

# Disseny e implementació d'una aplicació d'identificació de cims amb realitat augmentada

The logo of the Universitat Oberta de Catalunya (UOC), consisting of the letters 'UOC' in a stylized, bold, blue font.

Jordi Raya Lapuente

Màster universitari  
d'Enginyeria Informàtica

Serveis basats en localització  
i espais intel·ligents

**Tutor/a de TF**

Anna Muñoz Bollas

**Professor/a responsable de  
l'assignatura**

Antoni Pérez Navarro

Universitat Oberta  
de Catalunya

---

Data Lliurament: 23/01/2023



Aquesta obra està subjecta a una llicència de [Reconeixement-NoComercial-SenseObraDerivada 3.0 Espanya de Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/)

**FITXA DEL TREBALL FINAL**

<b>Títol del treball:</b>	<i>Disseny e implementació d'una aplicació d'identificació de cims amb realitat augmentada</i>
<b>Nom de l'autor:</b>	<i>Jordi Raya Lapuente</i>
<b>Nom del consultor/a:</b>	<i>Anna Muñoz Bollas</i>
<b>Nom del PRA:</b>	<i>Antoni Pérez Navarro</i>
<b>Data de lliurament (mm/aaaa):</b>	<i>01/2023</i>
<b>Titulació o programa:</b>	<i>Màster universitari d'Enginyeria Informàtica</i>
<b>Àrea del Treball Final:</b>	<i>Serveis basats en localització i espais intel·ligents</i>
<b>Idioma del treball:</b>	<i>Català</i>
<b>Paraules clau</b>	<i>GIS, Augmented Reality, mountains,</i>

**Resum del Treball**

En els darrers anys les activitats als espais naturals han experimentat un increment de popularitat entre la població general. Aquest increment ha comportat conseqüències negatives, com un augment en el nombre d'accidents o les derivades de la massificació.

Pel que fa a la tecnologia, la popularització dels aparells receptors de GPS i els *smartphones* han posat a l'abast dels usuaris diverses utilitats, entre les que quals trobem les aplicacions d'identificació de pics mitjançant realitat augmentada. Malauradament, en el seu estat actual, considerem que no s'exploten prou les seves possibilitats i no deixen de ser simples curiositats.

El propòsit del present TFM consisteix en l'elaboració d'un visor de realitat augmentada que no es limiti a mostrar la informació geogràfica, sinó que aquesta es mostri degudament organitzada i categoritzada per tal que esdevingui d'utilitat. També es mostrarà informació complementària, en funció de les fonts disponibles, amb la finalitat de facilitar un accés més sostenible i racional als espais naturals.

El desenvolupament del programari permetrà experimentar les possibilitats d'utilitzar diverses fonts de dades i comprovar la seva representació en realitat augmentada sobre una base geogràfica.

## **Abstract**

In recent years, outdoor activities have experienced an increase in popularity among the public. This increase has had negative consequences, such as an increase in the number of accidents or those resulting from overcrowding.

Regarding technology, the popularization of GPS receiver devices and smartphones have made several utilities available to users, among which we find peak identification applications using augmented reality. Unfortunately, in its current state, we consider that its possibilities are not sufficiently exploited and remain as simple curiosities.

The purpose of this TFM consists in the development of an augmented reality viewer that will not be limited to showing geographic information, but that it will be shown properly organized and categorized so that it becomes useful. Complementary information will also be shown, depending on the available sources, to facilitate a more sustainable and rational access to natural spaces.

The development of the software will allow experimenting with the possibilities of using diverse data sources and checking their representation in augmented reality on a geographical basis.

# Índex

1.	Introducció.....	1
1.1.	Context i justificació del Treball.....	1
1.2.	Motivació del Treball .....	6
1.3.	Objectius del Treball.....	7
1.3.1.	Hipòtesi o objectiu principal .....	7
1.3.2.	Objectius parcials (preguntes d'investigació).....	7
1.4.	Impacte en sostenibilitat, ètic-social i de diversitat.....	8
1.4.1.	Sostenibilitat .....	8
1.4.2.	Comportament ètic i de responsabilitat social (RS) .....	9
1.4.3.	Diversitat, gènere i drets humans .....	9
1.4.4.	Altres .....	9
1.5.	Enfocament i mètode seguit.....	10
1.6.	Planificació del Treball .....	12
1.7.	Breu sumari de productes obtinguts.....	15
1.8.	Breu descripció dels altres capítols de la memòria .....	15
2.	Materials i mètodes .....	16
2.1.	Estat de l'art .....	16
2.1.1.	Definició i característiques de la realitat augmentada ( <i>Augmented Reality, AR</i> ).....	16
2.1.2.	Modalitats de realitat augmentada.....	19
2.1.3.	La realitat augmentada i els SIG.....	23
2.1.4.	Aplicacions de realitat augmentada d'identificació de cims .....	29
2.2.	Programari .....	35
2.2.1.	Consideracions sobre les opcions de desenvolupament.....	35
2.2.2.	Unity .....	42
2.2.3.	Vuforia .....	43
2.2.4.	AR + GPS Location .....	44
2.2.5.	Git, Github i Gitflow.....	45
2.2.6.	Configuració de l'entorn de desenvolupament.....	46
2.3.	Fonts de dades .....	52
2.4.	Disseny .....	53
2.5.	Implementació.....	54
3.	Resultats.....	59
3.1.	Valoració general .....	59
3.2.	Proves de compatibilitat .....	61
3.3.	Proves d'usuari .....	61
4.	Conclusions i treballs futurs .....	62
5.1.	Conclusions.....	62
5.2.	Assoliment d'objectius.....	63
5.3.	Planificació i metodologia.....	63
5.4.	Impactes previstos .....	64
5.5.	Impactes no previstos .....	64
5.6.	Línies de treball futur.....	64
5.	Glossari.....	66
6.	Bibliografia .....	67

7. Annexos .....	70
8.1. Instal·lació en dispositius Android .....	70

# Llista de figures

Figura 1: Rescats de muntanya per any. Font: Generalitat de Catalunya. Departament d'Interior.....	2
Figura 2: Llicències FEEC per sexe. Font: elaboració pròpia a partir de les dades de l'Institut d'estadística de Catalunya.....	3
Figura 3: Aplicació PeakFinder per escriptori. Font: PeakFinder per web .....	4
Figura 4: Aplicació PeakVisor per escriptori. Font: PeakVisor per web .....	4
Figura 5: Composició d'exemple dels usos de la Toponímia de l'ICGC. Font: ICGC .....	5
Figura 6: Diagrama del model de desenvolupament en cascada. Font: Wikipedia.....	11
Figura 7: Diagrama de Gantt amb la planificació temporal del TFM.....	14
Figura 8: Comparació de realitat virtual i realitat augmentada. Font: Doerner <i>et al.</i> [9] .....	17
Figura 9: Continu de realitat mixta. Font: Milgram i Kishino [7] .....	17
Figura 10: Diferències de perspectiva en un dispositiu mòbil. Font: Dickmann <i>et al.</i> [11] .....	18
Figura 11: Diferències de camp de visió en un HDM. Font: Dickmann <i>et al.</i> [11] .....	19
Figura 12: Exemple de realitat augmentada basada en marcadors, on la portada del llibre s'utilitza com a marcador per determinar la posició del model. Font: elaboració pròpia mitjançant Unity, Vuforia i un model 3D provinent de la Unity Asset Store.....	20
Figura 13: Exemple de realitat augmentada basada en localització, on el "pokémon" es mostra en una ubicació geogràfica determinada. Font: Pokémon GO.....	21
Figura 14: Dispositiu Google Glass per la realitat augmentada basada en projeccions. La imatge correspon a la darrera versió. Font: Google Glass. ....	21
Figura 15: Exemple de realitat augmentada per sobreimposició d'objectes a la porta monumental de Carnuntum (Àustria). Font: Wikipedia.....	22
Figura 16: Aplicació de "mapa augmentat" que amplia la informació d'un mapa de paper. Font: Gordon. [14].....	24
Figura 17: OS demonstrator. Font: Hughes <i>et al.</i> [10].....	25
Figura 18: ARVino. Font: King <i>et al.</i> [13].....	26
Figura 19: Auguroscope. Font: Hughes <i>et al.</i> [10].....	26
Figura 20: ARGIS. Font: Hughes <i>et al.</i> [10].....	27
Figura 21: Demostració de vGIS on la capa de realitat augmentada mostra les infraestructures per a una construcció <i>in situ</i> . Font: vGIS .....	28
Figura 22: Demostració de Trimble SiteVision que mostra infraestructures subterrànies invisibles a simple vista. Font: SiteVision .....	28
Figura 23: Captura de l'extinta Peak AR 2.0. Font: Softonic .....	30
Figura 24: Demostració de PeakFinder mòbil. Font: PeakFinder .....	31
Figura 25: Demostració de PeakVisor mòbil, on a més dels cims identificats i la seva alçada s'observen rutes i la icona que representa un refugi. Font: PeakVisor .....	32
Figura 26: Demostració de PeakLens. Font: PeakLens .....	33
Figura 27: Demostració de Peakview. Font: Peakview .....	34

Figura 28: Interfície de Layar per a una aplicació turística. Font: Wojciechowski [18] .....	37
Figura 29: Interfície de Wikitude. Font: Wojciechowski [18] .....	38
Figura 30: Interfície de AuGeo. Font: AuGeo .....	39
Figura 31: Diagrama de Gitflow. Font: Gitflow .....	46
Figura 32: Selecció d'editor Unity a Unity Hub. ....	47
Figura 33: Creació de llicència per Vuforia.....	47
Figura 34: Creació de projecte a Unity Hub.....	48
Figura 35: Configuració de Vuforia a Unity.....	49
Figura 36: Configuració d'exportació Android a Unity .....	50
Figura 37: Creació de claus ECDSA .....	51
Figura 38: Registre de claus a Github .....	51
Figura 39: Vista a QGIS dels 100 cims a la vall de Núria sobre un mapa de OpenStreetMap .....	52
Figura 40: Diagrama de casos d'ús.....	53
Figura 41: Esquema de funcionament.....	53
Figura 42: Directoris de l'aplicació.....	54
Figura 43: Edició de la pantalla d'inici .....	54
Figura 44: Detall del elements lògics i gràfics del marcador de cims .....	55
Figura 45: Propietats d'un objecte posicionador, amb les dades de posició d'un cim insertades manualment.....	56
Figura 46: Exemple d'arxiu XML amb les dades dels cims .....	57
Figura 47: Prova de interfície d'usuari amb la càmera de l'ordinador.....	57
Figura 47: Configuració de l'script de interfície de GPS i brúixola.....	58
Figura 49: Pantalla d'inici de l'aplicació .....	59
Figura 50: Escena de cims .....	59
Figura 51: Escena de refugi (l'hotel no és un refugi, es mostra només a efectes demostratius) .....	60
Figura 52: Escena de altres.....	60



# 1. Introducció

## 1.1. Context i justificació del Treball

L'excursionisme com a pràctica col·lectiva a Catalunya neix a finals del s.XIX sota la influència de diverses tendències esportives i culturals que fomentaven el desig de conèixer, estudiar i estimar la pròpia terra [1]. Destaca la importància de la Renaixença, la qual assumia dos corrents europeus de gran transcendència: el Nacionalisme i el Romanticisme. Com indica el seu nom, la Renaixença tenia l'objectiu de fer renéixer la llengua i la cultura catalanes després de segles de decadència, amb l'exaltació de la natura d'arrel romàntica com a element constituent.

Aquestes circumstàncies originals estableixen unes diferències fonamentals amb l'excursionisme i alpinisme europeus [2]. Així, ja des dels inicis, l'excursionisme català no apareix com un esport més, sinó que es lliga a inquietuds culturals, científiques i polítiques. L'excursionisme va atreure l'atenció de geòlegs, historiadors, botànics, geògrafs, folkloristes i arqueòlegs, entre d'altres. Afectà a tots els grups i classes socials, s'estengué per totes les ciutats i comarques del Principat i és prou coneguda la seva rellevància en èpoques de dictadures com element d'oposició, educació cultural i evolució política i social.

També cal destacar que a partir dels anys 60 del passat segle, amb el desenvolupament i el consumisme generalitzat, l'ús del vehicle privat, l'extensió del turisme i l'especulació urbanística consegüent, les diferents associacions excursionistes van mantenir una posició de defensa de la cultura i el patrimoni que, en certa manera, s'oposaven a les tendències de l'època.

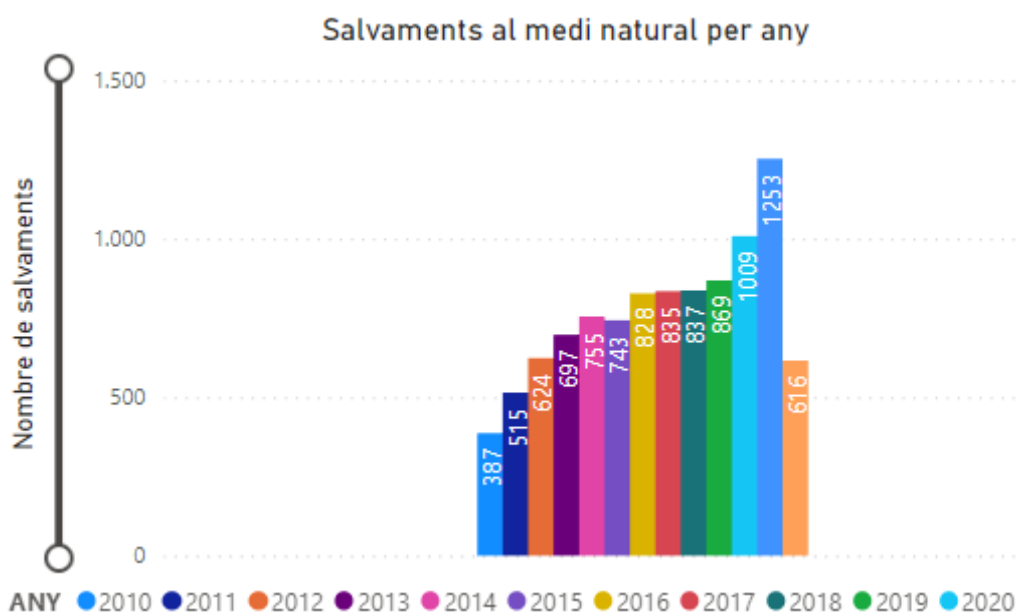
En el context actual, en l'àmbit de l'esport federat, l'excursionisme i activitats associades mostren unes xifres aparentment prou bones en relació amb altres esports. L'any 2021, el nombre de llicències emeses per la FEEC (Federació d'Entitats Excursionistes de Catalunya) [3] que agrupa les 419 entitats excursionistes del país va ser de 42.479. Aquestes xifres el situen en tercera posició després del futbol amb 87.983 i del basquetbol amb 45.226.

Malgrat aquestes xifres, es pot afirmar que l'excursionisme dels nostres dies experimenta un moment de crisi. Un seguit de llibres [4] i articles d'opinió publicats tant a la premsa generalista com a les revistes esportives incideixen en diversos elements: la crisi dels clubs i esports que eren el planter de futurs excursionistes, la competència d'un gran nombre d'activitats de muntanya molt populars però simplement esportives i competitives desconnectades de les inquietuds culturals i científiques pròpies dels orígens de l'excursionisme, o la gran extensió del vehicle privat que permet realitzar aquestes activitats.

En aquest sentit cal considerar que les xifres de llicències emeses per la FEEC no ofereixen una perspectiva completa de la situació. Així, la llicència és necessària per tal de participar en competicions i obtenir l'assegurança

esportiva, però no il·lustra el possible volum de persones aficionades a les diverses activitats de muntanya. Tal com hem assenyalat anteriorment, l'extensió del vehicle privat i altres factors, com la popularització de Internet, els receptors de GPS i els *smartphones* possibiliten la pràctica excursionista al marge de clubs i federacions.

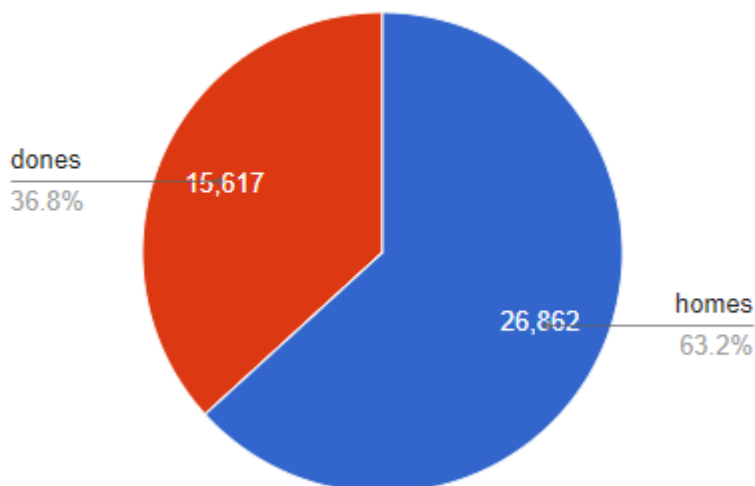
Com és prou conegut, aquest volum de persones que accedeixen a les muntanyes, especialment durant els períodes vacacionals, planteja problemes de sostenibilitat, incivisme i degradació del medi. A més, com sovint aquestes activitats es realitzen sense uns mínims de planificació i preparació com els que proporcionaven les entitats excursionistes d'antuvi, es constata que el nombre d'accidents a la muntanya va augmentant cada any [5].



**Figura 1:** Rescats de muntanya per any. Font: Generalitat de Catalunya. Departament d'Interior.

També cal considerar que de les 42.479 llicències emeses per la FEEC, 26.862 corresponen a homes (63,23%) i 15.617 (36,76%) a dones. Les xifres resulten una mica més igualitàries en comparació al nombre total de llicències per a tots els esports federats en el context català (72,70% i 27,30% per a homes i dones respectivament). En tot cas, si aquests percentatges són extrapolables a les persones que practiquen activitats de muntanya sense disposar de la llicència federativa, ens trobem en un àmbit en el qual no s'ha assolit una completa igualtat.

Llicències FEEC per sexe



**Figura 2:** Llicències FEEC per sexe. Font: elaboració pròpia a partir de les dades de l'Institut d'estadística de Catalunya.

En aquest context considerem que l'ús de tecnologies prou esteses entre la població, com els dispositius mòbils connectats a Internet i els aparells receptors de GPS, pot esdevenir una oportunitat per capgirar aquestes tendències i contribuir a un ús més segur i racional dels espais naturals. Evidentment no es tractaria d'intentar l'anacronisme utòpic de recuperar l'esperit dels primers excursionistes del s.XIX, sinó de facilitar la pràctica esportiva amb les consideracions i sensibilitats del s.XXI.

En l'aspecte tècnic, si bé existeixen diverses aplicacions per *smartphones* que poden cobrir les necessitats de cartografia i seguretat, considerem que no s'ha desenvolupat prou en aquest camp les possibilitats de la realitat augmentada o *augmented reality* (AR).

Si bé existeixen aplicacions d'AR orientades a la identificació de muntanyes, com [PeakFinder](#), [Peakview](#), o [PeakVisor](#), aquestes no resulten completament satisfactòries per als propòsits declarats. Les aplicacions esmentades pràcticament només serveixen per la identificació de pics, sense mostrar la rellevància de cada un d'ells ni gairebé cap altra informació d'interès, per la qual cosa no deixen de ser una curiositat amb un ús ocasional i limitat. A més, moltes d'aquestes aplicacions són de pagament o requereixen subscripció per accedir a determinades funcionalitats.

Per exemple, tal com observem a continuació, l'aplicació [PeakFinder](#), que possiblement sigui la més popular d'aquest tipus en aquests moments (octubre de 2022), es limita a mostrar els cims i la seva altitud. Però aquests cims no estan categoritzats per distància des del punt d'observació, ni per importància ni per cap altre criteri, a més de no mostrar cap altra informació que es pugui considerar d'interès:

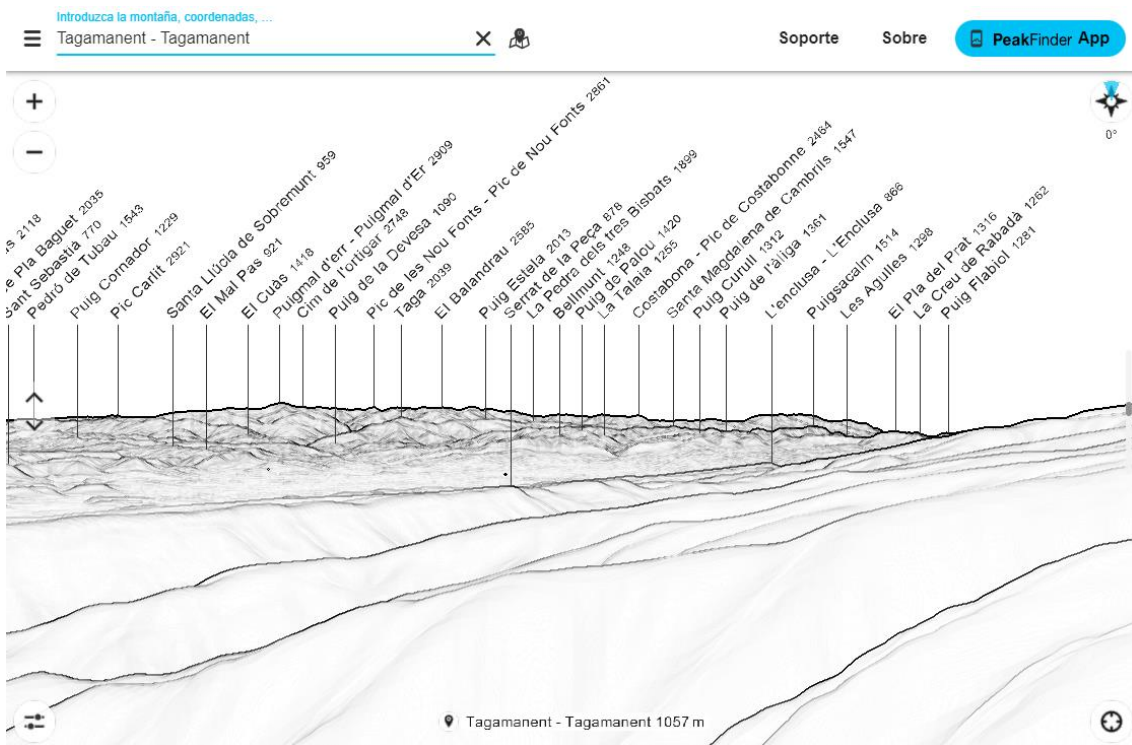


Figura 3: Aplicació PeakFinder per escriptori. Font: [PeakFinder](#) per web

En el cas de l'aplicació [PeakVisor](#) es mostren icones per representar punts d'interès com refugis o castells, a més de fotografies i mapes, però novament la informació dels cims segueix sent bàsica i es mostra sense cap categorització ni indicació de rellevància:

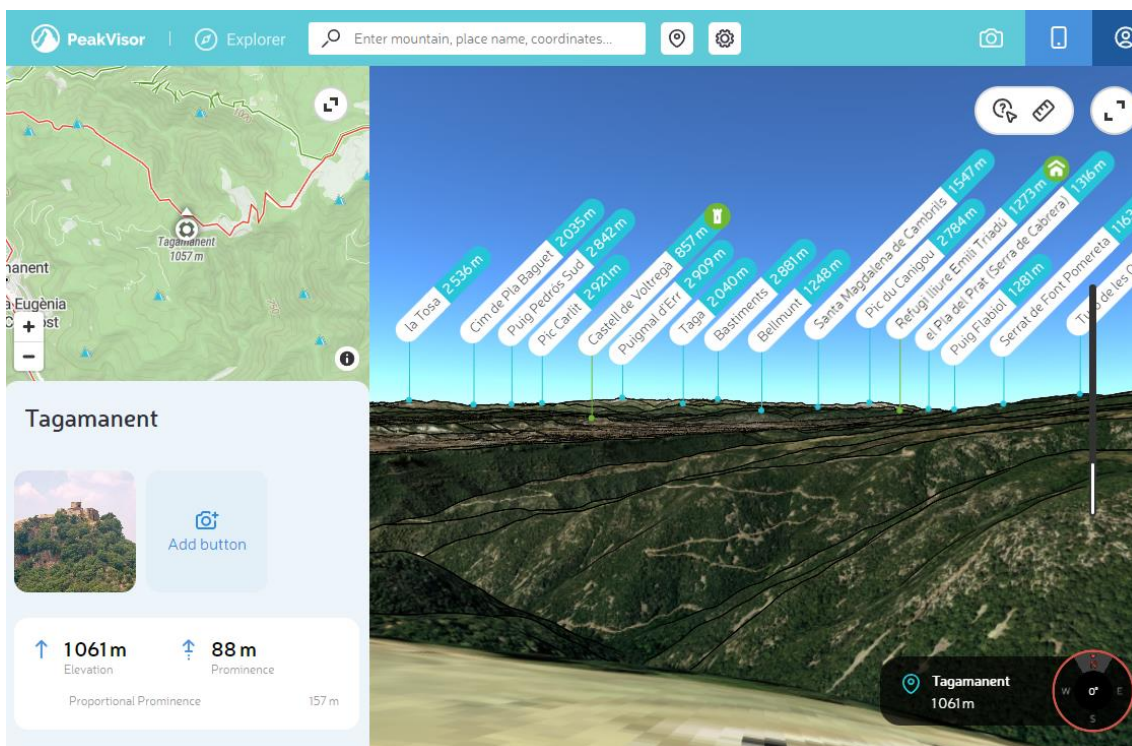


Figura 4: Aplicació PeakVisor per escriptori. Font: [PeakVisor](#) per web



Per tant, el propòsit del present TFM consisteix en el desenvolupament d'un Sistema de Informació Geogràfica (SIG) que permeti el seu ús com a visor de realitat augmentada per part de dispositius portàtils com *smartphones* o d'altres menys estesos, com els anomenats *wearables*, entre els quals estarien les ulleres intel·ligents (*smartglasses*).

Aquest sistema mostrarà informació rellevant sobre l'entorn, correctament ordenada i jerarquitzada, de manera que el seu ús es pugui considerar d'interès.

La informació serà proveïda per fonts obertes, com [OpenStreetMap](#) o les de l'[Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya](#).

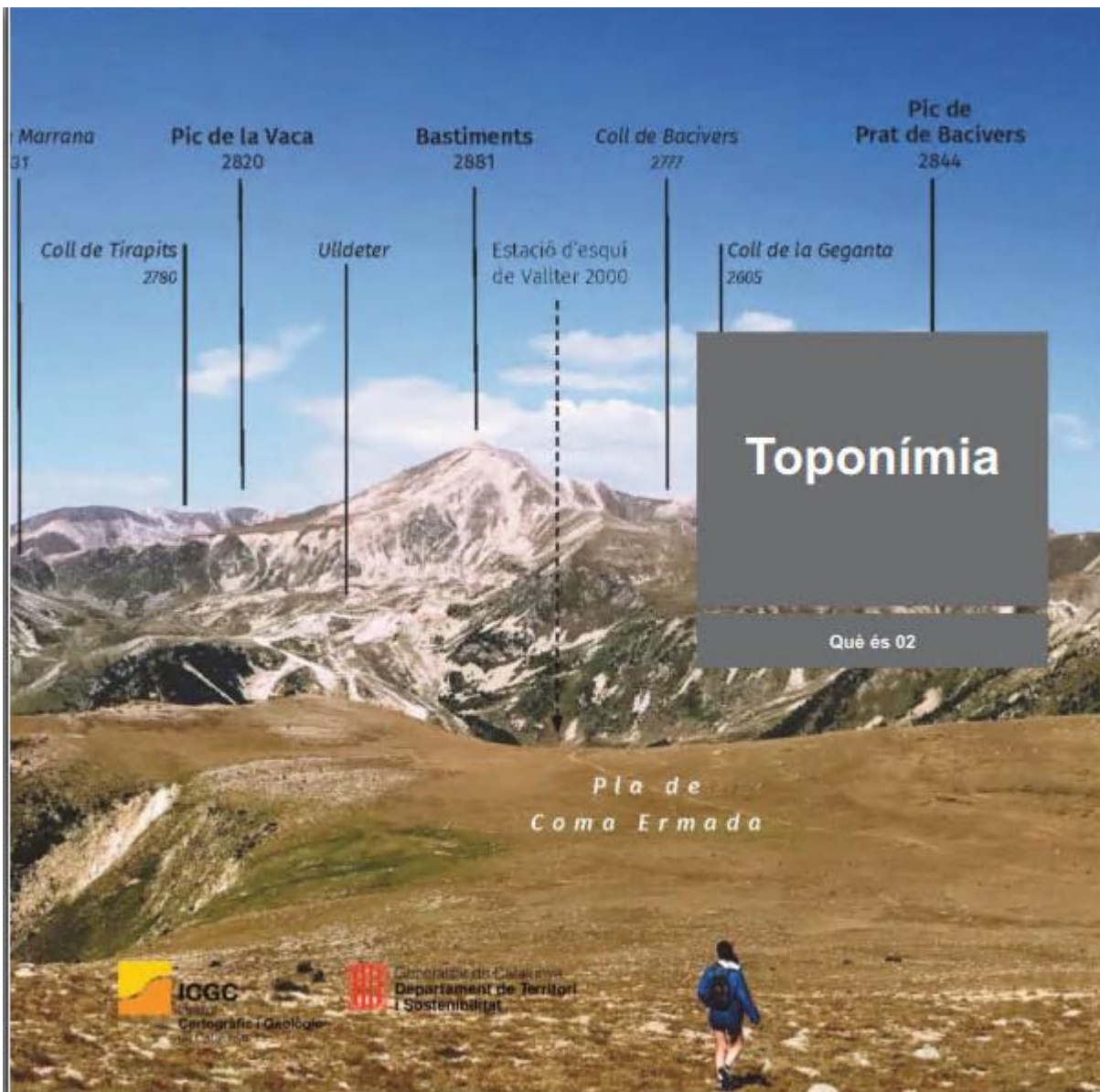


Figura 5: Composició d'exemple dels usos de la Toponímia de l'ICGC. Font: [ICGC](#)

## 1.2. Motivació del Treball

En els darrers anys és inqüestionable com l'extensió de la cartografia digital mitjançant l'ús d'*smartphones* entre la població general ha millorat sensiblement la facilitat amb la que es realitzen tasques quotidianes, com els desplaçaments en automòbil o l'orientació en entorns urbans. En pocs temps objectes abans tan habituals com els mapes de carreteres i les guies urbanes han passat a ser relíquies del passat.

En el cas de l'excursionisme, els dispositius receptors de GPS i la cartografia digital han facilitat i impulsat l'accés als espais naturals, però considerem que cal anar una mica més enllà per tal d'obtenir informació útil i rellevant a la muntanya.

El concepte d'utilitat aquí s'ha d'entendre en el seu sentit més ampli: evidentment és útil saber la localització d'un refugi en cas de tempesta, però també ho és mostrar la toponímia correcta o mostrar els efectes del canvi climàtic, com per exemple la constatable disminució dels glaciers en una sèrie històrica.

En el nostre cas personal, malgrat no haver cursat l'assignatura de *Sistemes d'Informació Geogràfica* ni disposar de cap experiència professional al respecte, la simple observació de l'ús dels SIGs a la vida quotidiana ens fa constatar les seves múltiples potencialitats. Creiem que aquestes potencialitats es poden multiplicar amb la combinació d'altres tecnologies com la realitat augmentada, que encara no sembla tan estesa a nivell popular.

En aquest sentit cal assenyalar que sorprèn que, malgrat que existeix la tecnologia necessària per a proporcionar experiències de realitat augmentada prou interessants, aquesta no s'hagi incorporat plenament a la nostra vida quotidiana. Per posar un exemple, el videojoc [Pokémon GO](#) va arribar a ser molt popular en el seu dia, però no sembla que hagi creat un gènere propi amb èxit ni que les empreses apostin pel desenvolupament de productes similars. Altres productes que semblaven molt prometedors, com els navegadors de realitat augmentada, pràcticament han desaparegut del mercat, i Google ha renunciat a comercialitzar les ulleres [Google Glass](#) al públic general.

Contràriament, la realitat augmentada apareix molt més normalitzada en àmbits professionals, com la medicina, la logística o l'arquitectura.

Probablement existeixen diverses explicacions per explicar aquesta situació, però en la nostra opinió una de les principals causes està en l'absència d'aplicacions orientades al públic general que puguin proporcionar informació útil i rellevant, tal com pretenem desenvolupar en el present treball.

Així, considerem la realització del present TFM una oportunitat per investigar en un camp que considerem interessant però del qual no disposem ni de coneixements ni d'experiència. Alhora, esperem que els possibles productes resultants puguin resultar útils per tal de permetre un ús de les muntanyes més racional, sostenible i igualitari.

### 1.3. Objectius del Treball

El present treball té com a objectiu principal el desenvolupament d'un programari que, utilitzant diverses fonts de dades, pugui presentar informació útil i acurada per a les activitats de muntanya sobre una base geogràfica.

Aquesta informació es podrà presentar en diversos dispositius, com ordinadors de sobretaula o *smartphones*, i es mostrarà degudament jerarquitzada i categoritzada, amb la finalitat que l'aplicació resultant sigui fàcil d'utilitzar, sobreposada a les imatges reals tal com és característic de la realitat augmentada.

La informació presentada es determinarà en funció de les fonts de dades disponibles. Per exemple, aquesta podria consistir en l'ús d'una toponímia correcta i ben categoritzada, la posició dels refugis, rutes, informació meteorològica, sèries històriques, accés amb transport públic, etc.

Les categories es poden establir segons diversos criteris, com l'altitud, la dificultat tècnica per assolir el cim o la importància històrica, i es poden mostrar de diferents maneres, com un ús d'uns tipus de lletra majors o menors en funció de la importància del cim, colors, etc.

Per tal de comprovar la facilitat d'ús de l'aplicació es duran a terme els tests d'usuari escaients, amb participants que no disposin de coneixements específics en la matèria i poca experiència en muntanya,

En els aspectes social i ecològic, esperem que el programari impulsi un ús més racional i sostenible del medi natural. Per exemple, la informació relativa al transport públic hauria d'incidir en la reducció del nombre de vehicles privats en circulació, la informació complerta per a l'accés i les rutes hauria de facilitar que aquest fos més igualitari a nivell de gènere i capacitats físiques.

#### 1.3.1. Hipòtesi o objectiu principal

L'objectiu principal consistirà en comprovar que és tècnicament possible la interacció amb diverses fonts de dades sota una base de informació geogràfica per tal d'obtenir la informació necessària amb la finalitat d'assolir els objectius indicats, i que aquesta es pot presentar de manera prou acurada i atractiva per a una persona usuària no especialitzada en els sistemes de informació geogràfica i sense una gran experiència en activitats de muntanya.

#### 1.3.2. Objectius parcials (preguntes d'investigació)

L'assoliment de l'objectiu esmentat anteriorment implica la consecució d'una sèrie de fites parcials, les quals poden dividir-se en dos grups.

Per una banda estarien els objectius generals, que se'n deriven de les natura acadèmica d'un TFM en l'àmbit de les TIC.

Per altra banda estarien els propis d'aquest projecte, centrats en l'ús d'eines SIG, la realitat augmentada i els dispositius mòbils.

### Objectius generals

- Investigació i definició de l'estat de l'art de les tecnologies implicades
- Implementació del programari emprant les eines i metodologies escaients
- Documentació dels procediments i establiment de conclusions
- Elaboració d'una presentació de síntesi
- Defensa del projecte
- Publicar els productes generats al repositori de la UOC

### Objectius específics

- Aprenentatge del programari i eines implicades
- Determinació de les fonts de dades obertes
- Elaboració, transformació i manipulació de les dades
- Implementació de l'aplicatiu
- Implementació del sistema de visualització
- Realització de tests d'usuari

## 1.4. Impacte en sostenibilitat, ètic-social i de diversitat

En aquest apartat identificarem els possibles impactes del desenvolupament del present TFM en les dimensions de sostenibilitat, comportament ètic i de responsabilitat social (RS) i diversitat, gènere i drets humans.

### 1.4.1. Sostenibilitat

Esperem que els productes resultants d'aquest tinguin un impacte positiu principalment en l'[ODS 15](#) (*Life on land*). Considerem que oferir eines per tal d'accedir als espais naturals de manera informada i segura permetrà una millor conservació d'aquests, tal com es defineix en l'objectiu 15.4:

*15.4 By 2030, ensure the conservation of mountain ecosystems, including their biodiversity, in order to enhance their capacity to provide benefits that are essential for sustainable development*

Una de les finalitats del programari és oferir localitzacions de refugis i rutes que puguin contribuir a un turisme de muntanya sostenible i equilibrat. Aquest objectiu incidiria en l'[ODS 12](#) (*Responsible consumption and production*), concretament en el punt 12.B:

*12.B Develop and implement tools to monitor sustainable development impacts for sustainable tourism that creates jobs and promotes local culture and products*



També considerem un possible impacte positiu en l'[ODS 13](#) (*Climate action*) si, per exemple, es poden implementar determinades funcionalitats que mostrarien els efectes del canvi climàtic en sèries històriques, contribuint a la conscienciació sobre aquest tema segons es determina a l'objectiu 13.3:

*13.3 Improve education, awareness-raising and human and institutional capacity on climate change mitigation, adaptation, impact reduction and early warning*

Tot i aquestes possibles impactes positius, cal assenyalar que no serien inherents a la pròpia aplicació, sinó que dependria de les actuacions de les persones usuàries. En aquest sentit, l'únic que pot fer l'aplicació és oferir la informació rellevant per la consecució d'aquests objectius.

#### 1.4.2. Comportament ètic i de responsabilitat social (RS)

Considerem que la realització del present TFM no tindrà cap impacte, ni positiu ni negatiu, en aquesta àrea. La informació que s'oferirà provindrà de fonts obertes, per tant els possibles poc ètics que puguin produir-se en base a aquesta no serien imputables al mitjà pel qual s'accedeix. No es preveu cap possible ús fraudulent ni impacte sensible en llocs de treball.

#### 1.4.3. Diversitat, gènere i drets humans

Com hem assenyalat anteriorment, segons les xifres de llicències esportives, el món de les activitats de muntanya encara no ha assolit una participació igualitària per gènere. Esperem que facilitar la informació necessària per la planificació i realització d'aquestes activitats contribueixi a reduir aquesta distància, tal com estableix l'[ODS 5](#) (*Gender equality*) però novament, com en el cas dels impactes a la sostenibilitat, això dependrà dels usuaris.

En tot cas, si el programari disposa d'una interfície personalitzable, es dissenyarà aquesta atenent als criteris de usabilitat i accessibilitat que permetin ser utilitzada fàcilment per al major nombre possible de persones.

#### 1.4.4. Altres

Malgrat que no es classifiqui en cap de les tres dimensions esmentades anteriorment, cal considerar que l'objectiu del programari resultant és facilitar la realització amb confiança i seguretat d'activitats que es poden considerar esportives i saludables per a un públic més ampli que l'actual. Per tant, aquest objectiu encaixaria amb l'[ODS 3](#) (*Good Health and well-being*) que promou el benestar físic i mental, concretament amb el punt 3.4:

*3.4 By 2030, reduce by one third premature mortality from non-communicable diseases through prevention and treatment and promote mental health and well-being.*

## 1.5. Enfocament i mètode seguit

Seria impossible assolir els objectius assenyalats si s'hagués de desenvolupar tot el programari involucrat partint del no-res. Es considera l'estratègia de desenvolupar un visualitzador geogràfic adaptat a un GIS existent al qual poder afegir les dades geogràfiques, sobre el qual s'implementaran les capes de dades necessàries pel funcionament de l'aplicació.

Pel que fa a la visualització de la capa de realitat augmentada s'utilitzaran les eines que proporcionin el SIG, si és possible. Si no fos el cas es desenvoluparà l'aplicació escaient.

Una aproximació alternativa consistiria en començar pel desenvolupament d'una aplicació mòbil en Android que es connectés a les diverses fonts de dades i mostrés la informació *on-demand*.

Existeixen altres opcions, com l'ús de llibreries JavaScript que permeten la creació d'aplicacions de realitat augmentada que poden funcionar directament en el navegador sense la necessitat d'instal·lar aplicacions, o l'ús de motors de videojocs com Unity.

Com desconeixem les possibilitats, avantatges i inconvenients de cada proposta, es dedicarà la primera fase del disseny a estudiar cada opció i comentar les conclusions per tal d'efectuar una tria raonablement justificada.

Pel que fa a la metodologia, considerem que les anomenades metodologies àgils (XP, *Scrum*, etc.), malgrat la seva popularitat en l'entorn empresarial, no resulten les més adients per a un TFM, pels següents motius:

En primer lloc les metodologies àgils van néixer per resoldre problemes específics de la indústria del desenvolupament de programari. Els principals problemes serien la desviació de cost i temps dels projecte i la necessitat de desenvolupar prototipus i productes tangibles per als clients amb la major celeritat possible. Òbviament, aquest problemes no són presents en els treballs acadèmics.

En segon lloc cal considerar perquè aquestes metodologies estan fonamentalment orientades a equips. Idealment aquests equips han de ser petits, formats per experts, i amb rols individuals ben determinats. Aquest fet no s'escau en el cas d'un treball individual, i a més hem de considerar que en molts casos un treball d'aquest tipus serà la primera experiència en les tecnologies involucrades.

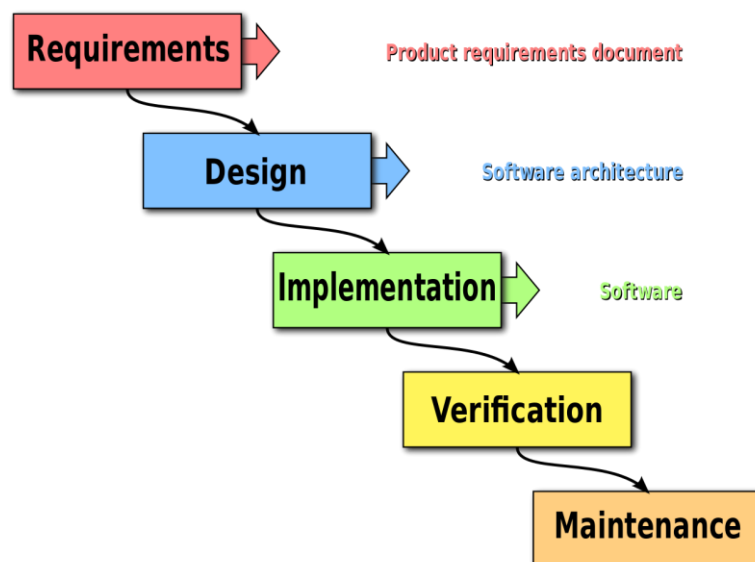
Finalment, aquestes metodologies tendeixen a eliminar o substituir la documentació per tal d'accelerar les entregues. Evidentment, la documentació és el principal producte d'un TFM o de qualsevol altre treball acadèmic de la qual no podem prescindir.

Així, seguirem la clàssica metodologia de desenvolupament en cascada (*waterfall model*). Aquesta metodologia sovint ha estat criticada per la seva

lentitud i pel risc de manca de control de l'estat real del desenvolupament. També es pot considerar que ha estat superada per opcions no àgils més recents, com RUP (*Rational Unified Process*), la qual descartarem per basar-se en fases iteratives que no s'adeqüen als condicionants d'un TFM, a més de dependre de la elaboració de casos d'ús que no definirem per considerar-los innecessaris a causa de les interaccions senzilles que es preveuen

Aquesta metodologia divideix el desenvolupament en fases estrictament seqüencials ben establertes, amb uns productes documentals i de programari establerts al final de cadascuna d'elles, per la qual cosa considerem que és la més adient i segura per la conclusió amb èxit dins els terminis establerts, considerant que el producte és un treball acadèmic realitzat per una sola persona.

L'objectiu principal de la metodologia en cascada és minimitzar el solapament entre les diferents fases. Per això s'emfatitza la planificació i l'establiment de fites seqüencials i ordenades en el temps, de tal manera que creiem que ens ajudarà a evitar l'eventual dispersió que es podria produir a causa de la necessitat de la investigació.



**Figura 6:** Diagrama del model de desenvolupament en cascada. Font: [Wikipedia](https://en.wikipedia.org/wiki/Waterfall_model)

En el cas del present TFM considerem que a la primera fase de presa de requeriments s'inclouen l'abast del treball i l'estudi previ de les tecnologies necessàries pel desenvolupament, i que la fase final de manteniment correspondrà a l'elaboració de la memòria final.

Cal afegir que aquesta metodologia és fonamentalment lineal, però preveu la possibilitat de tornar enrere en les etapes. Així, preveiem tornar a l'etapa de implementació des de la de proves en cas de que apareguin errors, o des de la de redacció de la memòria si apareguessin noves idees per implementar i el temps ho permetés.

Amb aquestes petites adaptacions considerem que una metodologia tan provada i coneguda com el desenvolupament en cascada es pot adaptar perfectament a les presents circumstàncies.

## 1.6. Planificació del Treball

Per la realització del present TFM s'empraran els següents recursos:

### Programari:

- Motor de videojocs Unity 2021.3.15f1 LTS
- Vuforia 9.8.13 (extensió per Unity)
- AR + GPS 3.8.0 (llibreria per Unity)
- Microsoft Visual Studio 2019 com a IDE per la programació de scripts Unity en C#
- QGIS Desktop 3.22.12 LTR per la visualització de dades geogràfiques
- Git per al control de versions
- Sourcetree com a eina per a la visualització del repositori Git
- Microsoft Word, Project i Power Point, per la producció del text del TFM, el diagrama de Gantt amb la planificació i la presentació
- draw.io per diagrames i esquemes

### Maquinari:

- Per al desenvolupament: ordinador de sobretaula Intel Core i7-7700 3.60 GHz, 16 GB de RAM, dotat de tarja gràfica NVidia GeForce GTX 1080 8 GB de RAM i amb Windows 10 Pro 64 bit
- Per a les proves de l'aplicació mòbil: *Smartphone* Samsung Galaxy XCover Pro, amb CPU 2.3 GHz, 4 GB RAM i 64 GB d'emmagatzematge, resolució 1080 x 2340, IP 68, i amb Android 12

La realització del treball es divideix en quatre fases, segons la planificació de les proves d'avaluació continua del present semestre (tardor 2022 – 2023)

### PAC 1 Definició i planificació del treball

- Establiment del tema
- Títol, resum i paraules clau
- Justificacions, motivacions i ODS
- Objectius i abast
- Metodologia
- Planificació

### PAC 2 Estat de l'art o anàlisi de mercat

- Lectura dels materials de SIG
- Anàlisi de l'estat de l'art en SIG
- Anàlisi de l'estat de l'art en AR
- Modificacions de la proposta inicial
- Localització de fonts de dades

- Selecció de tecnologies i eines

### PAC 3 Disseny e implementació del treball

- Preparació de l'entorn de desenvolupament
- Especificació de requeriments
- Disseny
- Implementació

### PAC 4 Lliurament final

- Proves
- Tests d'usuari
- Establiment de conclusions
- Redacció de la memòria
- Elaboració de la presentació
- Realització del vídeo de presentació
- Pujada al repositori de la UOC

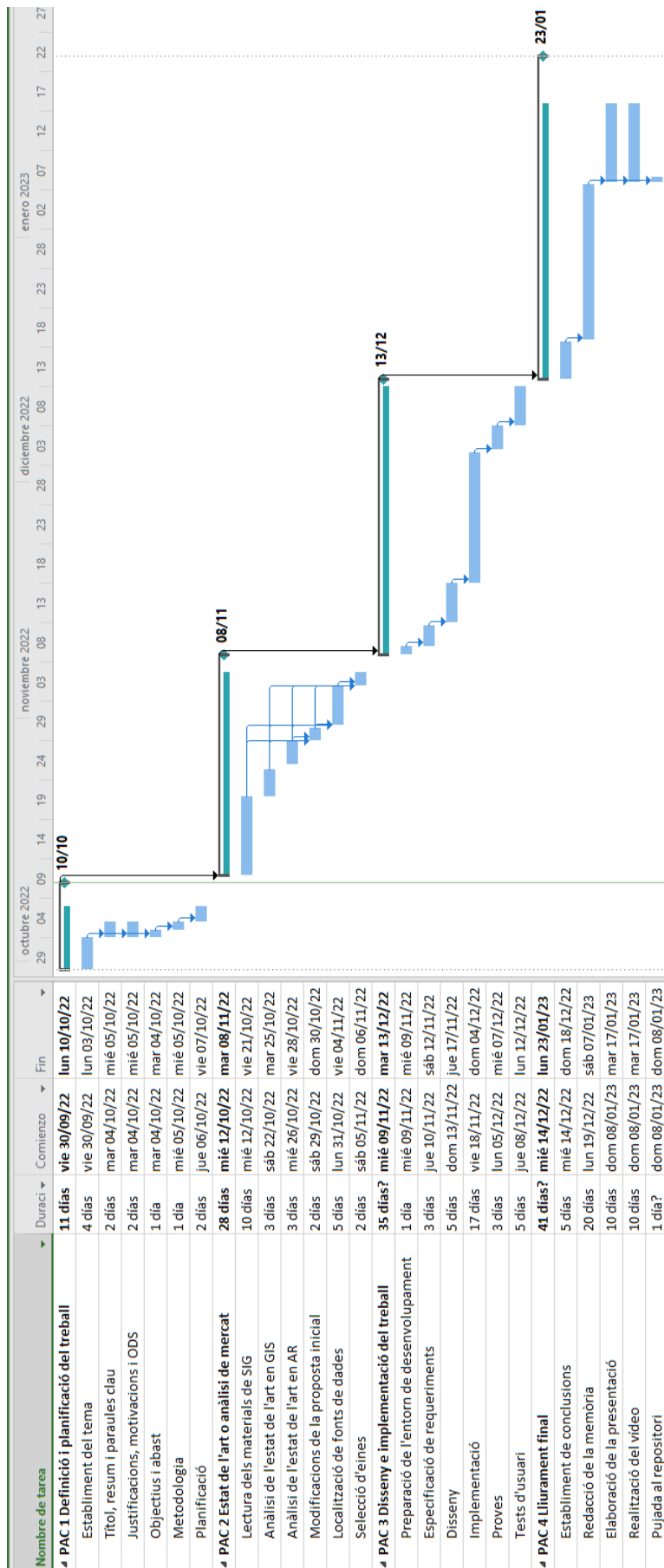


Figura 7: Diagrama de Gantt amb la planificació temporal del TFM

## 1.7. Breu resumari de productes obtinguts

El producte resultant d'aquesta memòria consisteix en:

- Un projecte per al motor de videojocs Unity, ubicat a un repositori de codi: <https://github.com/jordiraya/TFM>
- Una aplicació per Android (TFM.apk) resultant de l'exportació del projecte anteriorment esmentat.

## 1.8. Breu descripció dels altres capítols de la memòria

Al [capítol 2 “Materials i mètodes”](#), s'explica el que entenem per realitat augmentada, es tracta l'estat de l'art d'aquesta i de les aplicacions d'identificació de cims en particular. S'exposen les opcions disponibles per al desenvolupament que s'han considerat i els motius que han condicionat la tria final. També s'explica com configurar un entorn de desenvolupament amb el programari escollit. A continuació s'esmenten les fonts de dades emprades i finalment es tracta el disseny de l'aplicació i la seva implementació.

El [capítol 3 “Resultats”](#) mostra el funcionament de l'aplicació i de les proves que s'han realitzat. Es comenta la dificultat de realitzar tests unitaris i d'usabilitat en una aplicació d'aquestes característiques.

Al [capítol 4 “Conclusions i treballs futurs”](#) es sintetitzarà l'aprenentatge obtingut en el present treball i s'apuntaran diverses possibilitats de millora i ampliació de funcionalitats a l'aplicació, les quals no s'han pogut implementar per manca de temps.

Finalment s'inclou un [glossari](#) amb els acrònims més habituals, la [bibliografia](#) emprada i una sèrie d'[annexos](#) que comprenen un manual d'instal·lació per dispositiu mòbil Android i detalls sobre la implementació.

## 2. Materials i mètodes

### 2.1. Estat de l'art

#### 2.1.1. Definició i característiques de la realitat augmentada (*Augmented Reality, AR*)

Considerem necessari, en primer lloc, oferir una explicació del que és la realitat augmentada (AR) i especialment que cal incidir en la distinció del concepte respecte altres amb els quals es pot confondre tant a nivell popular com comercial, com són els de realitat virtual (*Virtual Reality, VR*) i realitat mixta (*Mixed Reality, MR*).

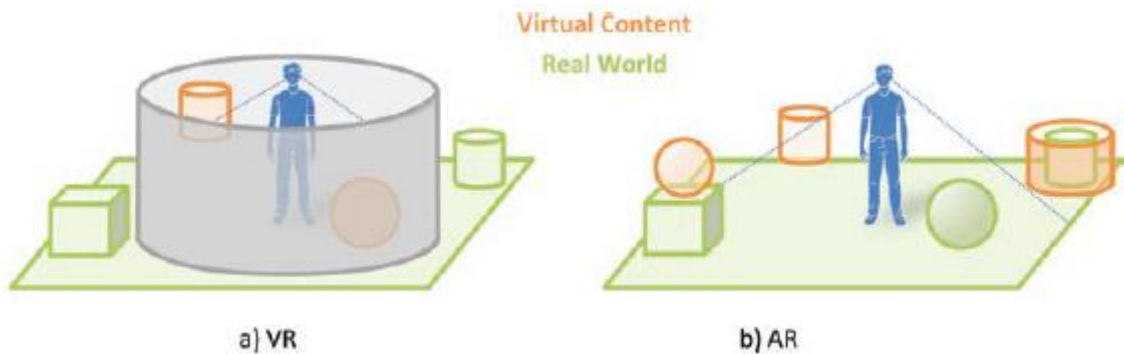
Segons Julie Carmigniani i Borko Furht [6], podem definir la realitat augmentada com la *visió directa o indirecta d'un entorn físic del món real que ha estat augmentat, realçat o millorat afegint informació virtual generada per ordinador*. Aquesta realitat és interactiva i combina objectes reals i virtuals. L'objectiu consisteix en oferir a l'usuari informació virtual, no només del seu entorn més immediat, sinó també de qualsevol visió indirecta del món real, com podria ser el cas d'un *stream* de vídeo. En aquesta definició ens sembla interessant destacar l'aspecte de que l'augment de la realitat es genera per ordinador, de manera que exclouríem elements purament físics com les retícules de les càmeres fotogràfiques o les escales telemètriques.

També podem considerar la definició que ofereixen Doerner *et. al.* [9], que la descriuen com *un entorn interactiu en temps real en el qual el contingut virtual es sobreimposa a l'entorn real de l'usuari d'una manera correcta segons la perspectiva*. En aquest cas s'incideix més en els detalls tècnics, com el temps real de la visualització i la correcció de la perspectiva, aspectes directament relacionats amb les capacitats dels dispositius de visualització, com veurem més endavant. D'aquesta definició podem extreure la idea de que la realitat augmentada és una forma de visualització dinàmica, que s'adapta contínuament a la localització, perspectiva i angle de visualització de l'usuari.

La distinció respecte a la *realitat virtual* consisteix en que aquesta submergeix completament els usuaris en un món artificial sense connexió amb el món real, que pot imitar o reproduir les propietats d'aquest o no, mentre que la realitat augmentada tracta d'augmentar el sentit de la realitat amb la superposició d'objectes virtuals en temps real.

La següent figura compara la realitat virtual (VR) amb la realitat augmentada (AR), on aquesta l'usuari pot interactuar amb el contingut virtual i també amb el real, i tots dos es poden sobreposar:

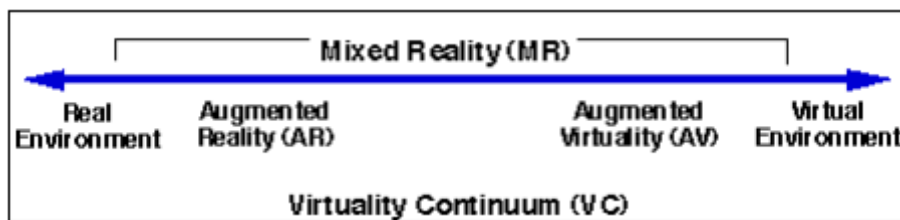




**Figura 8:** Comparació de realitat virtual i realitat augmentada. Font: Doerner *et al.* [9]

La *realitat mixta* és un concepte definit per Paul Milgram i Fumio Kishino [7] per referir-se al conjunt de tecnologies que impliquen la interconnexió d'espais reals i virtuals al llarg d'un continu de virtualitat que connecta mons completament reals amb mons completament virtuals. Segons aquesta definició, la realitat augmentada formaria part de la realitat mixta, però aquesta comprendria també altres casos com el de la *virtualitat augmentada*, que consistiria en millorar o augmentar entorns completament virtuals.

La següent imatge mostra esquemàticament aquest continu, del qual els autors distingeixen fins a sis casos diferents d'entorns híbrids:



**Figura 9:** Continu de realitat mixta. Font: Milgram i Kishino [7]

Apreciem com, en aquesta conceptualització, la realitat augmentada està més a prop de la “realitat” que de la “virtualitat”.

Un altre cas de realitat augmentada consistiria en la supressió d'objectes reals de l'entorn, que es pot anomenar *realitat disminuïda* o *mediada*, ja que consisteix en recobrir objectes reals amb objectes virtuals que encaixin amb el fons per tal de donar la sensació que no hi són.

També cal afegir que la realitat augmentada no es restringiria a la utilització d'un determinat tipus de dispositius de visualització, com els *smartphones*, les ulleres intel·ligents o els visors de realitat virtual. I tampoc es restringiria estrictament al sentit de la vista, sinó que amb les tecnologies i els dispositius adequats potencialment es podria aplicar a tots els sentits: per exemple, es podria augmentar la visió amb pistes auditives, o el sentit de l'oïda amb pistes visuals.

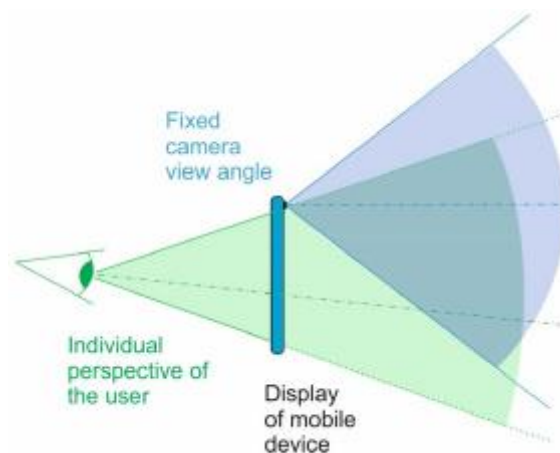
En general, es pot dir que els principis de visualització que s'han utilitzat fins ara per la generació de realitat augmentada són similars. Existeixen nombroses solucions de maquinari i programari, però segons Dickmann *et al.* [11]

destaquen dues opcions: les visualitzacions de realitat augmentada bidimensionals, que es poden generar amb tauletes i *smartphones*, i les autèntiques imatges estereoscòpiques completament immersives que es poden generar als HMDs (*Head-Mounted Display*).

En el primer cas, l'efecte de realitat augmentada és creat mitjançant el reconeixement d'objectes seleccionats per programari de reconeixement d'imatges. Aquests elements es poden sobreimposar a una imatge de vídeo prèviament capturada, i l'efecte espacial s'aconsegueix detectant la posició de l'usuari respecte al seu entorn mitjançant tècniques computacionals. Cal considerar que per moltes aplicacions els senyals de posicionament per GPS no tenen prou precisió.

A més, no només han d'estar modelats els elements de realitat augmentada, sinó que també han de ser-ho els objectes de referència del món real. D'aquesta manera es limiten les possibilitats d'utilitzar sistemes a gran escala, com és el cas de les aplicacions d'exterior.

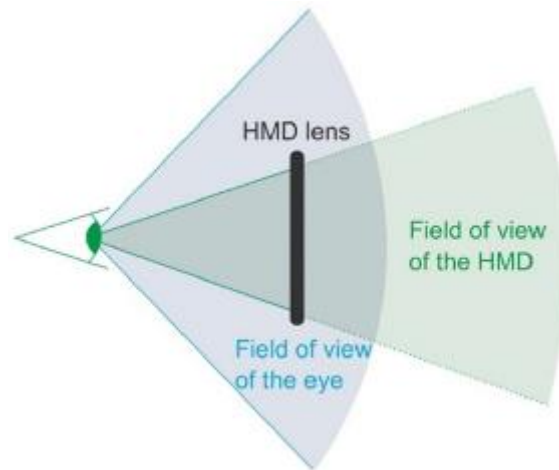
També cal considerar que l'efecte immersiu és menys pronunciat degut a la distinta posició i orientació dels ulls respecte a la pantalla, tal com es mostra a la següent figura:



**Figura 10:** Diferències de perspectiva en un dispositiu mòbil. Font: Dickmann *et al.* [11]

En el cas dels HMDs l'efecte d'immersió és més pronunciat per la seva capacitat de produir imatges estereoscòpiques. Malgrat això, presenten inconvenients específics, com els derivats de la utilització de lents i de mida molt reduïda, que limiten el camp de visió on es poden mostrar els objectes virtuals. A més, degut al fet de que tota la informació es proveeix de manera indirecta mitjançant l'enregistrament de les càmeres en lloc de la percepció directa, aquests sistemes són més propensos als retards (*lag*) per necessitar una major capacitat de processament.

La següent figura mostra les diferències en el camp de visió d'un HMD respecte a l'ull:



**Figura 11:** Diferències de camp de visió en un HDM. Font: Dickmann *et al.* [11]

### 2.1.2. Modalitats de realitat augmentada

La realitat augmentada es pot classificar de diferents maneres atenent diversos criteris. Normand *et al.* [16] proposen una taxonomia per a les aplicacions de realitat augmentada en el que es consideren factors com la tecnologia de seguiment (*tracking*), el tipus d'augmentació, les interaccions temporals i les modalitats de representació (*rendering*), disposats en eixos.

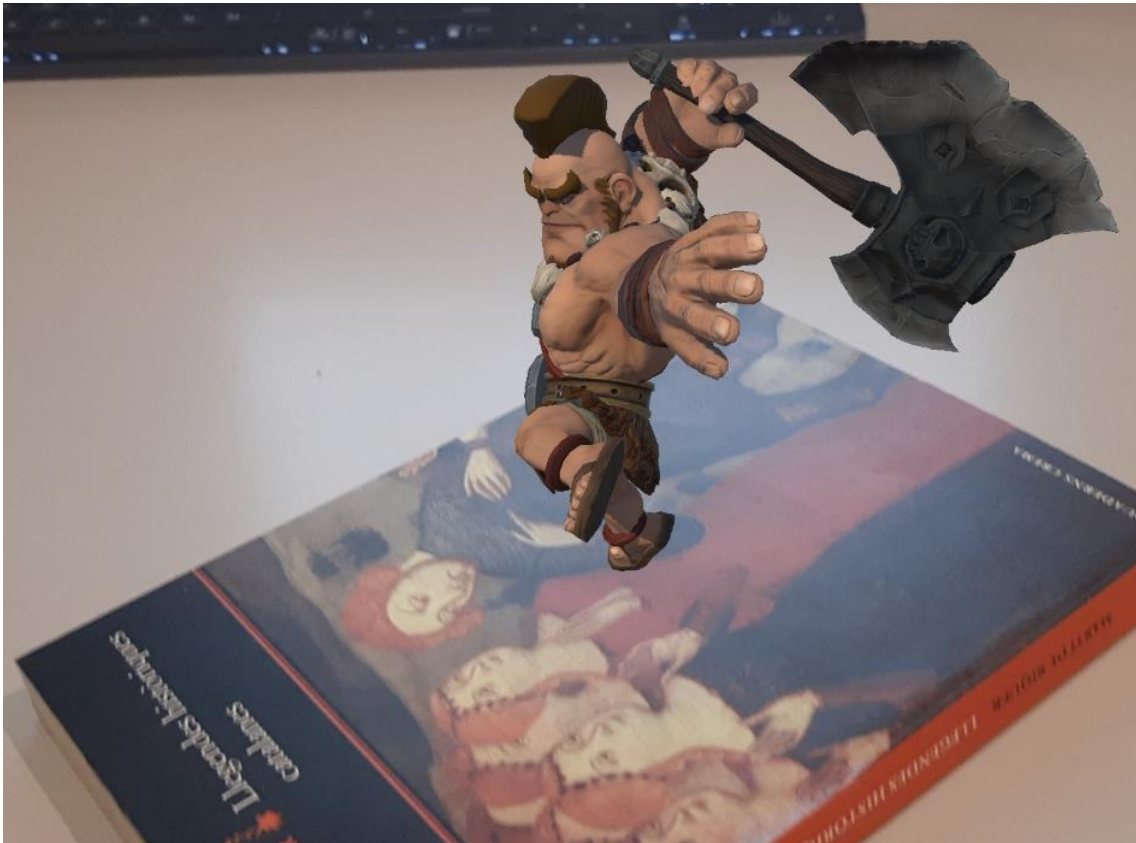
En canvi, la majoria de publicacions orientades a un públic no especialitzat fan servir una classificació més senzilla, basada en un petit nombre de tipologies de realitat augmentada, com l'exposada per Edwards-Stewart *et. al.* [15] i que es podria sintetitzar en les variants que comentem a continuació. Considerem que aquesta classificació resulta prou satisfactòria a efectes expositius per tal de contextualitzar el present treball:

#### 1. Realitat augmentada basada en marcadors

En aquest cas la càmera del dispositiu utilitza algun tipus de marcador visual, com un codi QR o similar o una imatge 2D, i aquesta pot mostrar-se en un projecció plana o cilíndrica. El marcador és reconegut pel dispositiu i aquest calcula la seva orientació i posicionament per tal d'ubicar el contingut virtual correctament, com per exemple una imatge 3D.

Els exemples típics d'aquesta categoria consistirien en aplicacions turístiques i museístiques, llibres i targetes de visita augmentades, etc.

A la següent imatge mostrem un exemple d'ús de marcadors, on aquest és la imatge de la portada d'un llibre, que s'utilitza per representar el plànol del terra d'un model tridimensional animat:



**Figura 12:** Exemple de realitat augmentada basada en marcadors, on la portada del llibre s'utilitza com a marcador per determinar la posició del model. Font: elaboració pròpia mitjançant Unity, Vuforia i un model 3D provinent de la Unity Asset Store.

## 2. Realitat augmentada basada en localització

Aquesta variant de la realitat augmentada prescindeix de l'ús de marcadors. Pot basar-se en la detecció de superfícies planes, com el terra, o bé en el posicionament del dispositiu determinat pel GPS, conjuntament amb la brúixola i l'acceleròmetre, per tal de predir la direcció i moviment de l'usuari i mostrar els elements virtuals a la ubicació escaient, amb la perspectiva i escala correctes.

L'aplicació resultant del present treball es classificaria en aquest tipus, així com les aplicacions de reconeixement de cims esmentades anteriorment i que s'analitzaran en detall en un proper apartat.

L'exemple més conegut de realitat augmentada d'aquest tipus és el popular videojoc [Pokémon GO](#), del qual mostrem a la següent figura una captura de pantalla on s'observa el món real a través de la càmera d'un dispositiu mòbil i el "pokémon" sobreimpresionat, el qual s'ubica per posició geogràfica. El jugador ha de desplaçar-se en el món real fins arribar a la localització per capturar-lo.



**Figura 13:** Exemple de realitat augmentada basada en localització, on el “pokémon” es mostra en una ubicació geogràfica determinada. Font: [Pokémon GO](#)

### 3. Realitat augmentada basada en projeccions

En aquest cas un petit projector emet feixos de llum en una superfície determinada, ja sigui per detectar la interacció tàctil de l'usuari amb la superfície, o bé mostrar informació de l'entorn. Aquest projector pot ser un *wearable*, com unes ulleres o un rellotge, o bé un dispositiu extern. Òbviament requereix dispositius especialitzats, com [Google Glass](#).

A la següent figura mostrem aquest dispositiu en la seva versió actual. S'observa el prisma de projecció sobre la ullera dreta:



**Figura 14:** Dispositiu Google Glass per la realitat augmentada basada en projeccions. La imatge correspon a la darrera versió. Font: [Google Glass](#).



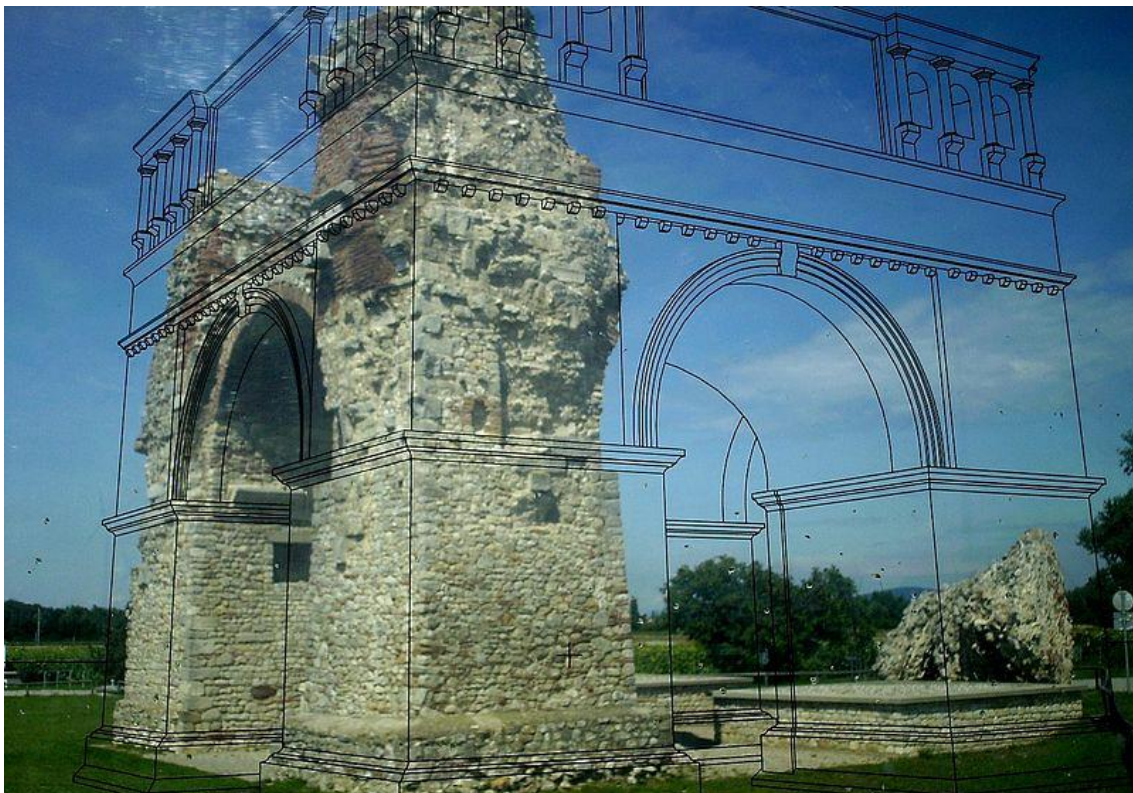
#### 4. Realitat augmentada basada en sobreimposició d'objectes

En aquets cas es complementa o substitueix la vista original de l'objecte del món real amb una vista augmentada. En aquest cas l'ordinador ha de poder reconèixer l'objecte de referència per tal de poder mostrar l'augmentació. Aquesta pot consistir en text i gràfics bidimensionals amb informació complementària o fins i tot en la substitució de l'objecte real per un model tridimensional.

Les aplicacions de realitat augmentada de reconeixement de cims no pertanyen a aquesta classificació, ja que determinen la posició dels cims segons la seva posició geogràfica i no pel reconeixement de la forma característica de cada cim, encara que es puguin ajudar d'un model tridimensional del terreny.

Com en el cas de la realitat augmentada basada en marcadors, es podrien posar com exemple aplicacions turístiques i museístiques, ajudes per a la conducció o la construcció, etc.

A la següent figura mostrem un exemple de sobreimposició d'objectes en una aplicació de realitat augmentada de informació turística a l'assentament romà de [Carnuntum](#), prop de Viena. L'objecte sobreimposat no substitueix el real, sinó que el complementa mostrant una reconstrucció esquemàtica de l'estat original d'un monument en runes:



**Figura 15:** Exemple de realitat augmentada per sobreimposició d'objectes a la porta monumental de Carnuntum (Àustria). Font: [Wikipedia](#).

### 2.1.3. La realitat augmentada i els SIG

Progressivament, la realitat augmentada va deixant de ser un conjunt de tecnologies únicament utilitzades als laboratoris per a la investigació i, malgrat que encara es pot qualificar com a emergent, cada cop és més accessible per a un públic més ampli.

Des de un punt de vista tecnològic podem considerar que en els darrers anys s'ha produït una convergència de diversos factors que possibiliten aquest accés.

Per començar, la lògica evolució del maquinari ha permès un increment del rendiment dels equips, del nombre, tipus i qualitat dels sensors i del grau de miniaturització. Pel que fa al programari, s'han produït importants avenços en anàlisis d'imatges i en el rendiment dels algorismes. I finalment, pel que fa a les dades, aquestes esdevenen cada cop més accessibles gràcies a les tecnologies del núvol.

El que cal destacar, en tot cas, és que les aplicacions de realitat augmentada necessiten accés a metadades de localització en l'espai i el temps i fonts de informació fiables i rellevants, ja que tenen com a objectiu lligar entitats digitals amb el món físic. Òbviament, aquestes dades poden ser proporcionades pels SIG. I al mateix temps, els SIG es poden beneficiar de noves maneres de presentar les dades georeferenciades més enllà dels mapes de paper o digitals.

També hem de considerar l'extensió de la computació mòbil i la seva convergència amb els sistemes de informació geogràfica, ja que aquests localitzen les dades en el temps i l'espai, mentre que els dispositius mòbils ubiquen l'usuari en el temps i l'espai.

A nivell cognitiu, segons Dieter Schmaslstieg i Gerhard Reitmayr [\[12\]](#), la realitat augmentada es caracteritza pel fet que els usuaris poden reconèixer el contingut de la informació d'un objecte a primer cop de vista: ubicació, mida, forma, color, etc. sense necessitat d'entendre símbols abstractes. Així, els avantatges de la integració visual d'elements cartogràfics és òbvia pel que fa a les tasques espacials que es duen a terme basant-se en l'observació directa de la realitat, com la recerca d'objectes, l'orientació o la navegació, ja que no calen processos cognitius de transformació.

Malgrat aquestes consideracions, John R. Wilson i Mirabelle D'Cruz [\[8\]](#) consideren que els sistemes de realitat virtual i augmentada encara han de superar determinades barreres en els següents camps:

- Tècniques: s'assenyala una necessitat de desenvolupaments tècnics, per exemple, en la fiabilitat i interoperabilitat de les diferents tecnologies per tal que s'integrin fàcilment entre elles.
- Metodologia: calen mètodes per analitzar i avaluar necessitats de sistemes de realitat augmentada i solucions disponibles.

- **Avaluació:** es considera que les aplicacions plenament funcionals no tenen prou qualitat i no hi ha proves suficients del seu valor afegit. Els avantatges no es poden explicar amb facilitat ni poden ser entesos immediatament per les persones responsables de les inversions en desenvolupament i comercialització.
- **Seguretat:** les aplicacions poden arribar a posar en risc la seguretat i salut dels usuaris, especialment en els casos de dispositius completament immersius.
- **Usabilitat:** es detecten dificultats potencials a causa de la natura no intuïtiva de determinades interfícies i a una falta d'estandardització de les metàfores visuals emprades

Pel que fa a les aplicacions que combinen l'ús de la realitat augmentada i els SIG, ja sigui existents a l'actualitat o com a propostes de recerca i desenvolupament, Hughes *et al.* [10] proposen la següent classificació segons criteris purament funcionals:

1. **Mapa augmentat:** Aquestes aplicacions tenen l'objectiu de permetre a una persona o persones l'exploració de dades geogràfiques provinents del món real o del món digital indistintament. Es citen com a exemples aplicacions que permeten als usuaris interactuar amb models digitals mitjançant funcions com moure, zoom, anotar, etc. i d'altres que utilitzen PDAs i *smartphones* per complementar i facilitar l'ús de mapes de paper mostrant parts del mateix mapa en 3D o fotografies complementàries.



**Figura 16:** Aplicació de “mapa augmentat” que amplia la informació d'un mapa de paper. Font: Gordon. [14]



2. Territori augmentat: Les aplicacions classificades d'aquesta manera tenen l'objectiu de proveir a un o diversos usuaris informació addicional amb la qual explorar l'entorn. Aquest entorn pot estar ubicat tant a l'exterior com a l'interior. Així, per aquest darrer cas es citen exemples d'aplicacions per a l'orientació dins edificis o que ofereixen informació addicional als continguts d'un magatzem.

Com l'objectiu del present treball és el desenvolupament d'una aplicació que encaixaria dins de la definició de *territori augmentat* dedicat a l'exploració d'entorns ubicats a exteriors, analitzarem amb més detall els exemples proposats en aquesta tipologia:

OS demonstrator: El primer cas és el d'una aplicació de demostració que, mitjançant visió indirecta, permet l'addició de informació geogràfica com noms de carrers i de monuments. S'accedeix a les dades geogràfiques per Wifi i aquestes provenen de la base de dades [OS master map](#) mantinguda pel servei britànic de cartografia *Ordnance Survey*. La sincronització s'aconsegueix mitjançant GPS per la posició i un navegador intern per l'orientació.



Figura 17: OS demonstrator. Font: Hughes et al. [10]

ARVino: aquesta aplicació també és una demostració, en aquest cas per augmentar la visualització de dades de viticultura. Es proposen solucions per evitar sobrecàrrega de colors en la informació virtual, així com per a tractar la transparència d'aquests objectes amb l'objectiu de no amagar les dades del món real.

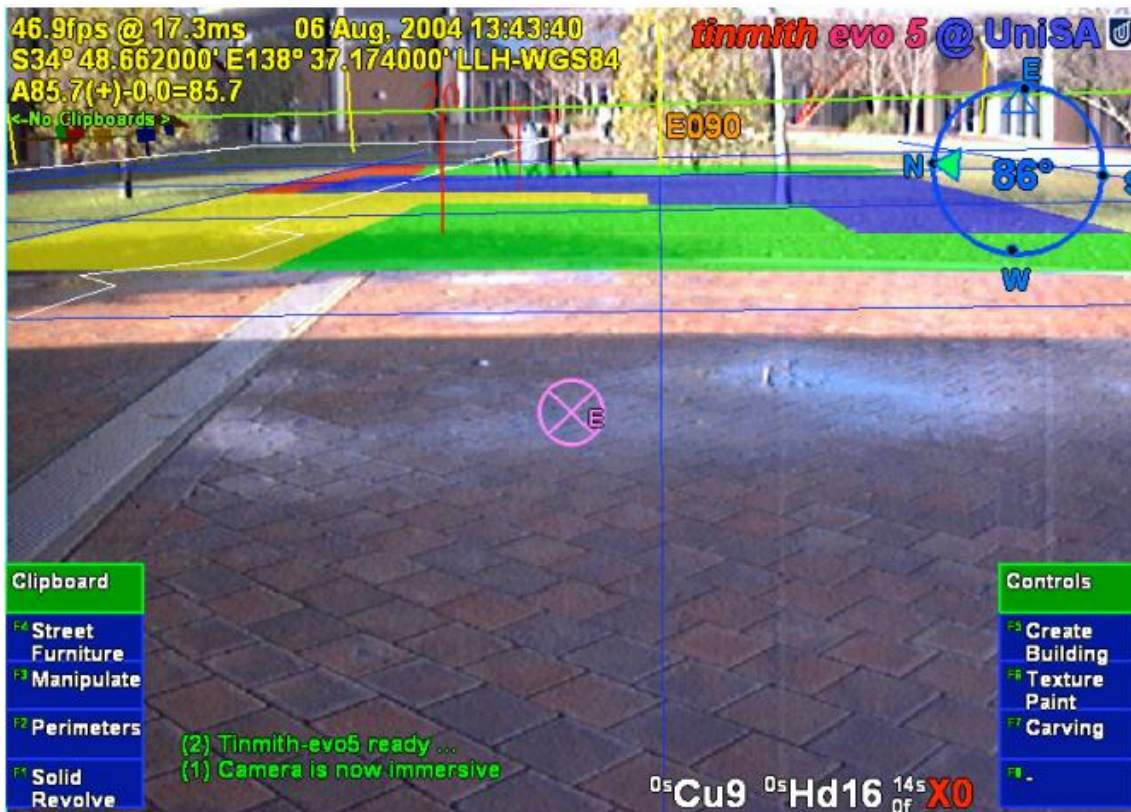


Figura 18: ARVino. Font: King *et al.* [13]

Auguroscope: es tracta d'una interfície que utilitza GPS i sensors inercials per mostrar un entorn virtual el punt de vista del qual depèn del punt de vista en l'entorn físic. S'utilitza en una aplicació que permet al públic explorar un castell medieval.

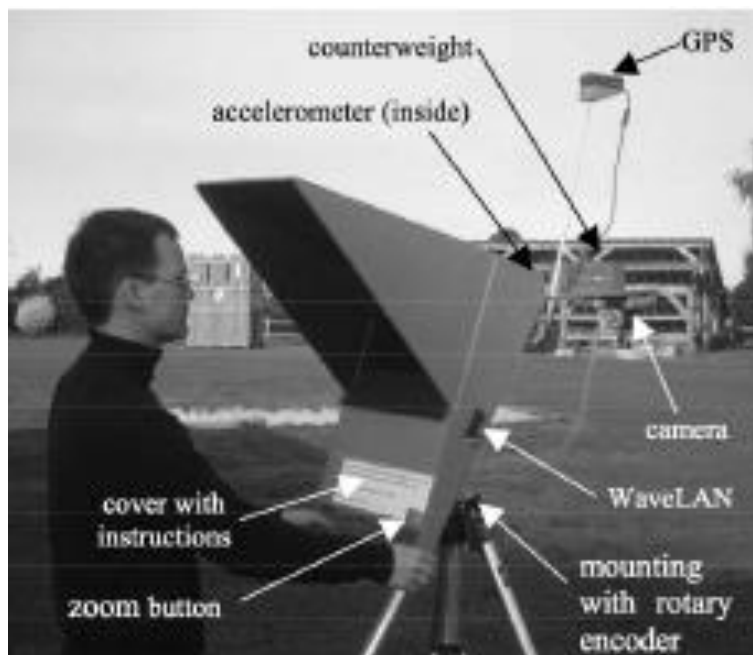
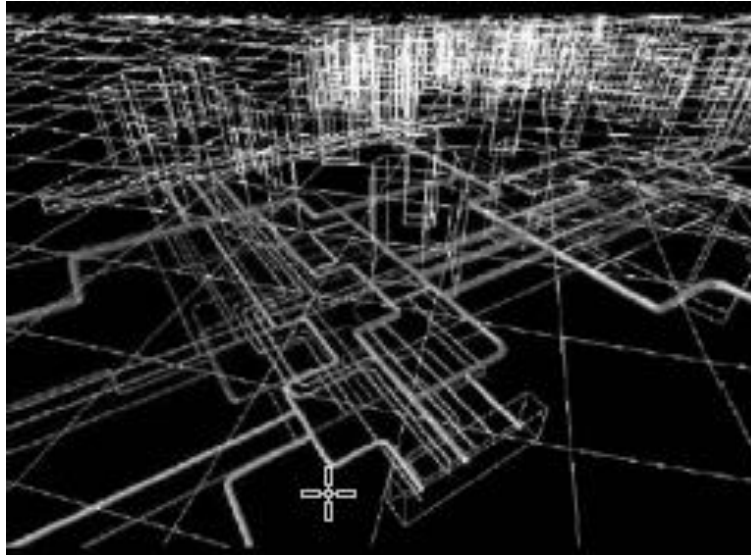


Figura 19: Auguroscope. Font: Hughes *et al.* [10]

ARGIS és un projecte per visualitzar informació durant la construcció d'un aeròdrom. Més enllà del clàssic sistema de sincronització per informació geogràfica virtual en el flux de vídeo consistent en la detecció de punts d'interès, es proposa una visió augmentada de "raigs X" per mostrar el que no és visible a simple vista.

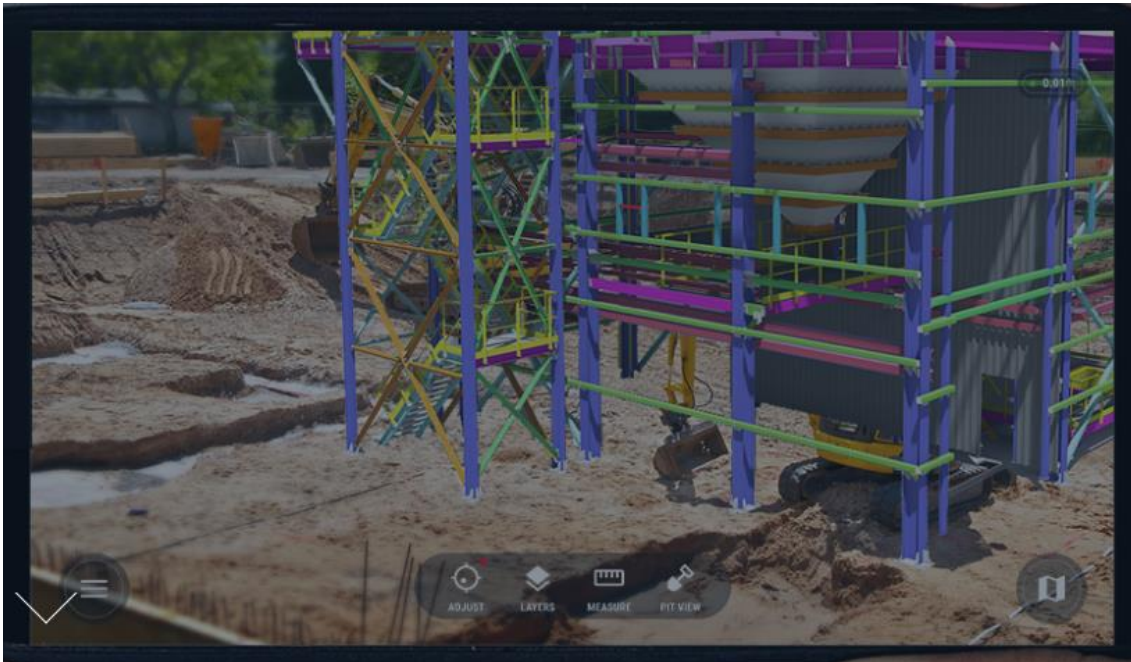


**Figura 20:** ARGIS. Font: Hughes *et al.* [10]

A part de les aplicacions esmentades, que sovint no han passat de l'etapa de demostracions o propostes, cal considerar que ja existeixen aplicacions de realitat augmentada plenament madures per a l'àmbit industrial, com les que assenyalen a continuació. Un aspecte important és que aquestes aplicacions poden utilitzar (opcionalment o no) maquinari addicional per la geolocalització per satèl·lit, telèmetres làser, etc., al marge del maquinari existent dels *smartphones*, tauletes i HMDs on s'executin, per tal d'aconseguir les dades amb el nivell de precisió requerit:

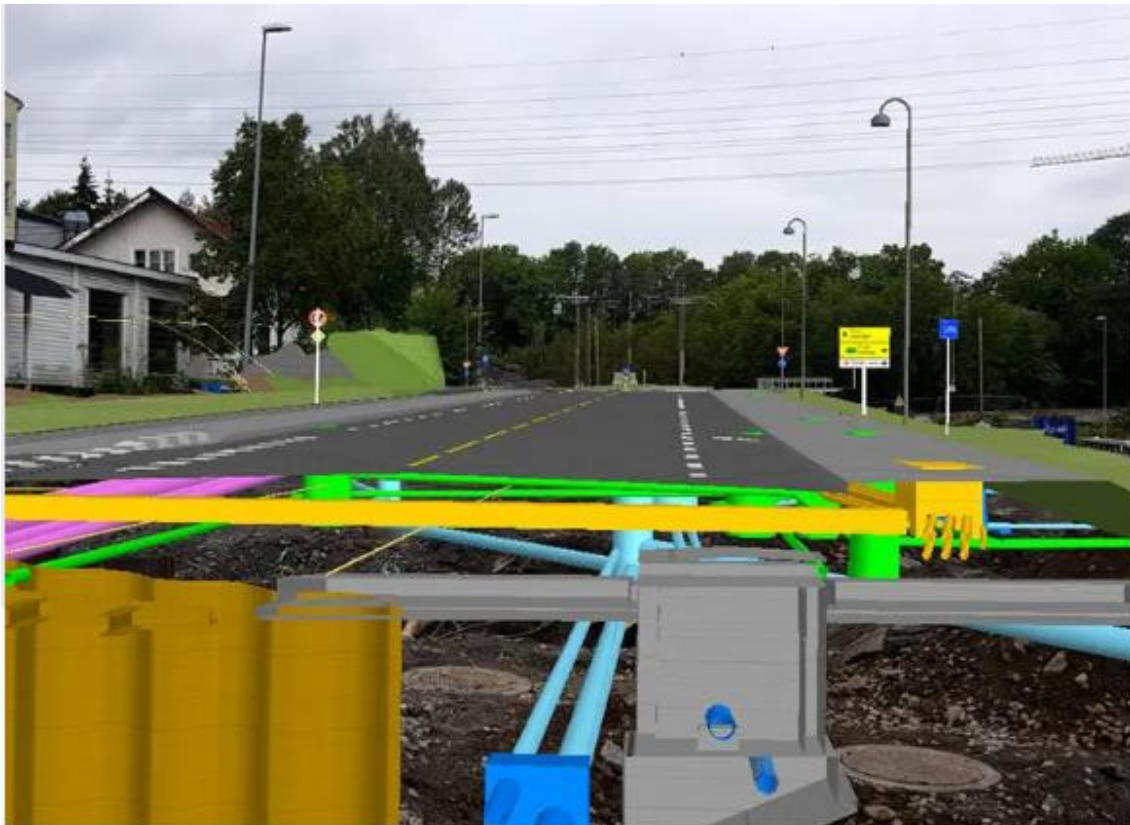
vGIS és una aplicació industrial que transforma dissenys CAD i BIM (*Building Information Model*) i dades GIS en vistes de realitat augmentada que es superposen a la visió de l'usuari o a la d'un lloc de treball físic amb una precisió de centímetres. Utilitza dispositius com *smartphones* Android o iOS, tauletes o el HMD Microsoft HoloLens, per tal de mostrar les infraestructures com una extensió natural del món real.





**Figura 21:** Demostració de vGIS on la capa de realitat augmentada mostra les infraestructures per a una construcció *in situ*. Font: [vGIS](#)

[Trimble SiteVision](#) és una altra aplicació de realitat augmentada que permet ubicar models georeferenciats des de qualsevol angle a escala real i prendre mesures mitjançant GNSS. Emfatitza la facilitat d'ús, la col·laboració, la compatibilitat amb diferents formats. Està disponible per *smartphones* i tauletes Android i iOS.



**Figura 22:** Demostració de Trimble SiteVision que mostra infraestructures subterrànies invisibles a simple vista. Font: [SiteVision](#)

#### 2.1.4. Aplicacions de realitat augmentada d'identificació de cims

Tractarem a continuació aquest conjunt d'aplicacions que constitueixen els referents més immediats del present TFM. Com hem comentat anteriorment, aquest conjunt d'aplicacions es classificarien funcionalment dins el grup de *territori augmentat* segons la proposta de Hughes *et al.* [10]

Cal assenyalar que totes aquestes aplicacions funcionen directament sobre *smartphones* i tauletes Android i iOS sense emprar cap maquinari especialitzat com és el cas de les aplicacions d'infraestructura industrial que hem comentat en l'apartat anterior. Per tant, a l'emprar exclusivament els sensors i antenes de cada dispositiu, l'experiència pel que fa a precisió, exactitud, velocitat, etc. pot resultar molt variable.

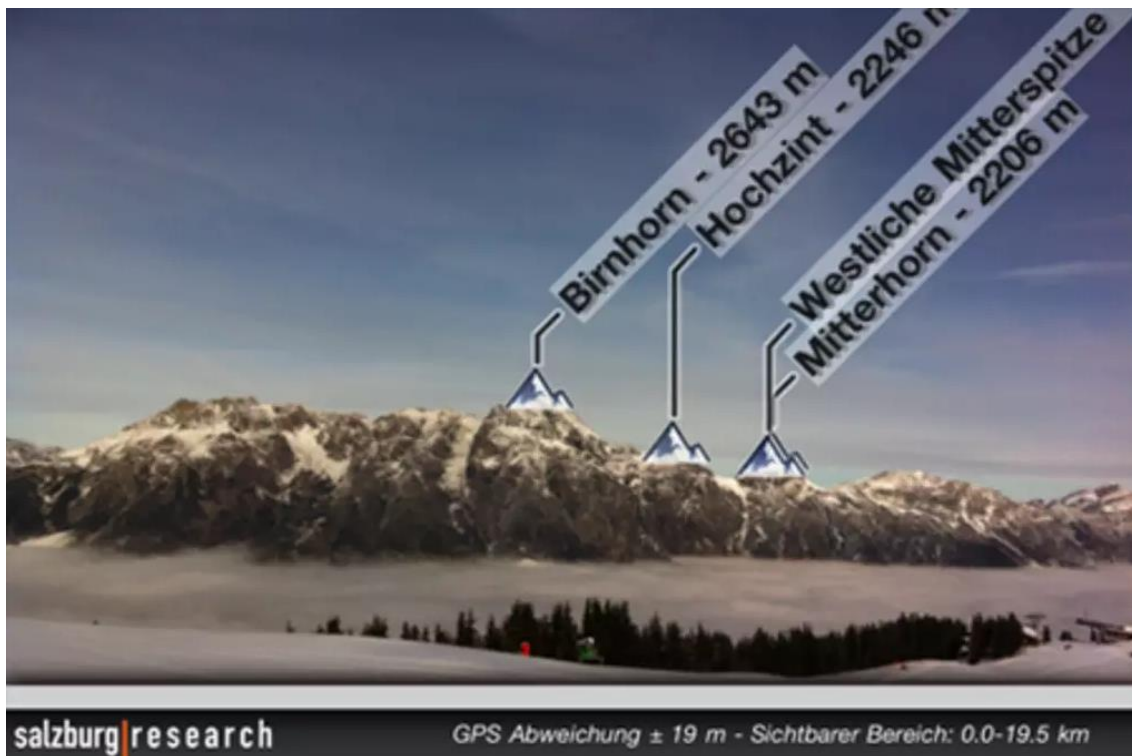
També cal assenyalar que no hem localitzat aplicacions d'aquesta categoria per HMDs o ulleres de realitat virtual, per la qual cosa les experiències d'ús no resulten completament immersives.

Analitzem a continuació les aplicacions d'aquest tipus segons la informació que publiquen a les seves respectives webs. Així, hem de considerar que aquesta pot ser parcial, incompleta, o senzillament publicitària i per tant sense l'objectiu de tractar els aspectes tècnics que ens interessin.

Peak AR: la primera versió d'aquesta aplicació apareix esmentada a Hughes *et al.* [10] i és l'aplicació d'identificació de cims més antiga de la que tenim notícia. Posteriorment, la plana del desenvolupador Salzburg Research ens informa de l'aparició d'una nova versió Peak AR 2.0 en 2010, però no l'hem pogut localitzar a la Play Store, només en repositoris com Softonic on encara és possible descarregar l'apk.

La que hauria de ser la plana oficial, <http://peakar.salzburgresearch.at/>, ja no està activa. Per tant podem concloure que ha estat discontinuada pel desenvolupador.

Recordem haver utilitzat aquesta aplicació en el passat, en un dispositiu antic, d'una manera ocasional i si no ens falla la memòria l'aplicació es tancava sobtadament i no tenia gaire precisió, per la qual cosa la seva utilitat pràctica era molt limitada. També recordem que tenia l'opció de descarregar la base de dades per a la seva utilització off-line.



**Figura 23:** Captura de l'extinta Peak AR 2.0. Font: [Softonic](#)

Tal com s'observa a la captura, l'aplicació es limitava a mostrar l'altitud de cada cim amb una etiqueta amb el seu nom i un gràfic sobreimpresionat per situar-lo visualment. No sembla que utilitzés un model 3D del terreny i per tant a la base de dades només residirien les ubicacions i alçades dels cims i els seus noms.

Això si, malgrat els problemes d'estabilitat i precisió i les seves limitades funcionalitats, cal destacar que, a diferència de moltes de les aplicacions que sembla que l'han succeït, Peak AR era completament gratuïta.

**PeakFinder:** probablement aquesta sigui l'aplicació del seu tipus més popular en aquests moments (novembre de 2022). Utilitza un model d'elevació integrat a l'aplicació i una base de dades amb més de 950.000 cims de tot el món, per la qual cosa no necessita connexió a Internet pel seu funcionament. Permet l'observació panoràmica a partir de la ubicació de l'usuari, sobreimposar les imatges de la càmera amb el dibuix de la panoràmica per identificar els cims, capturar fotografies amb etiquetes i establir marcadors als cims seleccionats per l'usuari. També disposa d'ajudes a la navegació com zoom, canvi d'elevació o selecció d'ubicació.



Figura 24: Demostració de PeakFinder mòbil. Font: [PeakFinder](#)

A més d'una [interfície per web](#), cal destacar que disposa d'una [API](#) per inserir l'aplicació en planes web.

Les dades s'extreuen de [OpenStreetMap](#).

L'aplicació mòbil és de pagament i per Android el seu cost és de 4,69€.

[PeakVisor](#): aquesta aplicació també utilitza un model 3D del terreny per a la identificació de cims i ofereix les opcions usuales per capturar imatges, compartir, importació de fotografies, etc. Destaca el fet que permet posicionar en el terreny no només els cims, sinó també rutes, passos, refugis, castells, cascades i telefèrics, per la qual cosa constatem que la seva utilitat, en principi, va més enllà de la simple curiositat, o com a mínim aquesta sembla ser la seva intenció. També ofereix ajudes a la fotografia segons la posició del sol.





**Figura 25:** Demostració de PeakVisor mòbil, on a més dels cims identificats i la seva alçada s'observen rutes i la icona que representa un refugi. Font: [PeakVisor](#)



Disposa d'un [visor per web](#) prou complet que mostra els mapes 2D i 3D, juntament amb informació complementària del cim, meteorologia, fotografies, etc.

També cal destacar que la seva web mostra una [plana de referències](#) que sembla prou exhaustiva amb les bases de dades dels models 3D, dels noms geogràfics i de les imatges de satèl·lit. En aquesta plana s'esmenta a [OpenStreetMap](#), que sembla comú a moltes aplicacions d'aquest tipus, i moltes altres fonts, de les quals algunes semblen globals i altres locals.

L'aplicació mòbil és de pagament i per Android el seu cost és de 4,79€.

[PeakLens](#): les capacitats son similars a la de la resta d'aplicacions d'aquesta categoria: identificació de cims en temps real, captura d'imatges i possibilitat de compartir aquestes, etc. En aquest cas, el que destacaria és que, segons la seva web, no es basa només en la posició proporcionada pel GPS i en l'orientació de la brúixola, sinó que utilitza algorismes d'intel·ligència artificial per comparar el que es veu per la càmera amb el model en 3D del terreny per la identificació dels cims amb precisió.



Figura 26: Demostració de PeakLens. Font: [PeakLens](#)

No disposa d'aplicació web que es pugui consultar independentment.

En aquest cas, les dades també s'extreuen de [OpenStreetMap](#) i el model d'elevació del terreny de [SRTM](#)

L'aplicació és gratuïta.

[Peakview](#): aquesta és una altra aplicació d'identificació de cims amb funcionalitats bàsiques. Podem apreciar que utilitza un model 3D del terreny i que pel seu correcte funcionament cal calibrar la línia de l'horitzó de la càmera. També disposa d'un visor de mapes 3D.

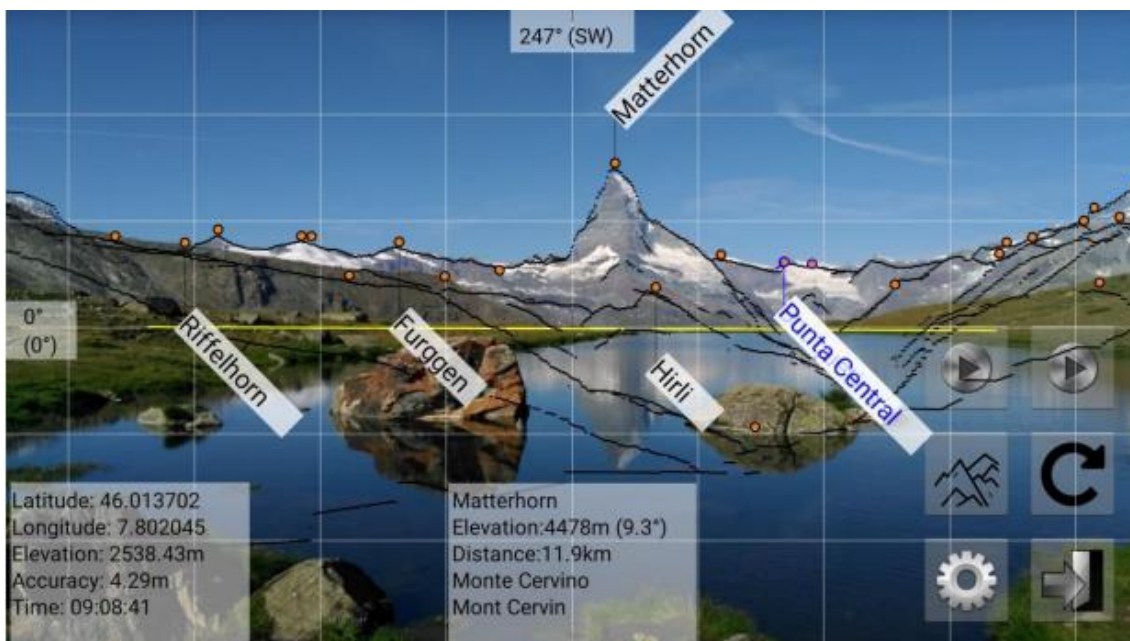


Figura 27: Demostració de Peakview. Font: [Peakview](#)

No disposa d'aplicació web ni ofereix informació sobre les seves fonts de dades.

El seu cost per Android és de 6.99€

Existeixen altres aplicacions d'aquest tipus, com [Mountain Peak AR](#) o [Peak Finder AR](#), però no sembla que disposin de web ni ofereixen informació addicional. Tampoc sembla que aportin cap funcionalitat o característica que no hàgim observat en d'altres aplicacions, per la qual cosa ens limitem a esmentar-les i no les analitzarem.

Un cop examinades les aplicacions d'identificació de cims disponibles al mercat d'aplicacions per mòbil podem extreure un seguit de conclusions respecte als seus elements comuns:

- Model 3D: Totes les aplicacions actuals utilitzen un model 3D del terreny. Per tant, la localització dels cims i la seva identificació no depèn només del posicionament de l'usuari i de la seva orientació, que es poden obtenir amb el receptor de GPS i la brúixola que porten tots els *smartphones* moderns, sinó que les aplicacions intenten encaixar la vista de la càmera amb el model.
- Fonts de dades: S'utilitzen fonts públiques de dades prou diverses, encara que no sempre es declari aquestes a les seves webs oficials. Destaca l'ús pràcticament omnipresent de [OpenStreetMap](#).
- Elements: La majoria de les aplicacions es limiten a la identificació de cims i, com a molt, a la disposició de mapes 3D. L'excepció és [PeakVisor](#), que complementa els cims amb la localització d'altres

elements interessants del terreny, com rutes, passos, refugis, castells, cascades i telefèrics, que òbviament resultes molt útils pels excursionistes.

- Informació: tal com hem assenyalat en l'apartat corresponent a la justificació del treball, la informació no apareix degudament classificada ni categoritzada. Per exemple, tots els cims es mostren de la mateixa manera, amb els mateixos símbols i tipografia, sense considerar aspectes com l'alçada, distància respecte a l'observador, importància històrica, literària o geològica, etc. i evidentment sense que l'usuari pugui escollir cap sistema de classificació.

## 2.2. Programari

A l'hora d'escollir l'entorn de programació, plataforma, llibreries, IDEs, etc. hem de considerar els límits temporals establerts a la planificació. Això implica descartar les opcions de baix nivell que impliquessin programar aspectes com el *tracking* de la càmera o l'accés directe al maquinari del dispositiu com la càmera o el receptor de GPS.

Al mateix temps, també hem de considerar els possibles inconvenients de les opcions molt especialitzades o orientades a una única plataforma, com podrien ser les dependències amb programari de tercers o les restriccions en l'ús..

A més, l'elecció de determinades opcions ens poden proporcionar funcionalitats afegides molt interessants per futures ampliacions, com la possibilitat d'exportar a diverses plataformes o aplicar aspectes de la realitat augmentada per sobreimposició d'objectes utilitzant elements que es poden trobar en els espais naturals, com les creus i altres monuments que coronen determinats cims, petroglifs, pintures rupestres, etc.

A continuació exposarem les diverses opcions tecnològiques que hem cercat, amb l'explicació dels motius de desestimació, si és el cas.

### 2.2.1. Consideracions sobre les opcions de desenvolupament

Un cop efectuada la recerca corresponent considerem que en l'estat actual de la tecnologia disponible al nostre abast existeixen les següents opcions pel desenvolupament:

- Aplicació per navegadors de realitat augmentada
- Projecte ArcGIS amb AuGeo
- Aplicació Android amb ARCore
- Aplicació web amb llibreries AR
- Motor de videojocs amb extensió AR

## Aplicació per navegadors de realitat augmentada

Els navegadors de realitat augmentada són navegadors de Internet semblants als utilitzats habitualment (Chrome, Firefox, Edge, etc.) però que disposen d'un bastiment per la visualització i desenvolupament de capes de realitat augmentada. És a dir, que el producte final no és una aplicació independent sinó un conjunt de capes que es visualitzen mitjançant aquests navegadors.

Dins d'aquesta categoria, les aplicacions més conegudes són Layar i Wikitude.

[Layar](#): Layar era una aplicació per mòbils Android, IOs i Symbian que permetia als usuaris la visualització de diversos elements com dades i gràfics mitjançant tecnologia de realitat augmentada. Feia servir conjuntament la càmera del dispositiu amb la brúixola, l'acceleròmetre i el receptor GPS per tal de determinar la posició de l'usuari el seu camp visual. A partir de la posició geogràfica les dades es podien presentar en diverses capes sobreimposades a la vista de la càmera.

Les dades de les capes provenien de serveis web REST que oferien informació geolocalitzada en funció de la ubicació de l'usuari. Es pot considerar que cadascuna d'aquestes capes era una mini-aplicació que s'executava dins l'entorn de Layar, amb els seus objectius específics i diferenciats. Aquestes capes eren desenvolupades i mantenides per desenvolupadors independents mitjançant una API de lliure accés, els quals podien decidir si les capes són gratuïtes o de pagament. En aquest carrer cas la mateixa plataforma proporcionava una passarel·la de pagament.

Layar, com a empresa, era responsable de la validació de les capes i del procés de publicació. Cap a finals de 2011 existien unes 3.000 capes de Layar.

Layar va ser adquirida per [Blippar](#) el 2014 i va tancar les oficines d'Amsterdam el 2019. La plana web segueix activa, però l'aplicació ja no està disponible a la Play Store de Google. Per tant, es pot considerar extinta, malgrat que circulin rumors de compra per part dels desenvolupadors originals amb la finalitat d'un possible relançament en el futur proper.





**Figura 28:** Interfície de Layar per a una aplicació turística. Font: Wojciechowski [18]

**Wikitude:** el navegador Wikitude World Browser era un altre navegador de realitat augmentada en el qual l'usuari podia seleccionar les fonts de dades i utilitzar la càmera per visualitzar les diferents capes, que es mostraven segons la posició de l'usuari i la seva orientació.

Les dades eren proporcionades per serveis com Wikipedia, Google, Flickr, Twitter, Youtube, booking, etc. També permetia la generació de rutes mitjançant Google Maps i la visualització d'ofertes de TripAdvisor, Hotels.com i Yelp. L'usuari també podia crear les seves capes d'informació en funció dels seus criteris. Integrava un navegador GPS (Wikitude Drive)

Em en el cas de Layar, el navegador Wikitude World Browser ja no es troba a la Play Store. Actualment Wikitude apareix com proveïdor tecnològic que comercialitza un SDK disponible per Android, iOS i Unity, conjuntament amb un IDE per desenvolupar aplicacions que es visualitzen en una aplicació que sí que apareix a la Play Store, però que no encaixaria plenament dins del concepte de navegador de realitat augmentada.



**Figura 29:** Interfície de Wikitude. Font: Wojciechowski [18]

Així, els motius pels quals descrtem els navegadors de realitat augmentada són els següents:

- Els navegadors de realitat augmentada no semblen una opció tecnològica actual i plenament vigent amb una comunitat de desenvolupadors activa, sinó que corresponen a una idea del passat que no ha tingut continuïtat.
- Desconeixem si el grau de llibertat i flexibilitat que permet Wikitude és suficient per la realització del present treball.
- Sembla que Wikitude no proporciona opcions gratuïtes per l'accés a l'SDK
- Les aplicacions d'aquest tipus semblen molt orientades a entorns urbans on el dispositiu mòbil pugui estar en connexió permanent per tal d'accedir a serveis web, fer que no és l'ideal per a una aplicació fonamentalment orientada a l'ús *off-line*.

### Projecte ArcGIS amb AuGeo

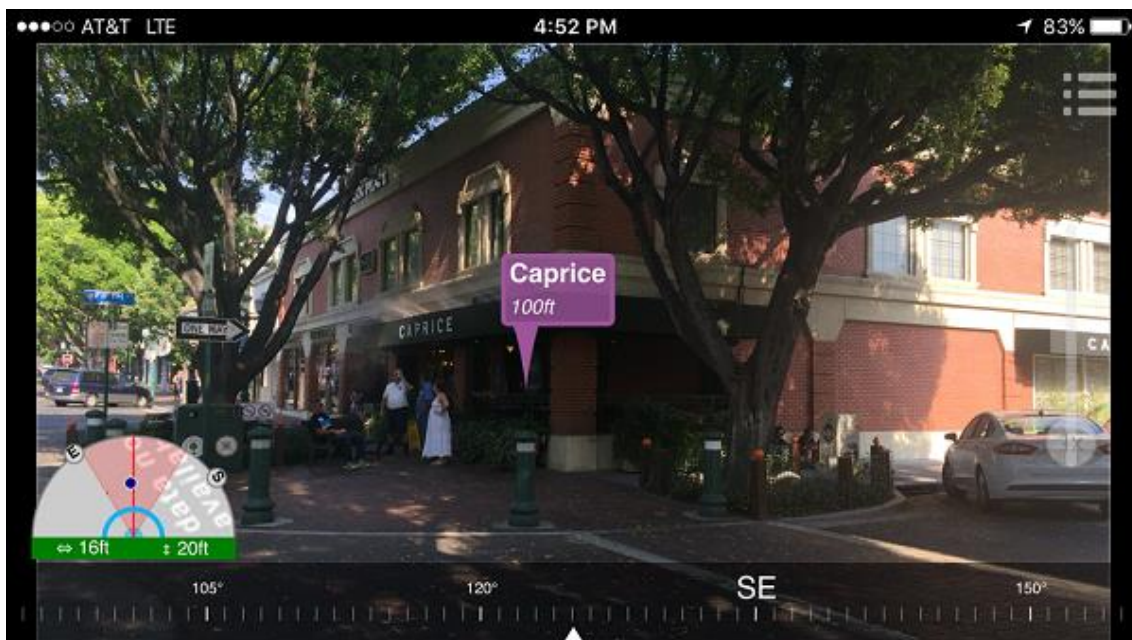
Actualment, el SIG més utilitzat a nivell professional en molts àmbits és el conjunt de programari comercial [ArcGIS](#), comercialitzat per Esri. El conjunt es compon de diverses aplicacions, extensions i serveis amb diferents nivells de funcionalitat:

- ArcReader és un visor de dades bàsic per mapes GIS publicats en el format propietari d'ArcGIS
- ArcGIS Desktop és l'aplicació d'escriptori. Està disponible en les variants Basic, Standard i Advanced (abans conegudes com ArcView, ArcEditor i ArcInfo). La versió Basic permet treballar amb dades geogràfiques tant en arxius com en bases de dades relacionals, així com treballar amb

mapes disposats amb capes i realitzar anàlisi espacial bàsic. La versió Standard permet treballar amb bases de dades geogràfiques, edició multiusuari i versionar dades *raster* i vectorials. Finalment, la versió Advanced permet més capacitats en anàlisi espacial, procés de dades geogràfiques, gestió de dades, etc.

- ArcGIS Online és una aplicació web que permet cerques i distribució de informació geogràfica, ja sigui proporcionada per Esri o altres proveïdors. Els usuaris poden crear i unir-se a grups i controlar l'accés a les dades.
- ArcGIS Web Mapping APIs són APIs disponibles en diversos llenguatges de programació i plataformes que permeten el desenvolupament i el desplegament d'aplicacions que inclouen funcionalitats pròpies d'un SIG, així com serveis web de ArcGIS Online i ArcGIS Server.

En aquest sistema existeix l'aplicació [AuGeo](#) amb la capacitat de mostra les dades geogràfiques d'un projecte ArcGIS en realitat augmentada. Està disponible per Android i IOS.



**Figura 30:** Interfície de AuGeo. Font: [AuGeo](#)

Aquesta opció pot ser la més interessant des de la perspectiva de treballar amb dades geogràfiques, però també la descartem pels següents motius:

- No disposem d'un nivell suficient de coneixement d'ArcGIS.
- No sabem si les opcions de visualització de AuGeo resulten suficients per permetre la disposició de les dades geogràfiques segons els objectius del present treball.
- El consum de bateria de l'aplicació és elevat, segons els mateixos desenvolupadors.
- Recentment Esri ha retirat les llicències gratuïtes d'ArcGIS per estudiants, i malgrat que l'aplicació sigui gratuïta no està clar quin tipus de llicència caldria per utilitzar-la en un projecte ArcGIS.



## Aplicació Android amb ARCore

[ARCore](#), també conegut com *Google Play Services for AR*, és la plataforma de Google per implementar la realitat augmentada utilitzant diverses APIs. Es va llançar el 2018 i utilitza tres capacitats fonamentals per la integració del contingut virtual amb el món real:

- Seguiment de moviment: permet al dispositiu entendre i seguir la seva posició en relació al món real.
- Comprensió de l'entorn: permet al dispositiu detectar la mida i localització de superfícies, ja siguin horitzontals, verticals o en angle
- Estimació de la llum: permet al dispositiu avaluar les condicions de lluminositat.

Durant el funcionament de les aplicacions ARCore segueix el posicionament del dispositiu mòbil i construeix la seva interpretació del món real. Aquesta interpretació li permet la detecció de superfícies planes i fer estimacions de la llum ambiental. D'aquesta manera es poden posicionar objectes 3D i 2D de manera integrada amb el món real. A més, pot identificar punts d'interès (*features*) i seguir-los al llarg del temps, combinant les capacitats dels sensors del dispositiu mòbil per determinar la seva posició i orientació.

ARCore disposa de SDKs per Android en Java i també per Android nadiu en C, els motors de videojocs Unity (mitjançant el bastiment AR Foundation) i Unreal, també es pot utilitzar directament en aplicacions web (Web XR) i fins i tot està disponible per iOS.

Malgrat això, s'ha d'assenyalar que, a causa dels requeriments específics en maquinari i programari, ARCore no està disponible per a tots els dispositius Android. Tot i així, la [llista de disponibilitat](#) és prou extensa i abasta gairebé tots els dispositius moderns.

L'equivalent directe de Apple és [ARKit](#), amb capacitats equivalents en termes generals però limitat a la plataforma iOS.

Malgrat que aquesta opció de desenvolupament podria resultar adequada pels propòsits del present treball, la descartem principalment per considerar que existeixen opcions més adients:

- ARCore disposa d'una llibreria (*ARCore Geospatial API*) per vincular contingut segons el posicionament geogràfic, però aquesta vinculació es realitza mitjançant reconeixement visual en zones cobertes per Google Street Maps. Per tant, hem de considerar si existeixen altres opcions per la inserció d'objectes segons les seves coordenades.
- El desenvolupament d'una aplicació Android, òbviament, es limita a aquesta plataforma. Existeixen opcions per desenvolupar una aplicació i exportar-la a múltiples plataformes (Android, iOS, etc.)



## Aplicació web amb llibreries AR

Una opció potencialment molt interessant és la llibreria [AR.js](#), que ofereix les capacitats de la realitat augmentada mitjançant una llibreria en JavaScript que pot ser utilitzada per qualsevol navegador. L'usuari accedeix a l'aplicació web com a qualsevol plana, simplement escrivint l'adreça corresponent, sense necessitat d'instal·lar una aplicació específica Android o IOs.

A més de la simplificació de la instal·lació, cal destacar que aquesta opció evita els tràmits i despeses que implica la publicació a la Play Store o a la Apple Store. A canvi, requereix el *hosting* a un servidor web i, potencialment, l'adquisició d'un domini, etc.

AR.js ofereix realitat augmentada basada en reconeixement d'imatges 2D, en reconeixement de marcadors i en localització geogràfica.

Descartem aquesta opció per considerar que una aplicació desenvolupada d'aquesta manera requeria d'una connexió contínua a Internet per accedir a un *back-end* on estigués residís la informació geogràfica. Per tant, no seria una bona opció per una aplicació que es pretén utilitzar en zones potencialment sense cobertura de dades.

## Motor de videojocs amb extensió AR

Aquesta possibilitat, si bé no sembla específicament orientada cap a les dades geogràfiques ni directament cap a la realitat augmentada mitjançant dispositius mòbils, presenta diversos avantatges respecte a les opcions anteriors.

En primer lloc, els motors de videojocs estan preparats per tal que el mateix codi font es pugui exportar cap a diverses plataformes: PC, consoles, dispositius mòbils, etc. En el cas del present treball, mitjançant configuracions específiques el motor podria exportar la mateixa aplicació a Android i IOs, de manera que ens estalviem el problema d'escollir una plataforma concreta.

D'altra banda, els motors de videojocs, a l'interposar una capa addicional d'abstracció, poden resoldre determinats aspectes de la programació de dispositius mòbils dels quals considerem que en l'actualitat no s'ha arribat a una solució plenament satisfactòria, com per exemple el disseny i programació de les interfícies gràfiques d'usuari (GUI). Tal com hem provat, en els motors de videojocs aquest aspecte es resol amb editors fàcils i intuïtius.

Finalment, aquests motors poden tractar objectes 2D i 3D de manera prou similar a la d'un programari de disseny gràfic. Aquest no és un requeriment específic del present treball, però considerem prou interessant tenir la possibilitat d'incorporar gràfics fàcilment per realçar les possibilitats visuals de l'aplicació.

Pel que fa a la realitat augmentada, tal com hem assenyalat anteriorment, els bastiments per dispositius mòbils ARCore i ARKit es poden incorporar en diversos motors (Unreal, Unity, etc.), per la qual cosa el motor pot accedir a les seves funcionalitats, en principi sense problemes d'integració. A més, el motor permet l'accés al receptor GPS i brúixola del dispositiu, de tal manera que podrem realitzar operacions com el càlcul de distàncies en base al posicionament de l'usuari.

Tot i així, hem de considerar que els motors de videojocs no són SIGs i per tant no disposen de les facilitats pròpies d'aquests, com la gestió de bases de dades geogràfiques, eines visuals per l'edició de mapes, etc. Així haurem de suplir aquestes carències mitjançant extensions, llibreries i programes i scripts.

Així, pel present treball desenvoluparem una aplicació mitjançant el motor de videojocs [Unity](#) juntament amb el bastiment de realitat augmentada [Vuforia](#) i la llibreria [AR + GPS Location](#). Explicarem a continuació les dades més rellevants d'aquesta proposta.

### 2.2.2. Unity

[Unity](#) és un motor de videojocs multiplataforma, inicialment desenvolupat per a Mac OS X, però amb el temps s'ha anat estenent a diverses plataformes d'escriptori, dispositius mòbils i sistemes de realitat virtual. L'editor està disponible per Windows, macOS i Linux, però pot suporta fins a 19 plataformes.

Aquest programari s'utilitza per la creació de jocs en 2D i 3D, però també per simulacions interactives i altres experiències. S'ha utilitzat extensament fora de l'àmbit dels videojocs, a les indústries automobilístiques, cinematogràfiques, arquitectura, enginyeria industrial, construcció i militar.

Cal destacar la seva gran popularitat pel desenvolupament de jocs independents, especialment per dispositius mòbils en Android i IOs. També sembla una opció adient per una aplicació de realitat augmentada. Per posar un exemple, el joc més popular de realitat augmentada basada en localització que hem esmentat anteriorment, [Pokémon GO](#), està desenvolupat amb aquest motor.

La seva popularitat comporta que resulti fàcil trobar tota mena d'ajudes i tutorials, però hem de considerar que la sobreabundància de informació obliga a la selecció i al filtratge. A més, també hem de considerar que les diferències en la interfície poden arribar a ser molt significatives en funció de les diferents versions.

Unity és generalment considerat un programari d'ús fàcil. Per exemple, la seva interfície gràfica és molt similar a la dels programes de disseny 3D, com Blender o Maya, i fa servir metàfores equivalents: trobem objectes que representen la càmera i la llum ambiental, finestres amb vistes diferents, rodes cromàtiques, etc.

Un altre aspecte que cal considerar és que la programació en Unity es realitza mitjançant una en [C#](#) com a llenguatge d'*scripting*, tant per a l'extensió de l'editor mitjançant *plug-ins* i llibreries com per a la programació de jocs. Es pot considerar que C# és l'alternativa a Java de l'ecosistema Microsoft, amb qui comparteix moltes característiques: orientació a objectes, sintaxi basada en C, i funcionament de codi compilat sobre una màquina virtual. Cal assenyalar que els scripts de Unity no s'executen sobre el bastiment .NET de Microsoft, sinó sobre [Mono](#), que és la seva implementació *open-source*.

Per establir una comparació, un altre motor de videojocs molt popular i disponible per al públic és Unreal, el qual fa servir C++. Això obliga a gestionar la memòria més acuradament, utilitzar punters, etc.

Els *scripts* de Unity estenen la classe `MonoBehaviour`, la qual proveeix de mètodes que es criden a l'esdevenir determinats esdeveniments, com la inicialització, les entrades per part de l'usuari, l'actualització de cada fotograma (*frame*) o la destrucció. El cicle de vida d'un script és prou complex i es pot consultar a la [documentació](#) de Unity. La seva observació resulta prou interessant per mostrar com funciona un motor de videojocs, establint fases per la física del joc, la lògica, el renderitzat, etc.

Pel que fa al funcionament, Unity s'estructura en funció d'escenes (*scenes*). Podem pensar en aquestes escenes com en els diferents nivells o parts d'un videojoc, les quals disposen dels seus propis objectes i vistes i funcionen de manera independent, però es pot navegar entre elles i poden accedir a informació emmagatzemada a nivell global. En el cas de la nostra aplicació aquesta estructura es reflectirà en la creació d'una escena amb el menú principal i escenes separades per cada funcionalitat.

Pel que fa als objectes, anomenats *GameObjects*, correspondrien als elements concrets d'un videojoc, com els gràfics dels personatges, dels enemics o de l'ambientació, però també als elements abstractes com la càmera o la llum ambiental. Aquests objectes es poden crear i manipular visualment mitjançant l'editor, que ofereix facilitats com *drag and drop* o l'accés a un editor específic pels *scripts*. Així, els objectes es poden agrupar entre ells, establir jerarquies i associar a *scripts* per determinar el seu comportament.

Finalment, Unity permet el desenvolupament mitjançant una llicència d'ús gratuïta per particulars i petites empreses, i disposa d'una botiga on-line, [Unity Asset Store](#), a disposició dels desenvolupadors, on es poden trobar tots els elements necessaris per a la creació d'un joc: extensions i llibreries, efectes de so, gràfics 2D i 3D, etc.

### 2.2.3. Vuforia

Vuforia és un bastiment per al desenvolupament d'aplicacions de realitat augmentada i realitat virtual multiplataforma. Utilitza tecnologia de visió per

ordinador per reconèixer i seguir imatges planars i objectes 3D en temps real. Aquesta capacitat de registrament permet el posicionament d'objectes virtuals, com models 3D o interfícies informatives en 2D. L'objecte virtual segueix la posició i orientació de la imatge en temps real, de manera que la perspectiva de l'objecte es correspon amb la de la escena del món real o virtual.

Vuforia proveeix APIs en C++, Java, Objective-C++ i, en el cas de la integració amb Unity, també amb C# i la resta de llenguatges de .NET. D'aquesta manera es poden realitzar desenvolupaments nadius per Android i iOS, i al mateix temps des de Unity es pot exportar l'aplicació a ambdues plataformes. Si estan disponibles, el motor de Vuforia fa servir les llibreries de realitat augmentada pròpies de cadascuna d'aquestes plataformes, ARCore i ARKit, que hem comentat anteriorment.

Pel que fa al funcionament, generalment una aplicació de Vuforia utilitza una base de dades local o al núvol amb les imatges que es fan servir com a marcadors. Aquestes imatges es poden pujar a la web i són avaluades en funció de la facilitat que tindrà el motor per reconèixer-les. Les llicències d'ús de Vuforia es basen en el nombre d'objectes que s'emmagatzemen a la base de dades i al nombre de reconeixements mensuals.

És important assenyalar que aquest funcionament utilitza exclusivament la càmera del dispositiu mòbil i prescindeix del receptor GPS i de l'acceleròmetre. Per tant resulta molt adient per a la realitat augmentada basada en marcadors, on el marcador pot ser la imatge que prèviament hàgim emmagatzemat a la base de dades o un marcador propi de Vuforia (VuMarks), similar a un codi QR.

Malauradament, Vuforia no permet el posicionament d'objectes en base a la seva ubicació geogràfica ni es preveu que es disposi d'aquesta capacitat en el futur, per la qual cosa en principi no resulta sembla adient per una aplicació de realitat augmentada basada en posicionament com la que pretenem desenvolupar. Per tant, només utilitzarem Vuforia pel renderitzat d'objectes de realitat augmentada, però cal afegir una extensió de Unity que permeti dotar d'informació georeferencial a aquests objectes i així poder calcular la distància segons la posició de l'usuari, etc.

#### 2.2.4. AR + GPS Location

[AR + GPS Location](#) és una extensió per Unity que permet el posicionament d'objectes mitjançant coordenades geogràfiques. Funciona disposant les dades GPS amb el tracking de càmera de Vuforia o [AR Foundation](#) (un altre bastiment de realitat augmentada per Unity).

La seva principal capacitat és la de situar objectes mitjançant la seva latitud, longitud i altitud. Aquests objectes poden activar-se a una determinada distància del dispositiu, seguir camins preestablerts, etc.

La seva integració amb Unity es fa mitjançant la incorporació a la interfície de Unity un objecte de càmera propi i objectes abstractes als quals es poden establir coordenades geodèsiques en graus decimals, els quals poden englobar l'objecte 2D o 3D a representar.

Cal destacar que disposa d'opcions per configurar les dades de l'el·lipsoide (radi mitjà de la Terra, radi equatorial, etc.) així com punts d'inserció de codi per tal d'implementar funcions personalitzades, per exemple, pel càlcul de distàncies.

### 2.2.5. Git, Github i Gitflow

En l'actualitat, per a qualsevol desenvolupament cal considerar un sistema de control de versions, independentment de la seva extensió o autoria simple o múltiple. [Git](#) és, amb diferència, el sistema de control de versions més popular en aquests moments. Va ser desenvolupat per Linus Torvalds per gestionar el desenvolupament del *kernel* de Linux, de manera que està dissenyat per facilitar la creació, fusió i descartat de branques de codi en entorns on poden participar centenars de col·laboradors per a projectes de grans dimensions. Aquestes capacitats no impliquen una càrrega de complexitat innecessària, de manera que també resulta adient per un petit projecte amb un sol desenvolupador com és el cas del present TFM.

La seva principal característica és que cada directori de Git local conté el repositori sencer, amb tot l'historial de canvis. D'aquesta manera pot funcionar a gran velocitat i sense necessitar un servidor central. Malgrat això, en el nostre cas, tant per facilitar la distribució com per seguretat en cas de fallida de la màquina de desenvolupament, utilitzarem el popular servei de *hosting* [Github](#) per emmagatzemat el codi, ja que les funcionalitats bàsiques que ofereix són gratuïtes.

Usualment es treballa amb Git des de la línia de comandes, però existeixen moltes eines visuals per facilitar les tasques, a més de *plug-ins* i extensions per integrar-se amb pràcticament tots els IDEs actuals per a tots els llenguatges i plataformes. En el nostre cas fem servir [Sourcetree](#) únicament per qüestió de preferències.

També existeixen diverses metodologies i convencions sobre l'ús de Git i dels sistemes de control de versions en general. Probablement el sistema més conegut sigui [Gitflow](#), el qual disposa una branca de desenvolupament a la que es fusionen les branques de funcionalitats, i es mantenen branques separades pel llançament de cada versió, mentre que la branca principal correspon a la versió que en tot moment està en producció. El seu funcionament es comprèn a la il·lustració següent:

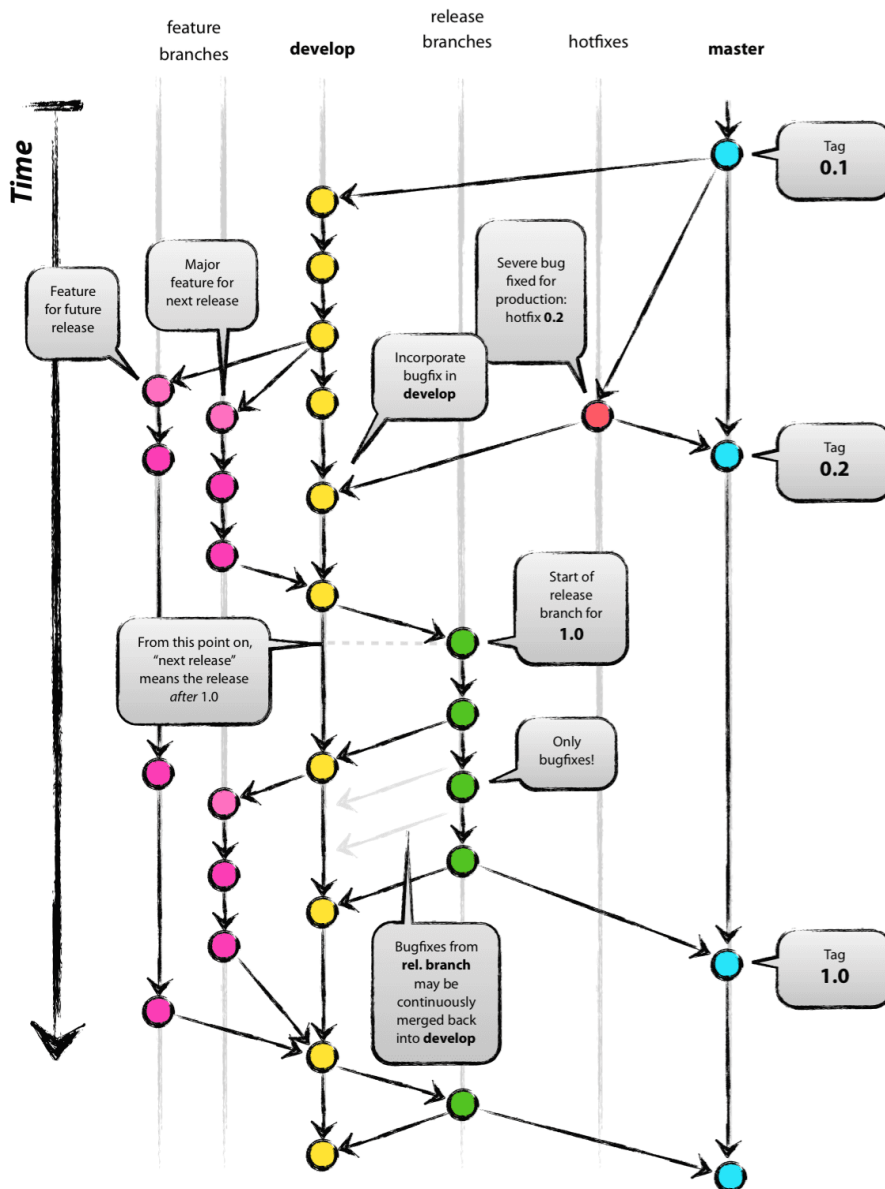


Figura 31: Diagrama de Gitflow. Font: [Gitflow](#)

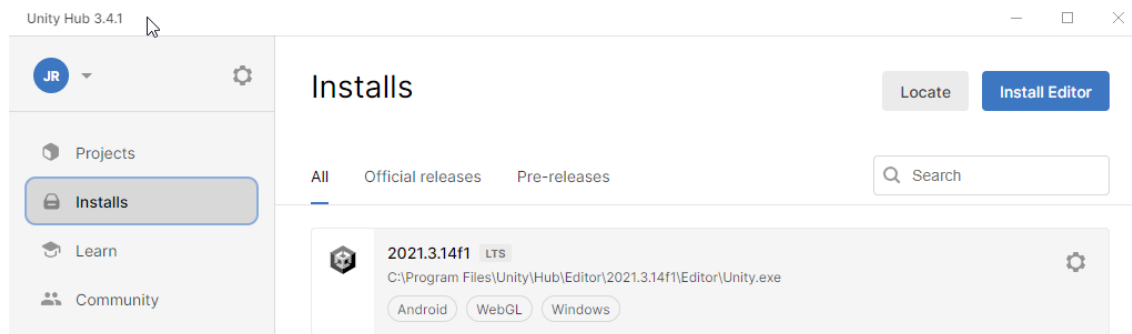
En el cas del present treball no preveiem la necessitat de crear branques de funcionalitats separades que es desenvolupin paral·lelament ni per les versions de llançament, però es seguiria aquest sistema si, per exemple, calgués mantenir configuracions separades per Android i iOS.

## 2.2.6. Configuració de l'entorn de desenvolupament

Abans de començar la instal·lació de Unity i Vuforia cal que disposem de [Git](#) a la màquina de desenvolupament, ja que els paquets de Vuforia es descarreguen mitjançant el seu protocol i per tant el programari ja ha d'estar instal·lat. Per tant el primer pas és anar a la seva plana per descarregar el client per Windows i fer la instal·lació corresponent, en cas de que no el tinguem prèviament.

Un cop disposem de Git ja podem anar a la plana de [Unity](#), on creem un compte d'usuari i procedim a descarregar e instal·lar Unity Hub. La principal funció d'aquesta aplicació és la gestió de diverses versions de Unity a la mateixa màquina. També permet llistar i accedir directament als projectes en els quals estem treballant, a més de mostrar ajudes de formació, fòrums, blogs, la Unity Asset Store, etc.

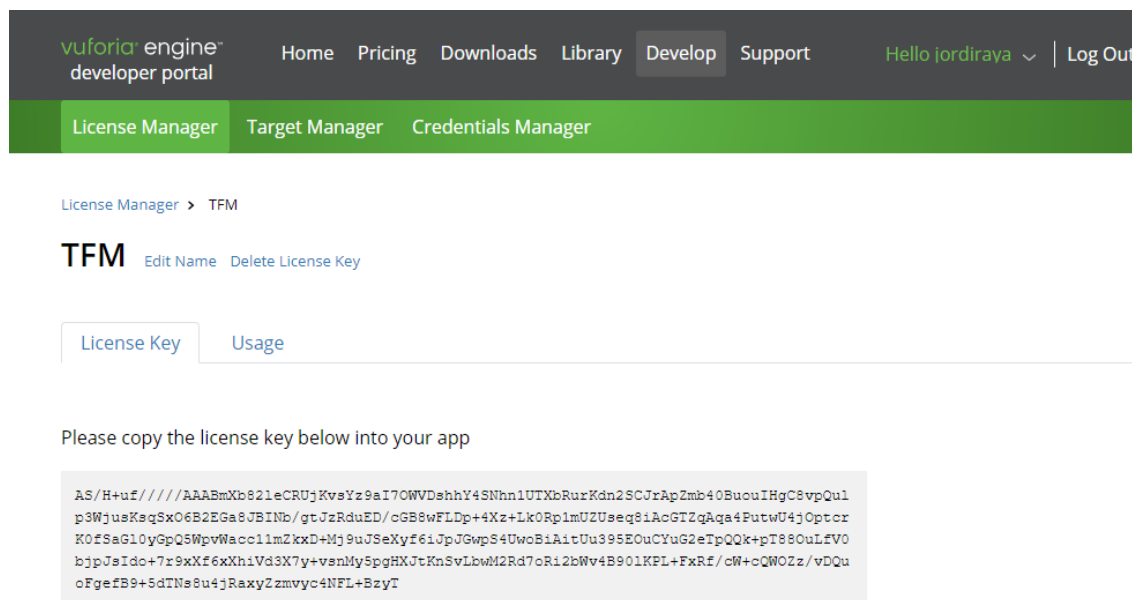
Ja a dins de Unity Hub, instal·lem la versió 2021.3.14f1 LTS (*long temp support*) és a dir, la darrera versió estable que serà mantinguda a llarg termini.



**Figura 32:** Selecció d'editor Unity a Unity Hub.

A continuació anem a la plana de [Vuforia](#), on també creem un compte de desenvolupador. A la secció de descàrregues seleccionem la versió 9.8 per Unity (*Add Vuforia Engine to a Unity Project or upgrade to the latest version*), que ens descarregarà el paquet per Unity.

A continuació anem a la secció de “License Manager” i creem una llicència pel projecte:

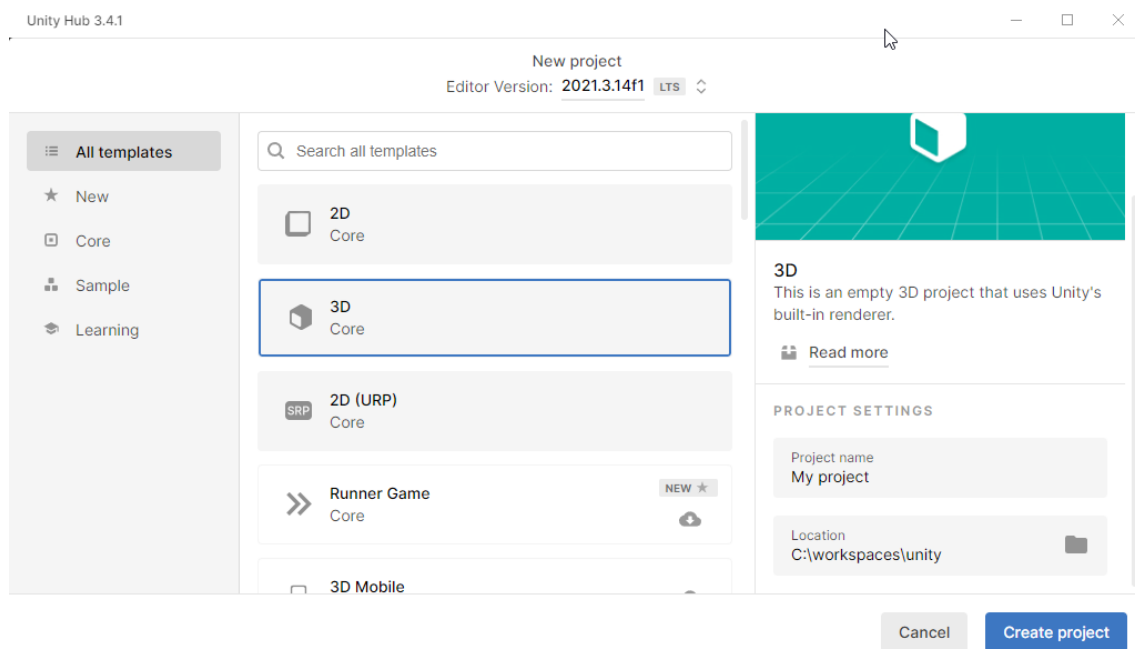


**Figura 33:** Creació de llicència per Vuforia



En principi la llicència no seria necessària per l'ús que volem fer de Vuforia, però considerem interessant disposar de la configuració per si decidim incorporar marcadors a l'aplicació.

Arranquem Unity Hub i creem un nou projecte amb la plantilla "3D" i seleccionem el directori de treball local:

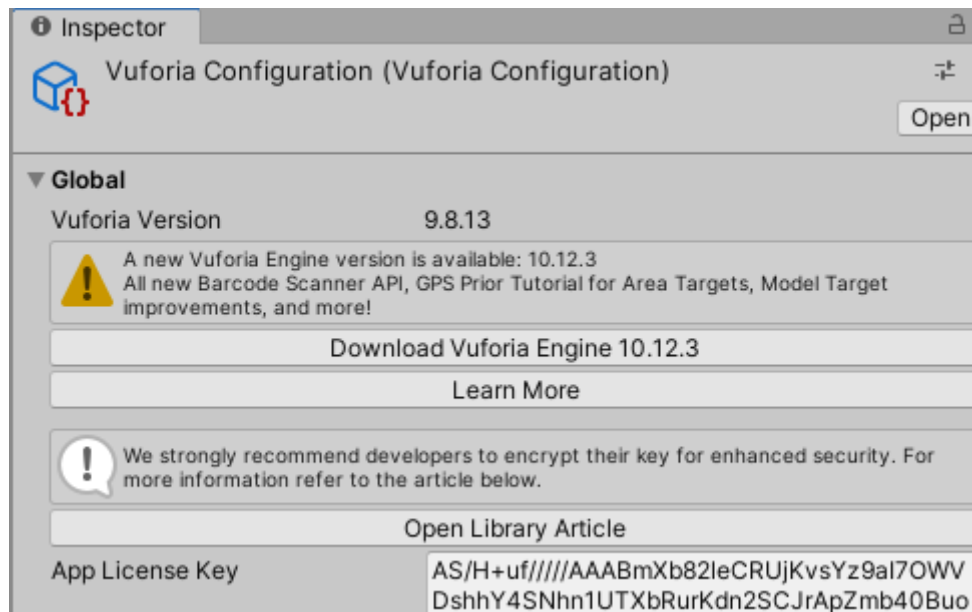


**Figura 34:** Creació de projecte a Unity Hub

Un cop dins l'editor de Unity, anem a *Assets > Import new package > custom package* i seleccionem l'arxiu `add-vuforia-package-9-8-13.unitypackage`. El gestor de paquets de Unity descarregarà el contingut mitjançant Git. És important mantenir aquesta versió i rebutjar les propostes d'actualització a la darrera versió per motius de compatibilitat amb la versió de Unity i amb la llibreria AR + GPS Location.

Un cop instal·lat el paquet de Vuforia, a la finestra de projecte anem a *Assets > Resources*, seleccionem l'arxiu `VuforiaConfiguration` i s'obrirà la finestra *Inspector* amb la configuració de Vuforia, on podrem copiar la clau de la llicència obtinguda anteriorment.

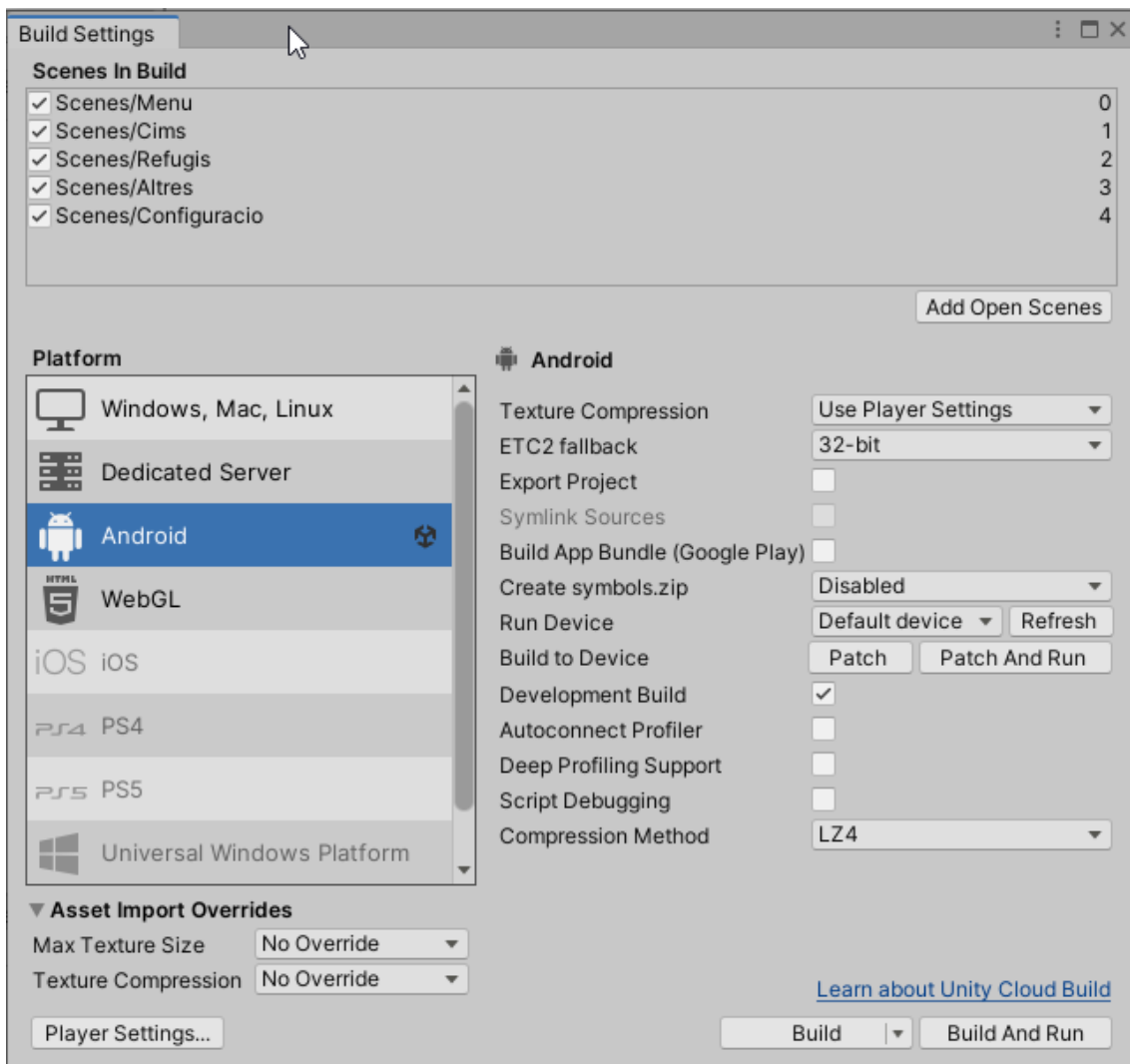




**Figura 35:** Configuració de Vuforia a Unity

Per instal·lar AR + GPS Location es segueix el mateix procés *Assets > Import new package > custom package* i seleccionem l'arxiu AR GPS Location v3.8.0.unitypackage obtingut de la Unity Asset Store

El darrer pas dins l'editor de Unity consisteix en configurar l'exportació per una aplicació Android. Anem a *File > Build Settings* i marquem *development build* per tal de poder instal·lar l'aplicació sense necessitat d'una clau per la Play Store.



**Figura 36:** Configuració d'exportació Android a Unity

En aquesta finestra piquem a “Player Settings” per seleccionar les opcions de l'aplicació. Les més importants són:

*Resolution and Presentarion > Orientation > Default orientation: landscape left*  
*Other Settings > Identification > Minimum API Level : Android 5.1 “Lollipop” (API level 22)*

Si no disposem de l'SDK de Android corresponent a la versió mínima l'haurem d'instal·lar mitjançant Android Studio. En cas contrari es produirà un error a l'exportació.

En aquesta mateixa secció “Identification” podem determinar altres característiques de l'aplicació que poden ser d'interès, com el nom del package i la versió.

Finalment crearem un repositori remot a Github i el sincronitzarem amb el directori local. Per aquest propòsit cal disposar abans d'un parell de claus [ECDSA](#). Es poden crear mitjançant ssh-keygen en una finestra de comandes de Windows i guardar-les a C:\Users\<usuari>\.ssh

```
C:\Users\rayaj\.ssh\prov>ssh-keygen -t ecdsa -b 521 -C "raya.jordi@gmail.com"
Generating public/private ecdsa key pair.
Enter file in which to save the key (C:\Users\rayaj\.ssh/id_ecdsa): id_ecdsa
Enter passphrase (empty for no passphrase):
Enter same passphrase again:
Your identification has been saved in id_ecdsa.
Your public key has been saved in id_ecdsa.pub.
```

Figura 37: Creació de claus ECDSA

Un cop disposem de les claus anem a la plana de Github, creem el compte i a la secció de configuració anem a SSH and GPG keys i copiem el contingut de la clau pública generada en el pas anterior, que serà l'arxiu amb extensió .pub

Figura 38: Registre de claus a Github

Un cop registrada la nostra clau, a la barra superior podem picar al símbol + i seleccionar *New Repository* per crear el repositori. A la plana de creació podem escollir el nom, determinar si serà públic o privat i afegir l'arxiu `.gitignore` amb una plantilla específica per Unity. Aquest arxiu serveix per indicar a Git els arxius que no ha de versionar, com compilats, logs, etc.

Finalment, obrim la finestra de comandes de Git, anem al directori del projecte i mitjançant la seqüència de comandes següent crearem el repositori local, afegirem els arxius i els sincronitzarem amb el repositori remot:

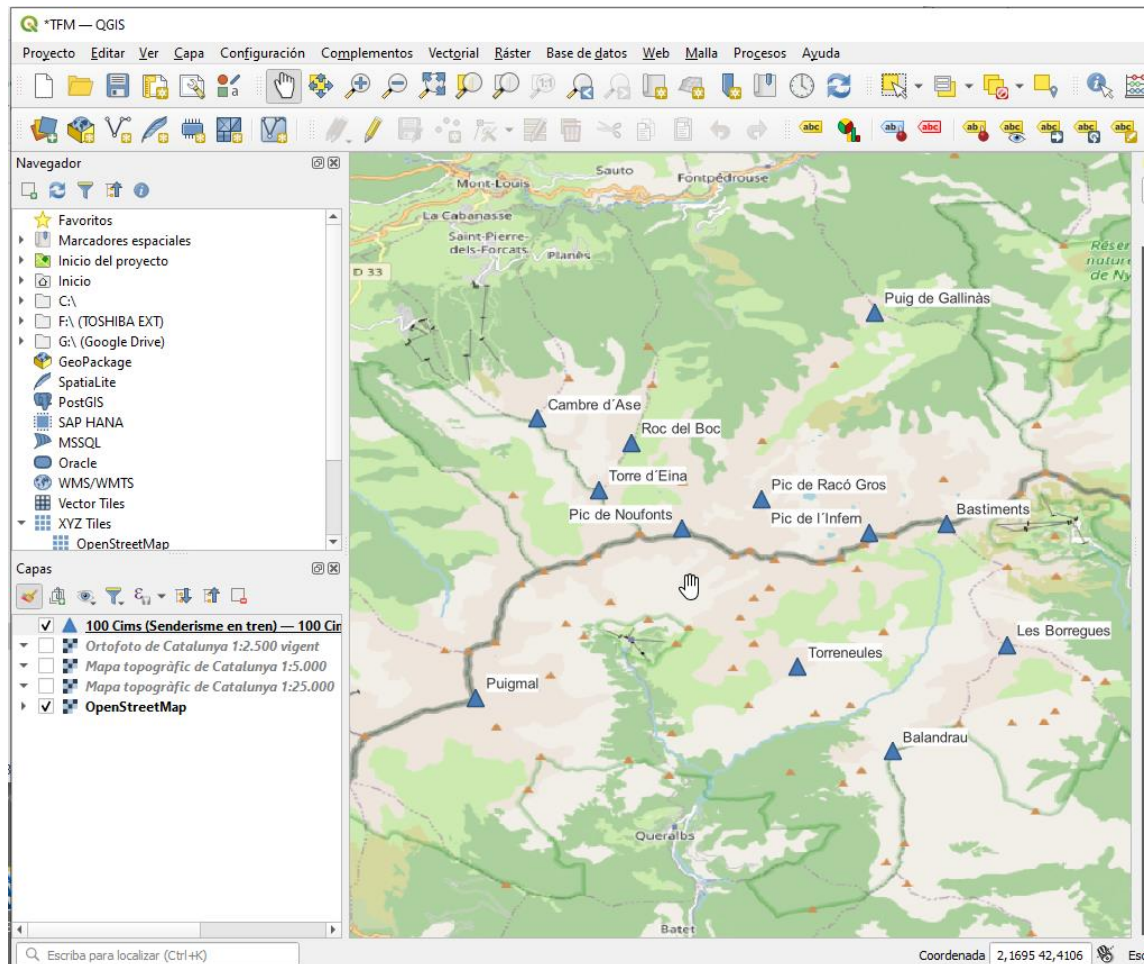
```
git init
git add *
git commit -m 'pujada inicial'
git remote add origin git@github.com:<usuari>/<repositori>.git
git push -u origin master
```

## 2.3. Fonts de dades

Les dades geogràfiques estaran emmagatzemades en arxius XML, per tal de permetre el funcionament de l'aplicació sense necessitat de connexió a Internet. Aquests arxius es formaran a partir de les fonts de dades que s'assenyalen a continuació :

- [Nomenclàtor oficial de toponímia major de Catalunya](#)
- [Llistat de 100 cims de la FEEC](#)

Els reptes dels 100 cims consisteix en assolir 100 cims d'una llista més àmplia amb els cims considerats més significatius de Catalunya. Les dades amb les posicions d'aquests cims estan disponibles en format .kml a la web "Senderisme en tren": <https://senderismeentren.cat/llista-dels-100-cims-de-la-feec-2017>

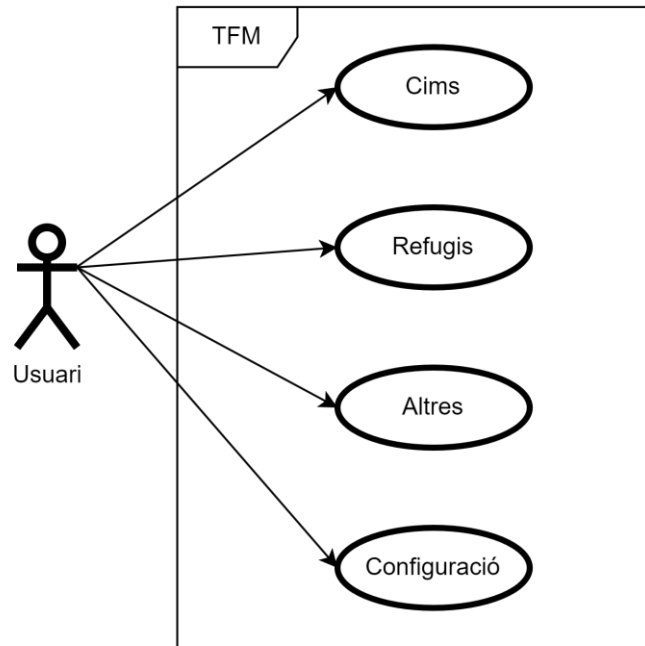


**Figura 39:** Vista a QGIS dels 100 cims a la vall de Núria sobre un mapa de OpenStreetMap

- [Llistat de refugis de la FEEC](#)
- [Google Maps](#)

## 2.4. Disseny

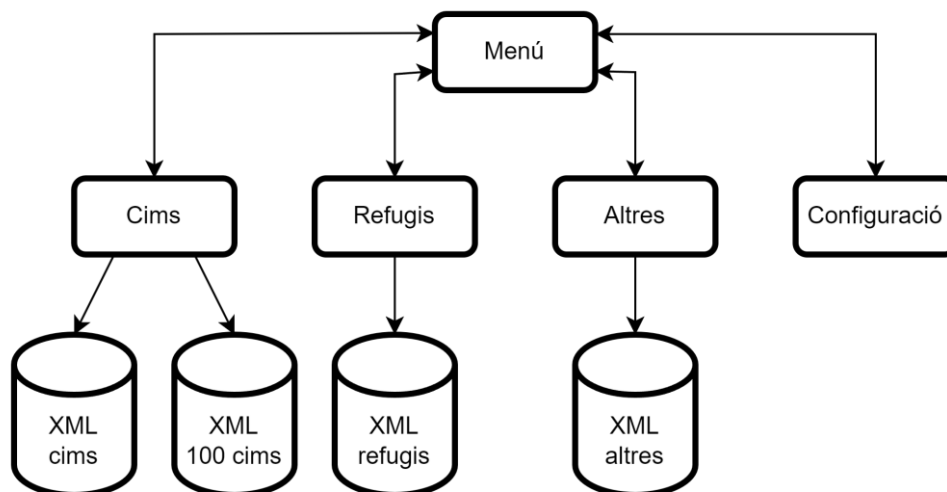
L'aplicació constarà d'una pantalla de menú principal, des de la qual es podrà accedir a les diferents funcionalitats, com la identificació de cims, la localització de refugis, la localització d'altres elements d'interès com monuments o fenòmens naturals, i les opcions de configuració. Aquestes funcionalitats son independents entre sí, de manera que el diagrama de casos d'ús resultant és prou simple:



**Figura 40:** Diagrama de casos d'ús

Cal assenyalar que, pel fet de tractar-se d'una aplicació pensada per ser utilitzada *off-line*, no hi ha actors com servidors remots. Tampoc es preveu la necessitat de crear i mantenir comptes d'usuari, fer *login*, etc.

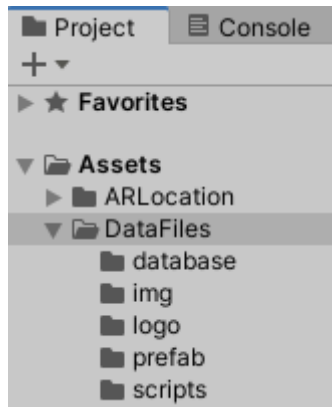
Mostrem a continuació un esquema de funcionament i navegació:



**Figura 41:** Esquema de funcionament

## 2.5. Implementació

En primer lloc creem un directori DataFiles a Assets per estructurar els arxius propis de l'aplicació que es generen manualment, amb subdirectoris per les dades, les imatges, el logotip, els objectes prefabricats i els scripts:



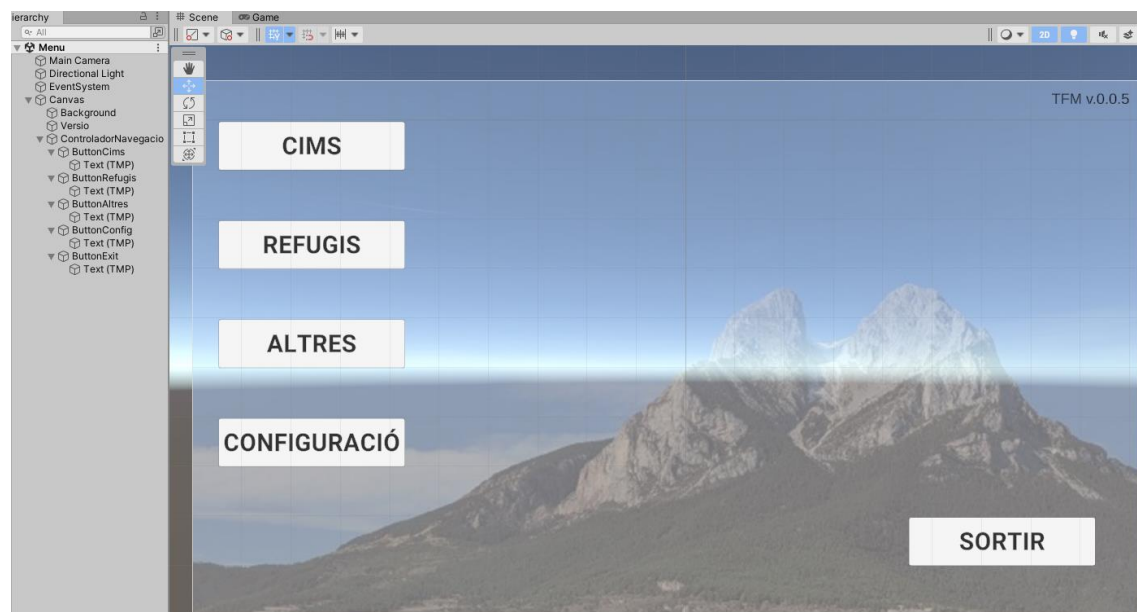
**Figura 42:** Directoris de l'aplicació

### Escena de menú principal

La primera escena que es crea correspon al menú principal. Posem l'editor en mode 2D i creem un objecte de tipus Canvas de 1920 x 1080, que correspon a la resolució de pantalla més habitual en Android.

Per la imatge de fons afegim un Panel (Background) i a aquest li assignem l'arxiu de la imatge que prèviament hem convertit a Sprite.

A continuació es crea un objecte buit (ControladorNavegacio) al qual associem l'script que disposa de les funcions pel canvi de scenes i afegim els botons, que consten d'un objecte Button i d'un altre objecte Text



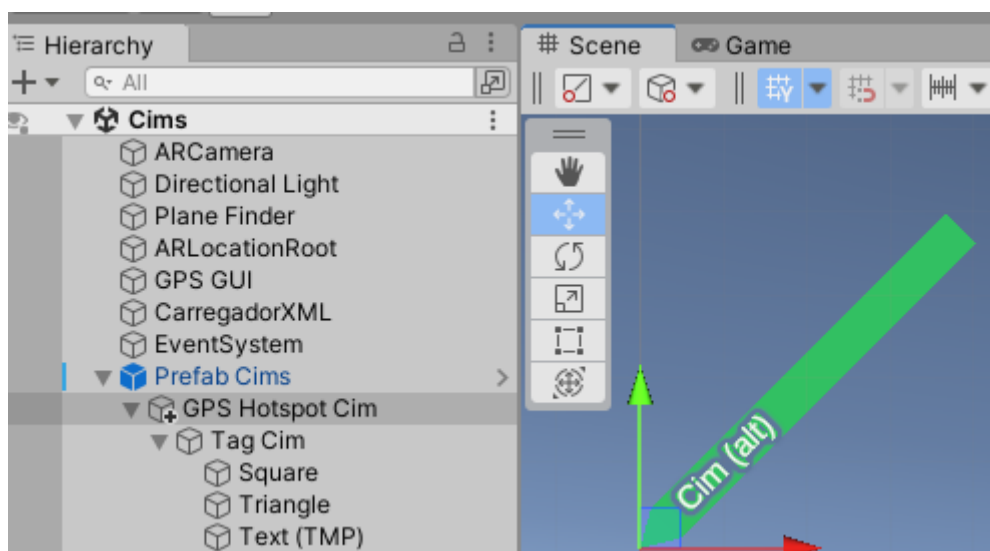
**Figura 43:** Edició de la pantalla d'inici

L'script del menu gestiona la navegació mitjançant funcions que son cridades a l'esdeveniment On Click () de cada botó.

### Escena de cims

- Aquesta escena es compon dels següents elements:
- La càmera de realitat augmentada de Vuforia
- La llum direccional (que no té cap efecte ja que no es mostraran gràfics tridimensionals)
- El detector de plànols de Vuforia
- L'iniciador de GPS i brúixola de AR + GPS Location
- L'script per mostrar les dades del GPS i la brúixola per pantalla, que no es mostren a l'editor
- L'script per carregar les dades d'arxius XML a l'obrir l'escena
- El detector d'esdeveniments del sistema
- Un Canvas on mostrar les dades de l'script de GPS i el botó per tornar al menu principal
- L'objecte prefabricat que conté els marcadors de cims
- L'objecte prefabricat que conté els marcadors dels 100 cims

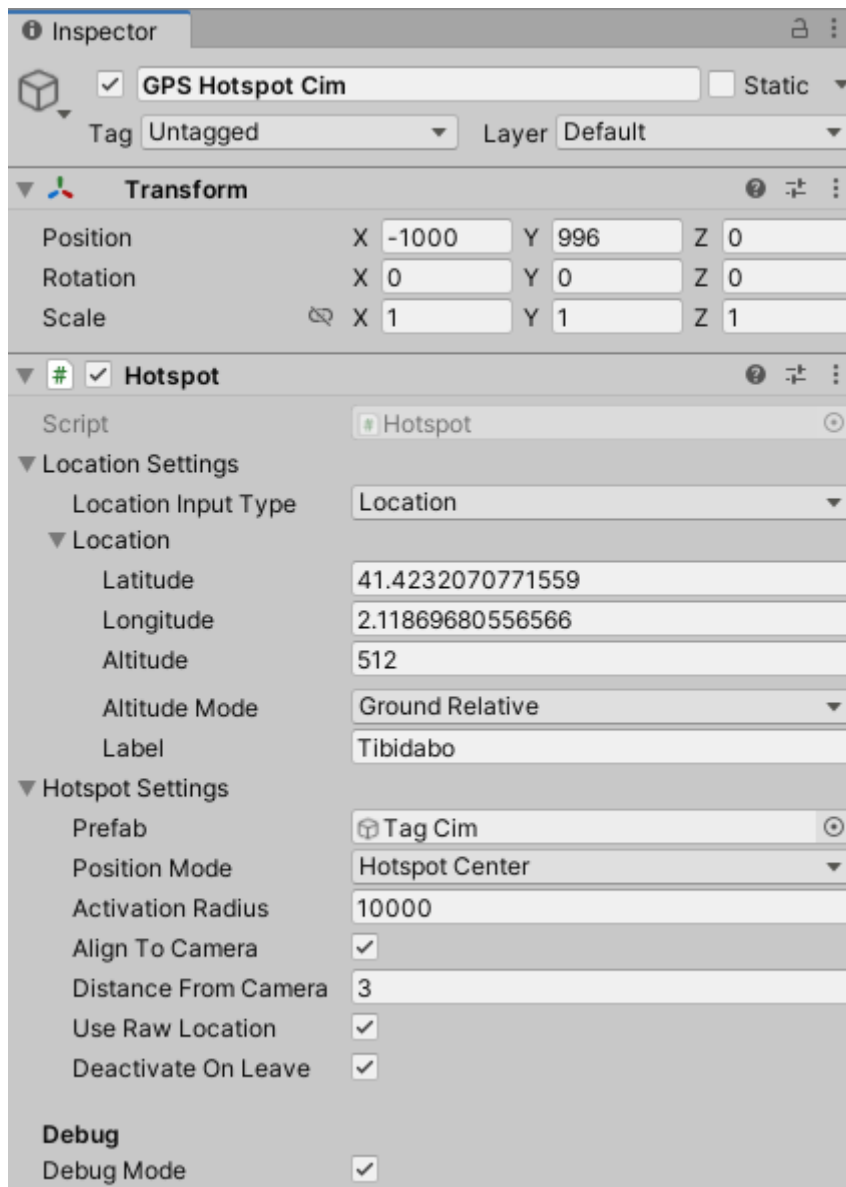
Els prefabricats (prefabs) són objectes que es poden instanciar i eliminar totes les vegades que sigui necessari, modificant les seves característiques sense afectar la resta de instàncies. També permeten modificacions globals que afectin a totes les instàncies visibles. Per exemple, en un videojoc de tipus "arcade" s'utilitzarien per crear els enemics, projectils, etc. En aquest cas els emprarem per crear les etiquetes visibles dels cims:



**Figura 44:** Detall dels elements lògics i gràfics del marcador de cims

L'objecte prefabricat consta d'un GPS Hotspot, que és un objecte de la llibreria AR + GPS location al quan podem introduir coordenades GPS per tal que es mostri en una localització determinada o bé al davant de la càmera, en un radi establert al voltant de la posició del dispositiu. Examinem les seves propietats:





**Figura 45:** Propietats d'un objecte posicionador, amb les dades de posició d'un cim insertades manualment

Aquest objecte posicionador conté l'etiqueta, que és l'element visible. Aquesta etiqueta no és més que un contenidor que recull els elements gràfics: un rectangle de fons, un triangle per apuntar el cim, i un objecte de text per mostrar el nom del cim i l'altitud. Aquest contenidor gira tots els objectes 45° en l'eix Y i situa el punt de pivotatge de l'objecte a la punta del triangle, per tal que es consideri aquest com el centre i a la pantalla es vegi a la punta del cim.

L'script de càrrega s'encarrega de llegir les dades dels arxius XML i d'instanciar els prefabricats a l'inicialitzar-se l'escena. A cada instància se li assignen les coordenades, l'altitud i el nom.

Pel que fa a les dades, per tal de simplificar les operacions i complir les necessitats concretes de l'aplicació s'ha optat per utilitzar un XML personalitzat i molt simple, en comptes de kml, ja que tampoc coneixem en detall les seves especificacions.

```

1  <?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="yes"?>
2  <database xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance">
3    <punt>
4      <nom>Tibidabo</nom>
5      <descripcio>descripció</descripcio>
6      <latitud>41.42320740893415</latitud>
7      <longitud>2.1185037116449426</longitud>
8      <altitud>512</altitud>
9    </punt>
10   <punt>
11     <nom>Montjuic</nom>
12     <descripcio>descripció</descripcio>
13     <latitud>41.3647726638063</latitud>
14     <longitud>2.167557473013034</longitud>
15     <altitud>178</altitud>
16   </punt>

```

**Figura 46:** Exemple d'arxiu XML amb les dades dels cims

Els marcadors dels 100 cims funcionen de la mateixa manera, amb la diferència de que el marcador es mostra d'un altre color.

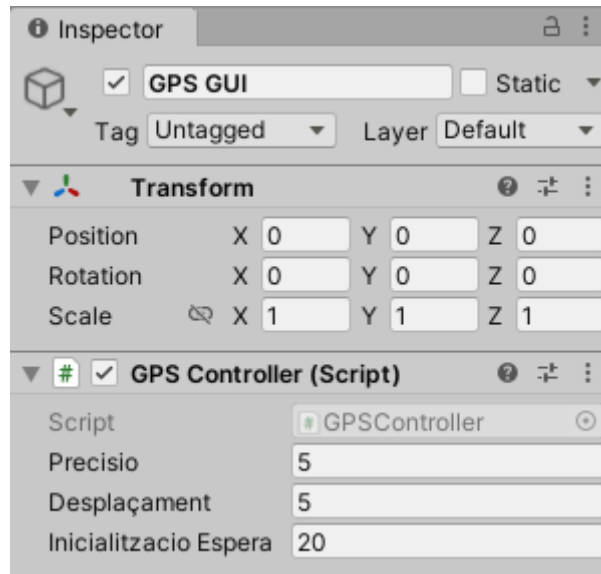
Finalment, per aquesta escena disposem un Canvas amb el botó per tornar a la pantalla d'inici i per mostrar les dades del GPS i de la brúixola, encara que a l'editor no siguin visibles ja que s'inicien al carregar l'escena.

Per fer proves, els elements de interfície d'usuari es poden observar connectant la càmera de l'ordinador:



**Figura 47:** Prova de interfície d'usuari amb la càmera de l'ordinador

L'script que mostra les dades GPS també disposa de propietats de configuració



**Figura 48:** Configuració de l'script de interfície de GPS i brúixola

### Escenes de refugis i altres

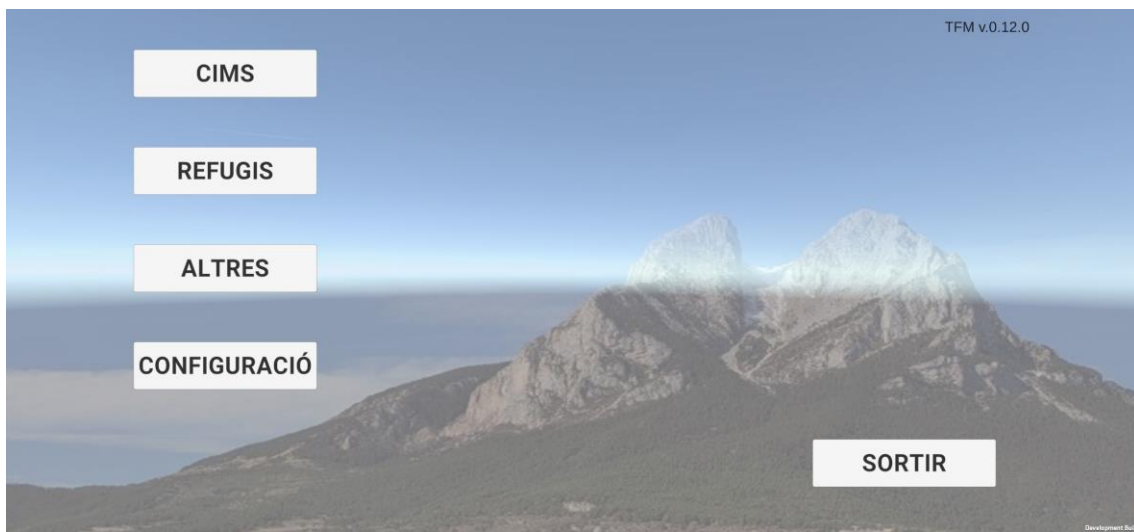
Aquestes escenes funcionen de la mateixa manera que la de cims, però les dades s'obtenen d'altres arxius XML i els marcadors son de diferent color.

## 3. Resultats

### 3.1. Valoració general

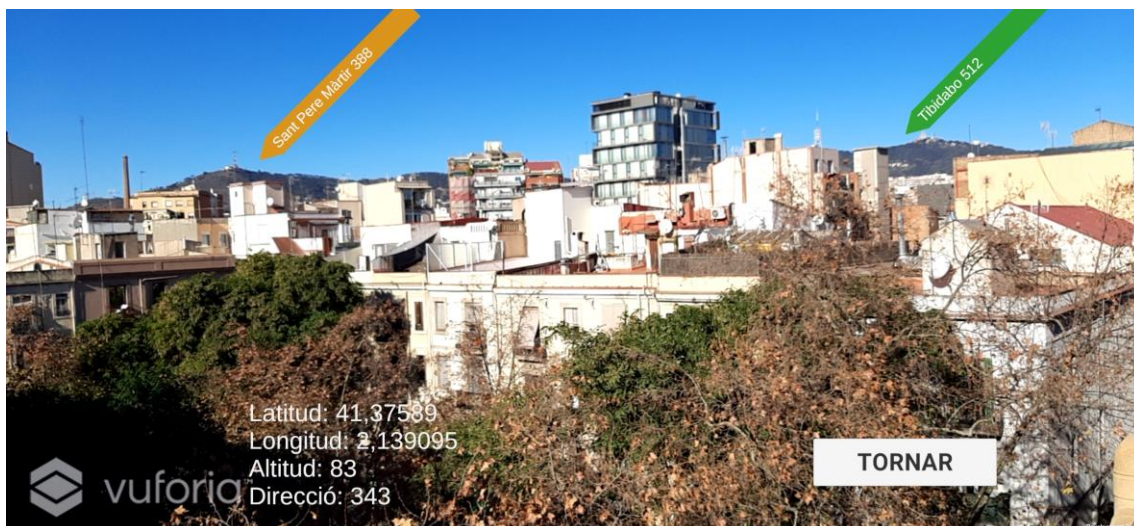
El resultat obtingut ha estat una aplicació funcional, encara que amb determinats problemes que es poden considerar importants i que obligarien a una revisió de diversos aspectes.

La pantalla de menú principal s'obre sense problemes i la navegació és correcta:



**Figura 49:** Pantalla d'inici de l'aplicació

Les funcions de geolocalització mostren el punt on s'espera, encara que sovint no amb prou precisió, tal com es mostra a les següents imatges:

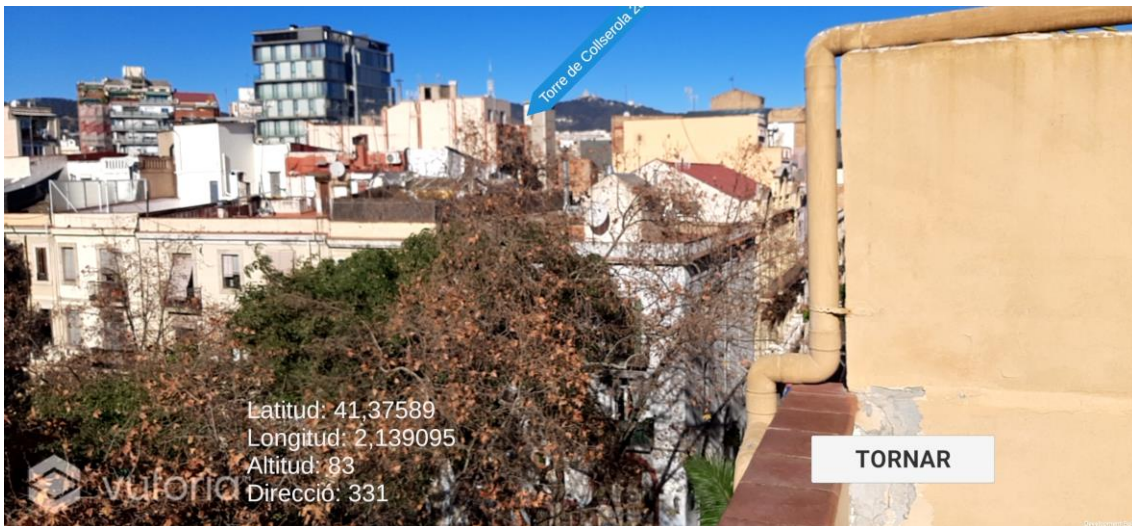


**Figura 50:** Escena de cims





**Figura 51:** Escena de refugis (l'hotel no és un refugi, es mostra només a efectes demostratius)



**Figura 52:** Escena de altres

Els problemes detectats han estat els següents:

- Falta de precisió en la ubicació, especialment a l'altitud
- Renderitzat dels gràfics incorrecte: de vegades aquests no s'han mostrat en la mida correcta, o bé els caràcters es mostren borrosos i difícils de llegir. Aquests comportaments son, aparentment, aleatoris.
- Alt consum de bateria

En general considerem que aquests problemes es podrien alleugerir o millorar amb les configuracions de Vuforia i de l'exportació a Android, però caldria investigar amb detall aquestes opcions.

Cal considerar que les proves s'han realitzat en exteriors amb jocs de dades mínims per a una àrea geogràfica limitada. Una continuació del desenvolupament implicaria completar extensivament aquests jocs de dades i avaluar el seu impacte sobre el rendiment.

### 3.2. Proves de compatibilitat

Per realitzar tests d'usuari s'ha instal·lat l'aplicació sense problemes en els següents telèfons:

- Samsung Galaxy XCover Pro
- Google Pixel 4 XL
- Oppo A15

S'ha intentat instal·lar també a un Dogee S60 sense èxit.  
No disposem de iPhone per provar una exportació a iOS.

### 3.3. Proves d'usuari

A causa de les restriccions temporals i a que l'aplicació està pensada per executar-se fora d'entorns urbans no s'han realitzat tests d'usuari.

En cas d'haver-se realitzat, s'hauria demanat als usuaris tasques com identificar cims o situar el refugi més proper i s'hagués realitzat aquesta enquesta:

Valoració de l'aplicació, on 1 = completament d'acord i 5 = completament en desacord:

	1	2	3	4	5
Crec que faré servir l'aplicació					
Crec que entenc el propòsit i utilitat de l'aplicació					
Crec que l'aplicació seria útil en casos d'emergència					
Crec que l'aplicació és complexa					
Crec que cal ajuda per fer servir l'aplicació					
Crec que calen coneixements previs per fer servir l'aplicació					
Crec que les diferents funcions estan ben integrades					
Crec que la informació que subministra l'aplicació és fiable					
Crec que la informació que subministra l'aplicació és completa (i.e surten tots els cims, elements d'interès, etc.)					



## 4. Conclusions i treballs futurs

### 5.1. Conclusions

Com a conclusió del present treball podem assenyalar que, en l'actualitat, l'estat de la tecnologia és prou madur i estable com per permetre el desenvolupament d'aplicacions de realitat augmentada basades en geolocalització d'una manera prou eficient i accessible.

Cal destacar que hem considerat múltiples opcions pel desenvolupament i que, probablement, amb les pertinents modificacions, els resultats haurien estat bastant similars en qualsevol opció escollida. Potser amb l'ús directe de ARCore, com a plataforma pròpia de Android, el rendiment hauria estat més òptim.

Aquests resultats responen a les expectatives inicials, malgrat els defectes de funcionament imprevisibles que hem consignat a l'apartat anterior. En general considerem que no han resultat sorprenents, però hem de comentar alguns aspectes rellevants:

En primer lloc, la implementació amb Unity ha estat molt visual, sovint més semblant a l'edició d'una representació 3D que a un desenvolupament de programari clàssic. La major part del temps s'ha treballat amb eines completament visuals i el nombre de línies de codi necessàries ha estat més baix que l'esperat. D'aquesta manera es facilita considerablement la realització de tasques complexes, però el producte resultant resta molt lligat a editors concrets i a versions específiques.

També hem de constatar la dificultat que ha suposat provar efectivament aplicacions amb aquestes característiques. Es poden realitzar tests unitaris dels components i tests d'integració amb elements externs, i també es pot simular (*mocking*) la localització del dispositiu, però no hem trobat cap manera eficient per simular el que hauria d'estar mostrant-se per la càmera d'un dispositiu mòbil en una localització determinada sense anar-hi allà presencialment.

Aquest fet ha obligat a que cada versió preliminar ha implicat una exportació a Android amb la seva instal·lació per provar-la. En canvi, els IDEs de desenvolupament per Android disposen d'emuladors que estalvien aquestes exportacions.

Finalment, cal assenyalar que no s'han aconseguit fonts de dades complertes i en formats adients per la seva utilització *off-line*, per la qual cosa aquestes s'han elaborat manualment. Aquest fet ens ha obligat a restringir la zona d'utilització per tal de poder realitzar els tests d'usuari. Cal dir, però, que probablement hauríem trobat maneres eficients de convertir les dades ja disponibles en cas d'haver disposat de més temps.

## 5.2. Assoliment d'objectius

Considerem que s'han acomplert els objectius plantejats inicialment, ja que l'aplicació resultant és plenament funcional, malgrat que tingui molts aspectes per millorar, com els errors de funcionament, la major extensió de les dades o la interfície gràfica.

També han estat assolits la major part els objectius d'aprenentatge, com l'ús d'editors i llibreries per la implementació de la realitat virtual.

Cal afegir que entre els d'objectius s'havia plantejat l'aprenentatge de programari SIG i l'ús de llibreries Android, que no s'han realitzat ja que el desenvolupament del projecte no ho ha requerit.

També s'havia plantejat inicialment la maquetació de la present memòria en Latex / Overleaf, però s'ha hagut de descartar per no disposar de prou temps per l'aprenentatge i realització.

## 5.3. Planificació i metodologia

Pel que fa a la planificació, hem de reconèixer que aquesta no s'ha seguit estrictament degut a retards en el desenvolupament, que ens ha portat a completar la implementació a partir d'un primer prototip en unes dates que, en principi, estaven reservades per a la redacció de la memòria.

Aquest fet s'ha degut a la necessitat d'estudiar i en algun cas provar les diferents opcions per al desenvolupament, ja que no partíem de cap idea determinada per aquest, i que no teníem coneixements ni experiència en el desenvolupament amb Unity.

Altres factors també han influït en aquest retard. Per exemple, la gran quantitat de informació, articles i tutorials que existeixen per Unity, paradoxalment, han complicat considerablement la recerca de solucions pels problemes concrets que han anat sorgint, ja ha estat necessari filtrar i examinar la informació acuradament.

D'altra banda, hem constatat que Unity i els seus components estan molt lligats a versions concretes, de manera que ens hem trobat amb casos com que una solució no es podia aplicar si no es canviava una versió, i al fer-ho es provocaven errors en altres components. Els errors de compilació "en cascada" han estat una constant durant tot el desenvolupament, i no sempre els missatges d'error han estat prou clars.

Respecte a la metodologia, considerem que el desenvolupament en cascada, amb la seva estricta separació en fases, ha resultat molt convenient per la realització d'una aplicació d'aquestes característiques, pels següents motius:

En primer lloc, l'establiment d'una fase de presa de requisits ha resultat imprescindible quan cal decidir la tecnologia en la que es realitzarà el

desenvolupament i es desconeix aquesta i les seves possibilitats. D'aquesta manera, a l'escriure les especificacions, es delimiten les possibles recerques i experimentacions.

En segon lloc, la separació entre les fases de disseny i implementació obliga a delimitar acuradament l'abast abans de començar a escriure el codi, de tal manera que es limiten molt el nombre de versions de prova i de correccions d'errors. Aquest fet contrasta amb el d'altres metodologies on es prima el prototipatge i els lliuraments freqüents. En el nostre cas, un nombre versions limitat és adient ja que la instal·lació i prova d'una versió en un dispositiu Android no és un procés trivial i no hem sabut automatitzar-lo.

Finalment, cal assenyalar que efectivament s'han introduït canvis a la planificació. Bàsicament s'ha hagut de dedicar més temps del previst a la fase de presa de requisits per englobar l'estudi de les alternatives tecnològiques, i ha estat necessari finalitzar la implementació paral·lelament a la redacció final de la memòria. Considerem que aquests canvis no s'haurien produït si la natura del treball ja estigués predeterminada abans de l'inici, com podria ser el cas d'un projecte SIG o una aplicació Android com havíem considerat abans de l'inici del treball.

#### 5.4. Impactes previstos

No es considera posar a disposició del públic l'aplicació mitjançant la Play Store, per la qual cosa el seu impacte en sostenibilitat, ètic-social i de diversitat és nul. En cas de difusió del producte final constatem que durant el disseny i desenvolupament no hem trobat cap element que ens obligui a replantejar els impactes esmentats a l'[apartat](#) corresponent.

#### 5.5. Impactes no previstos

El desenvolupament i proves de l'aplicació no ha permès detectar cap impacte no previst en sostenibilitat, ètic-social i de diversitat, ni en sentit positiu ni negatiu.

#### 5.6. Línies de treball futur

En primer lloc caldria examinar les opcions de con figuració de Vuforia i deUnity per l'exportació a Android per tal de solucionar els problemes de funcionament, especialment els referents a la representació d'objectes.

Un cop resolta o millorada aquesta qüestió caldria treballar l'aspecte gràfic de l'aplicació. Actualment el seu aspecte resulta gaire atractiu, però cal considerar que no disposem de coneixements disseny gràfic ni hem recorregut a elements de l'Asset Store. Malgrat això, una estudi detallat de les opcions gràfiques de les que disposa Unity podria donar molt bon resultat.

Malgrat que sigui plenament funcional, l'àmbit geogràfic amb el que treballa l'aplicació en el seu estat actual és prou limitat a causa dels jocs de dades. Caldria investigar les fonts de dades disponibles i esbrinar la manera d'emprar-les mitjançant un procés automatitzat, sense necessitat d'intervenció humana. Idealment, aquest procés hauria de comprendre també l'actualització periòdica. L'aplicació podria detectar si disposa de connexió per actualitzar les seves dades periòdicament, per tal d'estar preparada per al seu ús *off-line*.

Una altra opció seria permetre l'ús directe d'arxius .kml per emmagatzemar les localitzacions. Aquesta modificació no seria gaire costosa d'implementar.

També caldria, per a futurs desenvolupaments, esbrinar si existeix alguna metodologia, llibreria, bastiment, etc. per provar de manera eficient aplicacions de realitat augmentada basades en localització. Ja hem assenyalat que els típics tests unitaris i d'integració, o els que simulen accions d'usuari, resulten insuficients per aquestes aplicacions. Cal alguna manera de simular el que "veu" la càmera en una localització concreta que no sigui, òbviament, anar allà. Per exemple, es podria provar de connectar amb webcams en temps real o utilitzar imatges de nivell de terra de Google Maps. Considerem que una API de *testing* que resolgués aquests problemes seria un projecte molt interessant de realitzar i útil per als desenvolupaments futur d'aplicacions similars.

Un altre punt de millora consistiria en la introducció de botons clicables als elements gràfics de localització, de manera que mostressin informació addicional. També en aquest sentit, aprofitant que Vuforia permet establir marcadors i accedir a una base de dades local d'aquests, es podrien utilitzar fotografies de monuments i altres elements característics que es poden trobar als cims com a referents i ampliar informació sobre aquests.

Considerem que d'aquesta manera augmentaria la utilitat de l'aplicació per la combinació de la realitat augmentada basada en localització amb la basada en marcadors, i a més sense necessitat de canviar de plataforma i reaprofitant la totalitat del codi ja realitzat i provat. En la nostra opinió, l'absència de la realitat augmentada en la nostra vida diària quan la tecnologia ja la pot posar a l'abast de pràcticament tothom es deu a poca utilitat de les aplicacions. Una aplicació multifuncional amb diferents tipus de realitat augmentada funcionant simultàniament podria resultar molt atractiva.

## 5. Glossari

AR (*Augmented Reality*): experiència interactiva que combina el món real amb continguts generats per ordinador.

BIM (*Building Information Modeling*): procés tecnològic que implica la generació i gestió de representacions digitals d'edificis e infraestructures.

CAD (*Computer-Aided Design*): ús d'ordinadors en la creació, modificació, anàlisi o optimització d'un disseny.

GIS (*Geographic Information System*): sistema de maquinari, programari, dades, persones, organitzacions i convenis institucionals per a la recopilació, emmagatzematge, anàlisi i distribució d'informació de territoris de la Terra.

GNSS (*Global Navigation Satellite System*): sistemes de posicionament mitjançant satèl·lits.

HMD (*Head-Mounted Display*): dispositiu de visualització per un o tots dos ulls que es porta al cap o com a part d'un casc, utilitzats per aplicacions de realitat augmentada i de realitat virtual

IDE (*Integrated Development Environment*): aplicació informàtica que proporciona diversos serveis d'ajuda pel desenvolupament de programari.

OSM (*OpenStreetMap*): projecte col·laboratiu per crear una base de dades geogràfica lliure d'abast mundial.

SDK (*Software Development Kit*): col·lecció d'eines per al desenvolupament de programari que es distribueix mitjançant paquets instal·lables.

## 6. Bibliografia

- [1] ROMA, Francesc: *Història social de l'excursionisme català: dels orígens a 1936*. Oikos-Tau, Barcelona 1996.
- [2] DE RAMON, Jaume: *L'excursionisme, un fet social*. Rafael Dalmau Editor, Barcelona 1983.
- [3] Federacions esportives. Clubs i llicències [Internet] Generalitat de Catalunya. Institut d'estadística de Catalunya, 2021. [consulta: 6/10/2022] Disponible a: <https://www.idescat.cat/indicadors/?id=aec&n=15786>
- [4] VILA, Aurora: *Què n'hem fet, de les nostres muntanyes?* Rafael Dalmau Editor, Barcelona 2013.
- [5] Salvaments al medi natural (Gener 2010 – actualitat). Generalitat de Catalunya. Departament d'Interior, 2022. [consulta: 6/10/2022] Disponible a: [https://interior.gencat.cat/ca/arees\\_dactuacio/bombers/seguretat\\_a\\_la\\_muntanya/salvaments\\_al\\_medi\\_natural/](https://interior.gencat.cat/ca/arees_dactuacio/bombers/seguretat_a_la_muntanya/salvaments_al_medi_natural/)
- [6] CARMIGNIANI, Julie, FURHT, Borko: Augmented Reality: an overview. A: FURHT, Borko (ed): *Handbook of Augmented Reality*. Springer, New York 2011. pàg. 3-46. DOI: 10.1007/978-1-4614-0064-6\_1 [consulta: 30/10/2022] Disponible a [https://www.researchgate.net/publication/227164365\\_Augmented\\_Reality\\_An\\_Overview](https://www.researchgate.net/publication/227164365_Augmented_Reality_An_Overview)
- [7] MILGRAM, Paul, KISHINO, Fumio: Taxonomy of mixed reality visual displays. A: *IEICE Transactions on Information Systems*, 1994. Vol. E77-D, nº 12. pàg. 1321-1329 [consulta: 01/11/2022] Disponible a [https://cs.gmu.edu/~zduric/cs499/Readings/r76JBo-Milgram\\_IEICE\\_1994.pdf](https://cs.gmu.edu/~zduric/cs499/Readings/r76JBo-Milgram_IEICE_1994.pdf)
- [8] WILSON, John R., D'CRUZ, Mirabelle: Virtual and interactive environments for work of the future. A: *International Journal of Human-Computer Studies*, 2006. Nº 64 (3). pàg 158-169. DOI:10.1016/j.ijhcs.2005.08.007
- [9] DOERNER, Ralf, BROLL, Wolfgang, GRIMM, Paul, JUNG, Bernhard (eds): *Virtual and Augmented Reality (VR/AR). Foundations and Methods of Extended Realities (XR)*. Springer Nature Switzerland, Cham 2016. DOI: 0.1007/978-3-030-79062-2
- [10] HUGHES, Olivier; CIEUTAT, Jean-Marc; GUITTON, Pascal: GIS and Augmented Reality: State of the Art and Issues. A: FURHT, Borko (ed): *Handbook of Augmented Reality*. Springer, New York 2011. pàg. 721-740. DOI:10.1007/978-1-4614-0064-6\_33 [consulta: 30/10/2022] Disponible a [https://www.researchgate.net/publication/228975330\\_GIS\\_and\\_Augmented\\_Reality\\_State\\_of\\_the\\_Art\\_and\\_Issues](https://www.researchgate.net/publication/228975330_GIS_and_Augmented_Reality_State_of_the_Art_and_Issues)



[11] DICKMANN, Frank; KEIL, Julian; DICKMANN, Paula L.; EDLER, Dennis: The impact of augmented reality techniques on cartographic visualization. A: *KN - Journal of Cartography and Geographic Information*, 2021. núm. 71, pàg. 285-295. DOI:10.1007/s42489-021-00091-2 [consulta: 30/10/2022] Disponible a [https://www.researchgate.net/publication/356358651\\_The\\_Impact\\_of\\_Augmented\\_Reality\\_Techniques\\_on\\_Cartographic\\_Visualization](https://www.researchgate.net/publication/356358651_The_Impact_of_Augmented_Reality_Techniques_on_Cartographic_Visualization)

[12] SCHMALSTIEG, Dieter, REITMAYR, Gerhard: Augmented Reality as a Medium for Cartography. A: CARTWRIGHT, William, PETERSON, Michael P, GARTNER Georg (eds): *Multimedia cartography*. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg 2007. Pàg. 267-281. DOI: 10.1007/978-3-540-36651-5\_19 [consulta: 03/11/2022] Disponible a [https://www.researchgate.net/publication/250314481\\_Chapter\\_19\\_Augmented\\_Reality\\_as\\_a\\_Medium\\_for\\_Cartography](https://www.researchgate.net/publication/250314481_Chapter_19_Augmented_Reality_as_a_Medium_for_Cartography)

[13] KING, Gary R., PIEKARSKI, Wayne, THOMAS, Bruce R.: ARVino - outdoor augmented reality visualisation of viticulture GIS data. A: *Proceedings. Fourth IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR'05)*. Vienna 2005. Pàg. 52-55. DOI: 10.1109/ISMAR.2005.14

[14] GORDON, Layla: Geo Immersive Reality (GIR). A: BECK, Dennis *et al.* (eds): *iLRN 2019 London Workshop, Long and Short Paper, Poster, Demos, and SSRiP Proceedings from the Fifth Immersive Learning Research Network Conference*. Graz 2019. Pàg. 17-36. DOI: 10.3217/978-3-85125-657-4-07 [consulta: 19/11/2022] Disponible a <https://diglib.tugraz.at/download.php?id=5d4bcebee08a2&location=browse>

[15] EDWARDS-STEWART, Amanda, HOYT, Tim, REGER, Greg, M: Classifying Different Types of Augmented Reality Technology. A: *Annual Review of CyberTherapy and Telemedicine*, San Diego 2016. núm 14, pàg. 199-202. [consulta: 8/12/2022] Disponible a [https://www.researchgate.net/publication/315701832\\_Classifying\\_different\\_types\\_of\\_augmented\\_reality\\_technology](https://www.researchgate.net/publication/315701832_Classifying_different_types_of_augmented_reality_technology)

[16] NORMAND, Jean-Marie: SERVIÈRES, Myriam, MOREAU, Guillaume: A new typology of Augmented Reality applications. A: *Association for Computing Machinery International Conference Proceeding Series*. New York 2012. DOI: 10.1145/2160125.2160143 [consulta: 8/12/2022] Disponible a [https://www.researchgate.net/publication/245032078\\_A\\_new\\_typology\\_of\\_Augmented\\_Reality\\_applications](https://www.researchgate.net/publication/245032078_A_new_typology_of_Augmented_Reality_applications)

[17] BOTELLA, Cristina, JUAN, M<sup>a</sup> Carmen, BAÑOS, Rosa M<sup>a</sup>, ALCANIZ, Mariano Luís, GUILLÉN, Verónica, REY, Bárbara: Mixing realities? An application of augmented reality for the treatment of cockroach phobia. A: *Cyberpsychology & Behavior the impact of the Internet, multimedia and virtual reality on behavior and society*. 2005. Vol. 8, núm. 2. Pàg. 162-171. DOI: 10.1089/cpb.2005.8.162 [consulta: 20/11/2022] Disponible a [https://www.researchgate.net/publication/7803002\\_Mixing\\_Realities\\_An\\_Application\\_of\\_Augmented\\_Reality\\_for\\_the\\_Treatment\\_of\\_Cockroach\\_Phobia](https://www.researchgate.net/publication/7803002_Mixing_Realities_An_Application_of_Augmented_Reality_for_the_Treatment_of_Cockroach_Phobia)

[18] WOJCIECHOWSKI, Adam: Mobile vision based augmented reality navigation System. A: *Journal of Applied Computer Science*. Lodz 2012. Vol. 20. Num. 1. Pàg. 103-118. [consulta: 21/12/2022] Disponible a [https://www.researchgate.net/publication/289672260\\_Mobile\\_vision\\_based\\_augmented\\_reality\\_navigation\\_system](https://www.researchgate.net/publication/289672260_Mobile_vision_based_augmented_reality_navigation_system)

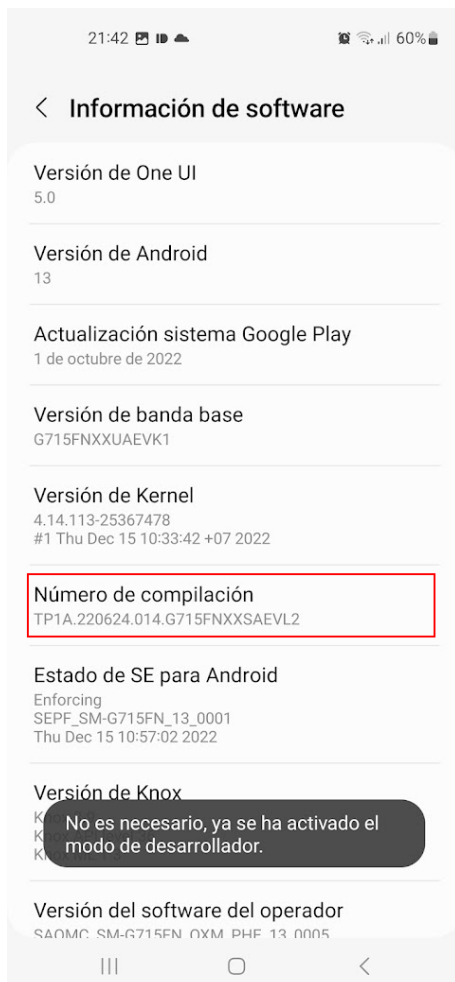
## 7. Annexos

### 8.1. Instal·lació en dispositius Android

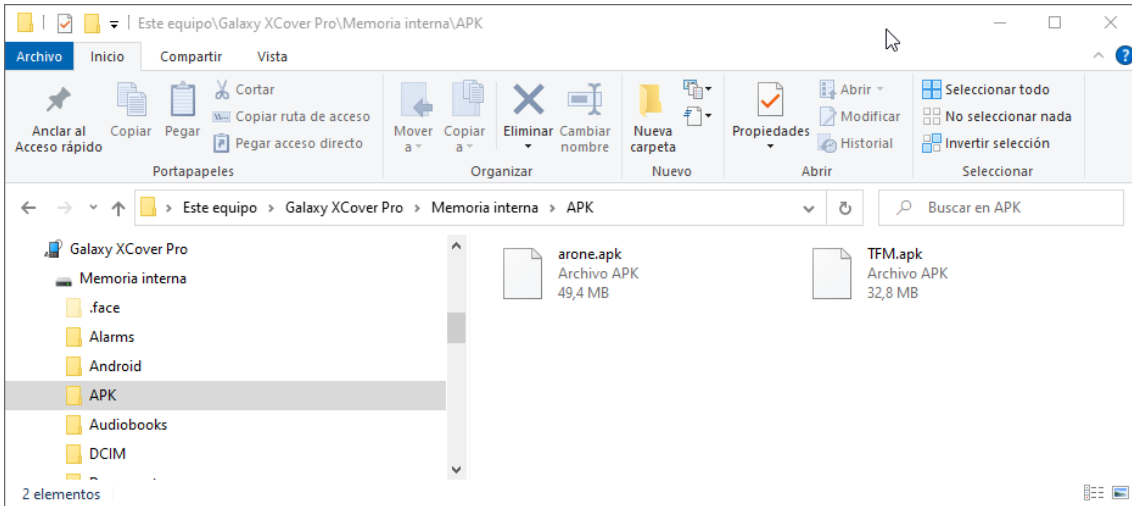
L'aplicació no estarà disponible a la Play Store, ja que cal pagar quotes per registrar-se com a desenvolupador i poder publicar. L'arxiu TFM.apk es pot instal·lar en un dispositiu Android seguint els següents passos, considerant que les opcions del menú poden variar segons les versions:

Posem el dispositiu en mode desenvolupador i activem la depuració per USB amb *Ajustes > Acerca de > Información del Software >* fem click set cops seguits a “Número de compilación” fins que ens avisi d’haver activat el mode desenvolupador.

A continuació anem a *Ajustes > Opciones de desarrollador >* marquem “Depuración por USB” y “Pantalla siempre encendida al cargar”



Seguidament connectem el telèfon a l'ordinador mitjançant un cable USB i copiem l'arxiu TFM.apk. En aquest cas el destí és un directori anomenat APK que hem creat per l'ocasió



Finalment, tornem al telèfon i mitjançant un navegador d'arxius per Android, com Google Files, naveguem fins al directori de destí i instal·lem l'apk fent click sobre l'arxiu.

