display = 'block';
  });
  // Agrega el eventomouseout para ocultar el cuadro de descripción cuando se mueve el mouse fuera de la anotación
  annotation.addEventListener('mouseout', () => {
    descriptionBox.style.display = 'none';
  });
};

```

Figura 30: Codi per poder visualitzar la descripció associada a l'anotació al passar el ratolí per sobre. Font: Elaboració pròpia

Recapitulant, la integració de funcionalitats d'anotació a través d'Annotorius enriqueix significativament la interacció de l'usuari amb el component Model3d. Aquestes anotacions no només augmenten la comprensió dels continguts visuals sinó que també faciliten una exploració més profunda i contextual de les imatges i models 3D. Combinades amb una interfície d'usuari intuitiva i controls interactius, les anotacions ajuden a transformar la visualització estàtica en una experiència educativa dinàmica i immersiva.

#### 6.4.8 Controladors d'events

Per proporcionar una experiència d'usuari rica i interactiva en el component Model3d, es fan servir diverses funcions de control d'events que gestionen les interaccions de l'usuari amb els elements de la interfície, els models 3D, i els elements multimèdia. Aquesta secció explora com aquests controladors d'events faciliten una navegació intuitiva i permeten actualitzacions dinàmiques del contingut.

##### Funcions per gestionar interaccions de l'usuari

Les funcions de controladors d'events són essencials per manejar accions com clics, canvis en els sliders, i interaccions amb elements multimèdia. Cada funció està dissenyada per respondre de manera eficient a les entrades de l'usuari, actualitzant l'estat del component per reflectir canvis en temps real.

##### Exemples de controladors d'events:

- **Canvis en Sliders:** Un slider pot ser utilitzat per controlar la visualització del temps o la selecció de diferents capes de models 3D. El controlador de canvis del slider actualitza el model 3D mostrat i pot reproduir àudio relacionat amb la selecció.

```
const handleSliderChange = (event) => {
  const newIndex = parseInt(event.target.value, 10);
  updateModelDisplay(newIndex); // Actualitza el model 3D basat en l'índex
  playRelatedAudio(newIndex); // Reproduceix l'àudio relacionat amb el nou model
};
```

Figura 31: Codi per gestionar la interacció amb el "Slider". Font: Elaboració pròpia

- **Reproducció i Pausa d'Àudio:** Funcions específiques per iniciar o aturar la reproducció d'àudio quan l'usuari interactua amb els botons de control d'àudio.

```

const handleAudioPlay = () => {
    wonAudio.play();
};

const handleAudioPause = () => {
    wonAudio.pause();
};

```

Figura 32: Codi per gestionar la interacció amb els botons d'àudio. Font: Elaboració pròpria

- **Interacció amb anotacions:** Events que permeten mostrar informació addicional o realitzar accions quan l'usuari interactua amb anotacions sobre les imatges.

```

// Itera sobre cada anotación para agregar el evento mouseover
annotations.forEach(annotation, index) => {
    annotation.addEventListener('mouseover', () => {
        // Obtiene la descripción de la anotación actual
        const description = initialAnnotations[index].body[0].value;
        // Muestra la descripción en el cuadro de texto
        descriptionBox.innerHTML = description;
        // Posiciona el cuadro de descripción encima de la anotación
        const rect = annotation.getBoundingClientRect();
        descriptionBox.style.top = `${rect.top - descriptionBox.offsetHeight+50}px`;
        descriptionBox.style.left = `${rect.left}px`;
        // Muestra el cuadro de descripción
        descriptionBox.style.display = 'block';
    });
    // Agrega el eventomouseout para ocultar el cuadro de descripción cuando se mueve el mouse fuera de la anotación
    annotation.addEventListener('mouseout', () => {
        descriptionBox.style.display = 'none';
    });
}

```

Figura 33: Codi per gestionar la interacció amb les anotacions. Font: Elaboració pròpria

#### Actualització dinàmica del contingut

Els controladors d'events no només responden a les accions de l'usuari sinó que també actualitzen dinàmicament el contingut de la interfície. Aquestes actualitzacions inclouen canvis en la informació textual, actualitzacions de les

imatges mostrades i ajustos en la configuració dels models 3D o de la visualització.

#### **Exemple d'actualització dinàmica:**

Quan un usuari selecciona un període històric diferent usant un slider, la imatge i la descripció corresponents són actualitzades per reflectir aquesta elecció, proporcionant una connexió directa entre l'entrada de l'usuari i la informació mostrada.

```
const updateModelDisplay = (index) => {
  setModelData({
    image: historicalImages[index],
    description: historicalDescriptions[index]
  });
};
```

Figura 34: Codi per gestionar els canvis en les targetes d'informació donat un canvi en el "Slider". Font: Elaboració pròpia

Concloent, els controladors d'events en el component Model3d juguen un paper vital en la facilitació d'una experiència d'usuari interactiva i immersiva. A través de la gestió eficient de les interaccions de l'usuari i les actualitzacions dinàmiques del contingut, aquest component no només millora l'accessibilitat i la usabilitat sinó que també enriqueix l'aprenentatge i l'exploració dels continguts culturals i històrics.

#### **6.4.9 Navegació i visualització de dades**

La capacitat de navegar i visualitzar dades de manera efectiva és crucial en el component Model3d, especialment quan s'utilitzen representacions tridimensionals complexes i múltiples capes d'informació històrica. Aquesta secció descriu com el component maneja la navegació dins del model 3D i com les dades són visualitzades i actualitzades en resposta a les interaccions de l'usuari.

##### **Manipulació de la càmera en Cesium**

Una part fonamental de la navegació dins del component Model3d és la manipulació de la càmera en l'entorn 3D proporcionat per Cesium. Aquest control permet als usuaris veure l'estructura des de diferents angles i detalls, millorant l'experiència visual i proporcionant una millor comprensió de l'estructura:

```
// Mueve la cámara basada en el índice del slider
const moveCameraToIndex = (index) => [
  const location = tourLocations[index];
  viewerRef.current.camera.flyTo({
    destination: Cesium.Cartesian3.fromDegrees(location.longitude, location.latitude, location.height),
    orientation: {
      heading: Cesium.Math.toRadians(location.heading),
      pitch: Cesium.Math.toRadians(location.pitch),
      roll: Cesium.Math.toRadians(location.roll)
    }
  });
]
```

Figura 35: Codi de la funció utilitzada per manipular la càmera. Font: Elaboració pròpria

Aquesta funció és cridada típicament en resposta a canvis en els controls de l'usuari, com els sliders o seleccions en la interfície, permetent que la càmera es desplaci automàticament a la posició específica que millor visualitza l'època o l'element seleccionat.

#### Visualització dinàmica de dades

El component Model3d no només maneja dades estàtiques sinó que també actualitza la visualització basada en dades dinàmiques. Això inclou la càrrega i la visualització de diferents tilesets 3D que representen diverses fases de construcció de l'estructura, així com la integració de dades textuales i multimèdia associades amb cada fase:

```
const updateModelDisplay = (newIndex) => {
  tilesets.current.forEach((tileset, index) => {
    tileset.show = index === newIndex;
  });
  setCardData({
    ...,
    title: historicalData[newIndex].title,
    text: historicalData[newIndex].description,
    image: historicalImages[newIndex]
  });
};
```

Figura 36: Codi de la funció que modifica la informació de les cards. Font: Elaboració pròpria

Aquesta funcionalitat permet canvis fluids entre diferents períodes històrics o aspectes de l'estructura, proporcionant una experiència d'usuari coherent i informativa.

#### Interacció amb dades històriques

El component també incorpora una interfície que permet als usuaris interaccionar amb dades històriques de manera més detallada. Això es fa mitjançant l'ús de modals, targetes informatives, i anotacions que proporcionen context i detalls addicionals quan són requerits:

```

const handleHistoryClick = (event, index) => {
  setShowModal(true);
  setSelectedHistoryIndex(index);
};

```

Figura 37: Codi de la funció que mostra el modal amb la informació del segle seleccionat. Font: Elaboració pròpia

Aquesta funció mostra un modal que conté informació detallada sobre l'element històric seleccionat, inclòs text explicatiu, imatges, i potser fins i tot àudio o vídeo relacionats, augmentant significativament l'engagement de l'usuari.

Com a resum, la navegació i visualització de dades en el component Model3d són claus per proporcionar una experiència educativa i immersiva. La capacitat d'integrar visualitzacions 3D complexes amb informació detallada i contextual en un entorn interactiu facilita una comprensió més profunda del material històric i cultural, fent d'aquest component una eina valiosa per a l'educació i la investigació en camps com l'arquitectura, la història i l'arqueologia.

#### 6.4.10 Conclusió i potencials ampliacions

El component Model3d ofereix una experiència d'usuari interactiva i educativa, combinant tecnologies avançades de visualització 3D amb una interfície d'usuari accessible i multifuncional. Aquesta secció resumeix el valor proporcionat pel component i discuteix possibles ampliacions que podrien augmentar-ne l'abast i la funcionalitat.

##### Resum del component

El component Model3d utilitza tecnologia punta per proporcionar visualitzacions detallades de l'arquitectura històrica, permetent als usuaris explorar diferents èpoques i característiques arquitectòniques d'una manera visualment rica i interactiva. La integració de Cesium per a visualitzacions 3D, juntament amb els elements de Bootstrap i Annotorious, crea una experiència d'usuari que és tant educativa com immersiva. Els controladors d'events dinàmics i la gestió flexible d'àudio i dades visualitzades asseguren que els usuaris puguin interactuar amb el contingut de manera intuitiva i significativa.

##### Potencials ampliacions

Per augmentar la funcionalitat i l'atractiu del component Model3d, es podrien considerar diverses ampliacions:

- **Realitat augmentada (AR) i Realitat virtual (VR):** Integrar suport per a experiències de realitat augmentada i realitat virtual podria permetre als usuaris explorar els models 3D en un entorn completament immersiu, oferint una nova dimensió a l'educació i a la presentació del patrimoni històric.[28]

- **Personalització d'usuari:** Implementar funcionalitats que permetin als usuaris personalitzar la visualització, com seleccionar diferents estils de visualització o ajustar els paràmetres de la il·luminació, podria millorar la usabilitat i l'engagement del component.
- **Integració de dades en temps real:** Per estructures que estan sota restauració o estudi, la integració de dades en temps real podria proporcionar als usuaris informació actualitzada sobre els canvis i les millores en l'estructura, així com la capacitat de visualitzar els efectes de diferents intervencions de conservació.
- **Col·laboració i xarxes socials:** Afegir funcionalitats de col·laboració, com ara compartir anotacions i descobertes a través de xarxes socials o plataformes educatives, pot fomentar una comunitat d'aprenentatge i augmentar la interacció amb el component.
- **Adaptacions educatives:** Desenvolupar mòduls o guies educatives que utilitzin el component Model3d com a eina d'ensenyament en cursos relacionats amb la història, l'arquitectura o l'arqueologia podria ampliar l'ús del component en contextos acadèmics.

Finalment, el component Model3d demostra com la tecnologia pot ser aplicada de manera efectiva per enriquir la comprensió i l'apreciació del patrimoni cultural i històric. Les seves funcionalitats avançades i la interfície d'usuari ben dissenyada asseguren que sigui una eina valuosa tant per a l'educació com per a la investigació. Les potencials ampliacions discutides podrien ajudar a assegurar que el component continua evolucionant i mantenint-se rellevant en un món digitalment connectat i tecnològicament avançat.

## 6.5 Base de dades

### 6.5.1 Descripció dels arxius XML

Els fitxers XML proporcionats formen una base de dades estructurada que conté informació detallada sobre diverses fases i espais arquitectònics, així com materials gràfics relacionats amb aquests elements. Cada fitxer XML serveix un propòsit específic i està interconnectat amb els altres per proporcionar una visió completa i multifaceta de l'estructura o del projecte arquitectònic. A continuació es descriuen els fitxers i les seves relacions:

- **Annotations.xml:** El fitxer Annotations.xml actua com una base de dades d'anotacions per al component Model3d, contenint informació detallada que es mostra als usuaris quan interactuen amb diferents parts dels models 3D. Cada anotació definida dins aquest XML està dissenyada per enriquir la comprensió de l'usuari sobre elements específics visualitzats, proporcionant context històric, descripcions detallades, o qualsevol altra informació pertinent.

- **Architectural-Phases.xml:** Aquest document inclou informació sobre diferents fases de desenvolupament o restauració de l'església, proporcionant context històric o tècnic.
- **Architectural-Spaces.xml:** Detalla els diferents espais dins de l'església, com poden ser habitacions, zones o altres divisions espacials clau.
- **Graphic-Materials.xml:** Aquest fitxer conté referències a materials gràfics com dibuixos, fotografies, o representacions que il·lustren l'estructura.
- **Graphic-Materials-link-Architectural-Phases.xml:** Relaciona materials gràfics específics amb les fases arquitectòniques documentades, establint una connexió entre visuals i contextos temporals o fases de desenvolupament.
- **Graphic-Materials-link-Architectural-Spaces.xml:** Connecta materials gràfics amb espais arquitectònics concrets, permetent una visualització directa de com cada espai està representat o documentat visualment.

#### 6.5.2 Diagrama de classes

El diagrama de classes següent representa com aquests fitxers XML interaccionejan dins d'un sistema que utilitza aquestes dades per a la visualització i gestió de la informació arquitectònica. El diagrama inclou classes que representen cada XML i les associacions entre elles:

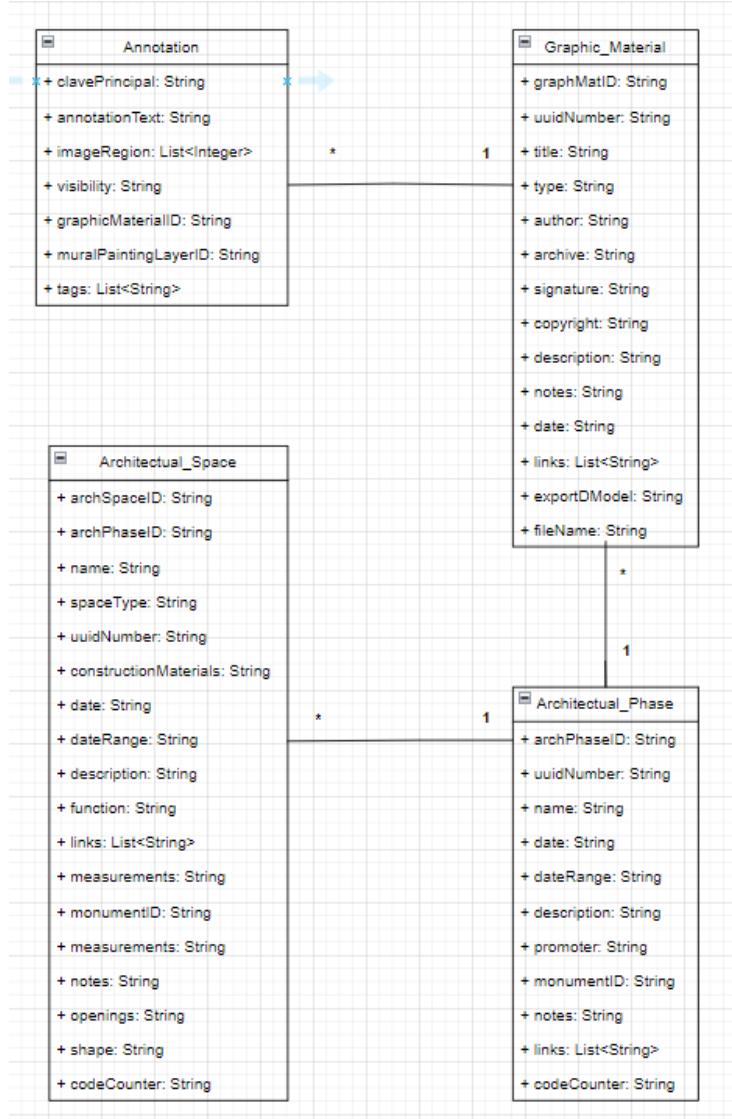


Figura 38: Diagrama de classes dels arxius XML. Font: Elaboració pròpia

### 6.5.3 Estructura del XML d'anotacions

L'estructura típica del fitxer Annotations.xml inclou etiquetes que defineixen cada anotació amb els seus atributs corresponents. Un exemple d'estructura simplificada podria ser:

```

<Annotations>
  <Annotation>
    <ID>1</ID>
    <Description>Descripció detallada de l'element.</Description>
    <Coordinates>x, y, z</Coordinates>
  </Annotation>
  <Annotation>
    <ID>2</ID>
    <Description>Una altra descripció per un element diferent.</Description>
    <Coordinates>a, b, c</Coordinates>
  </Annotation>
</Annotations>

```

Figura 39: Codi d'exemple de representació de les dades del arxiu XML.Font: Elaboració pròpia

Cada annotation conté un identificador únic (ID), una descripció (Description), i possiblement coordenades o altres atributs específics que ajuden a localitzar i mostrar les anotacions dins de la visualització 3D.

#### 6.5.4 Processament i Utilització del XML

Dins del component Model3d, el fitxers XML són processats utilitzant funcions JavaScript que llegeixen i parsegen el contingut del XML per transformar-lo en dades utilitzables dins de l'aplicació. Aquest procés pot incloure:

- **Càrrega del fitxer XML:** Utilitzant funcions asincròniques per llegir el fitxer des del servidor o des de recursos locals.
- **Parsing del XML:** Convertir el contingut XML en estructures de dades JavaScript, com ara objectes o arrays, que poden ser més fàcilment manipulats i utilitzats dins de l'aplicació.
- **Associació d'anotacions:** Vincular cada anotació processada amb els corresponents models o imatges 3D dins de la visualització, assegurant que la informació correcta es mostra quan l'usuari interactua amb parts específiques del model.

#### 6.5.5 Impacte en l'experiència d'usuari

La informació carregada des d'aquests XML juga un paper crucial en l'enriquiment de la interacció de l'usuari amb el component Model3d. Proporcionen un context valuos i profunditzen la comprensió dels elements visualitzats, convertint una simple visualització en una experiència educativa interactiva i informativa.

### **6.5.6 Conclusió**

L'ús dels fitxers XML com a base de dades permet una flexibilitat considerable en com la informació és presentada als usuaris, facilitant actualitzacions i extensions sense necessitat de modificar el codi principal del component. Aquest enfocament modular i extensible assegura que el component Model3d pot evolucionar fàcilment per satisfer necessitats futures o integrar noves dades.

## 7 Validació i proves

### 7.1 Validació de requisits no funcionals

La validació de requisits no funcionals és clau per assegurar el rendiment global i la satisfacció de l'usuari. Per dur a terme aquesta validació, s'han llistat diversos requisits que ja es van detallar anteriorment a la secció 3.2. Per a cadascun d'aquests, s'ha establert un criteri de satisfacció, s'han registrat els resultats i s'han recollit les observacions aportades pels testers de l'aplicació.

Requisit d'usabilitat i facilitat d'utilització		
Criteri de satisfacció	Resultat	Observacions
El 75% dels testers considera que l'aplicació és fàcil d'utilitzar	Èxit	7 de 8 testers consideren que l'aplicació és fàcil d'utilitzar

Taula 2: Requisit no funcional 1. Font: Elaboració pròpia

Requisit de disponibilitat		
Criteri de satisfacció	Resultat	Observacions
L'aplicació esta disponible tot el dia.	Èxit	Es compleix

Taula 3: Requisit no funcional 2. Font: Elaboració pròpia

Requisit d'escalabilitat		
Criteri de satisfacció	Resultat	Observacions
L'aplicació ha de funcionar amb tots els testers utilitzant-la alhora	Èxit	Es compleix

Taula 4: Requisit no funcional 3. Font: Elaboració pròpia

Requisit d'adaptabilitat		
Criteri de satisfacció	Resultat	Observacions
L'aplicació ha de funcionar amb tots els navegadors web mes populars	Èxit	Funciona perfectament amb Edge,Opera,Chrome i Firefox

Taula 5: Requisit no funcional 4. Font: Elaboració pròpia

Requisit de seguretat i privadesa		
Criteri de satisfacció	Resultat	Observacions
L'aplicació no ha de permetre el accés a persones no autoritzades	Èxit	Cap tester ha aconseguit accedir a cap informació sensible.

Taula 6: Requisit no funcional 5. Font: Elaboració pròpria

## 8 Planificació temporal

El meu treball de final de grau (TFG) va començar el 18 de setembre de 2023, quan vaig establir el primer contacte amb el meu director i codirector per discutir el tema que abordaria en el projecte. Originalment, es va preveure finalitzar el treball el 7 de gener. No obstant això, vaig decidir prorrogar el període de desenvolupament del meu TFG un quadrimestre més. Aquesta decisió no va afectar la planificació temporal prevista inicialment, sinó que simplement es va ajustar per distribuir les mateixes tasques i hores de treball en el marc temporal del quadrimestre següent.

En l'actualitat, en el marc del meu grau en Enginyeria Informàtica, el TFG té un valor de 18 crèdits ECTS (3 crèdits per al GEP i 15 crèdits per al mateix projecte). Segons la informació proporcionada per la UPC, cada crèdit equival a 25 hores de treball, i en casos excepcionals com el TFG, pot arribar a les 30 hores. En la planificació inicial, es van considerar les hores mínimes per a cada tasca per garantir que sempre hi hagués temps suficient. Això va donar lloc a les següents estimacions:

$$\text{hores de GEP} = 3 \text{ ECTS} \cdot 25 \text{ h/ECTS} = 75 \text{ h} \quad (1)$$

$$\text{hores de desenvolupament} = 15 \text{ ECTS} \cdot 25 \text{ h/ECTS} = 375 \text{ h} \quad (2)$$

Aquestes hores calculades es van distribuir al llarg de les setmanes segons les tasques específiques, establint així la planificació inicial del projecte, que posteriorment va ser revisada en contrast amb la planificació final.

### 8.1 Descripció de les tasques

A l'inici del projecte, vam decidir seguir l'aproximació metodològica Agile/Scrum, la qual no va implicar una definició detallada de les tasques. Aquesta situació va generar certa complexitat a l'hora de concretar les tasques, ja que l'Sprint planning es realitzava setmanalment i la manca d'experiència amb les principals eines del projecte, concretament Cesium, dificultava la identificació precisa de les tasques i les seves estimacions.[29][30]

Les tasques es van organitzar i subdividir segons la seva naturalesa en diferents categories, incloent-hi la Gestió del Projecte (GP), el Seguiment i la Documentació (SD), el Desenvolupament amb Cesium i React (DC), i les Proves de Validació (PV).

#### 8.1.1 Tasques de gestió del projecte

- **GP1 - Contextualització i Abast (25 hores):** Aquesta fase va implicar la redacció de la primera entrega de GEP. Es va centrar en la documentació i definició del context, la justificació, l'abast i la metodologia del projecte. Aquesta tasca no estava subjecta a cap dependència externa.

- **GP2 - Planificació Temporal (10 hores):** En aquesta etapa, es va realitzar la segona entrega de GEP, que va consistir en la documentació de les tasques, les estimacions de temps i la creació d'un diagrama de Gantt. També es va gestionar la Gestió de Riscos, incloent-hi plans alternatius i la identificació d'obstacles. Aquesta tasca depenia de la tasca anterior, ja que es va basar en la informació proporcionada a GP1.
- **GP3 - Pressupost i Sostenibilitat (15 hores):** En aquesta fase, es va realitzar la tercera entrega de GEP, que va incloure la identificació i estimació de costos, el control de gestió i la preparació de l'informe de sostenibilitat del projecte. Aquesta tasca depenia de la tasca GP2, ja que requeria informació sobre la planificació temporal i les estimacions de temps.
- **GP4 - Documentació de la Fase Inicial (25 hores):** En aquesta fase, es va procedir a la integració de tota la informació i documentació de les tres entregues anteriors, realitzant les modificacions, extensions i rectificacions necessàries. Aquesta tasca depenia de la tasca GP3, ja que es basava en la documentació de costos i sostenibilitat proporcionada a GP3.

Pel que fa a la planificació final, cap d'aquestes tasques va experimentar desviacions significatives o modificacions importants, la qual cosa indica que les estimacions inicials van ser bastant precises.

### 8.1.2 Tasques de desenvolupament

#### Seguiment i Documentació:

- **SD1 - Revisió Setmanal de l'Sprint (1 hora per setmana):** Cada dijous, l'equip es reuneix per avaluar l'estat de les tasques assignades a l'Sprint. L'objectiu és que totes les tasques assignades a l'Sprint estiguin completades al final de la setmana, com a mínim en una fase inicial que permeti arxivar-les i iniciar un nou Sprint. Aquesta tasca no té dependències externes.
- **SD2 - Documentació de l'Sprint (1 hora i 30 minuts per setmana):** Després de la finalització de l'Sprint, es realitza una documentació inicial sobre l'avancament del projecte i s'afegeixen referències útils per facilitar la redacció posterior. Aquesta tasca és paral·lela a SD1 i depèn d'aquesta, ja que es realitza al mateix temps.
- **SD3 - Documentació de la Fase Final (60 hores):** Aquesta fase implica la redacció completa, clara i concisa de tot el que s'ha documentat en SD2 i de la resta del treball realitzat al projecte. Aquesta tasca depèn de SD2.
- **SD4 - Preparació de la Presentació Final (20 hores):** Aquesta tasca implica la preparació de la presentació final del treball. Depèn de la tasca SD3, ja que s'utilitza la documentació generada per aquesta fase per a la preparació de la presentació.

### **Desenvolupament amb Cesium i React:**

- **DC1 ⇒ Instal·lació de l'entorn Cesium (2 hora):** S'instal·len correctament tots els components necessaris de Cesium en l'entorn Linux Mint. No hi ha dependències.
- **DC2 ⇒ Recerca de documentació i tutorials (2 hora):** Es realitza una investigació de totes les fonts de documentació i tutorials disponibles que puguin ser útils per al projecte basat en Cesium. Dependències: DC1 < DC2.
- **DC3 ⇒ Execució de tests i seguiment de tutorials (16 hores):** S'explora el funcionament de Cesium seguint tutorials i executant proves per comprendre a fons la plataforma. Dependències: DC2 < DC3.
- **DC4 ⇒ Creació d'un cas base amb Cesium (16 hores):** Es crea un cas d'estudi mitjançant Cesium, utilitzant els recursos ja disponibles i definint tots els elements necessaris a partir de zero. Dependències: DC3 < DC4.
- **DC5 ⇒ Familiarització amb la creació d'escenes (14 hores):** S'aprèn com crear escenes amb Cesium mitjançant exemples pràctics i recursos en línia. Dependències: DC4 < DC5.
- **DC6 ⇒ Familiarització amb la creació de models 3D (14 hores):** S'aprèn com crear models 3D amb Cesium mitjançant exemples pràctics i recursos en línia. Dependències: DC5 < DC6.
- **DC7 ⇒ Integració de materials i textures (16 hores):** S'explora la integració de materials i textures en els models 3D, realitzant proves amb diversos models fins a definir-los per a la representació de Patrimoni Cultural. Dependències: DC6 < DC7.
- **DC8 ⇒ Calibratge de textures i aspecte visual (4 hores):** Es realitza el calibratge de textures i s'ajusta l'aspecte visual dels models 3D per assegurar una representació precisa i atractiva. Dependències: DC7 < DC8.
- **DC9 ⇒ Disseny de components de React (8 hores):** Es dissenyen i implementen components reutilitzables que conformaran la interfície d'usuari, utilitzant CSS, Styled Components o altres biblioteques de disseny com Material-UI o Ant Design. Aquesta tasca inclou també la creació de formularis, botons, i altres elements interactius. Dependències: DC8 < DC9.
- **DC10 ⇒ Gestió d'estats amb Hooks (8 hores):** Es fa ús de Hooks com useState i useEffect per gestionar l'estat i el cicle de vida dels components. Això permet una millor modularització i manteniment del codi. Dependències: DC9 < DC10.

- **DC11 ⇒ Implementació de rutes amb React Router (4 hores):** S'estableixen les rutes dins de l'aplicació per facilitar la navegació entre les diferents pantalles i components, configurant React Router per gestionar les rutes de manera eficient. Dependències: DC10 < DC11.
- **DC12 ⇒ Optimització de la interfície d'usuari (4 hores):** S'optimitza la interfície d'usuari per millorar l'experiència de l'usuari final, incloent-hi ajustos en la resposta visual dels components i la millora de l'accessibilitat. Dependències: DC11 < DC12.

#### **Desenvolupament amb Cesium:**

- **PV ⇒ Proves de Validació (24 hores):** Desenvolupament de tests per a validar la correcta implementació de les tasques. Dependències: DC6 < PV

#### **8.1.3 Recursos**

La realització d'aquest projecte compta amb la implicació directa de l'estudiant principal (RH1), juntament amb un equip d'experts formats per un director i un codirector especialitzats en el tema del treball (RH2 i RH3), i un expert en gestió de projectes (el tutor de GEP, RH4). Aquests professionals proporcionen orientació i supervisió contínua, essencials per al progrés i l'èxit del projecte. A més, es reconeix la contribució indirecta de col·laboradors externs (RH5) que, a través de la seva publicació de recursos en línia, enriqueixen significativament el contingut i la qualitat del treball de recerca.

**Recursos Materials:** Els recursos materials utilitzats són:

- **RM1 Overleaf:** Web per escriure LaTex en línia.
- **RM2 Google Meet:** Servei per gestionar les reunions.
- **RM3 Google Drive:** Servei per compartir arxius amb l'equip.
- **RM4 Atenea:** Web utilitzada per l'entrega de lliuraments.
- **RM5 Git amb GitHub:** Serveis per gestionar les versions del projecte i emmagatzemar-les.
- **RM6 Visual Studio Code:** IDE utilitzat per la creació del projecte.
- **RM7 CesiumJs i llibreries diverses:** Llibreries utilitzades per integrar Cesium al projecte.
- **RM8 Cesium:** Plataforma de visualització geoespacial en 3D.
- **RM9 Trello:** Eina utilitzada per a regularitzar i gestionar les tasques.
- **RM10 GanttProject:** Eina per produir el diagrama de Gantt.
- **RM11 Ordinador:** Habilita l'ús de tots els recursos anteriors.
- **RM12 React:** Biblioteca JavaScript per interfícies d'usuari.

## 8.2 Estimacions i Gantt

La taula 7 és un resum de les tasques definides a l'apartat anterior.

ID	Tasca	Temps	Dependències	Recursos
<b>GP</b>	<b>Gestió del projecte</b>	<b>75h</b>		
GP.1	Contextualització i abast	26h		RM1, RM2, RM4, RM11
GP.2	Planificació temporal	12h	GP.1	RM1, RM2, RM11
GP.3	Pressupost i sostenibilitat	13h	GP.2	RM1,RM2,RM4,RM11
GP.4	Documentació de la fase inicial	24h	GP.3	RM1,RM2,RM4,RM11
<b>SD</b>	<b>Seguiment i documentació</b>	<b>110h</b>		
SD.1	Revisió Setmanal de l'Sprint	16h		RM1,RM2,RM3,RM8
SD.2	Documentació de l'Sprint	24h	SD.1	RM1,RM11
SD.3	Documentació fase final	56h	SD.2	RM1,RM11
SD.4	Preparació de la presentació final	14h	SD.3	RM3,RM11
<b>DC</b>	<b>Desenvolupament amb Cesium i React</b>	<b>168h</b>		
DC.1	Instal·lació de l'entorn Cesium	2h		RM8, RM11
DC.2	Recerca de documentació i tutorials	2h		RM11
DC.3	Execució de tests i seguiment de tutorials	16h	DC.1	RM6, RM7, RM8, RM11
DC.4	Creació d'un cas base amb Cesium	16h	DC.2	RM6, RM7, RM8, RM11
DC.5	Familiarització amb la creació d'escenes	14h	DC.3	RM6, RM7, RM8,RM9,RM11
DC.6	Familiarització amb la creació de models 3D	14h	DC.4	RM6, RM7, RM8,RM9,RM11
DC.7	Integració de materials i textures	32h	DC.5	RM6, RM7, RM8, RM11
DC.8	Calibratge de textures i aspecte visual	8h	DC.6	RM6,RM7, RM8, RM11
DC.9	Disseny de components de React	16h	DC.7	RM6,RM7, RM8, RM11, RM12
DC.10	Gestió d'estats amb Hooks	16h	DC.8	RM6, RM7, RM8, RM11, RM12
DC.11	Implementació de rutes amb React Router	16h	DC.9	RM6, RM7 RM8, RM11, RM12
DC.12	Optimització de la interfície d'usuari	16h	DC.10	RM6, RM7 RM8, RM11, RM12
<b>PV</b>	<b>Proves de validació</b>	<b>24h</b>	<b>DC.6</b>	<b>RM7,RM8,RM9,RM11</b>
<b>Total</b>		<b>374h</b>		

Taula 7: Resum de les tasques. Font: Elaboració pròpia.

En la pàgina següent es mostra com queden distribuïdes les tasques estimades a través del diagrama de Gantt. Com ja s'ha comentat abans, aquestes tasques van quedar igual però van ser traspassades al següent quadrimestre degut a desviacions en la planificació inicial.

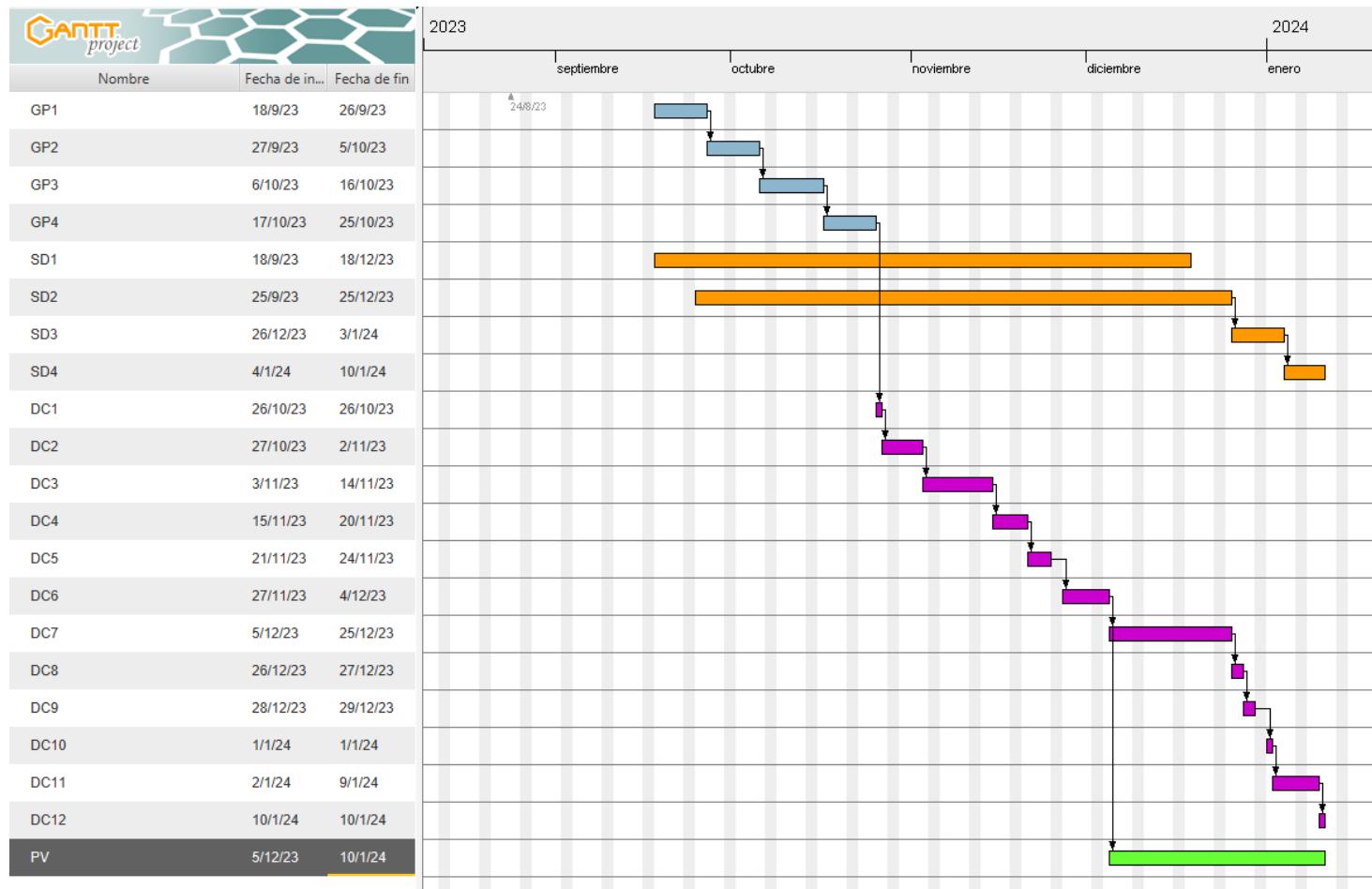


Figura 40: Diagrama de Gantt inicial

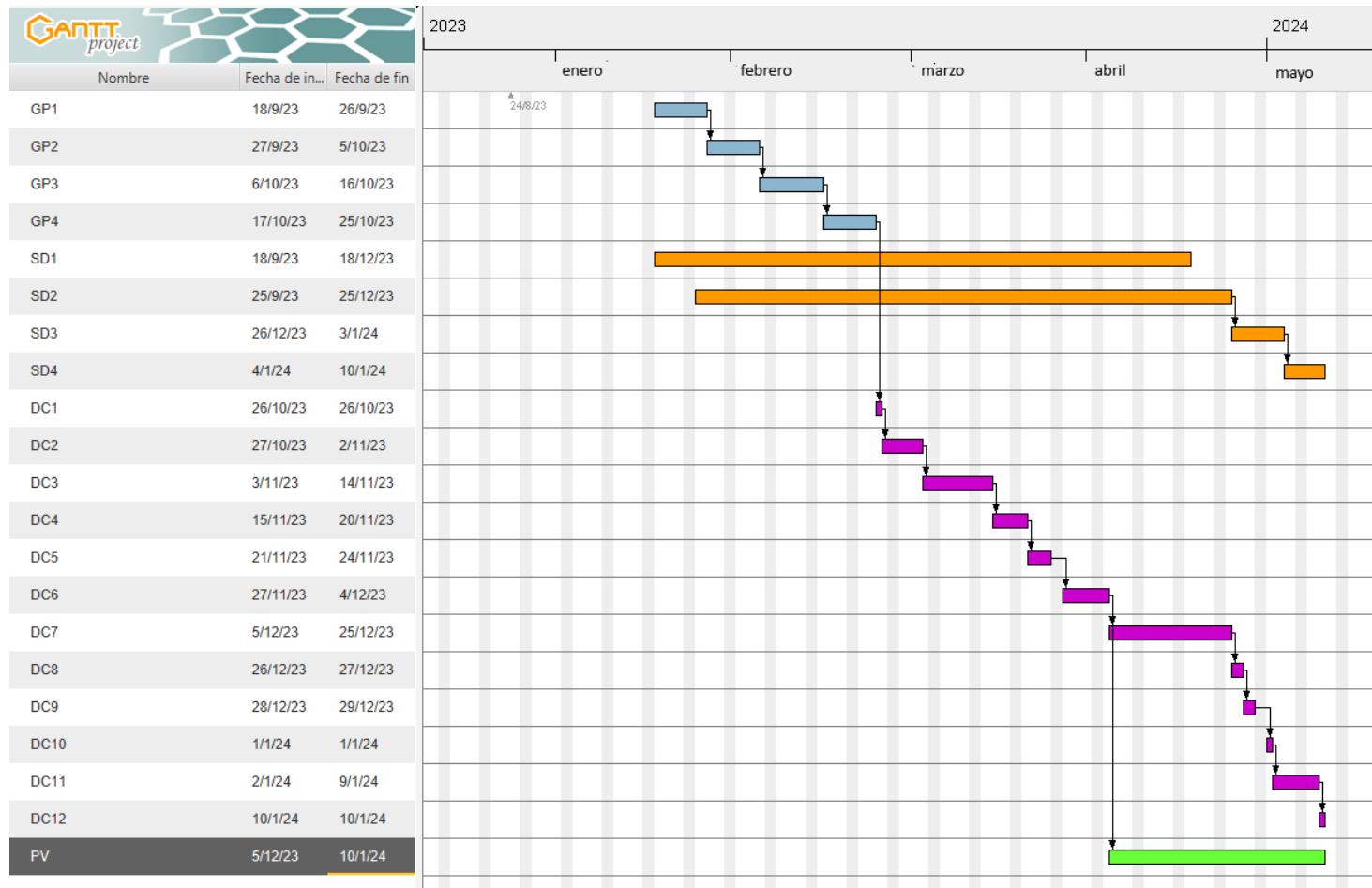


Figura 41: Diagrama de Gantt final

### 8.3 Gestió del risc: Plans alternatius i obstacles

Risc	Impacte	Probabilitat	Pla alternatiu
Retard en l'entrega del software	Mitjà	Mitjana	Planificar les fases de desenvolupament amb temps addicional per a revisions. Començar la fase de testat abans del previst.
Incompatibilitat de plataformes	Alt	Baixa	Utilitzar eines i llibreries que suportin multiplataforma des del començament. Provar en diferents entorns a mesura que es desenvolupa.
Falta d'experiència en l'ús de noves tecnologies	Alt	Alta	Organitzar sessions de formació intensiva abans d'iniciar el projecte. Associar-se amb experts externs per a guia i suport.
Problemes de seguretat en el codi	Alt	Mitjana	Implementar revisions de codi freqüents i tests de seguretat des de les primeres etapes del desenvolupament.
Pèrdua de dades	Mitjà	Baixa	Implementar solucions robustes de còpia de seguretat i recuperació de dades. Utilitzar repositoris de codi com GitHub per a control de versions.
Bugs en el software	Mitjà	Alta	Prioritzar la detecció i correcció de bugs amb sprints de correcció regulars. Utilitzar software de seguiment de bugs.
Limitacions de recursos computacionals	Baix	Baixa	Optimitzar el codi per a un menor ús de recursos. En cas de necessitat, escalar el hardware disponible o utilitzar solucions basades en núvol.

Taula 8: Riscos i plans alternatius. Font: Elaboració pròpia

## 9 Gestió econòmica

### 9.1 Costos de personal per activitat

D'acord amb les tasques establertes per al projecte, es poden identificar tres rols clau que seran essencials per al seu desenvolupament i execució:

- **Cap de projecte (CP):** Aquesta persona és el responsable principal del projecte, encarregat de dirigir-lo i garantir el seu desenvolupament adequat. Supervisa els progrésos, assegura el compliment dels objectius i gestiona qualsevol desafiament que sorgeixi.
- **Programador (P):** Encarregat de la programació del projecte.
- **Tester (T):** Persona que testeja l'aplicació per assegurar que tot funciona correctament.

Per calcular el cost de cada rol s'ha considerat una jornada laboral de 8 hores amb 220 dies amb el següent càlcul:

$$\text{Salari (\text{€}/hora)} = \frac{\text{Salari (\text{€}/any)}}{1760 \text{ hores}} \quad (3)$$

Per calcular el cost total per a l'empresa, inclòs el salari brut més la seguretat social, que afegeix un 30% al salari brut, es fa el següent càlcul:

$$\text{Salari brut amb SS} = \text{Salari brut} \cdot 1,30 \quad (4)$$

La investigació salarial s'ha recollit a la Taula 9, on cada rol té una referència de Glassdoor per l'estimació del salari brut anual mitjà. Utilitzant la fórmula prèviament mencionada, hem calculat el salari brut inclòs el cost de la seguretat social, expressat en valor horari.

Rol	Referència	Sou brut (\text{€}/any)	Cost horari amb SS (\text{€}/hora)
Cap de projecte	[31]	48.067 \text{€}/any	35,50 \text{€}/h
Programador	[32]	25.372 \text{€}/any	18,74 \text{€}/h
Tester	[33]	25.000 \text{€}/any	18,47 \text{€}/h

Taula 9: Sous per hora en funció del rol. Font: Elaboració pròpia

A partir d'aquestes estimacions, es detalla el cost de cada tasca a la Taula 10, basat en el sou brut calculat amb les quotes socials, i a la Taula 11 es mostra el cost que correspon a cada membre de l'equip.

Per calcular el cost del personal, s'ha determinat multiplicant el nombre total d'hores treballades per cada rol pel seu respectiu cost per hora.

ID	Tasca	Temps	Hores/rol (CP P T)	Cost brut amb SS
<b>GP</b>	<b>Gestió del projecte</b>	<b>75h</b>	<b>75h - -</b>	<b>2662,50€</b>
GP.1	Contextualització i abast	26h	26h - -	932,00€
GP.2	Planificació temporal	12h	12h - -	426,00€
GP.3	Pressupost i sostenibilitat	13h	13h - -	461,50€
GP.4	Documentació de la fase inicial	24h	24h - -	852,00€
<b>SD</b>	<b>Seguiment i documentació</b>	<b>110h</b>	<b>47h 53h 7h</b>	<b>2866,34€</b>
SD.1	Revisió Setmanal de l'Sprint	16h	8h 6h 1h	440,02€
SD.2	Documentació de l'Sprint	24h	- 22h 1h	455,86€
SD.3	Docuemntació fase final	56h	25h 25h 5h	1473,46€
SD.4	Preparació de la presentació final	14h	14h - -	497,00€
<b>DC</b>	<b>Desenvolupament amb Cesium</b>	<b>168h</b>	<b>- 168h -</b>	<b>3148,32€</b>
DC.1	Instal·lació de l'entorn Cesium	2h	- 2h -	37.48€
DC.2	Recerca de documentació i tutorials	2h	- 2h -	37.48€
DC.3	Execució de tests i seguiment de tutorials	16h	- 16h -	299.84€
DC.4	Creació d'un cas base amb Cesium	16h	- 16h -	299.84€
DC.5	Familiarització amb la creació d'escenes	14h	- 14h -	262.36€
DC.6	Familiarització amb la creació de models 3D	14h	- 14h -	262.36€
DC.7	Integració de materials i textures	32h	- 32h -	599.68€
DC.8	Calibratge de textures i aspecte visual	8h	- 8h -	149.92€
DC.9	Disseny de components de React	16h	- 16h -	299.84€
DC.10	Gestió d'estats amb Hooks	16h	- 16h -	299.84€
DC.11	Implementació de rutes amb React Router	16h	- 16h -	299.84€
DC.12	Optimització de la interfície d'usuari	16h	- 16h -	299.84€
<b>PV</b>	<b>Proves de validació</b>	<b>24h</b>	<b>- - 24h</b>	<b>443,28€</b>
<b>Total</b>		<b>374h</b>	<b>122h 221h 31h</b>	<b>9120,44€</b>

Taula 10: Cost estimat de les tasques. Elaboració pròpia.

Posició	Temps	Cost amb SS
Cap de projecte	122h	4331,00 €
Programador	221h	4141,54 €
Tester	31h	572,57 €

Taula 11: Cost del personal. Font: Elaboració pròpia

## 9.2 Costos materials

En el marc del projecte, cada integrant farà ús d'un ordinador portàtil de la marca ZetaTech, amb un total de tres unitats involucrades. El preu de compra de cada ordinador és de 1250 euros i es projecta una vida útil de quatre anys. L'amortització de cada dispositiu s'ha calculat seguit l'Equació 5. La Taula 12 il·lustra els costos per usuari així com el cost total per a les 374 hores de funcionament d'aquests equips.

$$\text{Cost d'amortització} = \frac{\text{Cost d'adquisició en euros}}{\text{Vida útil en anys} \cdot 1760 \text{ hores}} \cdot \text{hores d'ús del recurs} \quad (5)$$

Rol	Hores d'ús del recurs	Cost del maquinari (euros)
Cap de projecte	122h	21,66 €
Programador	221h	39,24 €
Tester	31h	5,5 €
Total	374h	66,4 €

Taula 12: Cost del maquinari per a cada persona. Font: Elaboració pròpia

Tot el software utilitzat és gratuït i de llicència lliure per tant no genera cap cost.

## 9.3 Costos genèrics

S'ha decidit llogar una sala d'oficina compartida per facilitar les operacions i proporcionar a l'equip de treball un espai on puguin treballar i reunir-se de manera còmoda. Per calcular el cost, s'ha trobat un espai de co-working a Barcelona [34] amb un preu de 300 euros al mes.

Per tant, el cost total del co-working serà:

$$\text{Cost del co-working} = 300 \text{ €/mes} \cdot 1.21 \text{ (IVA)} \cdot 4 \text{ mesos} = 1452 \text{ €} \quad (6)$$

## 9.4 Contingències

La contingència es calcula com a un 15% del cost segons l'Equació (7). A la Taula 8 es mostra el cost de la contingència per a diferents tipus de recursos.

$$\text{Contingència} = \text{Cost} \cdot 0.15 \quad (7)$$

Recursos	Cost	Contingència
Humans	9120,44 €	1,368,06 €
Materials	66,4 €	9,96 €
Generals	1452 €	217,8 €
Total	10,210,29 €	1,531,54 €

Taula 13: Cost de la contingència del 15%. Font: Elaboració pròpia

## 9.5 Cost dels imprevistos

En la secció 9.3, es van analitzar amb detall els possibles riscos que podrien sorgir en el marc del projecte, juntament amb els plans alternatius per abordar-los. Ara, en la Taula 14, procedirem a quantificar el desemborsament associat a cadascun d'aquests riscos, en el cas que comportin alguna despesa econòmica. Aquesta estimació es realitzarà mitjançant el càlcul següent:

$$\text{Cost del risc} = \text{Preu del risc} \cdot \text{Probabilitat del risc} \quad (8)$$

- **Retard en la resposta del client:** En cas que el client no respongui a temps amb la informació o les especificacions necessàries per continuar amb el projecte, podria produir-se un retard en el desenvolupament. Això podria suposar un augment de 30 hores en el temps de desenvolupament, amb un cost estimat de 600 € (20 € per hora). Probabilitat del risc: 15%.
- **Canvis en els requisits del projecte:** Si es produeixen canvis significatius en els requisits del projecte durant el desenvolupament, es podria requerir una revisió completa del pla i la implementació de noves funcionalitats. Això podria resultar en un augment de 40 hores de treball, amb un cost de 800 € (20 € per hora). Probabilitat del risc: 25%.
- **Falta de recursos humans:** En cas que un membre clau de l'equip es trobi indisponible per malaltia o altres motius, es podria requerir la contractació d'un nou recurs o la redistribució de tasques. Això podria implicar un cost addicional de 400 € per a la contractació d'un recurs temporal. Probabilitat del risc: 10%.

Per altra banda, els riscos de pèrdua de dades no suposaran un augment de cost, ja que les dues plataformes utilitzades (GitHub i Drive) són gratuïtes.

Imprevist	Preu	Probabilitat	Cost del risc
Retard en la resposta del client	750 €	15%	112,50 €
Canvis en els requisits del projecte	500 €	20%	100 €
Falta de recursos humans	100 €	5%	5 €
Total	1350 €	-	217,50 €

Taula 14: Cost d'imprevistos. Font: Elaboració pròpia

## 9.6 Pressupost final

En resum, el pressupost final de tot el projecte té un valor de 11 959,33 €. En la Taula 15 es presenta la suma de tots els costos per obtenir el cost final.

Tipus	Cost
Costos del personal per activitat (CPA)	9 120,44 €
Costos materials (CM)	73,45 €
Costos generals (CG)	1 016,40 €
Contingències	1 531,54 €
Imprevistos	217,50 €
Total	11 959,33 €

Taula 15: Pressupost final del projecte. Font: Elaboració pròpia

## 9.7 Control de gestió

Per garantir un control eficaç de les desviacions en el pressupost, actualitzarem el pressupost quan es completi una tasca. Això es farà en base a les hores treballades i les possibles despeses inesperades. Mitjançant les següents fórmules, calcularem les diferències entre els valors reals i els valors teòrics inicials que s'havien previst. Aquests càlculs es portaran a terme utilitzant programari com Excel, que permet automatitzar el seguiment de les hores treballades i altres despeses.

- Desviació del cost:  $Desviació\ de\ cost = Cost\ estimat - Cost\ real$
- Desviació d'hores:  $Desviació\ d'hores = Hores\ estimades - Hores\ reals$
- Desviació d'hores per tasca:  $Desviació\ d'hores/tasca = (Hores\ estimades - Hores\ reals) \cdot Cost\ real$
- Desviació del cost per tasca:  $Desviació\ de\ cost/tasca = (Cost\ estimat - Cost\ real) \cdot Hores\ reals$

## 10 Sostenibilitat

### 10.1 Dimensió econòmica

L'impacte econòmic total d'aquest projecte ha estat de 11 959,33 €, aquest import està detallat més exhaustivament a la secció 9.6. Aquest pressupost abasta tots els recursos necessaris i la part més substancial correspon als recursos humans, ja que són essencials per a la realització de qualsevol projecte.

Aquest projecte, en particular, representa una eina de visualització de models 3D que proporcionarà un estalvi significatiu al col·lectiu d'amants del patrimoni cultural català. Permetrà una interacció més àgil i immersiva amb els monuments i les obres d'art, fomentant una experiència més rica i detallada sense la necessitat d'invertir en viatges físics.

Aquesta tecnologia no només simplificarà la investigació i la preservació del patrimoni, sinó que també generarà un important estalvi econòmic i mediambiental. Els experts i el públic general no hauran de dependre del transport amb cotxe per accedir als llocs patrimonials, evitant així els costos associats als desplaçaments i reduint les emissions contaminants. A més, promourà pràctiques més sostenibles i respectuoses amb el medi ambient, contribuint a preservar la nostra herència cultural per a les futures generacions.

### 10.2 Dimensió ambiental

El projecte és exclusivament de software, i, per tant, té un impacte ambiental indirecte però significatiu que necessita ser gestionat adequadament. En el context del desenvolupament sostenible, és vital adoptar estratègies que minimitzin l'ús de recursos i reduir l'empremta de carboni. Una de les maneres més eficaces d'aconseguir això és a través de l'optimització del codi, la qual pot millorar significativament l'eficiència energètica del software. Optimitzant el software per a que requereixi menys recursos de processament, es redueix el consum energètic dels dispositius que l'executen, així com dels centres de dades que allotgen els serveis en núvol.

A més, és essencial dissenyar el software amb una visió de llarga durada. El desenvolupament de solucions que puguin ser fàcilment actualitzades o modificades sense necessitat de reconstruccions completes ajuda a allargar la vida útil dels productes i minimitza els residus tecnològics. Aquesta pràctica no només és beneficiosa per al medi ambient, sinó que també és econòmicament avantatjosa per a les empreses i els usuaris finals, ja que redueix la freqüència i el volum de les inversions en noves versions de software.

### 10.3 Dimensió social

La dimensió social d'aquest projecte en l'àmbit de la sostenibilitat és de gran rellevància, ja que l'ús de tecnologies digitals per a la visualització de patrimoni cultural anotat té un impacte directe en la interacció de la societat amb el seu entorn històric i artístic. Aquest enfocament no només té l'objectiu de preservar

i promoure el patrimoni, sinó també de crear un impacte positiu en la comunitat i la societat en general.

En primer lloc, la utilització d'aquesta eina de visualització 3D pot obrir noves oportunitats per a la participació ciutadana i l'apropament de la comunitat al seu patrimoni cultural. Permet a les persones explorar i comprendre el passat de manera més interactiva i significativa, fomentant l'interès i la consciència cultural. Aquesta connexió emocional amb el patrimoni pot contribuir a la seva conservació i a la valoració de l'entorn cultural local.

A més, la integració d'aquesta tecnologia en projectes i iniciatives de sostenibilitat pot tenir un impacte positiu en la qualitat de vida dels residents. Per exemple, la simulació de la lluminació i la seva aplicació en la planificació urbana poden contribuir a la reducció de la contaminació lumínica i al estalvi d'energia, millorant l'entorn urbà i la qualitat de l'aire.

D'altra banda, aquest projecte pot promoure la inclusió i la diversitat cultural, ja que ofereix una eina per a la preservació i promoció de patrimonis de diferents comunitats i cultures. Això pot enfortir el teixit social i fomentar el respecte i la comprensió entre diferents grups culturals.

En conclusió, la dimensió social d'aquest projecte en l'àmbit de la sostenibilitat implica no només la conservació i la promoció del patrimoni cultural, sinó també la millora de la qualitat de vida, la participació ciutadana i la promoció de la diversitat cultural, contribuint de manera significativa a una societat més sostenible i inclusiva.

## 10.4 Matriu de sostenibilitat

A mode de resum es presenta la Taula 12 que sintetitza els apartats anteriors.

	PPP	Vida útil	Riscs
Econòmica	11 959,33 €	4 anys	La no viabilitat econòmica
Ambiental	17 kg/CO2	-	La no millora energètica
Social	8/10	7/10	Pocs

Taula 16: Matriu de sostenibilitat. Font: Elaboració pròpia i [35]

## 10.5 Autoavaluació

Durant el desenvolupament d'aquest projecte, he tingut l'oportunitat de reflexionar sobre diversos aspectes relacionats amb la sostenibilitat i la innovació dins de l'àmbit de les tecnologies de la informació i la comunicació (TIC). Aquest informe pretén fer una avaliació crítica del projecte i compartir les meves impressions sobre els seus èxits i desafiaments. Aquesta experiència m'ha permès comprendre millor la importància de considerar l'impacte ambiental del software des de la seva concepció fins a la seva implementació. La reflexió sobre l'eficiència energètica i la reducció de l'empremta de carboni ha destacat

la necessitat d'integrar pràctiques sostenibles de manera profunda i no com a simples afegitons tardans.

Una altra reflexió important ha estat la reconeixença de les dificultats que comporta canviar les metodologies establertes dins els equips de desenvolupament. L'adopció de nous paradigmes, com el codi eficient i el disseny orientat a la longevitat, requereix no només canvis tècnics, sinó també una evolució cultural dins de l'organització. Això subratlla la importància de la formació i la sensibilització sobre la sostenibilitat com a part integral de la formació professional dels desenvolupadors.

Finalment, he reflexionat sobre el paper crucial que juguen els stakeholders en el suport o en la limitació de les iniciatives sostenibles. L'aliança entre clients, proveïdors de serveis i desenvolupadors és essencial per crear un ecosistema de TIC sostenible. Aquest projecte m'ha fet adonar de la necessitat de fomentar una comunicació més oberta i col·laborativa entre aquests grups per assolir objectius ambientals comuns, subratllant que la sostenibilitat és una responsabilitat compartida que requereix compromís i cooperació a tots els nivells.

## 11 Conclusions

El projecte de visualització 3D de l'església de Sant Quirze de Pedret a través de Cesium ha estat un viatge desafiador i profundament enriquidor, marcat per l'exploració de noves tecnologies i l'aprofundiment en la rica història cultural de Catalunya. Les experiències adquirides durant aquest projecte han transcendit l'àmbit acadèmic, oferint lliçons valuoses sobre la intersecció entre tecnologia, història i educació. A continuació, es detallen les conclusions en tres àrees clau: les competències tècniques desenvolupades, les direccions per a treballs futurs i una reflexió personal sobre el procés.

### 11.1 Competències tècniques

La realització d'aquest projecte ha estat una plataforma excepcional per al desenvolupament de competències tècniques en diverses àrees. En particular, la càrrega de models 3D ha requerit un domini del software Cesium, juntament amb una comprensió dels principis físics que influencien la representació dels materials i textures. Això ha implicat un aprenentatge intensiu i l'aplicació de tècniques avançades per assegurar que els models fossin no només visualment impactants, sinó també històricament precisos.

D'altra banda, el disseny i la implementació d'interfícies d'usuari interactives utilitzant React han posat a prova les meves habilitats de programació i disseny UX/UI, requerint una atenció meticulosa als detalls per garantir una experiència d'usuari fluida i accessible. A més, hem hagut de navegar per les complexitats de la integració de dades històriques en el model 3D, un procés que ha enriquit la meva comprensió de com les tecnologies digitals poden ser utilitzades per a la conservació i difusió del patrimoni cultural.

### 11.2 Treball futur

El camí endavant per a aquest projecte és ric i divers. Una àrea prometedora és l'expansió dels models 3D per abraçar no només més edificis històrics sinó també les seves envoltants, creant així un paisatge cultural més complet i immersiu. Això podria incloure la simulació de processions històriques, mercats o altres esdeveniments socials que donarien vida a l'entorn de l'església en el seu context històric.

L'exploració de tecnologies com la realitat augmentada obre possibilitats fascinants per a l'educació i la divulgació, permetent als usuaris superposar el passat històric sobre el present físic, aportant així una nova dimensió a l'aprenentatge i la comprensió del patrimoni.

A més, el desenvolupament de materials educatius interactius, incloent-hi jocs, qüestionaris i recorreguts guiats, pot enriquir encara més l'experiència d'usuari, transformant la visualització 3D en una eina pedagògica dinàmica.

### **11.3 Valoració personal**

Des d'una perspectiva personal, aquest projecte ha estat una odissea d'aprenentatge i descobriment. La fusió de la meva passió per la tecnologia amb un profund interès pel patrimoni cultural ha sigut una experiència increïblement gratificant. Els desafiaments trobats pel camí, des de l'equilibri entre la precisió històrica i les limitacions tècniques fins a la gestió del temps i recursos, han estat fonts valuoses d'aprenentatge personal i professional.

Aquest projecte també ha reforçat la meva convicció en el poder de la tecnologia com a eina per a la preservació i divulgació del patrimoni cultural, inspirant-me a continuar explorant aquest camp en el futur. La col·laboració amb experts de diferents disciplines ha estat particularment enriquidora, obrint els meus ulls a noves perspectives i possibilitats.

En resum, el projecte de visualització 3D de l'església de Sant Quirze de Pedret ha estat una aventura profundament enriquidora que ha deixat una empremta indeleble en el meu desenvolupament personal i professional, marcant un camí apassionant cap a futures exploracions en la intersecció de la tecnologia, l'història i l'educació.

## 12 Referències bibliogràfiques

### Referències

- [1] Turismo prerromànic. San Quirico de Pedret. <https://www.turismo-prerromanico.com/wp-content/uploads/2016/06/MSQUIRCEG2.jpg>. Consulta en línia: 27/02/2024.
- [2] Viquipèdia - Església de Sant Quirze de Pedret. [https://ca.wikipedia.org/wiki/Sant\\_Quirze\\_de\\_Pedret](https://ca.wikipedia.org/wiki/Sant_Quirze_de_Pedret). Consulta en línia: 27/02/2024.
- [3] Wikipedia WebGL. <https://es.wikipedia.org/wiki/WebGL>. Consulta en línia: 27/02/2024.
- [4] Three.js. <https://threejs.org>. Consulta en línia: 27/02/2024.
- [5] TerriaJS Website. <https://terria.io>. Consulta en línia: 28/02/2024.
- [6] Cesium Website. <https://cesium.com>. Consulta en línia: 29/02/2024.
- [7] JavaScript. <https://developer.mozilla.org/es/docs/Web/JavaScript>. Consulta en línia: 27/02/2024.
- [8] React Website. <https://es.react.dev>. Consulta en línia: 29/02/2024.
- [9] Angular Website. <https://angular.io>. Consulta en línia: 29/02/2024.
- [10] CesiumJS Website. <https://cesium.com/platform/cesiumjs/>. Consulta en línia: 29/02/2024.
- [11] GeoJSON <https://geojson.org>. Consulta en línia: 29/02/2024.
- [12] WMS. [https://es.wikipedia.org/wiki/Web\\_Map\\_Service](https://es.wikipedia.org/wiki/Web_Map_Service). Consulta en línia: 29/02/2024.
- [13] KML. <https://es.wikipedia.org/wiki/KML>. Consulta en línia: 29/02/2024.
- [14] Overleaf. <https://es.overleaf.com>. Consulta en línia: 27/02/2024.
- [15] GanttProject <https://www.ganttproject.biz>. Consulta en línia: 27/02/2024.
- [16] VisualStudioCode. <https://code.visualstudio.com>. Consulta en línia: 27/02/2024.
- [17] Linux. <https://es.wikipedia.org/wiki/GNU/Linux>. Consulta en línia: 27/02/2024.
- [18] Github. <https://github.com>. Consulta en línia: 27/02/2024.
- [19] Git. <https://git-scm.com>. Consulta en línia: 27/02/2024.

- [20] Eina per a la generació d'imatges físicament acurada de models 3D de patrimoni cultural <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/378168>. Consulta en línia: 27/03/2024.
- [21] Exploració Interactiva de Models de Patrimoni Cultural <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/356736>. Consulta en línia: 27/03/2024.
- [22] DISSENY I GESTIÓ D'UNA APP PER LA GESTIÓ D'ANIME <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/406006>. Consulta en línia: 27/03/2024.
- [23] EHEM. Enhancement of Heritage Experiences. <https://ehemproject.eu>. Consulta en línia: 27/02/2024.
- [24] React Components <https://react-bootstrap.netlify.app/docs/components/cards>. Consulta en línia: 27/02/2024.
- [25] CesiumIon Website. <https://cesium.com/platform/cesium-ion/>. Consulta en línia: 27/02/2024.
- [26] Annotorious Website. <https://annotorious.github.io>. Consulta en línia: 27/02/2024.
- [27] React Bootstrap Website. <https://ehemproject.eu>. Consulta en línia: 27/02/2024.
- [28] Realitat Virtual. [https://es.wikipedia.org/wiki/Realidad\\_virtual](https://es.wikipedia.org/wiki/Realidad_virtual). Consulta en línia: 27/02/2024.
- [29] Agile <https://www.atlassian.com/agile>. Consulta en línia: 27/02/2024.
- [30] Scrum <https://www.arimetrics.com/glosario-digital/scrum>. Consulta en línia: 27/02/2024.
- [31] Glassdoor. Sueldo: Jefe De Proyecto (Marzo, 2024). [https://www.glassdoor.es/Sueldos/jefe-de-proyecto-sueldo-SRCH\\_K00,16.htm](https://www.glassdoor.es/Sueldos/jefe-de-proyecto-sueldo-SRCH_K00,16.htm). Consulta en línia: 9/03/2024.
- [32] Glassdoor. Sueldo: Programador (Marzo, 2024). [https://www.glassdoor.es/Sueldos/programador-sueldo-SRCH\\_K00,11.htm](https://www.glassdoor.es/Sueldos/programador-sueldo-SRCH_K00,11.htm). Consulta en línia: 9/03/2024.
- [33] Glassdoor. Sueldo: Software Tester (Marzo, 2024). [https://www.glassdoor.es/Sueldos/software-tester-sueldo-SRCH\\_K00,15.htm](https://www.glassdoor.es/Sueldos/software-tester-sueldo-SRCH_K00,15.htm). Consulta en línia: 9/03/2024.
- [34] Aurea co-working. Precios Coworking Barcelona. <https://www.aureacoworking.com/ca/precios-coworking/>. Consulta en línia: 9/03/2024.
- [35] Ministerio de España. Calculo de emisiones - 2011. [https://www.miteco.gob.es/es/ceneam/programas-de-educacion-ambiental/hogares-verdes/2011%20-%202016%20Calculo%20de%20emisiones%20HV2011\\_tcm30-171463.pdf](https://www.miteco.gob.es/es/ceneam/programas-de-educacion-ambiental/hogares-verdes/2011%20-%202016%20Calculo%20de%20emisiones%20HV2011_tcm30-171463.pdf). Consulta en línia: 9/03/2024.

## **13 Glossari**

**GEP** Gestió de Projectes.

**TFG** Treball de Fi de Grau.

**UPC** Universitat Politècnica de Catalunya.