



Universitat Oberta
de Catalunya



Jocs de guerra

en realitat virtual

Autor: **Xavier Garcia Rodríguez**

Tutor: **Gustavo Marcos Ballester**

Professor: **Joan Arnedo Moreno**

Grau d'enginyeria informàtica

Videojocs/Sistemes d'informació

5 de juny de 2022

Copyright

Tots els recursos audiovisuals utilitzats en el desenvolupament de Warbringers són propietat dels seus autors i no poden ser utilitzats sense el seu consentiment.



Aquesta obra està subjecte a una llicència de Reconeixement 4.0 Internacional de Creative Commons.

FITXA DEL TREBALL FINAL

Títol del treball:	<i>Warbringers, jocs de guerra en realitat virtual</i>
Nom de l'autor:	<i>Xavier Garcia Rodríguez</i>
Nom del col·laborador/a docent:	<i>Gustavo Marcos Ballester</i>
Nom del PRA:	<i>Joan Arnedo Moreno</i>
Data de lliurament:	<i>Juny/2022</i>
Titulació o programa:	<i>Grau d'enginyeria informàtica</i>
Àrea del Treball Final:	<i>Videojocs</i>
Idioma del treball:	<i>Català</i>
Paraules clau	<i>Videojocs, Realitat Virtual (VR), Joc de guerra</i>
Resum del Treball:	
<p>Aquest treball de fi de grau mostra la implementació d'un joc de guerra multijugador per realitat virtual o mixta, on els jugadors donen ordres als seus exèrcits amb les seves mans i poden observar com es desenvolupa el combat en temps real, desplaçant-se lliurement com si es trobessin davant d'un taulell real.</p> <p>Es proposa una aproximació al Metavers enfocada en els següents punts:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Reduir la fricció que suposa endinsar-se en la realitat virtual eliminant els controladors i permeten veure l'entorn del jugador mitjançant les càmeres del dispositiu. ■ Oferir als jugadors l'opció de socialitzar i personalitzar la seva aparença, a més de competir entre ells. <p>A banda de la dificultat d'implementar les interaccions amb l'API de seguiment de mans, s'han hagut de resoldre problemes referents a l'optimització i sincronització dels elements del joc limitats per un processador mòbil.</p> <p>Per gestionar el projecte s'ha fet servir una metodologia àgil, combinant Scrum i Kanban, per elaborar un prototip funcional al final de cada iteració, i s'han prioritzat les tasques aplicant el mètode MoSCoW.</p> <p>El resultat final ha sigut molt satisfactori, ja que s'han assolit els objectius principals i gran part dels objectius secundaris. El joc suporta més de 100 soldats sense baixar dels 60 FPS.</p> <p>En conclusió, queda demostrat que la implementació d'aquest tipus de joc per a realitat mixta en dispositius amb processadors mòbils és possible, inclús implementant el</p>	

seguiment de mans.

Abstract:

This final degree project shows a multiplayer wargame implementation for mixed reality, where the players command their armies with their hands and can see how does the fight unfolds in real-time, while they move freely as if they were around a real board.

An approach to the metaverse is proposed, focusing on the following points:

- Reduce the friction involved in getting used to virtual reality by removing the controllers and allowing the players to see their environment through the device cameras.
- Allow the players the option to socialize and customize their appearance, besides competing with each other.

Apart from the difficulty of hand tracking interactions implementation, it was needed to solve problems related to game elements optimization and synchronization limited by mobile processor.

To manage the project an Agile methodology has been used, combining Scrum and Kanban, to release a functional prototype with each iteration, and the tasks have been prioritized using the MoSCoW method.

The final outcome was very satisfactory as most of the primary and secondary objectives were met. The game handles over 100 soldiers without going below 60 FPS.

To conclude, it is shown that it is possible to implement this type of games for mixed reality devices with mobile processors, even with the implementation of hand tracking.

Dedicatòria

Dedicat als meus pares; a Mackenzie, el meu trosset de cel; als meus tres super ajudants: Logan, Halley i Loki; i a la llum de la meva vida, Yolanda.

War, war never changes.
- Fallout[1] (1997)

Agraïments

Vull donar les gràcies especialment a Yolanda Clemente, sense el seu suport no hauria estat possible finalitzar aquest treball; Mike Clephane, director de Synty Studios, i a Alex Kim per dissenyar els models que em van inspirar per encetar aquest projecte, i a l'equip de Meta que ha desenvolupat les ulleres que estan democratitzant l'ús de la realitat virtual.

També vull agrair a l'Institut Obert de Catalunya; i especialment a Josep Cañellas, el millor professor que he tingut mai i del que continuo aprenent; així com a la Universitat Oberta de Catalunya, pels coneixements que he adquirit al llarg d'aquests anys i que finalment m'han portat fins aquí.

Resum

Aquest treball de fi de grau mostra la implementació d'un joc de guerra multijugador per realitat virtual o mixta, on els jugadors donen ordres als seus exèrcits amb les seves mans i poden observar com es desenvolupa el combat en temps real, desplaçant-se lliurement com si es trobessin davant d'un taulell real.

Es proposa una aproximació al Metavers enfocada en els següents punts:

- Reduir la fricció que suposa endinsar-se en la realitat virtual eliminant els controladors i permeten veure l'entorn del jugador mitjançant les càmeres del dispositiu.
- Oferir als jugadors l'opció de socialitzar i personalitzar la seva aparença, a més de competir entre ells.

A banda de la dificultat d'implementar les interaccions amb l'API de seguiment de mans, s'han hagut de resoldre problemes referents a l'optimització i sincronització dels elements del joc limitats per un processador mòbil.

Per gestionar el projecte s'ha fet servir una metodologia àgil, combinant Scrum i Kanban, per elaborar un prototip funcional al final de cada iteració, i s'han prioritzat les tasques aplicant el mètode MoSCoW.

El resultat final ha sigut molt satisfactori, ja que s'han assolit els objectius principals i gran part dels objectius secundaris. El joc suporta més de 100 soldats sense baixar dels 60 FPS.

En conclusió, queda demostrat que la implementació d'aquest tipus de joc per a realitat mixta en dispositius amb processadors mòbils és possible, inclús implementant el seguiment de mans.

Paraules clau

Videojoc, Realitat Virtual, Joc de guerra

Abstract

This final degree project shows a multiplayer wargame implementation for mixed reality, where the players command their armies with their hands and can see how does the fight unfolds in real-time, while they move freely as if they were around a real board.

An approach to the Metaverse is proposed, focusing on the following points:

- Reduce the friction involved in getting used to virtual reality by removing the controllers and allowing the players to see their environment through the device cameras.
- Allow the players the option to socialize and customize their appearance, besides

competing with each other.

Apart from the difficulty of hand tracking interactions implementation, it was needed to solve problems related to game elements optimization and synchronization limited by mobile processor.

To manage the project an Agile methodology has been used, combining Scrum and Kanban, to release a functional prototype with each iteration, and the tasks have been prioritized using the MoSCoW method.

The final outcome was very satisfactory as most of the primary and secondary objectives were met. The game handles over 100 soldiers without going below 60 FPS.

To conclude, it is shown that it is possible to implement this type of games for mixed reality devices with mobile processors, even with the implementation of hand tracking.

Keywords

Videogame, Virtual Reality, Wargame

Notacions i Convencions

Ús de tipografies (famílies, negretes, itàliques, etc.) per distingir tipus de continguts en els textos, per exemple, codi, etc.

Codi en línia

Llegenda diagrames UML classes i *GameObjects*:

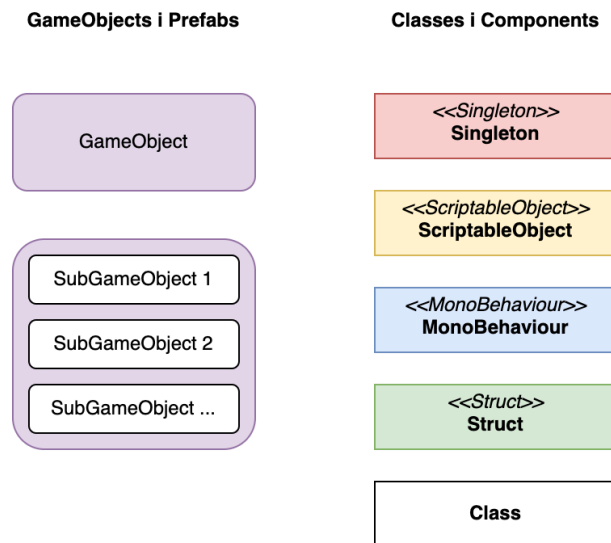


Figura 1: Llegenda per diagrames amb *GameObjects* i classes

Índex

1. Introducció.....	16
1.1. Introducció.....	16
1.2. Descripció.....	17
1.2.1. Mecànica del joc.....	20
1.3. Objectius generals.....	21
1.3.1. Objectius principals.....	21
1.3.2. Objectius secundaris.....	22
1.4. Metodologia i procés de treball.....	22
1.4.1. Treball previ.....	22
1.4.2. Estratègia.....	23
1.4.3. Metodologia.....	24
1.4.4. Recursos.....	25
1.5. Planificació.....	25
1.5.1. Fases i tasques.....	26
1.5.2. Sprints.....	28
1.5.3. Diagrama de Gantt.....	28
1.5.4. Fites principals i parcials.....	29
1.6. Pressupost.....	30
1.7. Estructura de la resta del document.....	31
2. Anàlisi de mercat.....	32
2.1. Públic objectiu.....	32
2.2. Estat de l'art.....	35
2.2.1. Maquinari.....	35
2.2.1. Motors de jocs.....	35
2.2.2. APIs de xarxa i limitacions per a Meta Quest.....	36
2.2.3. Plataformes socials per a realitat virtual.....	38
2.2.4. Revisió del gènere.....	40
2.2.5. Plataformes socials per a realitat virtual.....	41
2.3. Anàlisi DAFO.....	43

3. Proposta.....	44
3.1. Especificacions del producte.....	44
3.2. Model de negoci.....	45
3.2.1. Costos.....	45
3.2.2. Joc com a plataforma.....	47
3.2.3. Viabilitat.....	48
3.3. Estratègia de màrqueting.....	49
3.3.1. Fase 1: creació de la comunitat.....	49
3.3.2. Fase 2: Operacions en viu.....	50
3.3.3. Fase 3: Promoció per captar nous usuaris i inversors.....	51
4. Disseny.....	52
4.1. Arquitectura general del joc.....	52
4.2. Requisits.....	53
4.2.1. Requisits funcionals.....	53
4.2.2. Requisits no funcionals.....	54
4.3. Arquitectura de la informació i diagrames de navegació.....	54
4.3.1. Navegació entre escenes.....	54
4.3.2. Llistes d'exercit.....	56
4.3.3. Unitats i soldats.....	58
4.3.4. Sistema d'ordres.....	60
4.3.5. Intel·ligència artificial: Seek & Destroy.....	64
4.3.6. Sistema de combat.....	64
4.3.7. Jugador.....	65
4.3.8. LevelManager i GameState.....	66
4.3.9. Network Manager i Canvis per habilitar el mode multijugador.....	67
4.4. Patrons de disseny.....	68
4.5. Disseny gràfic i interfícies.....	69
4.5.1. Estils.....	69
4.5.2. Usabilitat/UX.....	72
4.5.3. Escenes.....	74
4.5.4. Taulell de joc.....	74
4.6. Llenguatges de programació, APIs i recursos tecnològics utilitzats.....	75

4.6.1. Elecció del motor i biblioteca de xarxa.....	75
4.6.2. Recursos tecnològics.....	77
5. Implementació.....	78
5.1. Requisits d'instal·lació.....	78
5.2. Instruccions d'instal·lació.....	78
6. Demostració.....	79
6.1. Instruccions d'ús.....	79
6.1.1. Interaccions i locomoció.....	82
6.2. Tests de càrrega.....	82
6.3. Tests funcionals.....	83
7. Conclusions i línies de futur.....	86
7.1. Conclusions.....	86
7.1.1. Lliçons apreses.....	86
7.1.2. Assoliment d'objectius.....	88
7.1.3. Seguiment de la planificació.....	88
7.2. Línies de futur.....	89
Bibliografia.....	91
Webgrafia.....	91

Figures i taules

Índex de figures

Figura 1: Llegenda per diagrames amb GameObjects i classes.....	9
Figura 2: Partida d'exhibició de Warhammer Fantasy. Font: Arnaud Ligny (2005).....	16
Figura 3: Joc Tactera (2017) per Oculus Rift. Font: E McNeil.....	18
Figura 4: Batalla tàctica a Total War: Warhammer (2016). Font: Creative Assembly/SEGA.....	19
Figura 5: Cubism[25]. Joc de realitat virtual que utilitza les APIs de Handtracking i Passthrough. Font: Cubism (2021).....	20
Figura 6: Diagrama de Gantt. Font: elaboració pròpia.....	29
Figura 7: Enquesta: In general, which types of video games do you play?. Font: statista.com.....	33
Figura 8: Estadística de preferències de gèneres per sexe (Polínia). Font: try_evidence.....	34
Figura 9: Comparativa de diferents APIs de xarxa. Font: Unity - Choosing the right netcode for your game (2020).....	38
Figura 10: VRChat (2014). Font: VRChat Inc.....	39
Figura 11: Rec Room (2016). Font: Alex Pareja (XGN.es).....	39
Figura 12: Paintball. Horizon Worlds (2021). Font: UploadVR.com.....	39
Figura 13: Total War: Warhammer 3 (2022). Font: Creative Assembly/SEGA.....	40
Figura 14: Brass Tactics (2016). Font: Hidden Path.....	41
Figura 15: Final Assault (2019). Font: Real o Virtual.....	41
Figura 16: Demeo (2021). Font: Resolution Games.....	42
Figura 17: Gràfica de vendes de jocs a steamal llarg del seu cicle de vida. Font: gameindustry.biz...	46
Figura 18: Diagrama d'arquitectura de xarxa de Warbringers Font: elaboració pròpia.....	53
Figura 19: Warbringers - Menú principal. Font: captura pròpia.....	55
Figura 20: Warbringers - Lobby. Font: captura pròpia.....	55
Figura 21: Diagrama de navegació entre pantalles. Font: elaboració pròpia.....	55
Figura 22: Warbringers - Joc en curs. Font: captura pròpia.....	56
Figura 23: Warbringers - Fi de la partida. Font: captura pròpia.....	56
Figura 24: Diagrama de classes - ArmyManager. Font: elaboració pròpia.....	56
Figura 25: Diagrama de classes – ArmyList. Font: elaboració pròpia.....	57
Figura 26: Warbringers - Àrea de desplegament del jugador. Font: captura pròpia.....	57
Figura 27: Diagrama de classes i prefabs - Unit i Soldier. Font: elaboració pròpia.....	59
Figura 28: Warbringers - Prefab Unit. Font: captura pròpia.....	60
Figura 29: Diagrama de classes i prefabs - Sistema d'ordres. Font: elaboració pròpia.....	61
Figura 30: Diagrama de classes - Behaviour Trees.....	62
Figura 31: Diagrama behaviour trees - càrrega, Move i Shoot. Font: elaboració pròpia.....	63

Figura 32: Diagrama de classes - CombatManager. Font: elaboració pròpia.....	64
Figura 33: Diagrama de classes i prefabs - Jugador. Font: elaboració pròpia.....	65
Figura 34: Jerarquia de components del prefab del jugador.....	65
Figura 35: Diagrama de classes – LevelManager i GameState. Font: elaboració pròpia.....	66
Figura 36: <i>Asset de personatges modulars utilitzat pels avatars dels jugadors.</i> Font: Synty Studios .	70
Figura 37: <i>Asset utilitzat pels entorns.</i> Font: Synty Studios.....	70
Figura 38: <i>Asset utilitzat per representar als soldats.</i> Font: Dungeon Mason.....	70
Figura 39: <i>Asset utilitzat per crear els taulells de batalla.</i> Font: Synty Studio.....	70
Figura 40: Warbringers - Tipografia del joc. Font: Eduardo Tuni.....	71
Figura 41: Warbringers - Logo. Font: Tup Wanders.....	71
Figura 42: Warbringers - Icones del display d'unitats. Font: captura pròpia (autor de les icones Rexard).....	71
Figura 43: Warbringers – Splash. Font: elaboració pròpia.....	72
Figura 44: Warbringers - Menú principal en realitat augmentada. Font: captura pròpia.....	72
Figura 45: Warbringers - Lobby en realitat augmentada. Font: captura pròpia.....	72
Figura 46: Warbringers - Joc en curs en realitat augmentada. Font: captura pròpia.....	72
Figura 47: Gestos – Endavant. Font: captura pròpia.....	73
Figura 48: Gestos – Girar a la dreta. Font: captura pròpia.....	73
Figura 49: Gestos – Obrir menú configuració. Font: captura pròpia.....	73
Figura 50: Gestos – Enrere. Font: captura pròpia.....	73
Figura 51: Gestos – Girar a l'esquerra. Font: captura pròpia.....	73
Figura 52: Gestos – Tancar menú configuració. Font: captura pròpia.....	73
Figura 53: Entorns per les escenes de joc. Font: captura pròpia.....	74
Figura 54: Warbringers - Taulell. Font: elaboració pròpia.....	75
Figura 55: Joc Warbringers instal·lat a les ulleres Meta Quest 2. Font: captura pròpia.....	79
Figura 56: Exemple d'alguns dels avatars disponibles a Warbringers. Font: captura pròpia.....	80
Figura 57: Tutorial. Font: captura pròpia.....	80
Figura 58: Selecció de mapa. Font: captura pròpia.....	81
Figura 59: Camps de batalla. Low Meadow, Hell, The Barrens i Lost Forest. Font: captura pròpia.....	81
Figura 60: Warbringers – Escenes per a realitat virtual i per a realitat augmentada. Font: captura pròpia.....	109
Figura 61: GUI KIT - The Stone. Font: Layer Lab.....	110
Figura 62: Warbringers - Interfície menú principal. Font: captura pròpia.....	110
Figura 63: Warbringers - Interfície lobby. Font: captura pròpia.....	110
Figura 64: Warbringers - <i>Interfície puntuacions i temporització de la partida.</i> Font: captura pròpia...110	
Figura 65: Warbringers - Interfície fi de partida. Font: captura pròpia.....	110
Figura 66: Warbringers - Interfície opcions de configuració. Font: captura pròpia.....	110
Figura 67: Warbringers - Interfície visualitzador d'unitats. Font: captura pròpia.....	110

Índex de taules

Taula 1: Llista de tasques.....	27
Taula 2: Planificació de sprints.....	28
Taula 3: Fites.....	29
Taula 4: Pressupost resumit pel prototip.....	30
Taula 5: Anàlisi DAFO.....	43
Taula 6: Estimació de despeses pel primer any després del llançament.....	46
Taula 7: Resultats dels tests de càrrega.....	83
Taula 8: Resultats de les proves funcionals.....	85
Taula 9: Abreviatures dels atributs a les llistes d'exèrcit.....	100
Taula 10: Llista d'exèrcit humà.....	101
Taula 11: Llista d'exèrcit orc.....	102
Taula 12: Llista d'exèrcit elf.....	104
Taula 13: Llista d'exèrcit no-morts.....	105
Taula 14: Comparativa planificació inicial i real.....	106
Taula 15: Pressupost resumit del projecte complet.....	111

1. Introducció

1.1. Introducció

Un dels meus jocs favorits allà per l'any 2000 era el joc de guerra Warhammer[2]. Era soci d'un club de rol i juntament amb els meus amics i veïns muntaven grans batalles amb exercits de miniatures, ja sigui en un casal cultural o en el garatge d'algun company. Malauradament, 20 anys després cap de nosaltres té temps per organitzar partides ni espai, i en molts casos ni tan sols vivim a prop.



Figura 2: Partida d'exhibició de Warhammer Fantasy. Font: [Arnaud Ligny \(2005\)](#)

Cal destacar que en aquest tipus de jocs la batalla no és el més important, ja que hi ha tot un hobby al voltant i l'aspecte social és tan important o més que el joc en si mateix. Per aquest motiu, encara que hi han jocs en línia amb una temàtica similar la experiència no és igual.

En aquesta línia m'ha semblat interessant fer una aproximació al Metavers, implementant un joc de guerra multijugador per a realitat virtual on el usuari puguin socialitzar amb altres jugadors i personalitzar els seus avatars a banda de jugar partides.

Un altre dels aspectes que es tractaran en aquest projecte és la reducció dels punts de fricció que provoquen el rebuig de la VR en els usuaris:

- Es donarà la opció de mostrar l'entorn del jugador per eliminar la sensació d'aïllament de l'entorn
- S'utilitzarà el seguiment de mans en lloc dels controladors, aconseguint una simulació més fidel de la experiència real.

L'abast del projecte serà molt limitat atesa la limitació de temps i recursos que presenta el projecte, però la intenció és ampliar-lo en el futur incloent repeticions de partides que puguin ser compartides o mostrades dintre de les sales, incloure rànquings públics, partides amb més de dos jugadors i espectadors.

1.2. Descripció

En els darrers anys la realitat virtual ha estat evolucionant cap a dispositius mòbils sense fils que no requereixen d'un ordinador per poder executar les aplicacions. Amb la eliminació dels cables i la reducció de la barrera d'entrada en no requerir-se un ordinador d'alta gamma s'han reduït algunes de les barreres que frenaven l'adopció d'aquesta tecnologia.

La empresa Meta està enfocant els seus esforços en aquesta línia, eliminant els punts de fricció i obrint les portes al Metavers, un espai virtual on els usuaris poden interactuar, jugar i gaudir d'experiències immersives.

Arrel de la pandèmia del COVID19 s'ha accelerat l'interès per la creació d'espais virtuals, ja que les mesures d'aïllament i les restriccions a la mobilitat han obligat a cercar alternatives a les interaccions socials, cosa que ha potenciat l'ús de la realitat virtual com a punt de trobada.

Aquestes restriccions i riscos, afegides a les limitacions de la situació personal dels jugadors que s'han esmentat a la introducció, fan inviables la organització de partides i tornejos, raó per la qual és necessari cercar alternatives més adients que permetin compartir experiències als usuaris sense necessitat de trobar-se físicament en el mateix lloc.

Tot i que el ritme d'adopció de la realitat virtual ha estat lent des del seu naixement, està rebent un gran impuls gràcies al compromís que a pres Mark Zuckerber envers del

Metavers, fent que les cerques sobre Meta Quest superessin a les de consoles com Playstation o XBOX en el Nadal del 2021[3]. A més, durant aquestes festes la aplicació companya dels dispositius Meta va ser la aplicació per dispositius mòbils més descarregada[4].

Actualment no hi ha cap joc d'aquest tipus per a plataformes de realitat virtual, el més semblant són jocs d'estratègia com Tactera[5], llençat a finals del 2017 per les plataformes Oculus Go on va tenir força èxit i Oculus Rift on va passar desapercbut. Els motius d'aquest fracàs rauen en la mida del mercat en el moment del seu llançament, la falta d'un component social (els jugadors ni tan sols són visibles), el cost de les ulleres de VR disponibles, la necessitat de connectar les ulleres a un ordinador amb un cable USB (el que dificulta el moviment), i l'aïllament del jugador en un joc que requereix moure's al voltant d'un taulell virtual entre altres.



Figura 3: Joc Tactera (2017) per Oculus Rift. Font: [E McNeil](#)

Gràcies als avenços tecnològics en aquest àmbit i la situació actual, molts d'aquests problemes es poden solucionar, però encara no hi ha cap títol que incorpori aquestes característiques. En aquesta línia, la nostra aportació serà la incorporació de les tecnologies de seguiment de mans, utilització de les càmeres del dispositiu per mostra l'entorn i enfocar el desenvolupament a l'aspecte social del joc.

En conseqüència, l'objectiu d'aquest projecte és crear un joc de guerra inspirat en Warhammer Fantasy, Kings of War[6] i l'aspecte tàctic de la serie Total War: Warhammer[7], que permeti als jugadors trobar-se en un món virtual on puguin tant enfrontar-se entre ells com socialitzar, que elimini l'aïllament i que permeti jugar amb les mans, apropant la simulació a la experiència real.



Figura 4: Batalla tàctica a Total War: Warhammer (2016). Font: Creative Assembly/SEGA

Els producte generat a raó d'aquest projecte és un fitxer APK amb el joc pel dispositiu Meta Quest que permet al jugador personalitzar el seu avatar i trobar-se amb altres jugadors en un món virtual on podrà enfrontar-se, seleccionant algun dels exercits disponibles, contra aquests o contra una intel·ligència artificial bàsica.

Es tracta d'un joc multijugador que no requereix la utilització de controls (totes les interaccions es porten a terme utilitzant les mans i el desplaçament físic pel món virtual) i ofereix la possibilitat de desactivar els fons per mostrar el seu entorn.

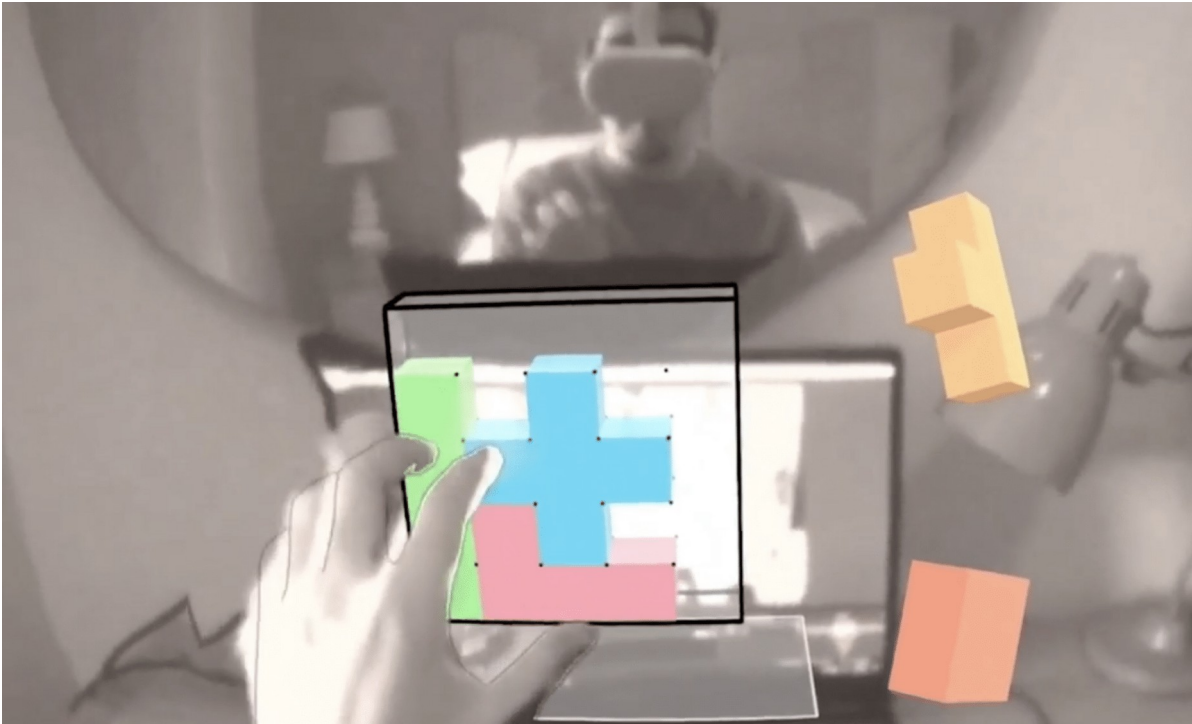


Figura 5: Cubism[25]. Joc de realitat virtual que utilitza les APIs de Handtracking i Passthrough. Font: Cubism (2021)

1.2.1. Mecànica del joc

Quan el jugador entra al joc pot crear una partida o unir-se a una ja existent. Després d'unir-se ha d'escollir l'exercit amb el que vol jugar i quan tots dos jugadors confirmen la seva selecció carrega la escena de joc, que mostrarà un taulell davant seu on hauran de col·locar les unitats del seu exercit, dintre d'una zona d'inici delimitada.

Quan tots dos jugadors finalitzen el desplegament la partida comença i cada jugador pot donar ordres a les seves unitats de la següent manera:

1. Agafant-les del taulell i deixant-les anar sobre una altra posició.
 - a) Si la posició és lliure la unitat es mourà a la nova posició
 - b) Si la posició està ocupada per un enemic la unitat s'aproparà i carregarà sobre aquesta per iniciar el combat.
2. Tocant una unitat amb atacs a distància i després tocant una unitat enemiga:
 - a) Si la unitat enemiga es troba dins de rang dispararà

- b) Si es troba fora de rang la unitat s'aproparà fins a una distància a la que pugui disparar i continuarà disparant periòdicament.

Un cop una unitat carrega contra una altra totes dues entren en combat, i aquest continuarà fins que una sigui desmoralitzada o es retiri del combat (arrossegant-la a una nova posició). Cal destacar que sí la càrrega es produeix pel flanc o per la rereguarda, el jugador atacant rebrà diferents bonificacions.

Per altra banda, el terreny també modificarà a les opcions dels jugadors. Les unitats amb atacs a distància necessitaran línia de visió cap els seus objectius que pot ser bloquejades per altres unitats amigues i enemigues o elements de l'escenari com boscos i colines, els boscos i àrees de terreny difícil com pantans o ruïnes reduiran la velocitat de moviment de la unitat, etc.

La victòria es decidirà per punts al final d'un temps determinat o si l'exercit enemic és erradicat. Es preveu en el futur afegir altres tipus d'escenaris amb condicions de victòria diferent, però per aquesta versió només es contempla implementar el sistema bàsic.

1.3. Objectius generals

A continuació es descriuran els objectius d'aquest treball de final de grau.

1.3.1. Objectius principals

Els objectius principals d'aquesta aplicació són oferir un punt de trobada en un món virtual pels jugadors i crear un joc de guerra que simuli la experiència real, però afegint millores com són els efectes especials, la animació dels models i el desplaçament automàtic de les unitats.

Pel que fa als jugadors, els objectius d'aquesta aplicació són permetre'ls connectar amb altres jugadors per poder xerrar i mostrar els seus assoliments, enfrontar-se en el joc de guerra amb altres jugadors i practicar contra exercits controlats per una intel·ligència artificial .

Personalment, els meus objectius amb aquest treball de final de grau són explorar la creació de mons virtuals multijugador i treballar en la implementació d'una aplicació aprofitant les

possibilitats del seguiment de mans i la renderització dels fons capturats per la càmera, dues de les tecnologies per les que està apostant Meta de cara al futur i que ja han anunciat que es veuran reforçades en pròximes iteracions dels seus productes. A més m'interessa conèixer la viabilitat comercial d'aquest tipus d'aplicacions i l'interès que pot haver, ja que es tracta d'un gènere nínxol.

1.3.2. Objectius secundaris

Adicionalment, en la elaboració d'aquest projecte s'han plantejat els següents objectius secundaris:

- Implementar un sistema de navegació pels models Individus que formen cada unitat per ajustar-se al terreny requerint el mínim d'ús de les capacitats de processament, ja que donades les limitacions del processador no és possible utilitzar els components de cerca de rutes ni algorismes habituals.
- Utilitzar un servei extern (Playfab) per gestionar les dades del joc i dels jugadors per permetre la actualització de dades en temps real i possibilitar la incorporació d'operacions en viu en el futur.
- Explorar diferents implementacions per la intel·ligència artificial que s'enfrontarà als jugadors per obtenir els millors resultats possibles donada la limitació de la capacitat de processament i el temps disponible per la realització d'aquest projecte.
- Afegir un sistema de títols pels jugadors que es mostraran juntament amb el seu amb intenció de lligar a aquests en el futur a un sistema d'assoliments.

1.4. Metodologia i procés de treball

1.4.1. Treball previ

Atesa la natura experimental del projecte primerament s'han realitzat una serie de prototips previs per determinar la viabilitat tècnica del projecte i explorar l'ús de possibles arquitectures:

- Creació d'un escenari buit amb Unity 2020.3 que mostrés desenes de models animats de baix poligonatge desplaçant-se per un terreny i la seva execució en el dispositiu Meta Quest 2 per comprovar el nombre de FPS assolits. Es va comprovar que el rendiment era suficient si no s'utilitzaven físiques ni cap algorisme de navegació, així que es requeria un esforç addicional.

- Creació de dos prototips diferents per l'arquitectura de xarxa, un utilitzant PUN i un altre utilitzant Mirror Networking desplecats en els dispositius, per assegurar que era possible la interconnexió. Tot i que a nivell de rendiment Mirror és superior a PUN, aquest framework només permetia connectar mitjançant LAN perquè no inclou una capa de transport utilitzable pel dispositiu Meta i no gestiona la migració del hoste en cas de connexió, per tant es requeria una implementació amb una complexitat que queda fora de l'abast d'aquest projecte.
- Es va explorar la possibilitat d'utilitzar els serveis de transport de Meta i l'arquitectura de xarxa de Unity, però del primer no hi ha documentació i el codi d'exemple no funcionava, i el segon no és fiable.
- Creació d'un prototip utilitzant la pila de tecnologia orientada a dades multi-fil (DOTS) experiment d'Unity. En un primer moment els resultats van ser excepcionals, amb els exemples de demostració (moviment de malles estàtiques) s'obtenia una millora de rendiment del ~800%, però en afegir malles dinàmiques la millora passava a ser pràcticament inapreciable, es perdia la possibilitat d'utilitzar les eines d'animació de Unity, apareixien errors de color i el sistema d'animació de DOTS requereix un shader especial que converteix les animacions en desplaçaments de vèrtexs que no és compatible amb Android (el sistema operatiu del dispositiu).
- Creació d'un prototip integrant l'ús de les APIs Handtracking i Passthrough per assegurar que no existien incompatibilitats entre elles.

Per altra banda es va realitzar la definició de les funcionalitats, la selecció dels recursos d'àudio i gràfics i es va portar a terme una investigació sobre jocs de guerra, sistemes de regles i implementacions de IA tant per jocs de guerra com d'ús general en videojocs.

1.4.2. Estratègia

Donada la naturalesa i l'abast del joc l'única opció possible era desenvolupar el projecte des de zero, ja que no existeix cap plantilla de joc amb aquest estil ni que inclogui els aspectes claus del projecte: social, seguiment de mans, visió de l'entorn.

Es va optar per realitzar els prototips previs que s'han comentat en l'apartat anterior per reaprofitar part del codi i agilitzar la feina en les fases posteriors.

Per validar el resultat del projecte es publicarà el joc en la plataforma SideQuest (un *store* alternatiu) tan aviat com sigui possible per obtenir les opinions dels usuaris abans de finalitzar el desenvolupament, ja que el procés d'aprovació d'aquesta plataforma és de només 3 dies mentre que el de Meta està al voltant de les 6 setmanes.

1.4.3. Metodologia

Per desenvolupar el projecte s'aplicarà una metodologia Àgil combinant el sistema de sprints de Scrum amb el sistema d'organització de tasques de Kanban i el mètode de prioritització MoSCoW.

- Els sprints seran quinzenals i es produirà un executable funcional, encara que limitat, en cada iteració.
- Es farà servir Trello configurat com un taulell Kanban per gestionar les tasques.
- La aplicació del mètode MoSCoW i el reajust de les prioritats de les tasques en acabar cada sprint permetrà ajustar l'abast del projecte al temps disponible sense deixar fora cap funcionalitat crítica i possibilitant l'addició de funcionalitat extres en cas

S'ha descartat l'ús de la metodologia Waterfall perquè el desenvolupament d'aquest projecte no serà lineal, ja que les tecnologies emprades són molt recents i es desconeix el nivell de càrrega que tindrà sobre el sistema la seva combinació.

A més, la metodologia Waterfall es rígida, ja que s'espera que la presa de requisits i la planificació original sigui fixe, cosa que dificultaria la correcció del projecte en base als consells del tutor.

Per altra banda, la utilització d'una metodologia més fluida ens permet ajustar-nos a les condicions reals de desenvolupament i inclús pivotar sí és necessari a raó dels comentaris rebuts. S'espera haver de realitzar cavis, ja que quan es treballa amb realitat virtual les assumpcions no sempre són correctes.

Per exemple, a l'hora d'interactuar amb els elements virtuals sovint ens trobem amb problemes que no hem tingut en compte com pot ser la ofuscació dels gestos de les mans en determinades posicions.

En la planificació s'ha tingut en compte la elaboració progressiva d'aquesta memòria en paral·lel al desenvolupament de l'aplicació, però quedarà exclosa dels sprints perquè existeixen unes dates d'entrega prefixades per mostrar els avenços (les dates d'entrega de les PACs).

1.4.4. Recursos

Atès que aquest és un projecte de programari i no de disseny, el gruix dels recursos audiovisuals utilitzats són de tercers:

- **POLYGON MINI – Fantasy Characters** ([enllaç](#)): models 3D per les unitats de comandament.
- **POLYGON – Fantasy Characters** ([enllaç](#)): models 3D pels avatars dels jugadors.
- **RTS Mini Legions Fantasy Polyart** ([enllaç](#)): models 3D i animacions per les unitats.
- **RPG Character Mecanim Animation** ([enllaç](#)): animacions per models 3D.
- **Simple Fantasy – Cartoon Assets** ([enllaç](#)): models 3D per les màquines de guerra i alguns models decoratius per l'entorn.
- **Polygon Arsenal** ([enllaç](#)) – efectes de partícules.
- **Mega Game Music Collection** ([enllaç](#)) – música de fons del joc.
- **Universal Sound FX** ([enllaç](#)), **Medieval Combat Sounds** ([enllaç](#)) i **RPG Magic SFX Pack** ([enllaç](#)): efectes sonors.

Per implementar l'arquitectura de xarxa es faran servir els següents serveis:

- **PUN 2 - Free** ([enllaç](#)): plataforma per habilitar la connexió multijugador a través d'Internet i crear sales.
- **Photon Voice 2** ([enllaç](#)): servei addicional de PUN 2 per afegir comunicació per veu a través de la xarxa.

Addicionalment, s'han fet servir els següents dos recursos, el SDK del dispositiu i una implementació open-source d'un teclat virtual per facilitar la introducció de textos dins dels mons virtuals:

- **Oculus Integration v38** ([enllaç](#)): SDK per dispositius Meta.

1.5. Planificació

1.5.1. Fases i tasques

Per poder fer una estimació el primer que s'ha fet és dividir el projecte en fases i aquestes fases en tasques a les que s'ha assignat un temps aproximat d'execució.

Tot i que algunes de les tasques planificades s'han dut a terme abans d'iniciar el semestre no és viable executar-les totes amb aquest marge de temps, per aquest motiu s'aplicarà el mètode MoSCoW per prioritzar les tasques.

Aquesta planificació es divideix en 6 fases:

- **Fase 0:** prototipatge. Inclou les tasques de treball previ.
- **Fase 1: Documentació.** Aquesta fase s'executa en paral·lel al llarg de tot el projecte.
- **Fase 2: Anàlisis.** En aquesta fase s'inclouen les tasques d'anàlisis i disseny.
- **Fase 3: Implementació.** Aquesta és la fase amb més càrrega del projecte. Inclou les tasques de creació d'escenes i interfícies, connectivitat amb el *backend*, implementació d'interaccions, implementació del joc, connectivitat entre jugadors, i creació de mapes i exercits.
- **Fase 4: Proves.** Inclou les tasques de testeig.
- **Fase 5: Desplegament.** Consisteix en la publicació del producte en la pàgina de SideQuest i Meta.

Tasca	Hores	Tasca	Hores
Elaboració PACs	40h	Treball Previ	56h
- PAC1*	8h	Prototips xarxa*	16h
- PAC2 (M)	8h	Prototips DOTs*	16h
- PAC3 (M)	12h	Prototips VR experimental*	8h
- PAC4 (M)	12h	Prototips nombre model i navegació*	8h
Anàlisis	38h	Disseny	36h
- Estudi de mercat (M)	4h	Disseny de interfícies d'usuari (M)	12h
- Estudi de l'estat de l'art (M)	4h	Disseny d'interaccions (M)	8h
- Anàlisi de requisits (M)	4h	Disseny de les regles del joc (M)	16h
- Planificació (M)	6h	Creació d'escenes i interfícies	32h
- Definició de les funcionalitats*	4h	- Escenes (M)	16h
- Selecció de recursos àudio/gràfics*	16h	- Impl. d'interfícies d'usuari (M)	16h
- Investigació sobre wargames*	8h	Proves	32h
- Investigació sobre IA a wargames*	16h	- Testeig funcional (M)	16h
Connectivitat amb el backend	36h	- Gestió betatesters (S)	16h
- Disseny del model de dades (W)	16h	Implementació d'interaccions	36h
- Registre/Login (W)	4h	- Interfícies (M)	8h
- Sistema serialització (W)	8h	- Teclat virtual (M)	4h
- Actualització dades joc (W)	8h	- Unitats del joc (M)	8h
Implementació del joc	84h	- Gestos (M)	8h
- Sistema d'ordres per les unitats (M)	16h	- Locomoció (W)	8h
- Motor de combat (M)	24h	Connectivitat entre jugadors	34h
- Sistema de navegació (M)	8h	- Navegació entre sales (M)	4h
- Sistema d'aproximació enemics (S)	8h	- Sincronització Avatars (M)	4h
- Sistema ragdoll morts (C)	8h	- Sincronització elements joc (M)	16h
- Sistema desactivació anims (S)	4h	- Personalització jugadors (S)	10h
- IA Simple (M)	16h	Creació de mapes	24h
- Afegir VFX Basics (S)	16h	- Mapa: Humans (M)	6h
Creació d'exercits	48h	- Mapa: Orcs (S)	6h
- Exercit: Humans (M)	12h	- Mapa: Elfs (W)	6h
- Exercit: Orcs (S)	12h	- Mapa: No morts (W)	6h
- Exercit: Elfs (W)	12h	Desplegament	8h
- Exercit: No morts (W)	12 h	<i>* Tasca completada abans d'iniciar el TFG.</i>	

Taula 1: Llista de tasques.

1.5.2. Sprints

Atès que l'esforç previst és de 20h setmanals i comptem amb aproximadament 14 setmanes, el nombre màxim d'hores de dedicació ha d'estar al voltant de 280h, per consegüent una possible repartició de les tasques seria la següent:

	Inici	Fi	Tasques	Duració
Sprint 1	21/02/2022	06/03/2022	Anàlisi, Disseny de UI, PAC2	38h
Sprint 2	07/03/2022	20/03/2022	Disseny d'interaccions, Disseny de regles del joc, Creació escenes	40h
Sprint 3	21/03/2022	03/04/2022	Implementació UI, interacció UI, interacció unitats, gestos	40h
Sprint 4	04/04/2022	17/04/2022	PAC3, Motor de combat	40h
Sprint 5	18/04/2022	01/05/2022	Teclat Virtual, IA Simple, Exercit: Humans, Sistema navegació	40h
Sprint 6	02/05/2022	15/05/2022	Connectivitat jugadors, Mapa: Humans, Desplegament	38h
Sprint 7	16/05/2022	29/05/2022	PAC4, Proves	32h

Taula 2: Planificació de sprints.

1.5.3. Diagrama de Gantt

El següent diagrama de Gantt s'ha generat en base a les tasques de màxima prioritat (Must Have) sense les quals el projecte no es pot considerar exitós que sumen un total de 276h, excloent el treball previ.

Cal tenir en compte que l'ordre de les tasques és orientativa, ja que al principi de cada sprint es determinarà quines seran les tasques a executar, però les dates ens serveixen per fer una estimació.

A mesura que avanci el projecte s'espera poder afegir algunes de les tasques amb prioritat (Should Have) com són els VFX bàsics i el sistema d'aproximació a enemics.

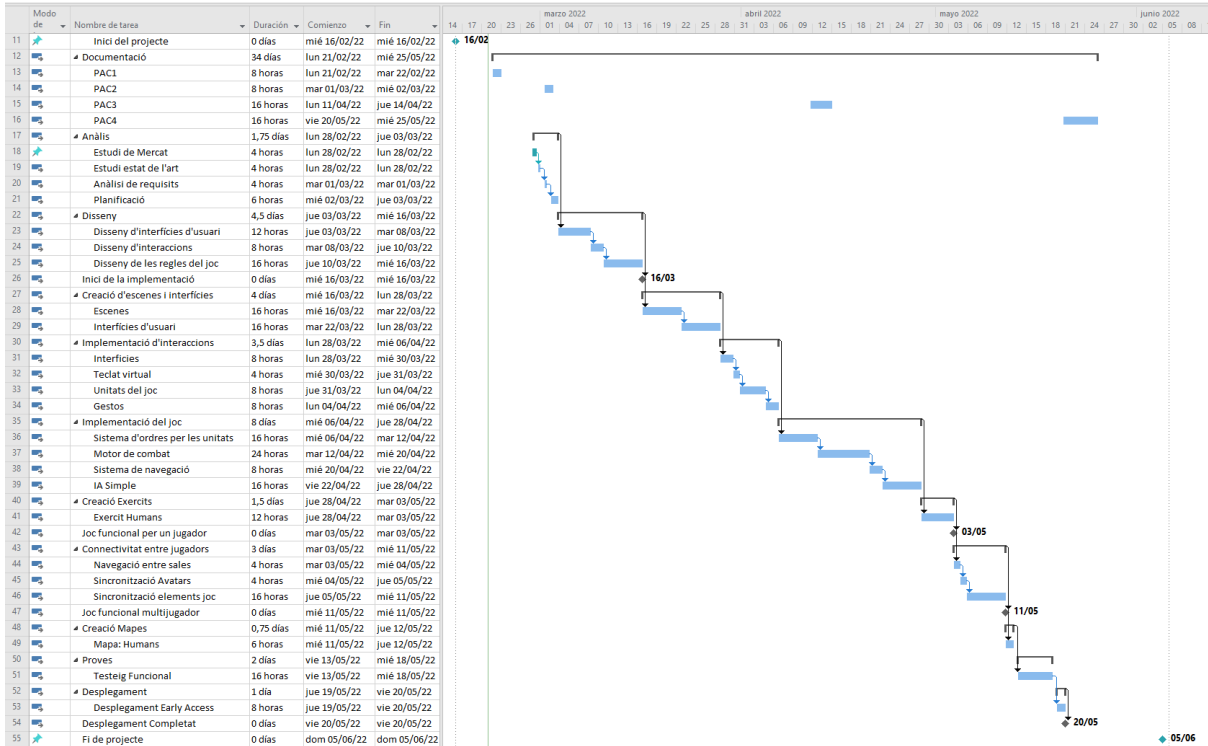


Figura 6: Diagrama de Gantt. Font: elaboració pròpia.

1.5.4. Fites principals i parcials

Data	Fita
16/02/2022	Inici del projecte
27/02/2022	PAC 1 – Pla de projecte
16/03/2022	Inici de la implementació
03/04/2022	PAC 2 – Estat de l'art i primera versió del projecte
03/05/2022	Joc funcional per un jugador
08/05/2022	PAC 3 – Implementació de versió jugable
11/05/2022	Joc funcional multijugador
20/05/2022	Desplegament completat
05/06/2022	PAC 4 – Memòria i productes finals
05/07/2022	Fi de projecte
22/06/2022	PAC 5 – Defensa Virtual

Taula 3: Fites

1.6. Pressupost

Per aquest pressupost s'han considerat només les tasques amb prioritat Must Have i les que s'han portat a terme amb prèviament.

Maquinari	Unitats	Preu/unitat	Total
MSI GP75 Leopard 9SF-1037XES, VR Ready	1	1,599€	1,599€
Oculus Quest 2, 64 GB	2	349€	698€
		<i>Subtotal</i>	<i>2,297€</i>
Programari			
Windows 10	1	145€	145€
Unity 2020.3	1	0€	0€
Affinity Photo	1	55€	55€
		<i>Subtotal</i>	<i>200€</i>
Subscripcions		Preu/anual	
IDE Rider		139€	139€
PUN 2+ (100 CCU)		95€	95€
PUN Voice 2 (100 CCU)		95€	95€
PlayFab		0€	0€
		<i>Subtotal</i>	<i>329€</i>
Assets			668€
Recursos Humans	Hores	Preu/hora	
Fase 0. Prototipatge	48	30€	1,440€
Fase 1. Documentació	40	30€	1,200€
Fase 2. Anàlisi	98	30€	2,940€
Fase 3. Desenvolupament	172	30€	5,400€
Fase 4. Proves	16	30€	480€
Fase 5. Desplegament	8	30€	240€
		<i>Subtotal</i>	<i>11,460€</i>
Contingències	%	Subtotal	
Maquinari	5%	2,297€	115€
Programari	0%	200€	0€
Suscripcions	0%	329€	0€
Assets	10%	668€	67€
Recursos Humans	10%	11,940€	1,194€
Total			15,085€

Taula 4: Pressupost resumit pel prototip.

A l'*annex H* es pot trobar el pressupost que inclou el cost de desenvolupament del projecte complet, incloent totes les tasques de menor prioritat del prototip i necessàries per poder considerar el joc un producte complet.

1.7. Estructura de la resta del document

En els següents capítols de descriurà en detall el desenvolupament del projecte:

- **Capítol 2. Anàlisi de mercat:** on és defineix el públic objectiu, l'estat de l'art i es mostrarà l'anàlisi DAFO.
- **Capítol 3. Proposta:** que inclou la definició dels objectius, les especificacions del joc, així com el model de negoci i l'estratègia de màrqueting.
- **Capítol 4. Disseny:** inclou l'arquitectura de l'aplicació, anàlisis de requisits, els diagrames de classes i prefabs, el disseny de les interfícies i interaccions, els llenguatges de programació i APIs emprats.
- **Capítol 5. Implementació:** descriu els requisits i les instruccions d'instal·lació de Warbringers..
- **Capítol 6. Demostració:** mostra com s'utilitza el joc i s'enumeren les proves de càrrega i funcionals realitzades.
- **Capítol 7. Conclusions i línies de futur:** tanquem aquesta memòria amb les conclusions i les línies de futur.
- **Annexos.** En els annexos es troba el glossari de termes, el pressupost per una versió completa, les regles del joc, les llistes d'exercits, la comparativa de la planificació inicial amb la real, la nota biogràfica i algunes captures de pantalla que no han tingut cabuda en altres capítols.

2. Anàlisi de mercat

2.1. Públic objectiu

Els usuaris potencials de **Warbringers** són els que formen el subconjunt de jugadors de jocs de guerra de taulell i usuaris de realitat virtual, així com els fans dels jocs d'estratègia en general i possiblement els jugadors de rol.

Com que els principals fabricants de jocs de guerra de taulell no comparteixen les seves dades demogràfiques és difícil fer una estimació acurada del gruix de jugadors i de les seves característiques, però es creu que es tracta d'homes de 30-40 anys amb educació universitària o similar.

Per fer-nos una idea del nombre de jugadors de jocs RTT podem basar-nos les valoracions de **Total War: Warhammer 2**[9] (2017) per tractar-se d'un títol llençat fa uns anys i que es pot considerar al final del seu cicle de vida (reemplaçat per **Total War: Warhammer 3**[10] (2022)).

Aplicant el mètode indicat en l'article de Video Game Insights[11] i les 76.000 valoracions que ha rebut Total War: Warhammer 2, podem estimar que el nombre de vendes ha estat de unes ~40 unitats per valoració, és a dir, més de 3 milions d'unitats només a la plataforma Steam. Tanmateix, la web steamspy (<https://steamspy.com/app/594570>) estima que hi ha entre 5 i 10 milions de propietaris. Per consegüent, es fa palès l'interès dels usuaris per aquest tipus de jocs.

Per altra banda, segons la enquesta de statista[12], pràcticament 1 de cada 3 jugadors juga a jocs d'estratègia, si extrapolem aquest percentatge als 10 milions d'unitats venudes de Meta Quest segons Android Central [13], podem estimar que hi ha fins a ~3 milions de jugadors potencials.

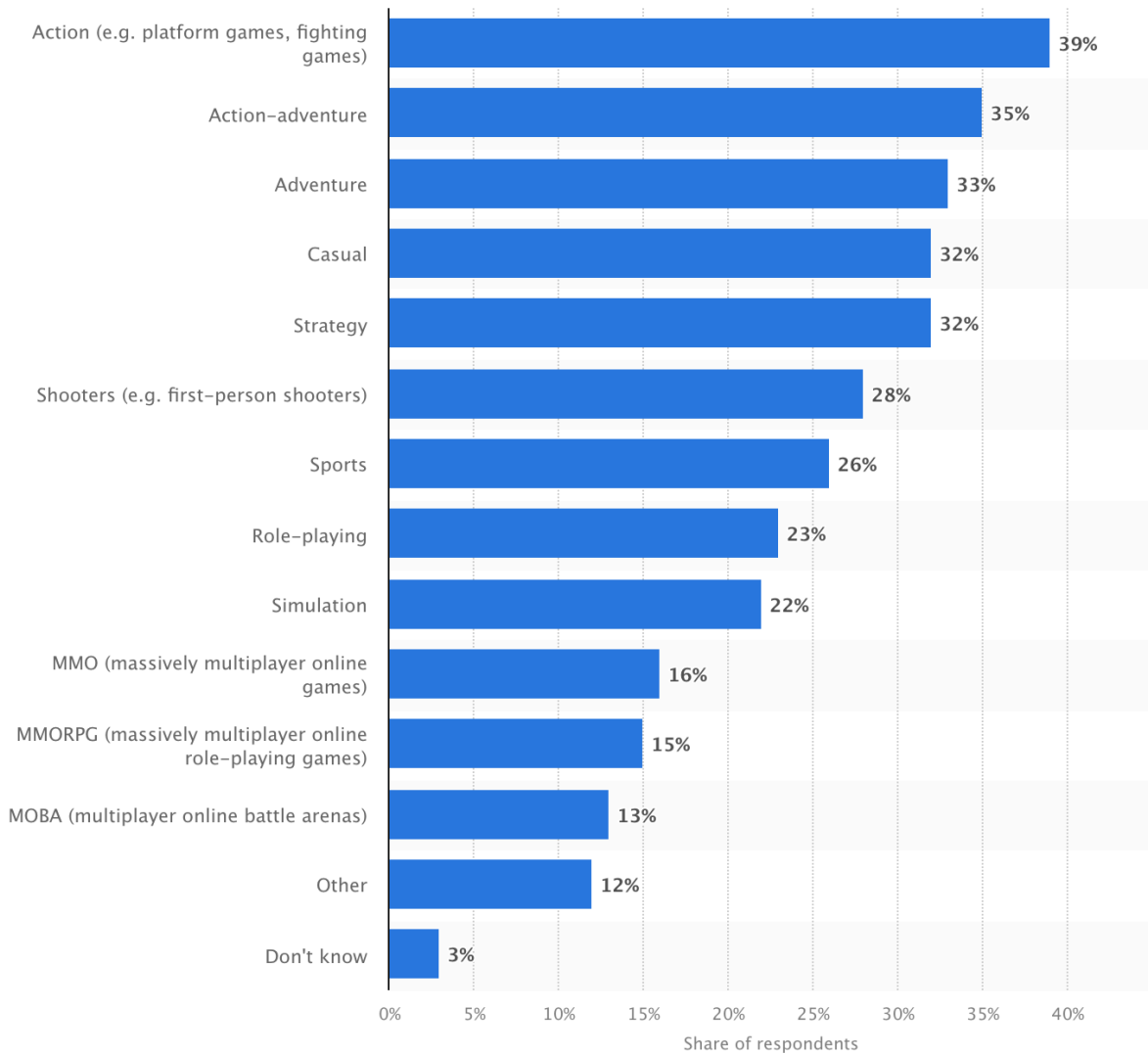


Figura 7: Enquesta: In general, which types of video games do you play?. Fint: statista.com

Tot i que no hi ha jocs similars per Meta Quest, podem comparar Warbringers amb **Demeo VR**[13] (2021), un joc de rol per torns de taulell en realitat virtual per a 4 jugadors que va obtenir mig milions de dòlars en beneficis durant les seves primeres 48h[14]. S'estima que ha venut més de 130000 unitats només per a la plataforma Meta Quest (encara que es va llençar per altres dispositius i per PC estàndard).

Històricament, aquest tipus de jocs atrauen més a un públic masculí, tal com indica Cieślak(2022) al seu estudi «*REPORT: Women and games – how do modern female games play?*» [15]. Es pot apreciar la proporció de jugadors respecte a jugadores de jocs

d'estratègia i RTS es superior a 2:1. A més, al mateix estudi es mostra que les dinàmiques de joc *assaltar i conquerir* i *anàlisi i estratègia* son les que menys atrauen a les jugadores.

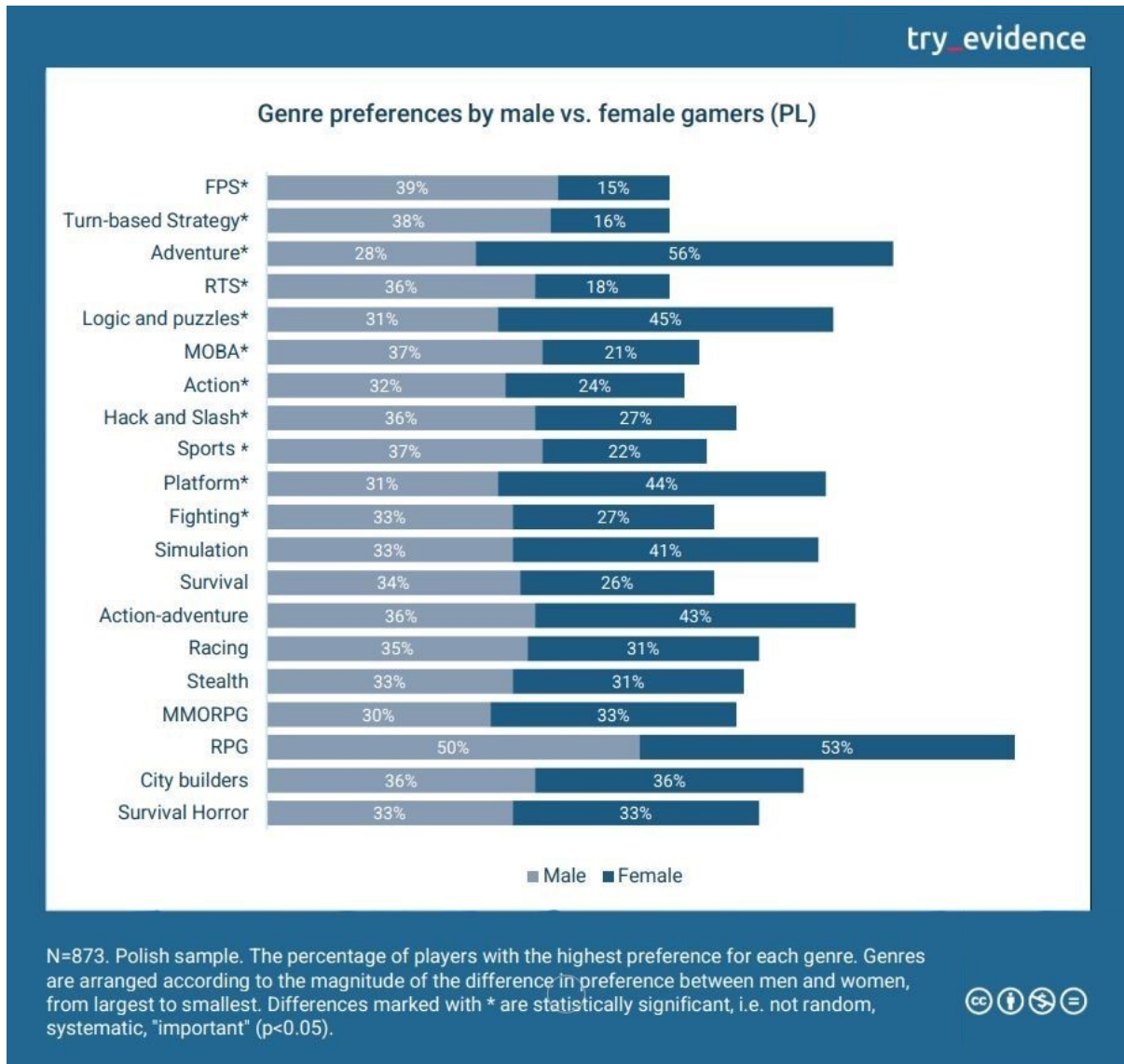


Figura 8: Estadística de preferències de gèneres per sexe (Polinà). Font: try_evidence.

Pel que fa al nivell d'adopció de la realitat virtual, 99 firms [16] mostra que pràcticament tots els usuaris habituals de VR tenen una edat entre 16 i 44 anys i que les dones són més propenses a patir cinetosi.

En conclusió, a partir de les dades analitzades, els perfils d'usuari objectiu per Warbringers són:

- **Principal:** homes amb un nivell d'estudis alt, amb una edat entre 35 i 44 anys, aficionats als jocs d'estratègia de taulells i jugadors de RTT.
- **Secundaris:** homes entre 34 i 35 anys aficionats als jocs d'estratègia.
- **Terciari:** dones i aficionats als jocs de rol.

2.2. Estat de l'art

Per la realització d'aquest projecte s'han consultat principalment articles d'Internet, fitxes tècniques, vídeos, un seguit d'experiments propis i la documentació oficial dels fabricants perquè l'enfocament són les interaccions multi-usuari en mons virtuals i ,en tractar-se d'un àrea molt recent, no hi ha pràcticament cap estudi.

2.2.1. Maquinari

Cal destacar que la idea d'aquest joc va néixer arrel del llançament de les ulleres Meta Quest 2 i la capacitat d'aquestes per fer seguiment de mans i permetre renderitzar l'entorn (encara que amb poca qualitat) dins de les aplicacions.

En el moment de redactar aquest document (Q1 2022) no existeixen altres ulleres de realitat virtual amb aquestes capacitats, i les ulleres de realitat augmentada disponibles (Hololens 2 i Magic Leap) no ofereixen la possibilitat d'activar el mode de realitat virtual. Addicionalment, el preu d'aquestes ulleres amb capacitat de seguiment de mans és 8 vegades superior al de les Meta Quest 2.

2.2.1. Motors de jocs

Encara que existeixen altres motors de jocs com Godot i CryEngine que ofereixen suport pel desenvolupament de jocs de realitat virtual, les companyies només faciliten SDKs per Unity i Unreal Engine. Per consegüent, la implementació es complica en altres motors ja que s'ha de treballar amb les biblioteques natives que ofereixen (Meta ofereix el seu SDK natiu en C++). Per aquests motius, pràcticament tots els jocs de realitat virtual publicats utilitzen Unity o Unreal Engine.

A l'hora d'escollir entre Unity i Unreal Engine cal tenir en compte que Meta Quest és un dispositiu mòbil amb un processador molt limitat que utilitza Android com sistema operatiu, i tal com observa Gajsek[17] en el seu article «*Unity vs Unreal Engine for XR development*»,

Unity és utilitzat en el 60% dels desenvolupaments de jocs AR/VR i en un 50% dels jocs per dispositius mòbils.

Tradicionalment, Unity s'ha centrat en el mercat mòbil, de manera que s'han implementat moltes millores enfocades a aquest mercat, com són la possibilitat de configurar el motor de renderització, les eines per la creació d'efectes especials mitjançant grafs (Visual Effect Graph i Shader Graf).

Per altra banda, tot i que Unreal Engine va fer grans avenços durant el desenvolupament de Fortnite per dispositius mòbils com descriu Cuellos[18] a la seva *Tech Talk*, aquests només son aplicables per a jocs similars a aquest, és a dir, llum en temps real, terrenys estàtics i que facin servir *deferred rendering*. Atès que les aplicacions de realitat virtual per dispositius mòbils utilitzen forçosament *forward rendering*, gran part d'aquestes millores no van afectar a les aplicacions de realitat virtual.

Altrament, el sistema de postprocessament de UE4 no es pot utilitzar amb aplicacions mòbils perquè el rendiment baixa dràsticament, de manera que no és possible renderitzar una escena buida a 60fps sense cap efecte un cop s'activa la opció d'utilitzar-los, i el seu nou sistema de partícules (Niagara) no és completament estable amb aplicacions de realitat virtual. Com es pot deduir, Epic (fabricant del motor) ha centrat els seus esforços en els jocs AAA i d'alta fidelitat, com es pot apreciar en les demostracions de UE5, deixant de banda la optimització per a dispositius mòbils.

2.2.2. APIs de xarxa i limitacions per a Meta Quest

En el seu treball de final de grau, Lindblom[19] va fer diversos experiments amb ulleres Meta Quest el que el va permetre determinar que per mantenir els 72 FPS el limit d'usuaris concurrents es trobava en 18, renderitzant només avatars i xat de veu, però presents simultàniament.

El joc multijugador **Population One**[20], del gènere *Battle Royale*, suporta 18 jugadors simultanis en el mode de *squads* (3 jugadors en equip) i 25 jugadors en el mode *solo*, però en aquest tipus de jocs el nombre de jugadors simultanis en un mateix punt és molt reduït, per consegüent es pot considerar que la limitació estimada per Lindblom és acurada.

Un cop establert un màxim teòric de jugadors al que podem aspirar cal decidir quina API de xarxa utilitzar. Les APIs de xarxa més utilitzades a Unity són **Mirror**, **Photon PUN2**, i **DarkRift2** (biblioteques d'alt nivell). He descartat automàticament els projectes amb els que no s'ha publicat cap joc i el sistema propi de Unity (biblioteca de baix nivell), ja que històricament ha demostrat no ser fiable. Tanmateix, les biblioteques esmentades fan servir els millors elements de l'arquitectura de Unity i complementen les seves carències.

Mirror i DarkRift2 són dos APIs molt potents, i més eficients que Photon PUN2 tal com indica House[21] al seu article «*Choosing the right netcode for your game*», que permeten implementar una arquitectura client servidor amb servidors autoritzatius. El primer és programari lliure i es fàcilment integrable amb algunes plataformes de serveis com *Steamworks* i *Epic Online Services* que proporcionen serveis de *matchmaking*, cerca de sales, etc. però Meta Quest utilitza el sistema operatiu Android i no pot connectar de forma fiable amb aquests serveis.

L'avantatge de DarkRift2 és que amb la versió de pagament poden implementar-se servidors d'equilibri, de *matchmaking*, d'usuaris, etc. i permet el desplegament utilitzant contenidors, però la implementació de tot el sistema és molt complex.

Per altra banda, Photon PUN és una plataforma de serveis agnòstica que proporciona la API i els servidors que gestionen el sistema, per consegüent es pot connectar des de qualsevol dispositiu i simplifica el procés de creació d'aplicacions multi usuari, però el nombre d'usuaris simultanis està limitat segons una quota de pagament. Malgrat que aquest servei no suporta una arquitectura client-servidor és possible simular-la amb el seu sistema Master-Slave i, a diferència de les altres dues APIs, permet la migració del *host* en cas de caiguda del Master. Cal destacar que Photon ofereix moltes altres APIs adaptades a altres arquitectures, incloent un servei de xat de veu.

	Stability/ support	Ease-of- use	Perfor- mance	Scalability	Feature breadth	Cost*	Customer: Expand ^κ _ε ^κ _ε recommend for
MLAPI	★★★★★	★★★★★	★★★★★	★★★★★	★★★★★	Free	Most client-server games for up to ~64 players that want a stable breadth of mid-level features
DarkRift 2	★★★★★	★★★★☆	★★★★★	★★★★★	★★★★☆	\$100 for source	Games with high perf/ scale requirements that want to build on a stable LL layer
Photon PUN	★★★★☆	★★★★★	★★★★☆	★★★☆☆	★★★★★	\$0.30/PCU	Simple and small (2-8 players) mesh-topology games
Photon Quantum 2.0	★★★★☆	★★★★★	★★★★★	★★★☆☆	★★★★★	\$1000/mo + \$0.50/PCU	Games desiring deterministic roll-back, like MOBA games, for up to 32 players
Mirror	★★★★★	★★★★★	★★★★☆	★★★★★	★★★★★	Free	Stable and proven client-server solution, loved best for its community and ease-of-use

* Note that Photon pricing provides access to the networking libraries and services, whereas other solutions are standalone networking libraries, and the cost of services is separate.

Figura 9: Comparativa de diferents APIs de xarxa. Font: Unity - Choosing the right netcode for your game (2020).

2.2.3. Plataformes socials per a realitat virtual

La primera plataforma social per a realitat virtual que es va llençar va ser **VRChat**[22] al 2014, desenvolupada amb Unity per ulleres Oculus Rift permet a múltiples usuaris interactuar amb altres avatars i mons 3D. Aquesta plataforma utilitza avatars de cos complet i permet la utilització de vestits hàptics i de cos sencer. Permet als usuaris crear les seves pròpies sales i mini jocs utilitzant Unity que poden ser pujades als servidors i visitades per altres usuaris. Va arribar gairebé als 90.000 usuaris a la nit de cap d'any del 2021.

Altre plataformes socials més antigues és **Rec Room**[23], llençada al 2016 i desenvolupada amb Unity, que consisteix en un seguit de jocs multijugador orientats al públic infantil i un conjunt d'eines dintre de l'aplicació que permet als usuaris crear les seves pròpies experiències. Ha arribat a 1 milió d'usuaris mensuals, però al contrari que VRChat, es pot accedir amb ulleres de realitat virtual o dispositius estàndard i els avatars consisteixen en un cos, unes mans i un cap separats.

Un avantatge d'aquesta implementació de la **presència** és que simplifica molt la ampliació del sistema amb nous avatars perquè poden afegir-se de manera modular i el cost de processament és molt inferior, ja que no cal utilitzar cap sistema cinemàtiques inverses per ajustar la posició de tots els ossos del model, només la posició i orientació de les ulleres/controladors (o mans).



Figura 10: VRChat (2014). Font: VRChat Inc



Figura 11: Rec Room (2016). Font: Alex Pareja (XGN.es)

La darrera incorporació a les plataformes socials és **Horizon Worlds**[24], la visió del Metavers de Meta, desenvolupada en Unity i llençada a l'acaball del 2021 (només està disponible a Nord Amèrica). Ha aconseguit superar els 300.000 usuaris en els seus 3 primers mesos de vida i s'han creat més de 10.000 mons. Atès que està desenvolupada per Meta només és accessible mitjançant els seus dispositius: Meta Quest i Oculus Rift, per tant no admet altres aparells com els vestits hàptics o els seguidors addicionals. Permet als usuaris personalitzar els seus avatars, visible només de cintura cap amunt, però no pujar els seus propis models.



Figura 12: Paintball. Horizon Worlds (2021). Font: UploadVR.com

2.2.4. Revisió del gènere

Dins del gènere dels jocs de guerra tàctics, Warbringers es catalogaria com a **joc tàctic en temps real** (RTT) que es diferencia dels jocs d'estratègia en temps real (RTS) només en l'enfocament. La diferència principal, tal com es descriu a la wikipedia[25] és que «la tàctica militar està més relacionada amb els objectius a curt termini, com guanyar una batalla Individu».

Entre els jocs de més èxit d'aquest subgènere es troba la serie **Total War**, que va començar amb **Total War: Shogun**[26] (2000) i encara continua amb **Total War: Warhammer III**, el seu llançament més recent. El joc combina la estratègia per torns on es gestionen els recursos i es mouen els exercits, i el control de les batalles tàctiques en temps real. En la seva serie de vídeos sobre la intel·ligència artificial a Total War, el doctor Thompson[27][28] explica com ha evolucionat l'ús de la intel·ligència artificial en les diferents entregues. Començant amb la utilització d'algorismes genètics, passant per GOAP (Goal-Oriented Action Planning) i finalment TMCS (Monte Carlo Tree Search) per obtenir una resposta adequada a cada solució en un temps limitat.



Figura 13: Total War: Warhammer 3 (2022). Font: Creative Assembly/SEGA

Per a realitat virtual, els jocs d'estratègia no han tingut gaire èxit, ja que la major part d'experiències es centren en col·locar al jugador en el centre de la acció com a protagonista

i no com a general, però es pot destacar **Brass Tactics**[29] (2018) dels creadores de Age of Empires II[30], un RTS per Oculus Rift i PSVR (ulleres amb cable i connectades a un PC/Consola). El jugador s'enfronta a la IA o a altre jugador en un món de fantasia sobre un taulell.

Amb una ambientació inspirada en la segona guerra virtual trobem **Final Assault**[31] (2019), un joc multijugador desenvolupat per les principals plataformes de realitat virtual per PC i PSVR. En aquest joc no hi ha un taulell diferenciat, ja que tot l'entorn representa el camp de batalla.



Figura 14: Brass Tactics (2016). Font: Hidden Path

Figura 15: Final Assault (2019). Font: Real o Virtual.

2.2.5. Plataformes socials per a realitat virtual

Tot i que les ulleres de realitat virtual es van començar a comercialitzar al 2014, aquests primers dispositius no comptaven amb dispositius per controlar la posició de les mans del jugador, només les ulleres comptaven amb seguiment 6DOF (6 graus de llibertat).

Al 2016 Oculus i HTC van llençar els seus primers controladors 6DOF que permetien als usuaris interactuar amb les seves mans. Aquests van permetre als jugadors interactuar amb el món virtual utilitzant-los com a punters, identificant alguns gestos segons els botons i disparadors polsats en conjunt amb la posició i rotació de la mà, l'ús de botons i palanques de joc.

A l'acaball de 2021 Meta va alliberar la seva API experimental per seguiment de mans per dispositius Meta Quest 2, on gràcies a les càmeres utilitzades per seguir els controladors i la visió per computador permet estimar la posició i pose de les mans reals, això implica un

canvi important en la manera d'implementar les interaccions, ja que les mans només es registren mentre estan davant de les càmeres i no es compten amb botons ni palanques..

Per facilitar la implementació d'aquestes noves interaccions l'equip de Meta ha llençat el *Interaction SDK Experimental*[32] desenvolupat a partir de les lliçons apreses per l'equip de desenvolupament i les experiències que s'han creat utilitzant aquesta tecnologia.

L'exemple més recent d'implementació d'interaccions amb taulells en jocs per torns la trobem a Demeo, un joc de rol per torns multijugador on l'acció transcorre sobre un taulell on els jugadors mouen les fitxes que representen als seus personatges i utilitzen cartes per donar-los ordres o llençar encanteris. Les interaccions es poden realitzar mitjançant rajos per seleccionar els elements (per motius d'usabilitat) o agafant físicament les cartes i figures.



Figura 16: Demeo (2021). Font: Resolution Games

2.3. Anàlisi DAFO

	Internes	Externes
Negatives	<p>Febleses</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Temps molt limitat per desenvolupar el joc. ■ Impossibilitat de personalitzar models i animacions. ■ La utilització d'assets de tercers resta caràcter al joc. ■ Dificultat per testejar el joc en mode multijugador. ■ La tecnologia de <i>handtracking</i> i <i>passthrough</i> és experimental. 	<p>Amenaces</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Possibles incompatibilitats no detectades. ■ Es requereix l'aprovació prèvia de Meta per poder publicar-lo al <i>store</i> principal. ■ Possible baixada de rendiment en integrar tots els elements del joc. ■ Limitació de jugadors simultanis lligada al cost del servidor.
Positives	<p>Fortaleses</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Experiència en desenvolupament de jocs VR. ■ Realitzats prototips previs per validar les idees. ■ Possibilitat de realitzar versions per altes plataformes VR (PC i Consoles) ■ La utilització d'assets de tercers accelera la creació del joc i millora el resultat final. ■ Possibilitat d'expandir el joc mitjançant DLCs o expansions. 	<p>Oportunitats</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ No hi ha competència. ■ Possible interès d'inversors en aquestes tecnologies (<i>handtracking</i>, <i>passthrough</i>). ■ Més de 10 milions d'usuari de Meta Quest. ■ Baix nombre de títols disponibles per aquesta plataforma. ■ Facilitat d'escalar el joc contractant un major nombre d'usuaris concurrents.

Taula 5: Anàlisi DAFO

3. Proposta

3.1. Especificacions del producte

Warbringers és un joc tàctic en temps real multijugador que permetrà als jugadors trobar-se i enfrontar-se com a generals dels seus exercits en diferents camps de batalla. El prototip implementa les següents característiques:

- Desenvolupat per la plataforma **Meta Quest 2** (Realitat virtual sense fils) amb el motor Unity.
- Ambientat en un món **fantàstic medieval**.
- **Seguiment de mans** per interactuar amb els elements del joc i les interfícies. No requereix controladors, només les ulleres de realitat virtual.
- Opció d'intercanviar entre les vistes de **realitat augmentada** (mostra l'entorn del jugador capturat per les càmeres) i **realitat virtual** (només mostra el món virtual).
- **Multijugador**: 1 vs 1.
- **Xat de veu** per comunicar-se amb l'altre jugador.
- **Opció de jugar contra la computadora**.
- **Personalització de l'avatar** del jugador.
- **Registre d'usuaris**.
- Llenguatge del joc: **anglès**
- **Multiplataforma** (no disponible al prototip): el joc es llançarà per Meta Quest, Oculus Rift, ulleres HTC, Microsoft Mixed Reality i PSVR.

El prototip permetrà al jugador:

- Connectar amb el seu compte o crear un de nou.
- Crear una nova partida o unir-se a una.
- Canviar el seu avatar.
- Dins de la sala abans de començar el jugador que crear la partida podrà seleccionar el mapa. En el futur serà aquí on es seleccioni l'exercit abans de carregar la partida.
- Dins de la partida:
 - Parlar amb l'altre jugador (en partides multijugador).
 - Seleccionar elements de les interfícies amb les mans .
 - Agafar amb les mans les seves unitats per moure-les (marcar on es desplaçarà).

- Tocar unitats aliades per assignar ordres (disparar). Tocar unitats hostils per assignar-les com objectius.
- Activar/Desactivar el mode de realitat augmentada.
- Abandonar la partida abans de finalitzar.
- Els jugadors només donen ordres a les unitats, les accions i els combats s'executen automàticament.
- Desplaçar-se utilitzant gestos.
- Veure un resum amb el resultat final de la partida i tornar al menú principal.

En aquest prototip el sistema de combat estarà simplificat i permetrà realitzar les següents accions:

- Moure les unitats.
- Ordenar carrega contra unitats enemigues, desplaçant-les a sobre.
- Ordenar disparar (si la unitat pot disparar), tocant la unitat que dispara (seleccionant-la) i tocant a la unitat objectiu.

3.2. Model de negoci

3.2.1. Costos

Com s'ha esmentat a l'apartat «Pressupost» el cost complet de desenvolupar la primera versió que podem proporcionar als usuaris és de ~47.000€. A partir d'aquest moment, el joc es pot començar a comercialitzar com a beta o *early access*, però caldrà fer un altre esforç econòmic addicional per arrancar el pla de màrqueting.

Els jocs llençats en aquesta modalitat no compten amb una gran empenta quan es produeix el llançament final, tal com descriu Brightman[33] al seu article «*The average game on Steam sells only 32,000 copies*».



Figura 17: Gràfica de vendes de jocs a Steam al llarg del seu cicle de vida. Font: gameindustry.biz

A més, cal publicar-lo tan aviat com sigui possible en altres plataformes, començant per Steam, el que obliga a fer com a mínim tres noves versions pels diferents dispositius: HTC, Oculus Rift i Microsoft Mixed Reality. En una fase posterior caldrà fer també una versió per PSVR, però primerament cal obtenir el vist i plau de Sony per adquirir els kits de desenvolupament que s'estima que tenen un cost de \$3,500.

Recursos humans	\$160,000	Llicències i altres despeses	600€
Enginyer (Desenvolupament)	60,000€	Adquisició de dispositius	6,500€
Enginyer (DevOps)	45,000€	Ulleres i controladors HTC i Microsoft Mixed Reality	3,000€
Gestor de la comunitat	20,000€	Kits de desenvolupament	3,500€
Artistes (temporals)	25,000€	Màrqueting	1,500€
Administració (mitja jornada)	10,000€	Publicitat en llocs especialitzats	1,500€
Servidors	6,600€	Exposició en esdeveniments	5,000€
Infraestructura web	1,000€	Total	180,200€
Manteniment de servidors (2000 CCU)	4,400€		
Playfab	1,200€		

Taula 6: Estimació de despeses pel primer any després del llançament.

Així doncs, en total s'estima que el cost de produir el lloc i mantenir-lo funcionant durant un any serà de 235,000€ aproximadament, sense comptar la partida de contingències.

3.2.2. Joc com a plataforma

L'enfoc escollit per a Warbringers és el del **joc com a plataforma**, no com un producte que es compra, es juga i s'abandona. Per aquest motiu, el model de negoci escollit és similar al descrit per Fahraeus de Paradox, creadors de **Stellaris**[34] (2016+) i la franquícia **Crusader Kings**[35] (2012+), a la seva xerrada «*The Paradox DLC Model: Planning for the Long Term*» (2020)[36].

El **joc es distribuirà gratuïtament** per aconseguir una base de jugadors, amb algunes limitacions com la limitació d'exercits disponibles i la selecció d'opcions de personalització pel seu avatar i pel seu entorn.

Regularment s'afegiran nous exercits, generals i opcions de personalització que podran adquirir-se com a **DLCs** de forma independent.

A més, s'afegirà la opció de fer una compra per endavant (**passe de temporada**) per obtenir cadascun dels exercits que formen part de la temporada a mesura que estiguin disponibles, o la opció de comprar el **joc complet** amb tots els exercits i generals llençats fins al moment i els que es publiquin en el futur.

Periòdicament s'ampliarà el joc amb noves regles, tipus de mapes i mecàniques, aquest tipus d'ampliacions les anomenarem **expansions**, seran de pagament i sempre afegiran una part de contingut per a tots els jugadors i una altra part pels jugadors que l'adquireixen:

- **Joc base gratuït**: limitació d'exercits i opcions de personalització.
- **Joc complet** (29.99€): de pagament. inclou tots els exercits i generals llençats publicats en cada moment (a excepció dels que formen part de les expansions).
- **DLC Exercit** (2.99€): nou exercit i opcions de personalització. Nous exercits cada quadrimestre.
- **DLC General** (0.99€): nou general per algun dels exercits existents que afegeixi variacions a l'estil de joc o a la organització d'aquests.

- **DLC Cosmètics** (per determinar): afegeixen nous elements de personalització per l'avatar del jugador o del seu entorn.
- **Passe de temporada** (11.99€): es compra prèviament i ofereix els 4 exercits i els generals que es publicaran al llarg de la temporada a un preu reduït.
- **Expansió** (14.99€): continguts gratuïts que s'afegeixen al joc per tots els usuaris com modes de joc, nous mapes, etc. i altres addicionals només disponibles pels jugadors que la compren: nova campanya, exercits, encanteris, objectes, opcions de personalització, etc.

3.2.3. Viabilitat

Com s'ha comentat a l'apartat *Costos* per recuperar la inversió (ROI) el primer any cal obtenir 235,000€ nets. Atès que la intenció és continuar expandint aquest projecte caldria aconseguir uns ingressos que permetessin cobrir els costos de desenvolupament del segon any, és a dir, a finals del primer any es requereixen uns ingressos nets mínims de 415,000€.

Kumar [37] al seu article «Making Freemium Work» (2014) coincideix amb altres autors en que la taxa de conversió d'usuaris de productes *freemium* (productes que es poden provar gratuïtament amb limitacions) és del 2-5%, encara que en molts casos està entorn al ~1%.

Entre els usuaris convertim podem estimar que els ingressos seran els següents:

- Un 15% compraran el joc complet (29.99€)
- Un 50% comprarà 2 exercits i 2 generals (7,96€)
- Un 35% comprarà el passe de temporada (11.99€)
- No s'inclouen els DLC cosmètics perquè en aquest punt encara no s'han determinat.

En total, un ingrès mig de 12.68€ per usuari convertit. Però d'aquests ingressos la plataforma s'emporta un 30% i un altre 20% va destinat a impostos, per tant podem arrodonir a ~6,3€ per usuari convertit.

Com es requereixen 415,000€ (per pagar les operacions en viu i continuar amb el desenvolupament), és necessari aconseguir un mínim de ~66,000 conversions, per consegüent cal obtenir entre 1.3 i 3.3 milions d'usuaris perquè el projecte sigui marginalment viable a llarg termini (només es cobreixen despeses).

Es fa pales que aquest nombre d'usuaris no pot provenir només de la plataforma Meta Quest perquè el nombre total d'unitats venudes es de ~10 milions, per consegüent, és cabdal portar el joc a altres plataformes i no lligar-se només a Meta, així com cercar finançament.

Cal destacar que es preveu fer una campanya de *crowdfunding* al final del primer any que serviria per finançar els costos de desenvolupament, d'aquesta manera el projecte podria arribar a ser viable amb molts menys usuaris.

3.3. Estratègia de màrqueting

Els esforços de màrqueting queden fora de l'abast d'aquest projecte, ja que només s'implementarà un prototip, que no estarà llest per la seva comercialització, i serà necessària la incorporació d'un gestor de comunitats per executar les diferents iniciatives, contactar amb artistes per dissenyar els materials de promoció i preparar la campanya de *crowdfunding*, etc.

La creació d'una comunitat és clau per aquest projecte donat el seu enfocament a les partides multijugador i les interaccions socials. Comptar amb una comunitat forta reforçarà el projecte de cara a adquirir nous jugadors i trobar inversors com va ser el cas de Zenith[38] (2021), un *mmorpg* per realitat virtual que ha obtingut una inversió de \$35 milions després del seu llançament[39] o accedir a fons d'inversió com l'anunciat per Qualcomm[40], que oferirà \$100 milions per invertir en aplicacions de realitat virtual i augmentada enfocades al Metavers.

Cal destacar que és essencial portar el joc a altres plataformes de realitat virtual tant bon punt tinguem un prototip funcional, ja que això ens permetrà publicar-lo en altres plataformes i arribar a un nombre major d'usuaris.

3.3.1. Fase 1: creació de la comunitat

Un cop sigui funcional el lloc es llençarà com a *early access* o com a versió beta oberta gratuïta per aconseguir tan aviat com sigui possible una massa crítica de jugadors, ja que en tractar-se d'una experiència social basada en batalles multijugador aquest és un element clau.

Atès que es tracta d'un joc per a realitat virtual, els canals convencionals de màrqueting no són els més adients perquè que la ràtio d'usuaris de realitat virtual és mínim. Per exemple, a tot el món només un ~0.14% són propietaris d'unes ulleres Meta Quest 2. És per aquest motiu que no trobem cap anunci d'ulleres ni jocs de realitat virtual ni a la radio, ni la televisió, només en mitjanç especialitzats.

Crear una comunitat al voltant del joc, prèvia al seu llançament, mitjançant un canal de **Discord** que serveixi com a punt de trobada fora del món virtual on els jugadors poden resoldre dubtes, relacionar-se amb altres jugadors, conèixer quines seran les pròximes novetats i comunicar-se directament amb l'equip de desenvolupament del projecte.

Creació d'un compte de **Twitter** per mostrar com a mínim un cop a la setmana (aprofitant la iniciativa #screenshotsaturday) novetats al joc, captures de pantalles, tràilers, etc. Selecció d'alguns d'aquests tweets com a promoció per augmentar el seu abast. Per altra banda, donada la gran popularitat de **Instagram**, s'utilitzarà la plataforma per publicar les mateixes imatges que s'utilitzen a Twitter i s'analitzarà l'impacte d'aquestes a les dues xarxes socials.

Es crearà una **pàgina web simple** que redirigirà als usuaris al nostre canal de Discord i mostrarà els darrers anuncis de Twitter, així com enllaços als diferents *stores* on es pot adquirir el joc, un resum de les característiques i un tràiler.

Tot i que **Reddit** és molt popular per publicar notícies i avenços sobre desenvolupament de jocs en general, el subcanal dedicat al desenvolupament realitat virtual està pràcticament desert.

La utilització de **Youtube** es limitarà a la publicació de tràilers del joc i els generats per presentar nous exercits o versions, no es crearà cap altre contingut per aquesta plataforma i s'intentarà destacar els vídeos creats pels jugadors. Es descarta la utilització de **TikTok** perquè no sembla compatible amb la realitat virtual.

3.3.2. Fase 2: Operacions en viu

Per mantenir als usuaris entretinguts s'organitzaran esdeveniments freqüents, ja sigui amb motius festius o propis, on els jugadors podran obtenir elements de personalització

especials que només són disponibles durant els esdeveniments, títols, nous modes de joc, etc.

A més, es farà una rotació d'ofertes de manera que els jugadors tindran al·licients per connectar sovint al joc encara que no sigui per jugar, només per veure les ofertes del dia o la setmana.

3.3.3. Fase 3: Promoció per captar nous usuaris i inversors

Pel que fa als **streamers** i **premsa** especialitzada es contactarà amb ells i s'enviaran notes de premsa quan s'assoleixin noves fites i es publiquin novetats (per exemple, nous mapes, nous exercits, s'ampliï el nombre de plataformes, etc.)

Un cop polit el prototip es publicarà a la base de dades de DeVuego (<https://www.devuego.es/bd/>) i es mostrarà en els esdeveniments de desenvolupadors indie que es celebren regularment al país (Guerrilla Game Festival, Madrid Games Week, Fun & Serious, GameLab, etc.) amb intenció de mostrar el lloc i captar inversors.

Un cop es posi en marxa la comunitat es començarà a treballar una campanya per a Kickstarter, amb intenció de llençar-la ~1 any després, de manera que servirà per dos propòsits: recaptar fons per continuar amb el desenvolupament a mode de comanda prèvia i per promocionar el joc.

4. Disseny

En aquest capítol es detallarà el disseny de l'arquitectura de xarxa del joc, les classes, les interfícies i el programari utilitzat pel seu desenvolupament.

4.1. Arquitectura general del joc

Warbringers és eminentment un joc multijugador que utilitza per una banda els servidors dedicats de Photon com a relé per connectar als jugadors entre si, i per l'altra els serveis d'autenticació de Meta per identificar unívocament a cada jugador.

Atès que la connexió es realitza a través d'Internet, la IP dels jugadors es trobarà emmascarada per l'encaminador. Aquest emmascarament complica realitzar la connexió entre ells. Una alternativa a implementar el nostre propi sistema «*Nat Punchthrough*» és utilitzar un servidor dedicat que faci de relé entre els jugadors, aquesta és un dels serveis que ofereix Photon (el servei escollit per implementar Warbringers).

El núvol de Photon utilitza un sistema de regions que permet connectar als jugadors al servidor més proper a la seva zona, però per aquest prototip s'utilitzarà la configuració de servidor fix perquè tots els jugadors connectin al servidor de la zona europea i assegurar que tots els jugadors poden veure's entre ells.

Photon PUN no permet crear aplicacions client servidor. Es distingeix a un client de la resta, el **Master Client**, que és el que crea la partida i el responsable d'iniciar el joc, però si aquest és desconnecta es selecciona automàticament un altre Master Client i el joc con s'interromp.

En no haver un servidor autoritzatiu per validar les respostes i tractar-se d'un joc amb només dos jugadors, s'ha decidit no fer cap control de validació de les comandes enviades pels jugadors. Aquesta aproximació simplifica el desenvolupament però facilita que els jugadors facin trapes (encara que no és trivial, ja que el joc s'executa en les ulleres de realitat virtual).

Pel desenvolupament comercial d'aquest joc serà obligatori canviar la biblioteca de xarxa per una que permeti la implementació de l'arquitectura client-servidor.

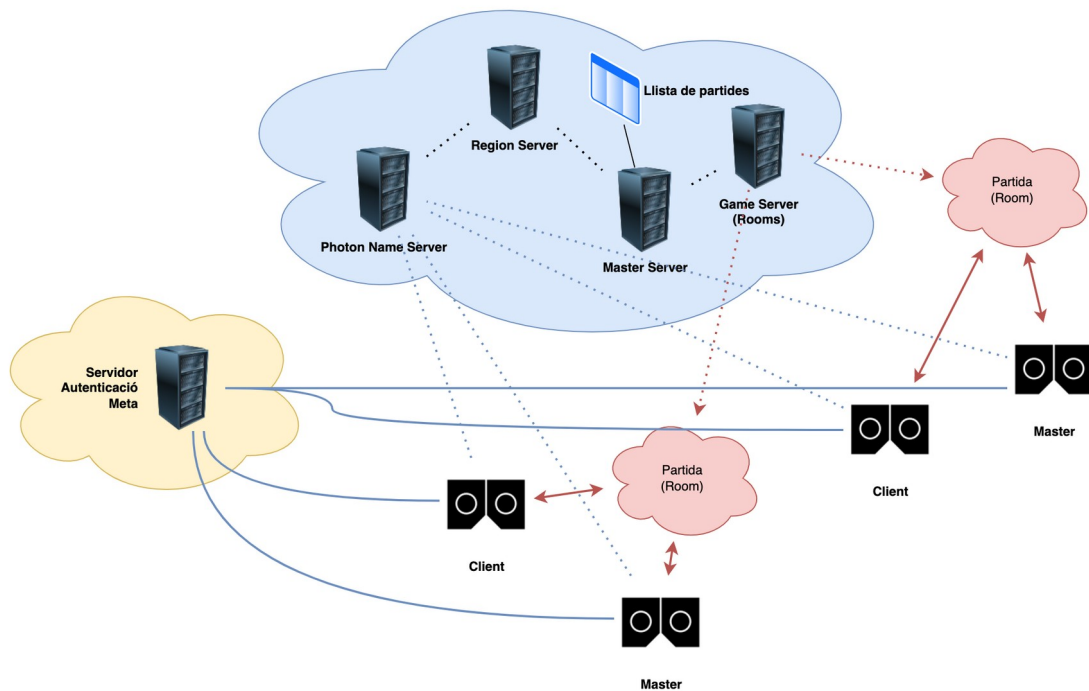


Figura 18: Diagrama d'arquitectura de xarxa de Warbringers Font: elaboració pròpia.

En iniciar-se Warbringers, el jugador tindran opció de crear una partida d'un sol jugador, crear una nova partida multijugador o d'unir-se a una partida ja existent. Per facilitar la creació de partides, en aquest prototip s'utilitzarà un sistema de «unió ràpida» en el qual els jugadors s'uniran automàticament a les partides que porten més temps en cua esperant jugadors.

4.2. Requisites

4.2.1. Requisites funcionals

- **RF01:** El jugador ha de poder seleccionar el seu Avatar.
- **RF02:** El jugador ha de poder iniciar una partida d'un sol jugador.
- **RF03:** El jugador ha de poder seleccionar diferents mapes.
- **RF04:** El jugador ha de poder jugar amb diferents exercits.
- **RF05:** El jugador ha de poder canviar la configuració del joc (só d'efectes i música)
- **RF06:** El jugador ha de poder activar i desactivar la realitat augmentada.
- **RF07:** El jugador ha de poder crear una partida multijugador.
- **RF08:** El jugador ha de poder unir-se a una partida multijugador.

- **RF09:** El jugador ha de poder donar ordres a les seves unitats.
- **RF10:** El jugador ha de poder conèixer l'estat de totes les unitats.
- **RF11:** El jugador ha de poder conèixer l'estat del joc en tot moment.
- **RF12:** El jugador ha de poder interactuar amb el joc només amb les seves mans.

4.2.2. Requisits no funcionals

- **RNF01:** La selecció de l'avatar del jugador ha de persistir entre sessions.
- **RNF02:** En partides multijugador els altres jugadors han de visualitzar l'avatar seleccionat pel jugador.
- **RNF02:** La opció de crear partida ha d'estar inhabilitada mentre el jugador no hagi connectat a la plataforma.
- **RNF03:** La opció d'unir-se a partides ha d'estar inhabilitada si no hi ha cap habitació creada.
- **RNF04:** Si un jugador abandona la partida el joc finalitza.
- **RNF05:** Si un jugador es desconnecta el joc finalitza.
- **RNF06:** El joc mostra correctament el guanyador de la partida.
- **RNF07:** El joc ha de permetre la connexió entre jugadors des de diferents plataformes (Meta Quest i PC)
- **RNF08:** En el mode de realitat augmentada el joc ha de mantenir 60 FPS en tot moment.
- **RNF09:** El joc ha de poder mostrar com a mínim 100 soldats simultàniament.

No s'ha considerat un requisit no funcional que el joc mantingui 60 FPS en el mode de realitat virtual perquè això requereix la optimització d'aquestes escenes i s'ha prioritzat l'aspecte estètic, ja que en una possible versió comercial aquestes escenes seran reemplaçades i optimitzades.

4.3. Arquitectura de la informació i diagrames de navegació

4.3.1. Navegació entre escenes

La navegació entre escenes és la que es mostra a la **figura 27**. Quan el jugador entra al joc es mostra el menú principal des del qual es pot sortir del joc, crear una partida per un jugador, crear una partida multijugador o unir-se a una partida ja creada.



Figura 19: Warbringers - Menú principal. Font: captura pròpia. Figura 20: Warbringers - Lobby. Font: captura pròpia.

Un cop el jugador crea o s'uneix a una partida, passa al Lobby. Actualment només hi ha un exercit i un mapa, raó per la qual el Lobby només serveix com a punt de trobada pels jugadors. En el cas de les partides multijugador es requereix que tots els jugadors hagin connectat abans d'iniciar la partida.

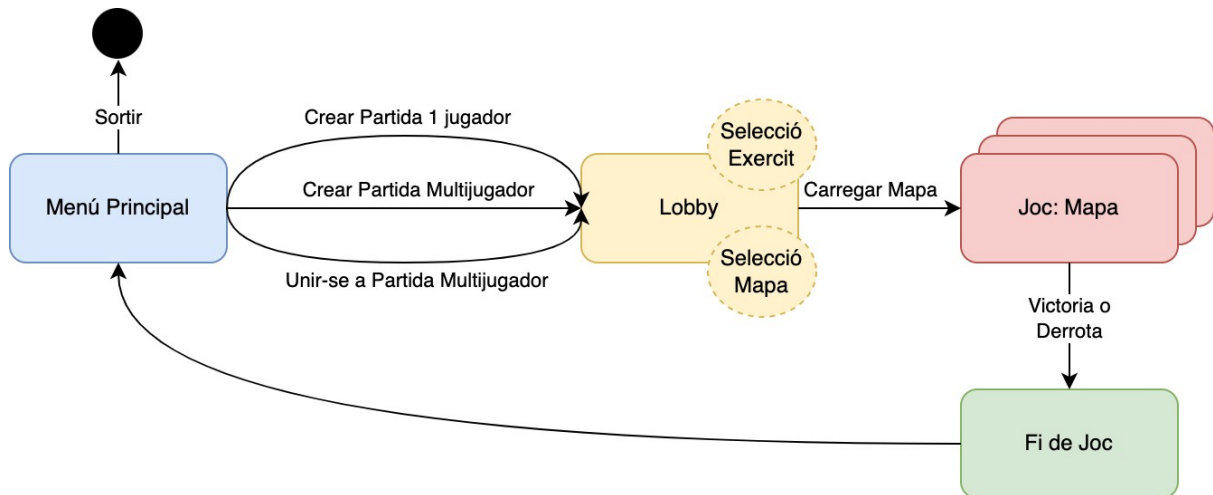


Figura 21: Diagrama de navegació entre pantalles. Font: elaboració pròpia.

Quan s'inicia la partida es carrega el mapa indicat i els jugadors apareixen al costat del taulell amb els seus exercits. El combat es divideix en tres fases:

- **Desplegament:** durant aquest temps els jugadors poden recol·locar les seves unitats dins de l'àrea de desplegament.
- **Batalla:** un cop acaba el temps de desplegament comença la batalla. Els jugadors podran donar ordres a les seves unitats fins que el temps finalitzi o totes les unitats d'un jugador hagin sigut derrotades.
- **Fi de joc:** quan la partida acaba els jugadors poden abandonar la sala i passa a la pantalla de fi de joc.



Figura 22: Warbringers - Joc en curs. Font: captura pròpia.

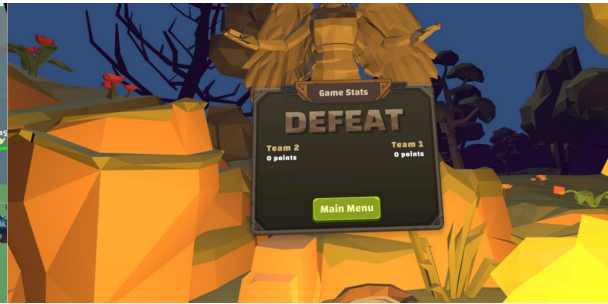


Figura 23: Warbringers - Fi de la partida. Font: captura pròpia.

Finalment a la pantalla de fi de joc es mostra un resum de la partida indicant al jugador si ha guanyat o ha perdut i permet tornar al menú principal.

4.3.2. Llistes d'exercit

A Warbringers cal distingir entre la llista d'exercit de les faccions i la llista d'exercit de cada jugador, que serà una selecció d'elements de la llista de facció amb una configuració determinada (mida i quantitat):

- La **llista d'exercit d'una facció** que conté tota la informació de les unitats i blocs d'estadístiques (atac, defensa, atacs, etc.).
- La **llista d'exercit del jugador** que conté un identificador del tipus de llista (Humans, Elfs, Orcs, etc.) i una llista amb totes les unitats, la grandària i la quantitat de cada tipus.

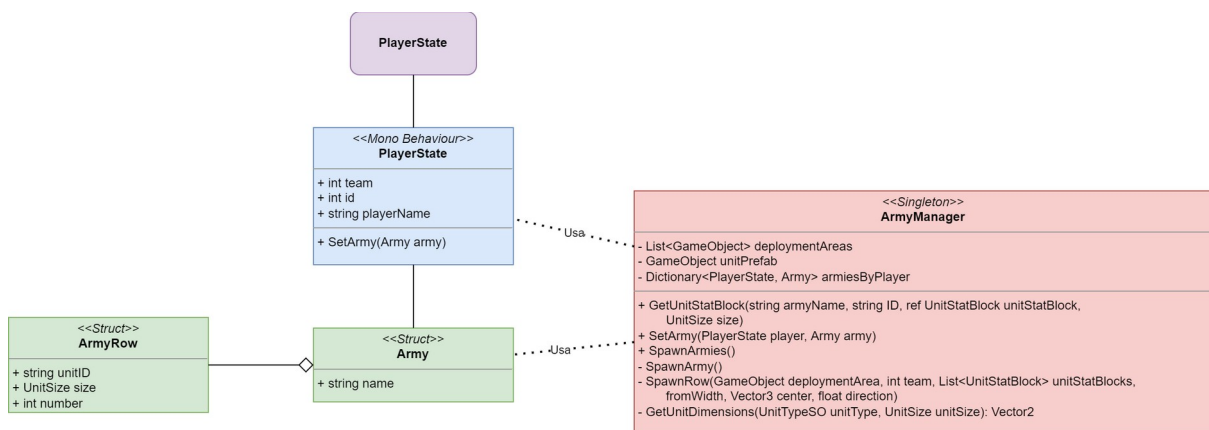


Figura 24: Diagrama de classes - ArmyManager. Font: elaboració pròpia.

Quan comença la partida cada jugador controlarà un exercit que serà construït pel component **ArmyManager**. Aquest fa la funció d'una factoria que instancia les unitats de cada jugador (de la llista d'exercit del jugador) injectant la informació corresponent als blocs d'estadístiques i models que es troben a la llista d'exercit de la facció.

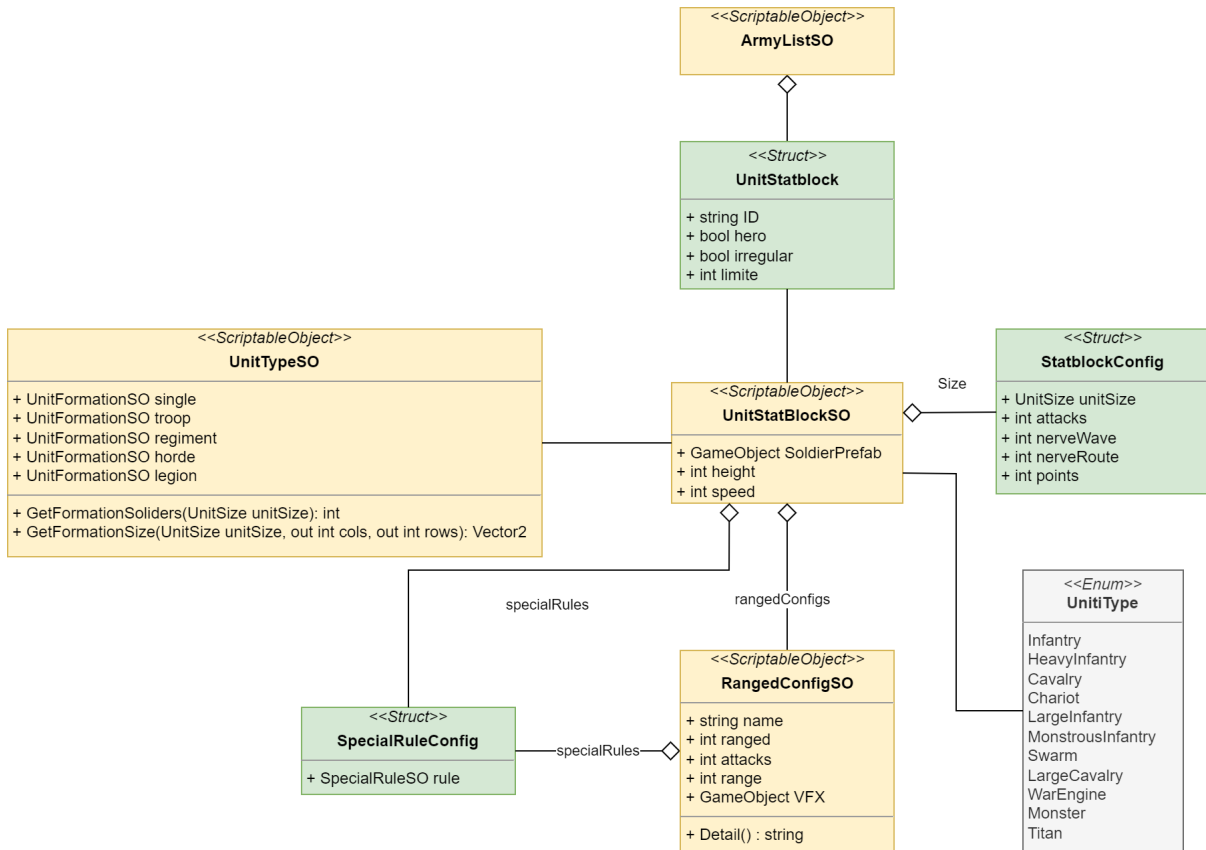


Figura 25: Diagrama de classes – ArmyList. Font: elaboració pròpia.

Aquestes unitats són col·locades automàticament a l'àrea de desplegament de cada jugador, i poden moure's només dintre d'aquest àrea fins que no comenci la partida.

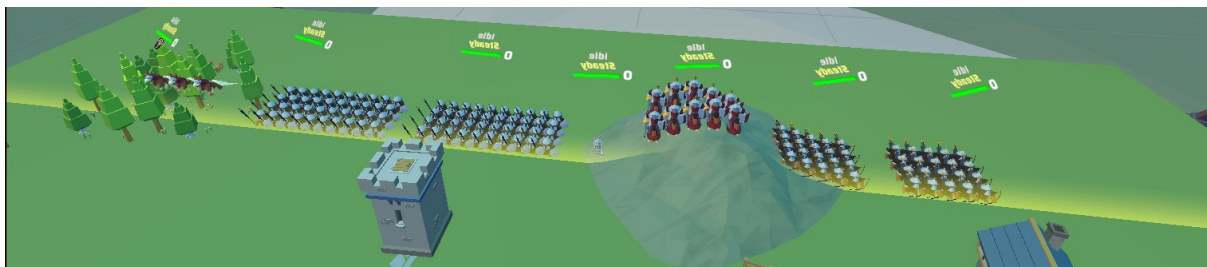


Figura 26: Warbringers - Àrea de desplegament del jugador. Font: captura pròpia.

S'ha escollit aquest sistema de configuració d'unitats fraccionada perquè la intenció és continuar desenvolupant el joc més enllà d'aquest projecte, això implica que el nombre d'habilitats disponibles, configuracions d'unitats, llistes d'exercits i regles de joc serà molt superior a l'actual.

La divisió dels blocs d'unitat en associacions i agregacions ens permet respectar el principi de disseny *Open/Closed* fent possible la creació de noves unitats, exercits i regles sense haver de modificar les classes ja creades.

4.3.3. Unitats i soldats

La mecànica principal de Warbringers és donar ordres a les unitats que hi ha sobre el taulell «arrossegant-les» per ordenar un moviment o càrrega, i tocar a les unitats de projectils i els enemics per ordenar un atac a distància. És a dir, encara que al camp de batalla el que es visualitzen són els soldats de cada jugador, el seu efecte és purament cosmètic i la lògica del joc només tracta amb les unitats.

Com que el desplaçament de les unitats no és immediat, depèn de la seva característica de velocitat (*speed*), el que es manipula realment per ordenar un moviment o càrrega és un *proxy* que està sincronitzat amb la posició de la unitat.

Un cop agafat el *proxy*, mostra un marcador projectat sobre el taulell que indica la rotació i un *ressaltador* que indica si és possible el moviment (color verd) o no (color vermell). Quan el jugador el deixa anar, si la posició era correcta es crea una nova **ordre** i s'assigna a la unitat (com es detallarà més endavant).

Per altra banda, per seleccionar una unitat de projectils (per exemple, arquers o canons) cal tocar-la (el *ressaltador* canviarà a color groc) i després cal tocar a un enemic. Automàticament, la unitat s'aproparà a l'enemic fins que estigui dintre del seu rang i començarà a disparar.

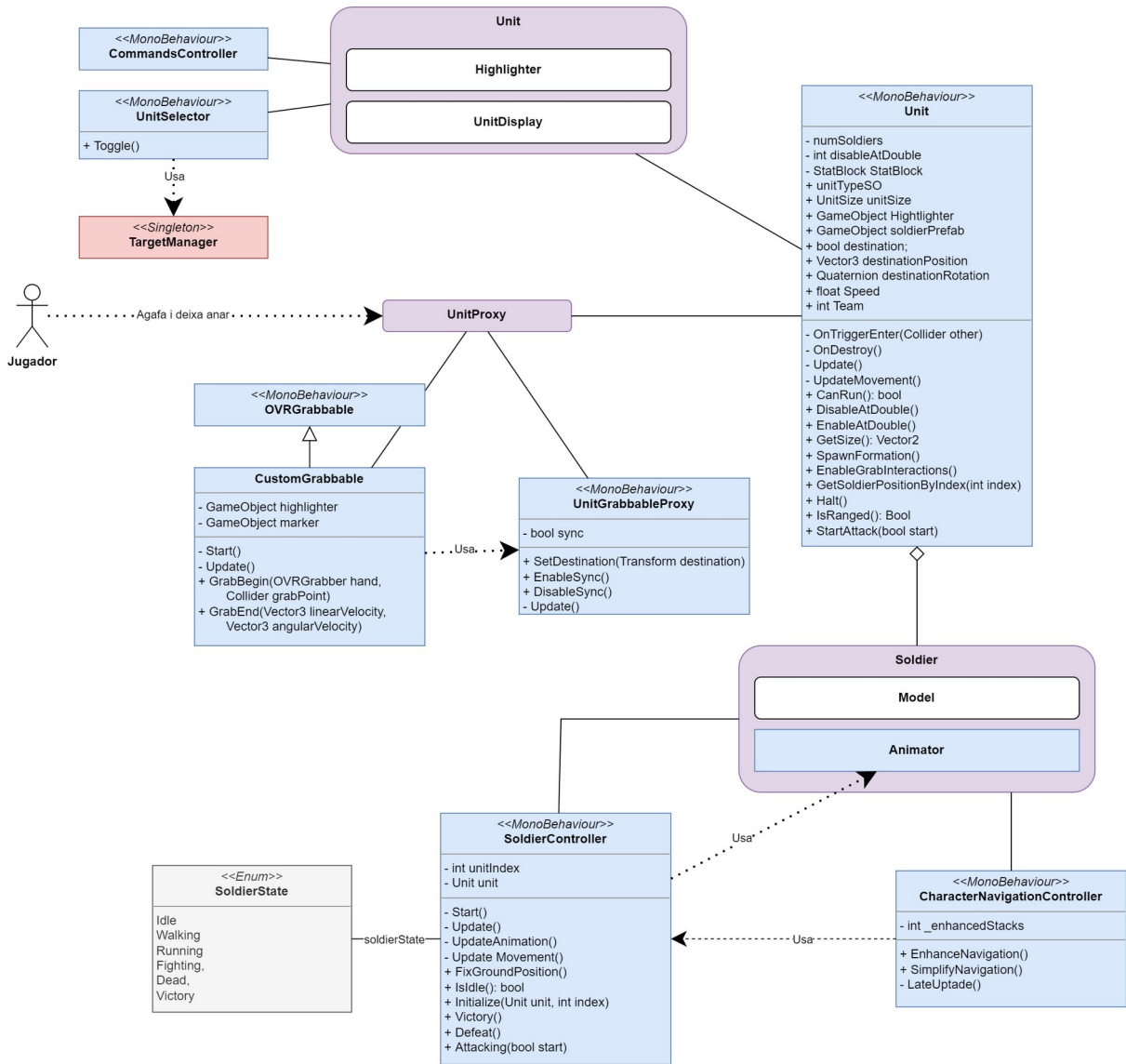


Figura 27: Diagrama de classes i prefabs - Unit i Soldier. Font: elaboració pròpia.

Les unitats inclouen un ressaltador i una interfície (UnitDisplay) que permet mostrar l'estat de la unitat en el món, de manera que es pot veure els punts de dany que han rebut, el seu estat de moral i els efectes que s'estan aplicant (cobertura, càrrega, desordenats, etc.).

El prefab que s'instancia per representar al soldat s'estableix a la configuració del bloc d'estats (assignat a la llista d'exercit de facció, *UnitStatBlockSO*). Cal tenir en compte que un mateix tipus d'unitat pot tenir diferents grandàries (tropa, regular, horda, etc.) i segons aquesta grandària alguns dels seus atributs (com el nombre d'atacs i la moral) seran diferents, mentre que altres com la defensa, la velocitat i el model de soldat a instanciar seran iguals.

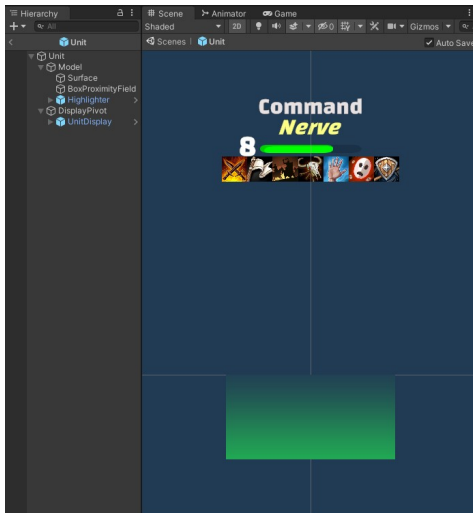


Figura 28: Warbringers - Prefab Unit. Font: captura pròpia.

En la versió actual, els soldats només s'encarreguen de representar les accions de la unitat mitjançant animacions (caminar, córrer, atacar/disparar, morir i victòria) i moure's a la seva posició corresponent a la unitat.

Atès que el nombre de models és massa elevat per utilitzar un algorisme de pathfinding (o el propi sistema de *NavMeshes* i agents d'Unity) s'ha optat per afegir un sistema de precisió que s'activa quan un model està aprop d'un àrea de terreny irregular (detectada mitjançant *colliders* de tipus disparador). Quan s'activa el sistema, es comprova contínuament la posició del terre usant un Raycast i s'assigna aquesta posició al soldat, de manera que sempre queda per sobre del terre.

Es va descartar la utilització del component *CharacterController* perquè el seu rendiment era pitjor que el d'aquest sistema i no funcionava correctament en tots els casos degut a que l'escala a la que es treballa amb els soldats és molt petita i donava problemes amb el motor de físiques d'Unity.

4.3.4. Sistema d'ordres

El sistema d'ordres de Warbringer permet als jugadors donar ordres a les unitats i que aquestes les executin de manera asíncrona. Atès que les ordres poden fallar per un canvi de condicions de l'estat del joc (per exemple, perquè la unitat ha sigut atacada per un altre unita o l'objectiu ha deixat de ser vàlid) no és suficient amb donar una ordre, s'ha de controlar la seva execució.

Per solucionar aquest problema he utilitzat una implementació pròpia d'arbres de comportament (*Behaviour Trees*) basada en la solució proposada per la doctora de Byl[41] al seu curs «*Advanced AI for Games with Behaviour Trees*», però modificant el gruix de la implementació per afegir decoradors i serveis als nodes.

Per poder crear-los, assignar-los i reemplaçar-los en qualsevol moment s'han creat com a classes normals, eliminant la dependència dels *MonoBehaviours* i delegant les crides periòdiques a un nou component, el *CommandController*, que forma part de totes les unitats.

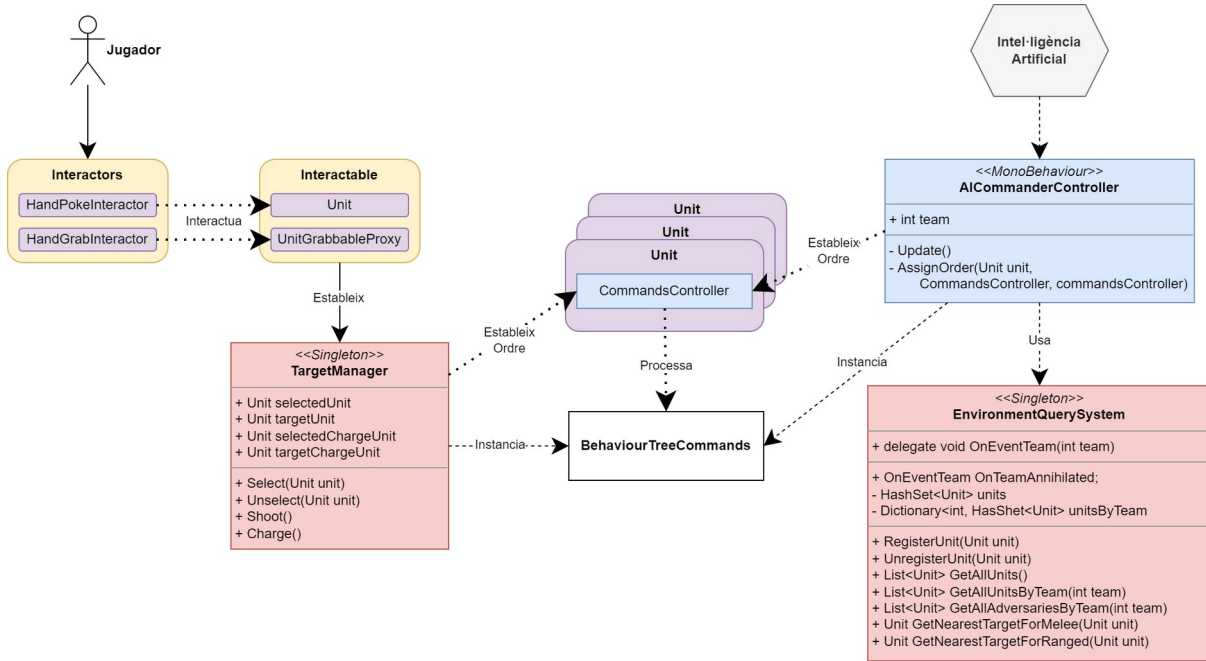
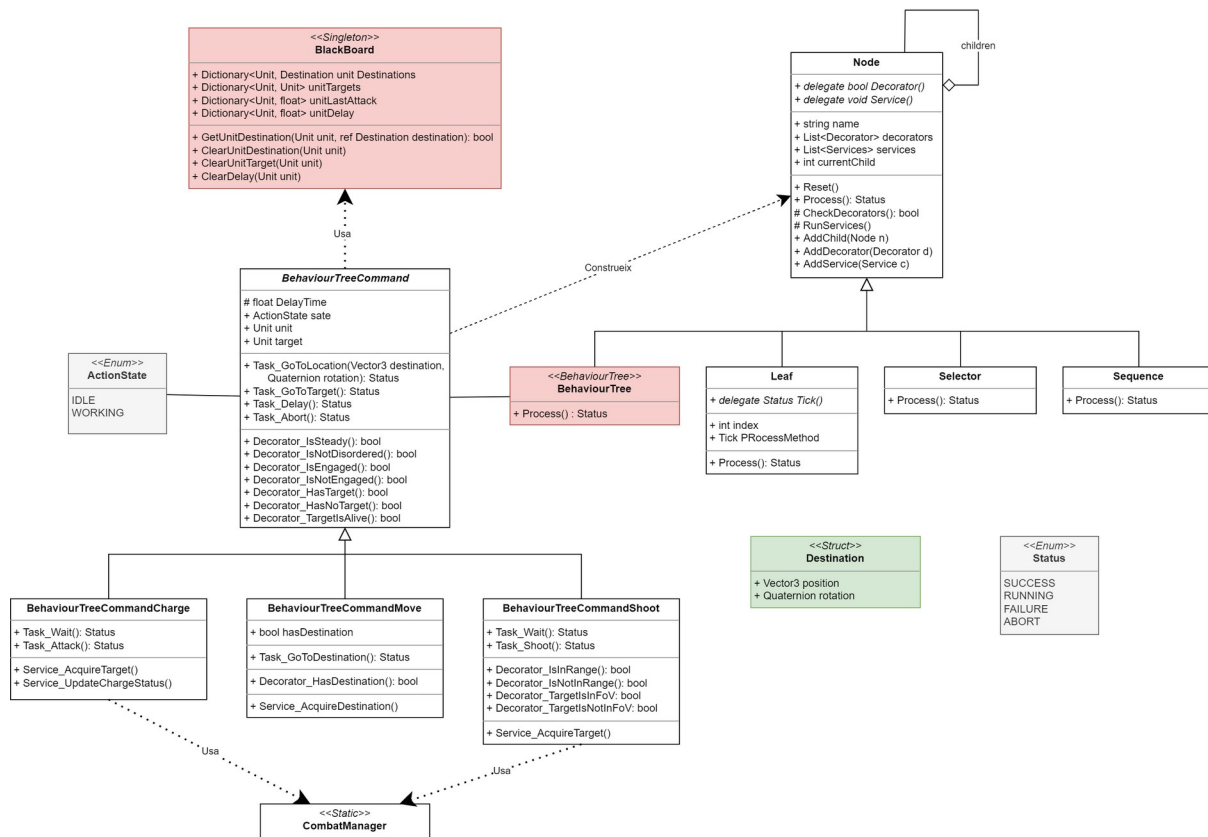


Figura 29: Diagrama de classes i prefabs - Sistema d'ordres. Font: elaboració pròpia.

D'aquesta manera, el jugador o la intel·ligència artificial crea una nova ordre (que inclou el seu *behaviour tree* ja configurat) i l'assigna al *CommandController*, que s'encarregarà de processar-la fins que rebí una nova ordre o l'ordre actual sigui avortada.

Cal destacar que s'ha afegit una classe auxiliar, l'*EnvironmentQuerySystem*, que funciona com a façana per facilitar a la IA realitzar consultes sobre el món. D'aquesta manera es desacobla el coneixement de l'entorn del controlador de la IA i permet ampliar-lo en el futur sense haver de modificar el controlador.



Aquest sistema permet utilitzar les mateixes ordres pel jugador i per la intel·ligència artificial, només canvia la manera en que es generen les ordres:

- El **jugador** assigna les ordres interactuant amb els elements del joc, a través del *TargetManager*.
- La **intel·ligència artificial (IA)** assigna les ordres automàticament mitjançant el *AICommanderController*, que comprova si hi ha alguna unitat sense ordres i li assigna una nova. S'ha escollit el nom de *AICommander* expressament per destacar que es tracta de la classe que dirigeix al conjunt, no és tracta d'IAs independents com en altres tipus de joc que només són responsables de controlar un únic personatge.

En aquest prototip es consideren les següents tres ordres:

- **Moure:** mou la unitat a la posició i rotació indicada.
- **Carregar:** mou a la unitat cap a la unitat enemiga objectiu i l'ataca cos a cosa.
- **Disparar:** si la unitat està fora de ranc s'apropa, es gira cap a l'objectiu i li dispara.

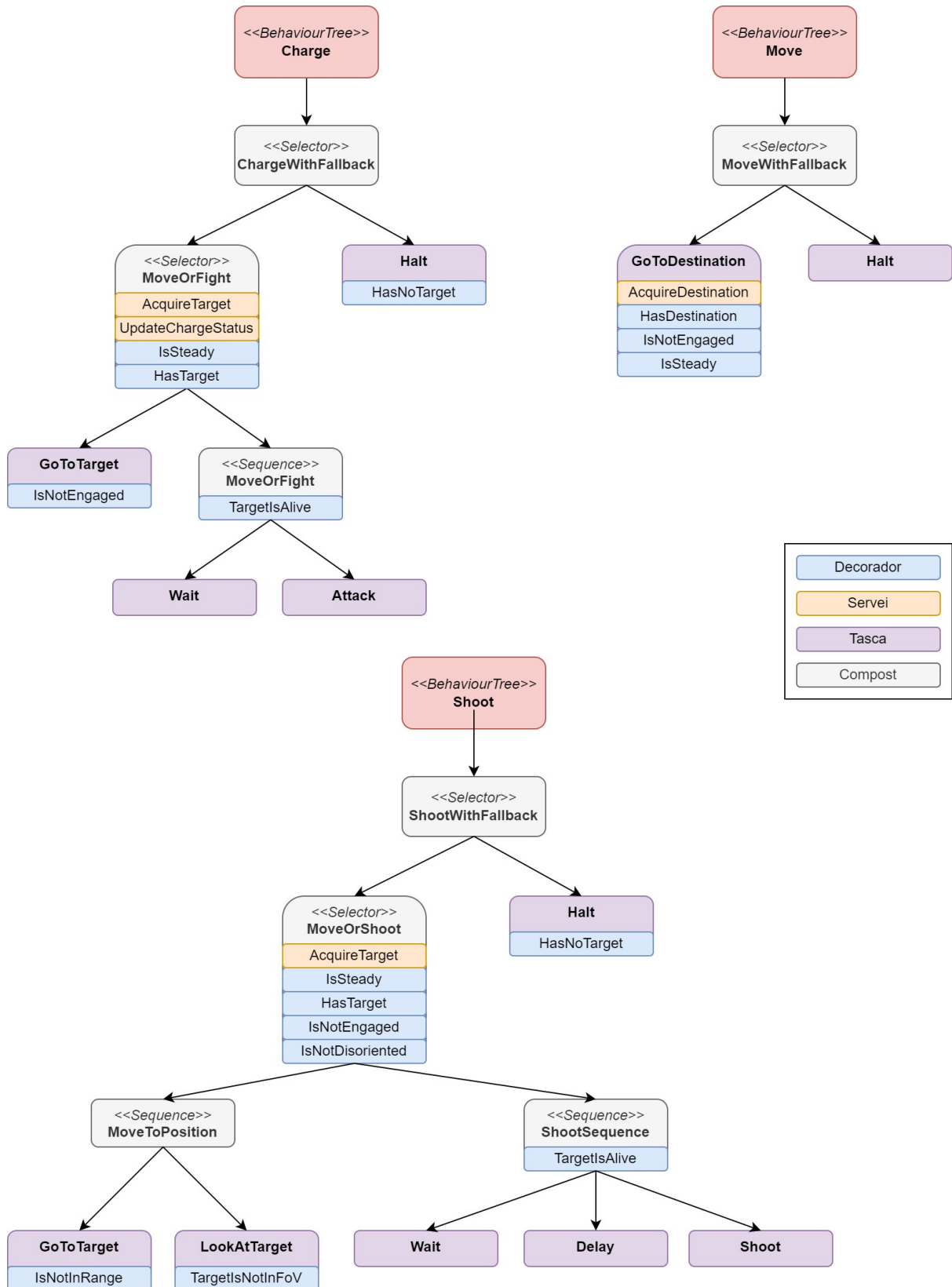


Figura 31: Diagrama behaviour trees - càrrega, Move i Shoot. Font: elaboració pròpia.

Com que el moviment de les unitats i els atacs depenen del sistema d'ordres, se simplifica la sincronització de dades entre els jugadors en partides en xarxa i obre la porta a altres possibilitats com la repetició de partides o la millora del sistema d'intel·ligència artificial, ja que es poden tractar les ordres com a moviments sobre un taulell.

4.3.5. Intel·ligència artificial: Seek & Destroy

Atès que aquest prototip està orientat a mostrar les possibilitats socials de la realitat virtual i les partides multijugador s'ha optat per implementar una intel·ligència artificial mínima que només s'encarrega de comprovar que totes les unitats a càrrec seu estiguin executant algun ordre, ja sigui disparar o carregar.

Aquesta implementació permet provar el joc amb dues IAs enfrontades i permetria activar un mode automàtic pel jugador, on pot donar noves ordres sobre les que assigna l'*AICommanderController*.

4.3.6. Sistema de combat

El sistema de combat s'ha implementat com una classe estàtica que exposa les funcions per atacar i disparar i és utilitzada per les ordres (mitjançant tasques dels *behaviour trees*).

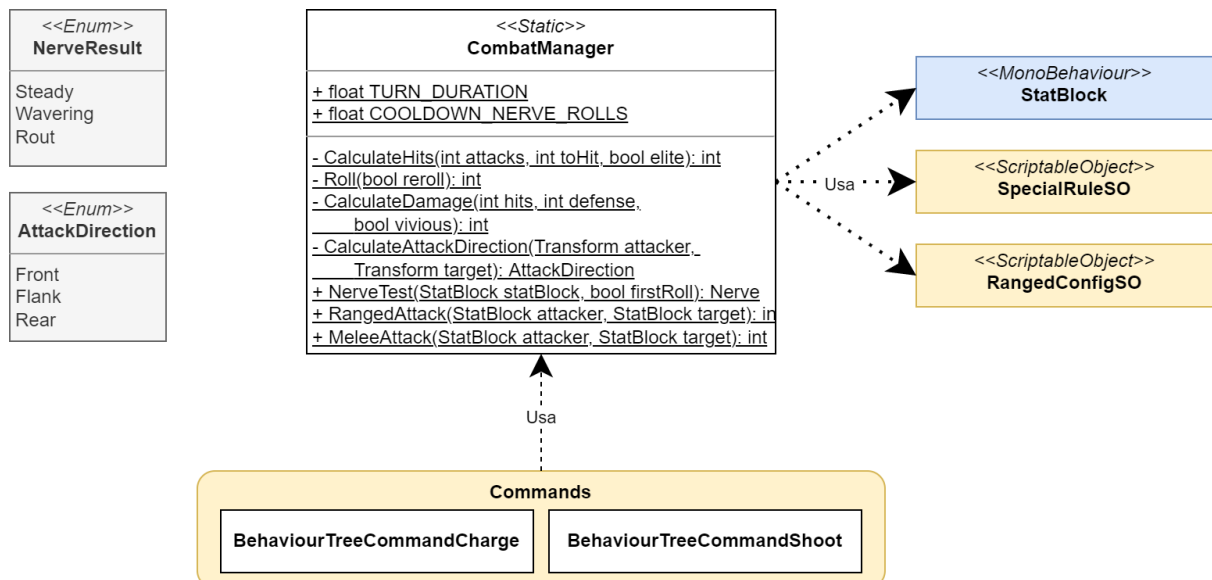


Figura 32: Diagrama de classes - CombatManager. Font: elaboració pròpia.

Les funcions del CombatManager reben per paràmetre els blocs d'estadístiques de les unitats implicades i aplica les regles del joc per obtenir el resultat.

4.3.7. Jugador

El prefab del jugador és un dels elements més complexos del joc, ja què la base és el *rig* proporcionat pel SDK de Meta i s'han afegit funcionalitats de diferents exemples i elements propis. Els principals canvis respecte a la base són: l'addició dels sistemes d'interacció mitjançant rajos, tocs i agafades; sistema de locomoció per poses; poses de moviment i control de la configuració, sistema d'avatars per poder personalitzar al personatge del jugador (basat en sistema que proposa Ufuk a «Multiplayer Virtual Reality (VR) Development With Unity» [42]) i replicació dels components a la xarxa.

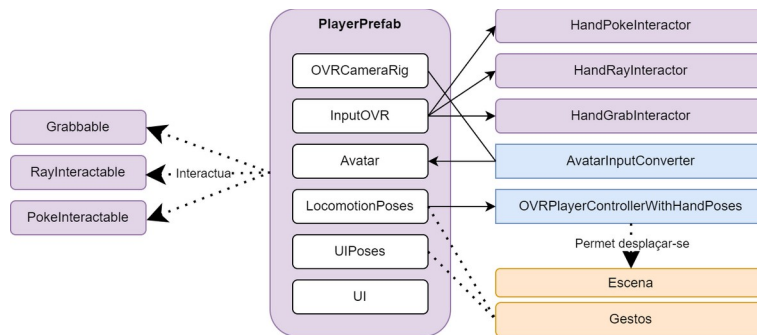


Figura 33: Diagrama de classes i prefabs - Jugador. Font: elaboració pròpia.

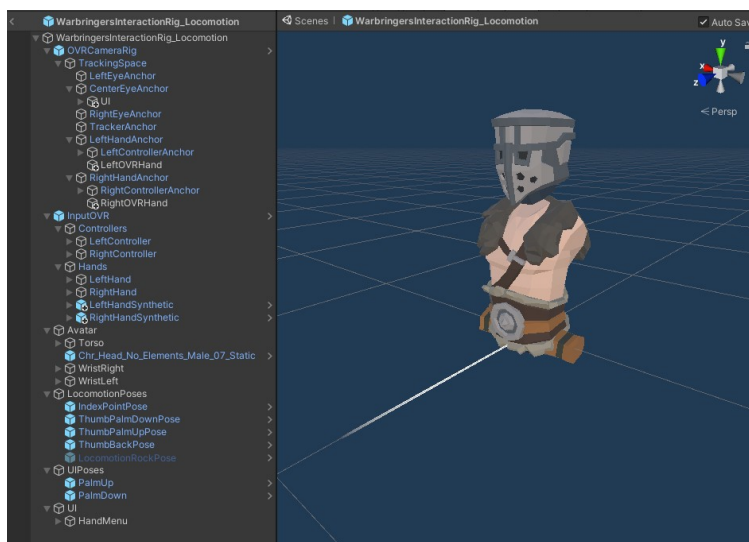


Figura 34: Jerarquia de components del prefab del jugador

Atès que la majoria dels components formen part del SDK de Meta no es descriuran en aquí. La part més rellevant del disseny és la inclusió dels interactors i la seva relació amb els elements del joc: interfícies d'usuari, *proxies* de les unitats i els gestos que habiliten la locomoció.

4.3.8. LevelManager i GameState

El LevelManager és el component del sistema que gestiona la instanciació dels exercits, l'inici de les fases de desplegament, joc i finalització del joc. Per fer-ho utilitza el GameState, un component que enregistra totes les dades de la partida.

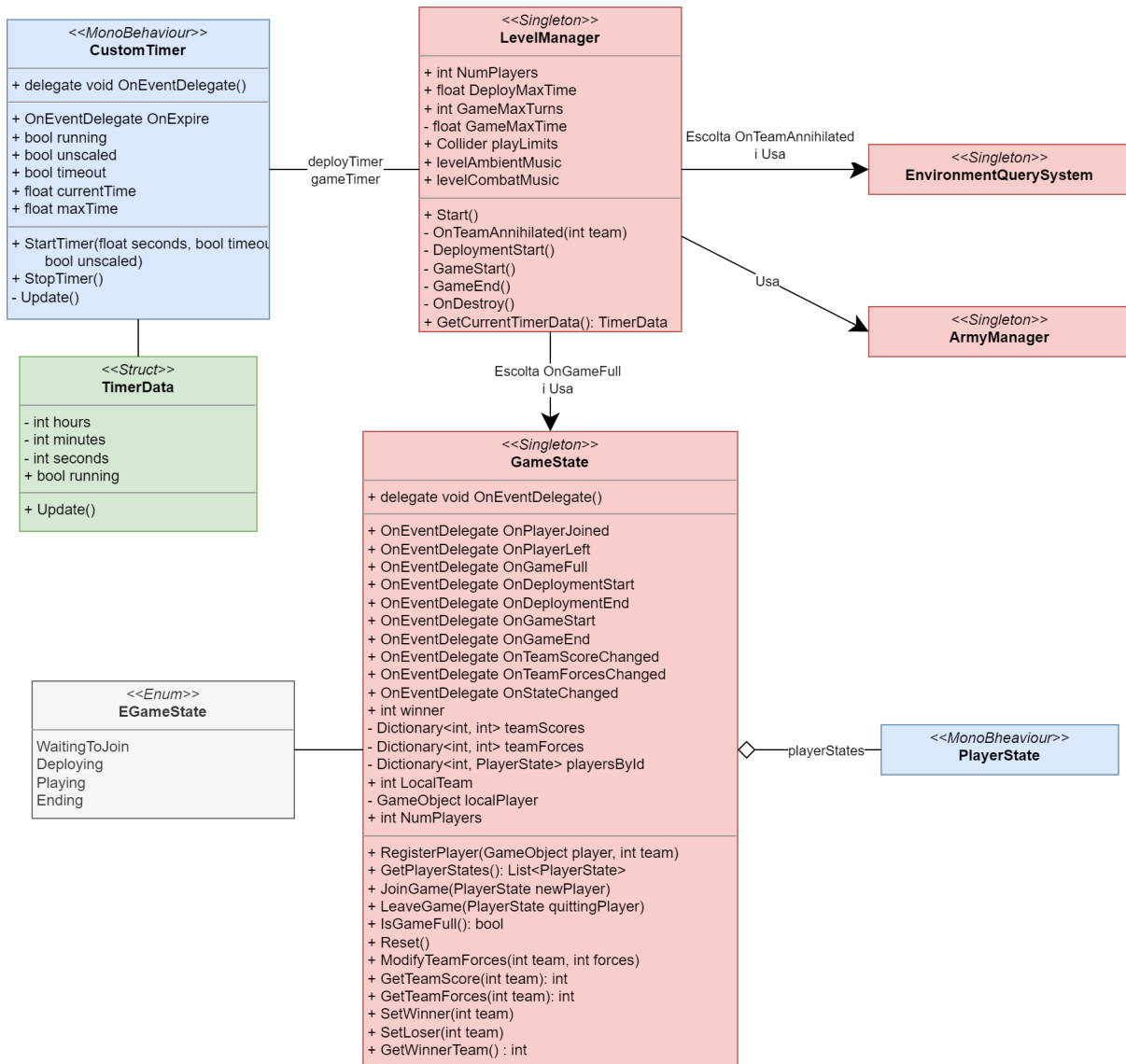


Figura 35: Diagrama de classes – LevelManager i GameState. Font: elaboració pròpia.

El GameState és un *singleton* que pot ser consultat i actualitzat per qualsevol altre casa. La seva funció és mantenir centralitzada tota la informació relativa al joc: puntuacions, jugadors, forces, el guanyador, etc.

Aquesta classe és consultada per la interfície del joc per mostrar la puntuació, els noms dels jugadors, balanç de forces, etc. A més, s'ha fet persistent entre càrregues d'escena per permetre consultar la informació del joc un cop ha finalitzat la partida.

4.3.9. Network Manager i Canvis per habilitar el mode multijugador

Per implementar el mode multijugador mitjançant Photon es va afegir la classe **NetworkManager**, un *singleton* responsable de realitzar la connexió automàticament amb els servidors de la plataforma i gestiona mitjançant esdeveniments quan l'usuari crea una nova partida, quan hi ha canvis a la llista de partides, quan el jugador s'uneix o abandona una partida, etc.

Per sincronitzar els elements a la xarxa s'han utilitzat dos mecanismes diferents:

- La sincronització mitjançant vistes (**PhotonView**) que permet sincronitzar propietats Individus.
- **RPC** (crida a procediment remot), que permet executar operacions en tots els jugadors a l'hora.

La classe **PlayerSpawner** es va modificar per discriminar quan el jugador es troba en un entorn multijugador. Segons els cas s'instanciarà el prefab del jugador normal o el prefab multijugador, que inclou components addicionals per sincronitzar-se amb altres jugadors a través de la xarxa. A més, es van afegir punts d'instanciació per cada jugador, de manera que apareixien cadascun a la seva banda del taulell.

El component **PlayerNetworkSetup** és la responsable de realitzar aquesta sincronització. Segons de si es tracta del jugador local o un jugador remot, es desactiven tots els components relatius a les interaccions, es desactiva la càmera, s'envia el RPC per que els altres jugadors assignin correctament l'avatar del jugador, etc.

Per sincronitzar els avatars dels jugadors s'ha implementat el component **MultiplayerVRSynchronization** que s'encarrega de sincronitzar, mitjançant una vista, la posició i rotació dels elements que formen l'avatar de cada jugador: cap, mans, braços i cos.

Atès que l'element que rep les ordres són les unitats, el soldats només ho simulen, ha estat possible sincronitzar el joc delegant als clients la simulació dels soldats. Per sincronitzar el moviment i rotació de les unitats s'ha afegit un component PhotonView i s'han utilitzat RPCs per gestionar els canvis d'estat que s'han de produir a tots els clients de forma immediata: Engage, Disengage, Shoot, Attack, Derrota, Disordered, etc. Això ens ha permès reduir dràsticament l'intercanvi de dades entre els jugadors i la càrrega del processador.

Per aprofitar la implementació original hem creat una subclasse d'unitat anomenada **UnitNetwork** que sobreescriu els mètodes per reemplaçar-los per una RPC, i en rebre la RPC el que fa es crida al mètode original de Unit (la seva classe pare).

Com que la instanciació de les unitats depèn de la factoria **ArmyManager**, va ser trivial afegir una comprovació per determinar si la partida era multijugador, i utilitzar el prefab Unit o UnitNetwork per instanciar-les segons el cas.

Finalment, es va modificar la classe **GameState** afegint un component PhotonView per sincronitzar l'estat de la partida, les puntuacions i el balanç de forces de cada jugador.

4.4. Patrons de disseny

A l'hora d'implementar l'aplicació s'han aplicat diferents patrons de disseny, alguns per compte propi i altres imposats per les biblioteques emprades o el motor. Entre els més destacables es troben:

- **Singleton**: tot i que sovint és considerat un *antipattern*, no hi ha una alternativa viable per evitar el seu ús. S'ha aplicat a classes de les quals només necessitem una instància i que han de ser accessibles globalment com el LevelManager, GameState, AudioManager, etc.

- **Estrategia:** la utilització de diferents ordres (amb a Behaviour Trees) permet al CommandController aplicar diferents estratègies segons l'ordre a executar: moure's, atacar cos a cos o disparar.
- **Observador:** aquest patró s'ha aplicat utilitzant el sistema de delegates d'unity, on qualsevol classe es pot subscriure als esdeveniments declarats com delegates i se comunicat quan l'esdeveniment produeixi. Es pot trobar a la implementació dels sistemes d'interacció com el GameState (quan la partida es plena, quan un jugador s'uneix, quan la puntuació canvia, etc.), l'EnvironmentQuerySystem (quan un equip ha sigut aniquilat), etc.
- **Factoria:** es pot trobar aquest patró implementat a la classe ArmyManager, responsable d'instanciar i configurar diferents tipus d'unitats de forma transparent a les classes que l'utilitzen.
- **Façana:** aquest patró s'ha aplicat a la classe EnvironmentQuerySystem, responsable de respondre a consultes sobre l'estat del món i que potencialment tindrà accés a diferents sistemes per recollir aquesta informació de forma transparent a les classes que realitzen la consulta.

4.5. Disseny gràfic i interfícies

Tots els recursos gràfics utilitzats en aquest prototip són de tercers. Cal destacar especialment als següents autors:

- **Models de personatges, entorns i herois:** Synty Studios (<https://syntystore.com/>)
- **Models del soldats del taulell:** Dungeon Mason ([enllaç](#))
- **Interfícies: GUI Kit – The Stone** ([enllaç](#))
- **Icones:** Rexard ([enllaç](#))

4.5.1. Estils

Els models de l'entorn i els personatges de Warbringers són de tipus *faceted* de baix poligonatge, mentre que per les interfícies s'ha utilitzat un estil casual i desenfadat.

En el cas dels models 3D s'ha optat per aquest estil perquè era necessari treballar amb models simples i reduir la quantitat de materials diferents a la escena, ja que això permet al motor de jocs aplicar tècniques de *batching*, reduint el nombre de vegades que s'han de canviar els materials.



Figura 36: Asset de personatges modulars utilitzat pels avatars dels jugadors. Font: [Synty Studios](#) .
Figura 37: Asset utilitzat pels entorns. Font: [Synty Studios](#).

Cal diferenciar entre els models utilitzats per representar als personatges i l'entorn virtual i els que formen part dels exercits i el taulell. En el cas dels primers el poligonatge és molt més alt, mentre que els segons són més simples i de caire més desenfadat (en concordança amb les interfícies).

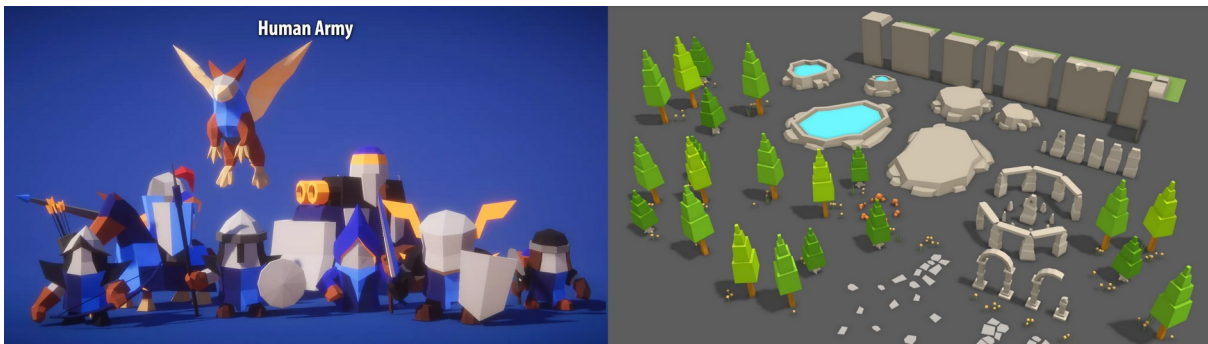


Figura 38: Asset utilitzat per representar als soldats. Font: [Dungeon Mason](#).
Figura 39: Asset utilitzat per crear els taulells de batalla. Font: [Synty Studio](#).

Per la font del joc s'ha conservat la que inclou «GUI Kit - The Stone» per ser una font clara i fàcil d'entendre, que no presenta problemes de lectura:

Changa Medium AaBbCcDdEeFfGgHhIiJjK

Changa Medium | 794 Glyphs

Changa SemiBold AaBbCcDdEeFfGgHhIiJj

Changa SemiBold | 794 Glyphs

Changa Bold AaBbCcDdEeFfGgHhIiJjKkLl

Changa Bold | 794 Glyphs

Figura 40: Warbringers - Tipografia del joc. Font: [Eduardo Tunj](#).

Pel logo s'ha escollit la tipografia «*Evil Empire*», que recorda als cartells de l'Alemanya nazi dels anys 40:

WARBRINGERS

Figura 41: Warbringers - Logo. Font: *Top Wanders*.

En el visualitzador d'unitats (*Unit Display*) s'ha utilitzat icones vistoses que permeten distingir clarament quins efectes afecten a cada unitat:

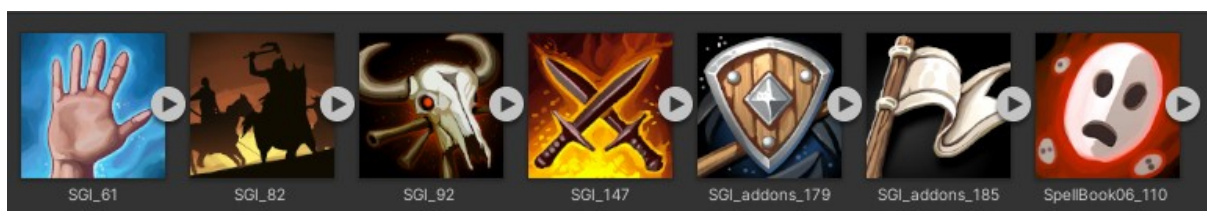


Figura 42: Warbringers - Icones del display d'unitats. Font: captura pròpia (autor de les icones *Rexard*)

Cal destacar que en tractar-se d'un joc de realitat virtual, totes les interfícies del joc son diegètiques. Aquestes s'han construït utilitzant els elements de «GUI Kit – The Stone», adaptant alguns dels panells proporcionats pel SDK de Meta, ja que el sistema d'interaccions de Meta amb seguiment de mans no funciona amb les interfícies convencionals. Es poden trobar les captures de pantalla de les interfícies a l'annex G.



Figura 43: Warbringers – Splash. Font: elaboració pròpia.

Per la creació de la pantalla *splash* que es mostra quan s'inicia el joc s'ha utilitzat la font del logo i una captura de la escena d'exemple de l'exercit humà.

4.5.2. Usabilitat/UX

En el desenvolupament d'aquest prototip ens hem centrat en la implementació d'un sistema de **seguiment de mans** per interactuar amb el sistema i la opció d'activar la **realitat augmentada** en el visor, col·locant els elements del joc en el món real.

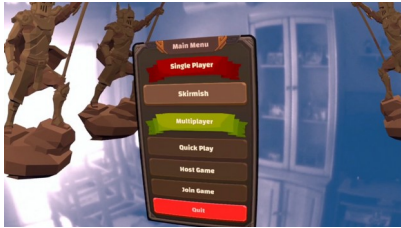


Figura 44: Warbringers - Menú principal en realitat augmentada. Font: captura pròpia.



Figura 45: Warbringers - Lobby en realitat augmentada. Font: captura pròpia.

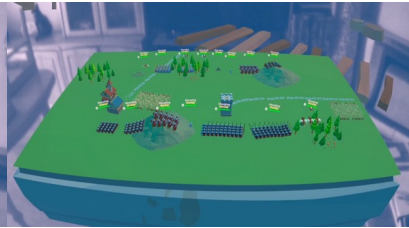


Figura 46: Warbringers - Joc en curs en realitat augmentada. Font: captura pròpia.

Per facilitar la interacció de l'usuari amb el joc s'ha reemplaçat la utilització de controladors pel sistema de seguiment de mans suportat pel dispositiu Meta. Això fa que la utilització sigui més intuïtiva i immersiva, ja que els jugadors toquen els elements de joc amb les seves pròpies mans. El joc permet quatre tipus d'interaccions:

- **Agafar/deixar** (*grab*) anar les unitats pròpies per donar ordres de moviment i d'atacs a cos.
- **Tocar** (*poke*) les unitats pròpies de projectils i les unitats enemigues per seleccionar-les com objectiu.
- **Gestos** (*gestures*) per mostrar i amagar el menú de configuració.
- **Apuntar** (*ray*) amb la mà i seleccionar/arrossegar elements de les interfícies amb el gest de pinça (*pinch*).

Per altra banda, el desplaçament dins del joc es pot realitzar de dues maneres:

- **Físicament**, ja que que el joc està ideat principalment pel mode *room-scale*, és a dir, utilitzar l'espai real per replicar el moviment del jugador dins del món.
- Utilitzant el sistema de **locomoció per gestos**, que permet desplaçar al jugador dins del món virtual sense moure's de la seva posició real.

Els gestos utilitzats pel sistema de poses són els següents:

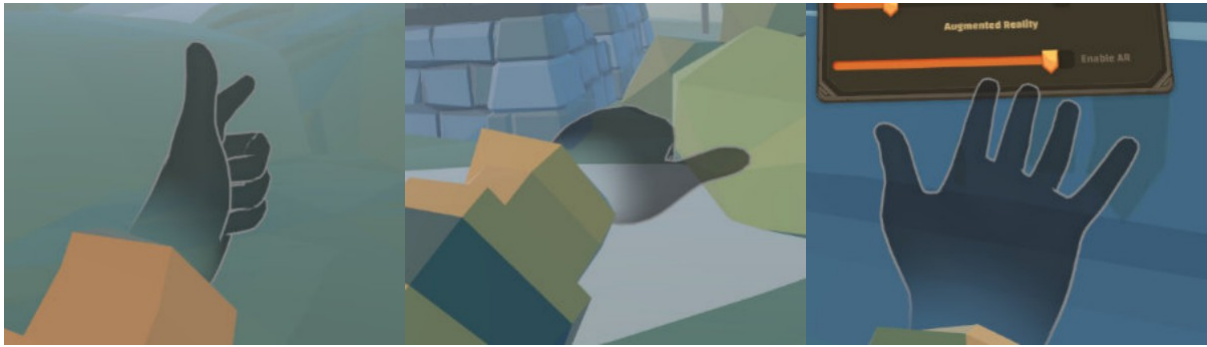


Figura 47: Gestos – Endavant. Font: captura pròpia.

Figura 48: Gestos – Girar a la dreta. Font: captura pròpia.

Figura 49: Gestos – Obrir menú configuració. Font: captura pròpia.



Figura 50: Gestos – Enrere. Font: captura pròpia.

Figura 51: Gestos – Girar a l'esquerra. Font: captura pròpia.

Figura 52: Gestos – Tancar menú configuració. Font: captura pròpia.

4.5.3. Escenes

Per aquest prototip s'han creat 8 escenes: menú principal (*MainMenu*), lobby (*Lobby*), fi del joc (*GameOver*), tutorial i quatre mapes de joc en curs (*Play*). La idea és utilitzar sempre les quatre primeres, i afegir noves escenes de joc en curs que canvien depenent del mapa seleccionat abans d'iniciar la partida. Per aquest prototip només s'han creat quatre mapes de batalla, mostrant un entorn diferent per cada facció.

Atès que el joc es pot mostrar en realitat virtual o realitat augmentada, el contingut de l'escena que veurà el jugador serà diferent en cada cas com es pot apreciar a la Figura 60 a l'annex G.



Figura 53: Entorns per les escenes de joc. Font: captura pròpia.

4.5.4. Taulell de joc

Aquest prototip compta amb un quatre mapes diferents, cadascun amb el seu propi escenari i un taulell similar al següent:



Figura 54: Warbringers - Taulell. Font: elaboració pròpia.

4.6. Llenguatges de programació, APIs i recursos tecnològics utilitzats

4.6.1. Elecció del motor i biblioteca de xarxa

Com ha es va comentar a l'apartat 2.2 «*Estat de l'art*», el dispositiu objectiu d'aquest projecte és Meta Quest 2, per tractar-se de la plataforma de realitat virtual més popular i ser la única que ofereix la possibilitat d'utilitzar realitat augmentada i el seguiment de mans a un preu assequible pels consumidors.

Un cop decidit el dispositiu pel que es desenvoluparia el joc la elecció del motor es reduïa a utilitzar Unreal Engine o Unity, perquè Meta només ofereix el SDK per aquests dos motors (a banda de una versió nativa en C++ que requeriria massa temps per fer funcionar en qualsevol altre entorn).

Unreal Engine no és capaç de renderitzar una gran quantitat de malles dinàmiques en dispositius mòbils perquè Epic Games s'ha centrat en potenciar el seu motor de cara als videojocs AAA, per tant, va quedar automàticament descartat després d'unes proves simples que consistien en comprovar el nombre màxim de models que es podien renderitzar en una escena buida sense baixar dels 60 FPS al dispositiu:

- **Unity:** ~100 soldats.
- **Unreal Engine 4:** ~30 soldats.

S'ha escollit la versió 2020.3.33 per tractar-se de la versió LTS (suport a llarg termini) en el moment en que es va encetar el projecte i haver comprovat que la versió 2021 no aportava cap millora significativa al projecte. Actualment, Unity només permet treballar amb C#, així que aquest és el llenguatge utilitzat per desenvolupar tots els components i classes de l'aplicació.

Pel que fa a la plataforma escollida per implementar l'arquitectura de xarxa es va tenir en compte els següents factors:

- El nivell de replicació de components a través de la xarxa és baix, ja que només és necessari enviar la posició del jugador (i els seus elements) i les ordres que es donen a cada unitat.
- Una baixa latència no és crítica, encara que sempre és desitjable, perquè la replicació del jugador només té un efecte cosmètic. La prioritat per mantenir el joc en funcionament és sincronitzar les ordres que es donen a les unitats i els resultats del combat, i com el temps entre atacs és elevat un petit retard és inapreciable.
- Ha de ser fàcil d'implementar i posar en marxa, facilitant la creació d'habitacions i la connexió entre jugadors, ja que el temps disponible per la seva implementació en el prototip és molt curt.
- Ha de permetre utilitzar el xat de veu per que es comuniquin els jugadors entre ells.

Com es va descriure a l'apartat 2.2 les opcions eren utilitzar les biblioteques per Unity : Photon, Mirror i DarkRift2. Entre aquestes es va optar per Photon perquè era la única que acomplia amb els requeriments mencionats, ja que Mirror i DarkRift no ofereixen cap servei per crear sales (s'ha d'implementar el servei a banda) i no ofereixen un servei específic de xat de veu.

4.6.2. Recursos tecnològics

A continuació s'enumeraran els recursos tecnològics utilitzats en el desenvolupament d'aquest projecte.

Programari

- **Windows 10.** Sistema Operatiu.
- **Unity 2020.3.33 LTS.** Motor de jocs. <https://unity.com/>
- **JetBrains Rider 2021.3.** IDE. <https://www.jetbrains.com/rider/>
- **Draw.io.** Creació de diagrames. <https://app.diagrams.net/>
- **Affinity Photo.** Edició d'imatges. <https://affinity.serif.com/es/photo/>
- **Audacity.** Edició d'àudio. <https://www.audacityteam.org/>
- **OBS.** Gravació de vídeo. <https://obsproject.com/>
- **Vegas Pro 15.** Edició de vídeo.

Biblioteques i APIs

- **Oculus Integration.** SDK i exemples per desenvolupar aplicacions pels dispositius de realitat virtual de Meta. <https://tinyurl.com/mrykjry9>
- **Photon Unity Networking 2.** Plataforma de xarxa. <https://tinyurl.com/29v65n7e>
- **Photon Voice 2.** Plataforma per afegir xat de veu. <https://tinyurl.com/49ea8vmz>

Maquinari

- **MSI GP75 Leopard 9SF-1037XES Intel Core i7-9750H/16GB/1TB SSD/RTX 2070/17.3".** Portatil VR-Ready.
- **Meta Quest 2.** Ulleres de realitat virtual sense fils. <https://tinyurl.com/5cjpwh79>

5. Implementació

5.1. Requisits d'instal·lació

El joc consisteix en un únic fitxer en format .APK que s'ha de copiar al dispositiu per poder executar-lo.

Per poder instal·lar i executar el joc Warbringers és necessari comptar amb unes ulleres Meta Quest 2 o posteriors, un cable USB-C per connectar-les amb l'ordinador i l'aplicació SideQuest (<https://sidequestvr.com/>) o Android Studio per copiar-lo al dispositiu.

En cas d'utilitzar SideQuest és possible connectar amb el dispositiu via WiFi per fer la copia del fitxer, per tant no serà necessària la utilització del cable USB-C. En aquest cas es requereix connexió a la mateixa xarxa WiFi tant des de l'ordinador com des de les ulleres.

Tot i que per instal·lar-lo no és necessària la connexió a Internet, el joc ho requereix per poder habilitar les opcions multijugador. Tanmateix, es necessari donar permís per utilitzar el micròfon per poder utilitzar el servei de xat de veu.

5.2. Instruccions d'instal·lació

Per instal·lar el joc Warbringers el dispositiu Meta Quest 2 primerament s'han de connectar les ulleres a l'ordinador, ja sigui utilitzant un cable USB-C o la connexió via WiFi de SideQuest.

En el cas d'utilitzar ADB pot ser necessari executar l'ordre des del directori d'instal·lació de les eines d'Android Studio, encara que habitualment s'afegeix aquesta ruta a la variable PATH del sistema operatiu en instal·lar-lo, i per tant, es pot utilitzar des de qualsevol directori.

L'ordre per copiar l'aplicació és la següent:

```
adb install warbringers-final.apk
```

En cas d'utilitzar SideQuest es pot optar per fer la connexió utilitzant WiFi o cable. Un cop connectades les ulleres es pot utilitzar la seva interfície gràfica per copiar el fitxer .APK al dispositiu.

6. Demostració

6.1. Instruccions d'ús

Un cop copiat el joc en les ulleres de realitat virtual aquesta es mostrarà al llistat d'aplicacions desconegudes, ja que actualment no es troba publicada a la tenda en línia.

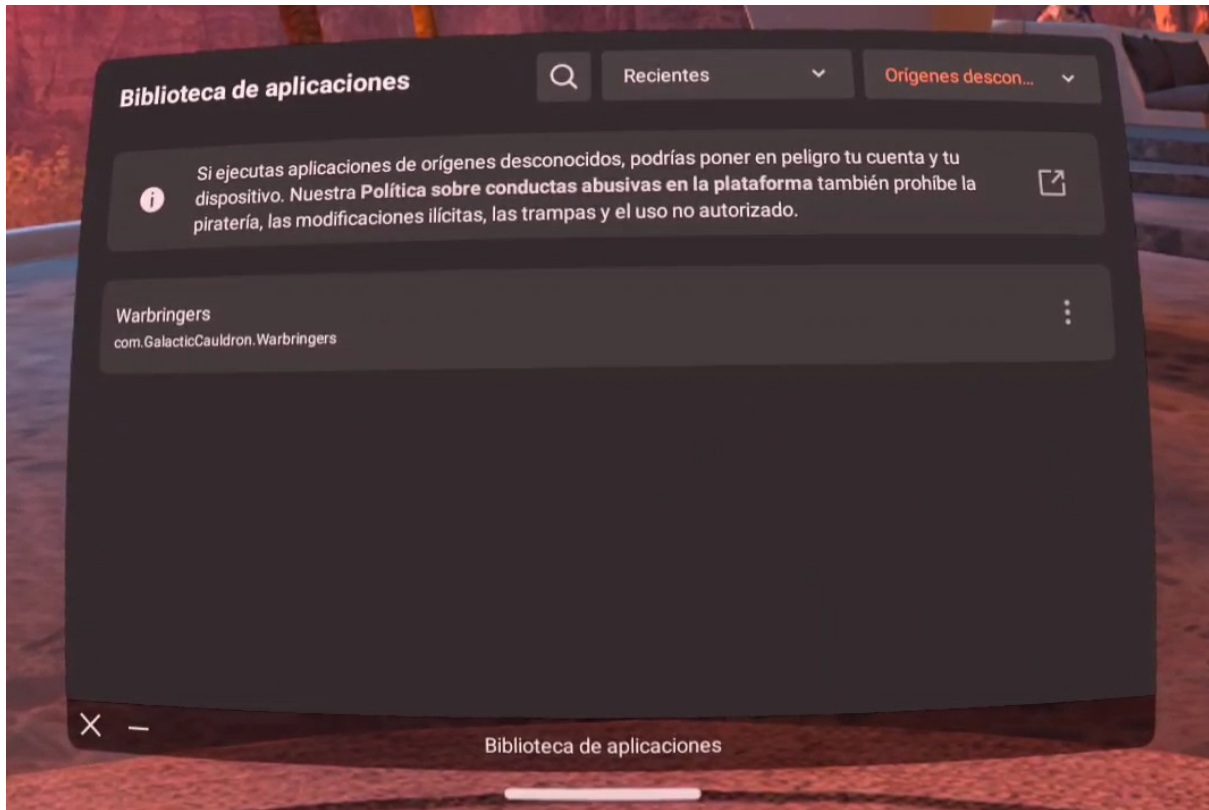


Figura 55: Joc Warbringers instal·lat a les ulleres Meta Quest 2. Font: captura pròpia.

Un cop oberta s'accedeix al menú principal on es pot canviar l'avatar del jugador, accedir al tutorial, crear una partida per un sol jugador (*skirmish*), crear una partida per dos jugadors o unir-nos a alguna partida ja creada.

Selecció d'avatar

L'avatar representa al jugador i es així com el veuran altres jugadors, encara que pel mateix jugador només es renderitzarà el detall dels braços.



Figura 56: Exemple d'alguns dels avatars disponibles a Warbringers. Font: captura pròpia.

Tutorial

En aquesta escena es troba un taulell amb dos exercits, però només el jugador pot donar ordres, de manera que el jugador pot acostumar-se als controls. Al voltant es poden trobar panells informatius amb les regles bàsiques del joc.

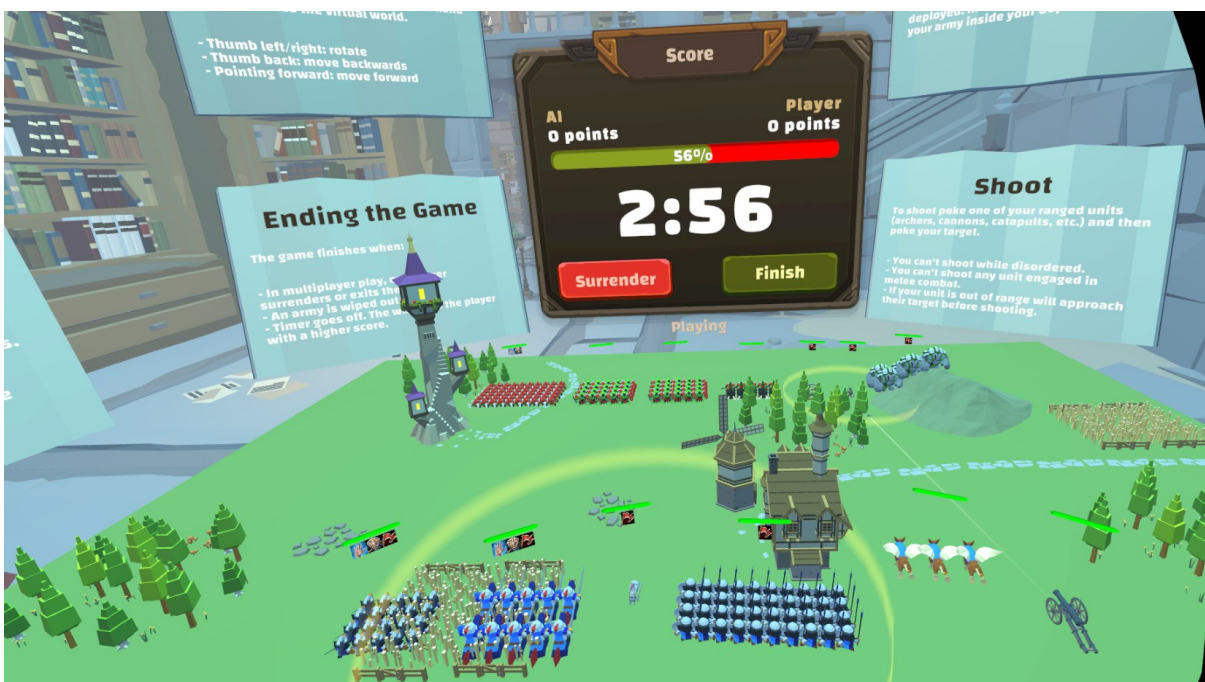


Figura 57: Tutorial. Font: captura pròpia.

Lobby, partides d'un jugador i multijugador

Des de aquesta escena es selecciona el mapa que volem jugar. En el mode d'un jugador es pot iniciar la partida immediatament, però en el mode multijugador cal esperar a que algun altre jugador s'uneixi.

En aquest prototipus no s'ha inclòs la creació ni la selecció d'exercit, però es pot jugar amb tots quatre seleccionant els diferents mapes, ja que en cadascun d'ells l'exercit controlat pel jugador 1 i el jugador 2 són diferents.



Partida

El funcionament de tots els mapes de joc és el mateix. Primer hi ha una fase de desplegament en la que els jugadors poden recol·locar les seves forces i a continuació comença el joc.



Figura 59: Camps de batalla. Low Meadow, Hell, The Barrens i Lost Forest. Font: captura pròpia.

La partida finalitza quan l'exercit d'un dels jugadors és completament destruït, s'acaba el temps, un dels jugadors abandona o algun jugador es desconnecta.

Les unitats accepten tres tipus d'ordres:

- **Moure's a una nova posició:** s'ha d'agafar la unitat (apareixerà un indicador) i arrossegar-la fins a la nova posició.
- **Carregar contra una unitat enemiga:** igual que l'anterior però s'ha de deixar anar la unitat sobre la unitat enemiga.
- **Disparar:** només les unitats amb armes de projectils, com els arquers i els canons, poden executar aquesta ordre. Cal tocar a la unitat amb la que volem disparar (es ressaltarà en color groc) i després tocar a la unitat a la que volem disparar. Si la unitat no es troba dins de l'abast de l'arma s'aproximarà fins poder disparar.

Fi de la partida

Un cop la partida finalitza s'ha de seleccionar el botó Finish per passar a la pantalla de finalització on es mostrarà la puntuació final i qui ha estat el jugador.

6.1.1. Interaccions i locomoció

Warbringers inclou dos tipus d'interfícies:

- **Tàctils** (el panell de configuració del joc), on el jugador ha de tocar amb els dits la superfície virtual per seleccionar les opcions.
- **Clàssiques** o de **rajós**, que se seleccionen apuntant amb la mà i fent el gets de pinça.

Per desplaçar-se per l'entorn el jugador té la opció de fer el desplaçament físicament i aquest serà traslladat al món virtual, o utilitzar un sistema de locomoció per gestos (explicat en l'apartat 4.4.2. *Usabilitat*).

6.2. Tests de càrrega

Per assegurar el rendiment del joc i conèixer els límits del sistema actual es van realitzar una serie de proves en el dispositiu Meta Quest 2 amb la següent configuració de joc:

- **Mapa de batalla:** Lost Forest, sense partícules atmosfèriques
- **Realitat augmentada:** activada (entorn virtual mínim).
- **Exercits:** *Elves* i *Undead*.
- Vista allunyada de manera que sempre s'observa tot el camp de batalla.

Unitats	Models	FPS	Composició de l'exercit de cada bàndol
0	0	90	-
2	10	90	Regiment de cavalleria.
4	50	90	Regiment de cavalleria i regiment d'infanteria.
8	90	~77	Regiment de cavalleria, regiment d'infanteria i dues tropes d'infanteria.
14	96	~77	Regiment de cavalleria, regiment d'infanteria, dues tropes d'infanteria, un heroi d'infanteria, una màquina de guerra i un heroi muntat en monstre.
16	108	~69	Regiment de cavalleria, regiment d'infanteria, dues tropes d'infanteria, un heroi d'infanteria, una màquina de guerra, un heroi muntat en monstre i una horda d'infanteria monstruosa.
18	148	~45	Regiment de cavalleria, dos regiments d'infanteria, dues tropes d'infanteria, un heroi d'infanteria, una màquina de guerra, un heroi muntat en monstre i una horda d'infanteria monstruosa.

Taula 7: Resultats dels tests de càrrega

6.3. Tests funcionals

Per testejar aquest joc ens hem limitat a la realització de proves funcionals perquè la majoria de les funcionalitats no poden provar-se automàticament o impliquen una gran dificultat (ús d'interfícies virtuals, seguiment de mans, gestos, etc.).

PROVA 1. Avatar	PROVA 2. Iniciar partida d'un jugador
<p>Objectiu: Comprovar que el jugador pot seleccionar el seu avatar i aquest és persistent.</p> <p>Requisits provats: RF01, RNF01 i RNF02</p> <p>Proves realitzades:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Entrar al joc i canviar d'avatar. ■ Sortir del joc i tornar a entrar. ■ Connectar a una partida multijugador i veure si l'aspecte dels altres jugadors és diferent. <p>Resultat: Satisfactori. L'avatar persisteix entre sessions i està sincronitzat en partides multijugador.</p>	<p>Objectiu: Comprovar que el jugador pot iniciar una partida.</p> <p>Requisits provats: RF02 i RF03</p> <p>Proves realitzades:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Entrar al joc i seleccionar l'opció «Skirmish». ■ Seleccionar un mapa. ■ Iniciar el joc. <p>Resultat: Satisfactori. La partida s'inicia i a l'altra banda del taulell es despleguen les forces de l'adversari, que està controlat per la IA.</p>

<p>PROVA 3. Exercits</p> <p>Objectiu: Comprovar que el jugador pot jugar amb diferents exercits.</p> <p>Requisits provats: RF03, RF04</p> <p>Proves realitzades:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Entrar al joc i seleccionar l'opció «Skirmish». ■ Seleccionar un mapa i comprovar quin és l'exercit desplegat pel jugador. ■ Finalitzar la partida, i des del menú principal tornar a seleccionar l'opció «Skirmish». ■ Seleccionar un mapa diferent i comprovar que l'exercit desplegat pel jugador és diferent al del mapa anterior. <p>Resultat: Satisfactori, cada mapa te associat un exercit diferent per cada jugador.</p>	<p>PROVA 4. Configuració</p> <p>Objectiu: Comprovar que el jugador por canviar la configuració.</p> <p>Requisits provats: RF05 i RF06</p> <p>Proves realitzades:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Entrar al joc i posar la palma de la ma esquerra mirant a dalt. ■ En el menú de configuració arrossegar les barres de la música, el só i la transparència AR. ■ En el menú de configuració tocar els botons d'activació i desactivació de cada opció. <p>Resultat. Satisfactori. La pantalla de configuració actua com s'espera.</p>
<p>PROVA 5. Iniciar i unir-se a partida multijugador</p> <p>Objectiu: Comprovar que el jugador por crear una partida multijugador.</p> <p>Requisits provats: RF07, RF08, RNF02, RNF03, RNF07</p> <p>Proves realitzades:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Entrar al joc i comprovar que inicialment el botó crear partida està deshabilitat. ■ Un cop habilitat, prémer el botó «Host Game». ■ Des de l'editor d'Unity (PC) iniciar el joc, i comprovar que un cop connectat a la xarxa el botó «Quick Play» passa a estar habilitat. ■ Unir al jugador de l'editor a la partida i comprovar que tots dos jugadors es veuen. ■ El primer jugador selecciona el mapa i prem iniciar el joc. <p>Resultat: Satisfactori. Tots dos jugadors són visibles i el joc no permet unir-se a partides quan no hi ha cap disponible. Un cop iniciada la partida tots dos jugadors són transportats al mapa de joc.</p>	<p>PROVA 6. Jugar partida multijugador</p> <p>Objectiu: comprovar que el joc és funcional en mode multijugador.</p> <p>Requisits provats: RF09, RF10, RF11, RF12,</p> <p>Proves realitzades:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Tots els passos de la prova 5. ■ Agafar una unitat pròpia i arrossegar el marcador a una nova posició (moure). ■ Agafar una unitat pròpia i arrossegar el marcador sobre un enemic (càrrega). ■ Tocar una unitat pròpia amb arma de projectils i tocar a una unitat enemiga (disparar). ■ Agafar una unitat pròpia i arrossegar-la sobre una posició no valida. ■ Intentar agafar una unitat enemiga. ■ Tocar una unitat de projectils pròpia i després tocar una unitat pròpia. ■ Comprovar que cada unitat mostra un panell amb el seu estat i el panell d'informació del joc és visible. <p>Resultat: Satisfactori, el joc no permet desplaçar les unitats fora de l'àrea de joc, ni sobre unitats aliades, ni sobre o a través de terreny impassable.</p>

	<p>En cas de tocar unitats en ordre incorrecte (enemigues o aliada + aliada) es canvia la selecció o s'ignora, segons el cas.</p> <p>L'estat de les unitats i de la partida es mostra correctament.</p> <p>Totes les accions es poden dur a terme amb les mans.</p>
PROVA 7: Final del joc	PROVA 8: Unitats
<p>Objectiu: Comprovar que la transició al final del joc és correcte.</p> <p>Requisits provats: RFN04, RFN05, RFN06</p> <p>Proves realitzades:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Tots els passos de la prova 5. ■ El segon jugador abandona la partida. ■ Tots els passos de la prova 5. ■ Aturar l'execució del segon jugador (editor). ■ Tots els passos de la prova 2. ■ Guanyar la partida. ■ Tots els passos de la prova 2. ■ Perdre la partida. <p>Resultat: Satisfactori. El comportament del joc és l'esperat en tots els casos, mostrant el missatge de «victòria» al jugador quan l'altre es rendeix o es desconnecta, i el resultat «victòria» o «derrota» segons si ha guanyat o perdut la partida.</p>	<p>Objectiu: Comprovar que el joc mostra com a mínim 100 unitats simultàniament.</p> <p>Requisits provats: RNF08 i RNF09</p> <p>Proves realitzades:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Configurar un mapa de batalla amb més de 100 unitats. ■ Tots els passos de la prova 2, seleccionant el mapa de batalla preparat. <p>Resultat: Satisfactori. El joc és capaç de mostrar més de 100 unitats simultàniament.</p>

Taula 8: Resultats de les proves funcionals

7. Conclusions i línies de futur

7.1. Conclusions

Tot i que abans d'iniciar vaig dedicar unes setmanes a preparar-lo i crear alguns prototipus per comprovar si el projecte era realitzable, era conscient que fins que no s'assemblessin totes les peces no podria tenir una idea clara de la seva viabilitat.

No m'era possible assegurar si el rendiment del dispositiu a l'hora de sincronitzar els dos jugadors, les unitats i renderitzar els soldats permetria crear un joc prou poblat per resultar divertit, o seria necessari pivotar i enfocar-lo a gestionar soldats Individuals.

Un cop finalitzat el projecte ha quedat demostrat que el rendiment del joc és acceptable (per sobre dels 60FPS) amb un nombre d'unitats i models suficient per fer el joc entretingut (8-9 unitats i ~50 soldats per bàndol).

En conclusió, estic molt satisfet amb els resultats obtinguts, crec que l'aspecte del joc es força atractiu, he pogut implementar les mecàniques principals d'aquest tipus de jocs: atacs posicionals, influència dels generals, habilitats especials, varietat d'unitats i efectes de terreny; i el rendiment del joc en el dispositiu és l'esperat.

7.1.1. Lliçons apreses

Que he après

En la fase de preparació prèvia a aquest treball vaig fer una investigació intensiva sobre les tecnologies DOTS (*Data Oriented Technology Stack*) i ECS (*Entity Component System*), tot i que no he pogut aplicar-les en aquest projecte per no ser prou estables.

Encara que les meves aventures més serioses en el món del desenvolupament de videojocs van ser amb Unity, fa uns quants anys que ho vaig deixar de banda i em vaig centrar en UE4/C++, de manera que aquesta experiència m'ha ajudat a refrescar els meus coneixements amb aquest motor i C#.

He reforçat molt els meus coneixements sobre el desenvolupament d'aplicacions de xarxa orientades als videojocs. Havia fet algun prototipus anterior d'altre gènere (*shooter*) però mai m'havia plantejat quines diferències hi hauria respecte a un joc d'estratègia.

També he après força sobre els sistemes d'interacció amb seguiment de mans en realitat, les seves complicacions i limitacions. Així com els sistemes de reconeixement de gestos per a realitat virtual i la complexitat de replicar aquests gestos a través de la xarxa (cosa que vaig descartar automàticament per no ser viable).

Que s'ha fet bé

Gràcies al fet que s'ha estructurat el codi correctament, aplicant patrons de disseny i separant en lo possible les estructures de dades de la resta del codi, ha estat possible fer implementar la sincronització entre jugadors fàcilment, un cop entès completament el problema.

La utilització de factories per instanciar les unitats i configurar els soldats a partir de ScriptableObjects que contenien les seves dades m'ha facilitat ampliar el contingut molt més ràpid del que estava previst, i per això he pogut enriquir el joc amb quatre exercits diferents.

La selecció d'un proveïdor de serveis de xarxa que ofereix serveis per facilitar la connexió entre els jugadors i xat de veu ha sigut un encert, ja que m'ha permès centrar-me en la implementació del joc en lloc d'haver d'implementar els meus propis servidors.

Un dels majors encerts va ser la creació de la intel·ligència artificial bàsica en una fase primerenca. Això em va permetre realitzar proves de forma molt més lleugera i analitzar el joc directament des de l'editor mentre transcorria la partida.

Malgrat que es va descartar com a prioritat la implementació d'un sistema de locomoció vaig decidir avançar-lo per la primera entrega i això em va facilitar la realització de proves al llarg de tot el projecte.

Que s'ha fet malament

Deguda la falta d'experiència en treballar amb seguiment de mans, no vaig tenir en compte el problema de l'oclusió quan una mà es troba sobre l'altra. Això fa que no sigui viable utilitzar un menú enganxat a una mà que s'ha de manipular amb l'altra, ja que l'oclusió dificulta el seguiment de les mans fent que el sistema sigui menys precís.

No em vaig documentar bé des del principi sobre la biblioteca de xarxa, així que vaig fer algunes assumpcions errònies que he arrossegat al llarg del desenvolupament. La meva intenció inicial era emular l'arquitectura d'Unreal Engine, però Photon ja compta amb les seves pròpies classes que representen aquests conceptes i compta amb les seves pròpies bones pràctiques.

He abusat de la utilització de singletons i això ha acabat provocant alguns problemes, ja que en alguns casos no era possible iniciar una escena sense la informació que arribava des de l'anterior (les dades del mapa a carregar per exemple).

7.1.2. Assoliment d'objectius

Si repassem els objectius enumerats a l'apartat 1.3. es pot comprovar que s'han assolit tots els objectius principals, a excepció de la mostra d'assoliments, i gran part dels objectius secundaris.

Durant la fase de planificació ja es va detectar que els objectius inicials no eren realistes pel temps del qual es disposava i es va descartar tota la part relacionada amb la creació de sales socials i la utilització de PlayFab per gestionar les dades del joc i dels jugadors.

Basant-nos en la planificació, podem dir que s'han aconseguit tots els objectius amb escreix, ja que inicialment només es va planificar la creació d'un exercit i un únic mapa de batalla i finalment ha sigut possible implementar quatre exercits, cadascun amb el seu mapa, i una sala tutorial per facilitar la introducció dels nous jugadors.

Val a dir que la planificació inicial i la utilització del sistema MoSCoW van ser crítics a l'hora de fixar la meta final perquè gràcies a aquesta organització vaig ser conscient de l'abast del projecte des del principi i vaig poder decidir quines eren les característiques crítiques sense les quals no es podia donar el projecte per exitós.

7.1.3. Seguiment de la planificació

A grans trets, la planificació es va mantenir segons les fites i es va anar revisant al llarg del projecte, encara va ser necessari incrementar la dedicació setmanal. El nombre total d'hores de dedicació real va superar les planificades en un ~50% (357 hores vs 230), tal com es pot apreciar a la comparativa de planificació original vs real que es troba a l'*annex D*.

Els dos principals motius per no respectar els sprints van ser la necessitat d'incloure tasques no previstes, haver subestimat la dificultat d'implementar algunes tasques i incrementar l'abast del projecte.

També es van descartar dues tasques que inicialment es consideraven prioritàries: el desplegament de l'aplicació i la implementació d'un teclat virtual. Finalment, no va ser necessari el teclat perquè es va implementar la connexió automàtica a la sala més antiga per facilitar organitzar partides, i el desplegament de l'aplicació a la tenda virtual d'Oculus (Meta) requereix la seva aprovació prèvia que pot trigar de 3 a 6 mesos.

Pel que fa a la metodologia, considero que la utilització d'una metodologia àgil amb Kanban ha estat molt encertada, ja que m'ha permès treballar de forma flexible, conèixer en tot moment l'estat del projecte, quines tasques em quedaven per implementar per a cada fita, i adaptar el seu ordre a les necessitats del moment.

7.2. Línies de futur

Tal com es va plantejar al principi, en aquest treball s'ha desenvolupat un prototip per un joc del qual es van haver de descartar moltes característiques a causa de la limitació de temps, però que serien indispensables en una implementació comercial:

- Gestió de les dades del joc i els usuaris de forma remota amb PlayFab per suportar les operacions en viu.
- Personalització modular de l'avatar i no només una selecció limitada, sistema de títols i assoliments.
- Autenticació dels usuaris del servei.
- Mode campanya o història pel joc d'un jugador.
- Editor d'exèrcits que permeti al jugador crear la seva llista.

També seria necessari implementar el sistema de gestió de compres de DLCs, expansions i personatges, així com lligar el desbloqueig d'unitats, personalitzacions, títols, i efectes cosmètics al sistema d'assoliments o a la creació d'esdeveniments (festivitats per exemple).

Pel que fa a la implementació de la xarxa, com s'ha comentat anteriorment, seria necessari canviar la biblioteca per una altra que permeti la implementació de l'arquitectura client-servidor per reduir al mínim les trampes al joc.

Tanmateix, caldria implementar un sistema de proves unitàries pel sistema de combat i un sistema d'enregistrament de *logs*. Això facilitaria la detecció de *bugs*, la detecció de trampes i la creació dels *logs* permetria la creació d'un sistema de repeticions.

Val a dir que el sistema de seguiment de mans és viable, però no és adequats per a tots els usuaris, ja que els controladors són més precisos i fiables. Per consegüent, caldria implementar el funcionament del joc amb els controladors estàndard del dispositiu.

A més s'hauria d'actualitzar el joc per utilitzar el sistema *Handtracking 2.0* de Meta, que ha sigut llençat recentment. Això no obstant no he pogut integrar-lo en el prototip perquè requeria canviar completament el rig del jugador.

Envers l'optimització del joc hi ha molt marge de millora. Tant des de l'optimització dels assets de l'escenari, com de la codificació (utilització de *pools*, desactivació animacions dels soldats més llunyans, implementar noves solucions amb DOTs, etc). Cal destacar també que es podria canviar el canal de renderitzar estàndard per URP, molt més eficient, però els *shaders* usats per les mans no era compatible amb la versió v38.

Com s'ha pogut apreciar en les proves de rendiment, el coll d'ampolla del joc són els soldats i més concretament la seva animació. Malauradament, no hi ha cap solució al mercat en aquests moments compatible amb el dispositiu Meta Quest, ja que la majoria de solucions realitzen les optimitzacions en l'àmbit dels *shader*.

Aquest mateix problema el vaig detectar en fer proves amb DOTs i malles dinàmiques, però és d'esperar que en el futur pròxim es resolgui aquest i pugui incrementar-se el nombre de soldats significativament.

En la mateixa línia, un cop DOTs sigui més estable, serà possible implementar un sistema d'intel·ligència artificial avançada (per exemple utilitzant TMCS), ja que aquesta és un dels casos d'ús per aquesta tecnologia.

Bibliografia

Webgrafia

1. Interplay Inc. (1997). «*Fallout*» [videojoc]. Bethesda Softworks. [data de consulta: 31/03/2022] https://store.steampowered.com/app/38400/Fallout_A_Post_Nuclear_Role_Playing_Game/
2. Games Workshop. (1983). «*Warhammer Fantasy*» [joc de taula]. Games Workshop. [data de consulta: 31/03/2022] <https://boardgamegeek.com/boardgame/4192/warhammer-mass-combat-fantasy-roleplaying-game-1st>
3. Lang, Ben (2022, gener). «*Holiday Search Volume for Quest in the US Exceeded PlayStation, Ningend, & Xbox for the FirstTime*» [article en línia]. Road to VR. [data de consulta: 19/02/2022]. <https://www.roadtovr.com/oculus-quest-2-search-volume-exceeded-nintendo-playstation-xbox-2021-holiday/>
4. Nover, Scott (2021, decembre). «*Meta's Oculus was the US's most-downloaded app on Christmas*» [article en línia]. Quartz. [data de consulta: 19/02/2022] <https://qz.com/2107700/metasp-oculus-was-the-top-app-in-the-us-on-christmas/>
5. McNeill, E. (2016). «*Tactera*» [videojoc]. McNeill, E. [data de consulta: 31/03/2022] <https://www.oculus.com/experiences/go/1076393782417282/>
6. Mantic Games. (2009). «*Kings of War*» [joc de taula]. Mantic Games. [data de consulta: 31/03/2022] <https://boardgamegeek.com/boardgame/85204/kings-war>
7. CREATIVE ASSEMBLY. (2016). «*Total War: Warhammer*» [videojoc]. SEGA. [data de consulta: 31/03/2022] https://store.steampowered.com/app/364360/Total_War_WARHAMMER/
8. Van Bouwel, Thomas. (2020). «*Cubism*» [videojoc]. Vanbo. [data de consulta: 31/03/2022] <https://www.oculus.com/experiences/quest/2264524423619421/>
9. CREATIVE ASSEMBLY. (2017). «*Total War: Warhammer II*» [videojoc]. SEGA. [data de consulta: 31/03/2022] https://store.steampowered.com/app/594570/Total_War_WARHAMMER_II/
10. CREATIVE ASSEMBLY. (2022). «*Total War: Warhammer III*» [videojoc]. SEGA. [data de consulta: 31/03/2022] https://store.steampowered.com/app/1142710/Total_War_WARHAMMER_III/
11. «*How to Estimate Steam Video Game Sales?*» [article en línia]. Video Game Insights (2022). [data de consulta: 23/03/2022] <https://vginsights.com/insights/article/how-to-estimate-steam-video-game-sales>
12. Kunst, Alexander (2022). «*Video game preferences by genre in the U.S. 2021*» [article en línia]. Statista. [data de consulta: 23/03/2022] <https://www.statista.com/forecasts/997151/video-game-preferences-by-genre-in-the-us>
13. Resolution Games. (2021). «*Demeo*» [videojoc]. Resolution Games.[data de consulta: 31/03/2022] <https://www.oculus.com/experiences/quest/3634830803298285/>

14. Baker, Harry (2021). «*Demeo Exceeded Half A Million In Revenue In First 48 Hours*». UploadVR. [data de consulta: 23/03/2022] <https://uploadvr.com/demeo-revenue-launch-48-hours/>
15. Cieślak, Karolina (2022). «*REPORT: Women and games – how do modern female gamers play?*» [article en línia]. try_evidence. [data de consulta: 23/02/2022] <https://tryevidence.com/blog/report-women-and-games-how-do-modern-female-gamers-play/>
16. «*Virtual Reality Statistics*» [article en línia]. 99 Firms (2020). [data de consulta: 23/03/2022] <https://99firms.com/blog/virtual-reality-statistics/>
17. Gajsek, Dejan (2022, febrer). «*Unity vs Unreal Engine for XR Development: Which One Is Better? [2021 Updated]*» [article en línia]. Circuit Stream. [data de consulta: 23/03/2022] <https://circuitstream.com/blog/unity-vs-unreal/>
18. Cuello, Carlos; Golding, James; Penwarden, Nick; Walker, Jordan; Brucks, Ryan (2018 març). «*Optimizing Unreal Engine for Fortnite: Battle Royale*» [vídeo]. Epic. Tech Talk Optimizing UE4 for Fortnite: Battle Royale: <https://www.unrealengine.com/en-US/events/gdc2018/optimizing-unreal-engine-for-fortnite-battle-royale>
19. Lindblom, Andreas (2020). «*A Study of Networking Performance in a Multi-user VR Environment*» [treball de fi de grau]. Luleå University of Technology. [data de consulta: 23/03/2022] <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1440801/FULLTEXT01.pdf>
20. BigBox VR, Inc. (2020). «*Population One*» [videojoc]. BigBox VR, Inc. [data de consulta: 31/03/2022] <https://www.oculus.com/experiences/quest/2564158073609422>
21. House, Brandi (2020). «*Choosing the right netcode for your game*» [article en línia]. Unity. [data de consulta: 23/03/2022] <https://blog.unity.com/technology/choosing-the-right-netcode-for-your-game>
22. VRChat Inc. (2014). «*VR Chat*» [videojoc social]. VRChat Inc. [data de consulta: 31/03/2022] <https://www.oculus.com/experiences/quest/1856672347794301>
23. Rec Room Inc. (2016). «*Rec Room*» [videojoc social]. Rec Room Inc. [data de consulta: 31/03/2022] <https://www.oculus.com/experiences/quest/2173678582678296>
24. Meta Platforms (2021). «*Horizon Worlds*» [videojoc social]. Meta Platforms. [data de consulta: 31/03/2022] <https://www.oculus.com/experiences/quest/2532035600194083>
25. «*Real-time tactics*». Wikipedia (2022). [data de consulta: 23/03/2022] https://en.wikipedia.org/wiki/Real-time_tactics
26. CREATIVE ASSEMBLY. (2020). «*Shogun: Total War*» [videojoc]. Electronic Arts, Sold Out, SEGA. [data de consulta: 31/03/2022] https://store.steampowered.com/app/345240/SHOGUN_Total_War_Collection/
27. Thompson, Tommy (2018, febrer). «*The AI of Empire: Total War*» [vídeo]. AI and Games. [data de consulta: 23/03/2022] https://www.youtube.com/watch?v=KL_AAGSivbl

28. Thompson, Tommy (2018, febrer). «*The AI of Shogun: Total War*» [vídeo]. AI and Games. [data de consulta: 23/03/2022] <https://www.youtube.com/watch?v=XBzTJOYgW0M>
29. Hidden Path Entertainment. (2018). «*Brass Tactics*» [videojoc]. Oculus Studios. [data de consulta: 31/03/2022] <https://www.oculus.com/experiences/rift/1101975213197949/>
30. Ensemble Studios, Hidden Path Entertainment. (1999). «*Age of Empires II: The Age of Kings*» [videojoc]. Microsoft, Konami. [data de consulta: 31/03/2022] https://store.steampowered.com/app/221380/Age_of_Empires_II_2013/
31. Phaser Look Interactive. (2019). «*Final Assault*» [videojoc]. Phaser Look Interactive. [data de consulta: 31/03/2022] https://store.steampowered.com/app/793690/Final_Assault/
32. «*Presence Platform Interaction SDK and Tracked Keyboard Now Available*» [article en línia]. Oculus VR (2022). [data de consulta: 23/03/2022] <https://developer.oculus.com/blog/presence-platform-interaction-sdk-and-tracked-keyboard-now-available/>
33. Brightman, James (2015). «*The average game on Steam sells only 32,000 copies*» [article en línia]. Game Network Limited. [data de consulta: 23/03/2022] <https://www.gamesindustry.biz/articles/2015-06-19-the-average-game-on-steam-sells-only-32-000-copies>
34. Paradox Development Studio. (2016). «*Stellaris*» [videojoc]. Paradox Interactive. [data de consulta: 31/03/2022] <https://store.steampowered.com/app/281990/Stellaris/>
35. Paradox Development Studio. (2012). «*Crusader Kings*» [videojoc]. Paradox Interactive. [data de consulta: 31/03/2022] <https://www.paradoxinteractive.com/games/crusader-kings-complete/about>
36. Fahraeus, Henrik i Jorjani, Shams (2020). «*The Paradox DLC Model: Planning for the Long Term*» [vídeo]. Paradox Interactive. [data de consulta: 23/03/2022]. <https://www.youtube.com/watch?v=muvZni2DQfk>
37. Kumar, Vineet (2014). «*Making 'Freemium' Work*». Harvard Business Review. [data de consulta: 30/03/2022] <https://hbr.org/2014/05/making-freemium-work>
38. Ramen VR. (2022). «*Zenith: The Last City*» [videojoc]. Ramen VR. [data de consulta: 31/03/2022] <https://www.oculus.com/experiences/quest/3594982710558708>
39. Hayden, Scott (2022). «*Zenith: The Last City' Studio Closes \$35M Series B, Aims to Create Metaverse Platform*». Roar to VR. [data de consulta: 23/03/2022] <https://www.roadtovr.com/zenith-ramen-vr-35m-series-b/>
40. Freeman, Mike. «*Qualcomm bets on the metaverse with a \$100-million investment fund*» [article en línia]. Los Angeles Times. [data de consulta: 23/03/2022] <https://www.latimes.com/business/story/2022-03-21/qualcomm-metaverse-100-million-snapdragon-investment-fund>
41. De Byl, Penny (2021). «*Advanced AI for Games with Behaviour Trees*». Holistic 3D. [data de consulta: 6/05/2022] <https://www.h3dlearn.com/course/btrees>
42. Ufuk DEMİRBAŞ, Tevfik (2022). «*Multiplayer Virtual Reality (VR) Development With Unity*». IRONHEAD Games. [data de consulta: 20/05/2022] <https://www.udemy.com/course/multiplayer-virtual-reality-vr-development-with-unity/>

Annexos

Annex A: Glossari

- **3DOF** (tres graus de llibertat). Referit a la rotació al voltant dels eixos x, y i z, coneguts com *roll*, *pitch* i *yaw* en anglès d'un cos rígid.
- **6DOF** (sis graus de llibertat). Referit a la llibertat de moviment i rotació d'un cos rígid a l'espai tridimensional.
- **Battle Royale**. Gènere de jocs multijugador on tots els jugadors s'enfronten entre ells fins que només queda un. Per forçar el conflicte l'àrea de joc s'acostuma a reduir l'àrea de joc progressivament.
- **Behaviour Tree**. És un model matemàtic de plans d'execució que descriuen com s'ha de produir l'intercanvi d'un conjunt de tasques d'una forma modular.
- **Cinetosi**. Mareig provocat pel moviment, generalment acompanyat de vòmits.
- **CryEngine**. Motor de jocs multiplataforma creat per la empresa Crytek al 2002, per desenvolupar jocs 3D programats en C++, Lua, C#.
- **DarkRift 2**. Sistema de xarxa d'alt rendiment multi-fil per Unity.
- **DOTS (Data Oriented Technology Stack)**. Pila de tecnologia basada de dades multiprocés d'alt rendiment per a Unity que permet aprofitar al màxim els processadors multi-nucli.
- **ECS (Entity Component System)**. Patró d'arquitectura de programari on cada objecte és representat per una entitat que conté múltiples components (dades sense comportament) i sistemes que operen sobre aquests components (itera sobre els components realitzant operacions sobre aquests). Permet executar codi d'alt rendiment sobre grans quantitats d'entitats de forma molt eficient, utilitzant programació multifil.
- **Early access (accés anticipat)**. Model de finançament a la indústria dels videojocs on els clients poden comprar i jugar al joc en les primeres fases del joc de manera que el desenvolupador pot utilitzar aquests fons per continuar desenvolupant el joc.
- **Epic Online Services**. Conjunt obert i modular de serveis pel desenvolupament de jocs ofert per la companyia Epic Games. Entre aquests serveis es troba la creació de sales per jocs multijugador, estadístiques, rànquings, etc.

- **Estratègia** (patró de disseny). És un patró de disseny que permet seleccionar diferents algorismes en temps d'execució, de manera que es pot alterar el comportament d'una classe dinàmicament.
- **Factoria**. Patró de disseny que permet crear objectes sense exposar la lògica de creació al client.
- **Façana**. Patró de disseny en el que un objecte exposa una interfície simplificada que emmascara un comportament més complex.
- **GameObject**. Són els objectes fonamentals que s'utilitzen a Unity per representar els elements del joc. Poden organitzar-se en jerarquies i la seva funció és servir com a contenidors de components (veure *MonoBehaviour*).
- **Godot**. Motor de jocs multiplataforma amb llicència de programari lliure per desenvolupar jocs 2D i 3D en diferents llenguatges, incloent C++, C# i Rust.
- **Hololens 2**. Ulleres de realitat augmentada creades per Microsoft que inclouen seguiment de mans i d'ulls per interactuar amb les aplicacions. Orientades a empreses.
- **Interfície diegètica**. Es tracta d'interfícies que existeixen al món del joc, és a dir, el personatge del jugador les pot veure, en lloc de ser el jugador l'únic que les veu.
- **Magic Leap**. Ulleres de realitat augmentada creades per Magic Leap, Inc, que inclouen seguiment de mans i d'ulls per interactuar amb les aplicacions. Orientades a empreses.
- **Meta Quest** (abans **Oculus Quest**). Ulleres de realitat virtual 6DoF sense fils creades per Oculus, companyia adquirida per Meta (abans Facebook) amb dos controladors 6DoF. La segona versió permet fer el seguiment de mans i capturar l'entorn com si es tractés d'un dispositiu de realitat augmentada rudimentari (tecnologia *Passthrough*).
- **Microsoft Mixed Reality**. Nom donat a les ulleres de realitat virtual fabricades per diverses companyies utilitzant la tecnologia de Microsoft.
- **Mirror**. Biblioteca de xarxa d'alt nivell per Unity compatible amb diferents capes de transport de baix nivell (per exemple Steamworks o Epic Online Services). És gratuït i programari lliure.
- **MonoBehaviour**. És el nom de la classe base per tots els components de Unity. No s'instancien normalment, s'han d'instanciar utilitzant una factoria pròpia d'Unity que s'encarrega de lligar-los amb el sistema d'esdeveniments del motor i d'injectar les dependències.

- **Observador.** És un patró de disseny en el que un objecte, el subjecte, manté una llista d'observadors, i els notifica automàticament quan es produeix algun canvi en el seu estat.
- **Oculus Go** (discontinuades). Ulleres de realitat virtual de baix cost 3DoF sense fils fabricades per Oculus amb un únic controlador 3DoF.
- **Oculus Rift** (discontinuades). Ulleres de realitat virtual 6DoF que s'han de connectar a un PC. Les primeres versions no comptaven amb controladors i utilitzaven un Gamepad, però en versions posteriors van incloure dos controladors 6DoF.
- **Photon PUN2** (discontinuat però en manteniment). És un paquet de Unity per crear jocs multijugador, el programari és gratis però s'ha de pagar pels serveis segons el nombre d'usuaris.
- **Prefab.** Un prefab és un *GameObject* d'Unity preconfigurat que s'emmagatzema en el projecte i es pot reutilitzar, ja sigui afegint-lo directament a una escena o instanciant-lo via codi.
- **Presència** (en VR). Es la sensació de trobar-se física i espacialment al món virtual.
- **PSVR.** Ulleres de realitat virtual 6DoF per la consola PlayStation, no inclou controladors 6DoF però poden utilitzar-se amb els controladors *PlayStation Move*, i *PS VR aim controller*.
- **RPC (Remote Procedure Call).** es tracta d'una tècnica que permet als programes/objectes executar una funció en programes/objectes a l'altra banda d'una xarxa.
- **Singleton.** Patró de disseny que restringeix la instanciació d'una classe a una única classe.
- **Steamwork.** Conjunt d'eines i serveis proporcionat per Steam per desenvolupar jocs i distribuir-los per la seva plataforma. Entre els serveis que ofereix es troba la creació de sales, estadístiques de joc, xats de text i de veu, etc.
- **Unity.** Motor de jocs multiplataforma per crear jocs en 2D i 3D en C# desenvolupat per Unity Technologies. Es el motor de jocs més utilitzat per l'indústria.
- **Unreal Engine.** Motor de jocs multiplataforma per crear jocs en 2D i 3D en C++ i Blueprints (sistema de programació visual). És el segon motor més utilitzat i està més enfocat al desenvolupament de jocs AAA i la producció àudio visual en temps real.
- **Vestit hàptic.** Dispositiu portàtil que cobreix el cos i proporciona retroacció hàptica al cos, el que permet sentir impactes del món virtual al món real.

Annex B: Regles del joc

Les regles de Warbringers estan basades en un subconjunt de les regles del joc de taula Kings of War, adaptant-les a un estil de joc en temps real i eliminant algunes restriccions de col·locació d'unitats.

MOVIMENT

- La velocitat de moviment de cada unitat depèn del seu atribut *Moviment*.
- Les unitats es mouen al doble de velocitat (*a la marxa*) quan no són en terreny difícil.
- Entrar en terreny difícil (boscós i colines) destorba les càrregues i el combat cos a cos mentre es troba dins de l'àrea difícil i durant el mig torn posterior.
- No es pot ordenar un moviment que deixi a la unitat sobre terreny impassable (cases i torres), ni que obligui a travessar terreny impassable.

CÀRREGA

- Quan una unitat està carregant contra una altra i es troba a distància de càrrega el seu moviment es duplica (*càrrega*).

ATACS A DISTÀNCIA

Si es dona l'ordre de disparar a un objectiu vàlid la unitat s'aproparà i s'encararà si és necessari.

- Només es pot atacar a unitats dins del rang de l'arma.
- L'objectiu s'ha de trobar com a màxim en un angle de 90° del front de la unitat.
- No es pot disparar si la unitat o l'objectiu està travat en combat cos a cos.
- No pot atacar si està desordenada.

COMBAT COS A COS

- Quan dues unitats entren en contacte, hagin o no declarat la càrrega, entren en combat cos a cos.
- Només es pot fer un atac cos a cos o a distància per torn, si una unitat ha disparat i llavors entra en combat no podrà atacar fins al següent torn.
- Les unitats que ataquen pels flancs realitzen el doble d'atacs.
- Les unitats que ataquen per la rereguarda realitzen el triple d'atacs.
- Els personatges Individus no reben atacs extra ni pel flanc ni per la rereguarda.

- Les màquines de guerra sempre reben el triple d'atacs.
- Una unitat travada en combat no pot moure's fins que tots els enemics amb els que està travat siguin derrotats.
- Una unitat rep dany cos a cos queda desordenada durant un torn.

RESOLDRE ATACS

- Es tira 1D6 per cada atac, si s'obté un resultat igual o superior al valor d'atac cos a cos o a distància s'aconsegueix un impacte.
- Es tira 1D6 per cada impacte, si s'obté un resultat igual o superior al valor de defensa de l'objectiu.

MORAL

- Quan una unitat rep dany es realitza una tirada de moral i es comprova el resultat de la tirada més el dany acumulat amb els valors de *Vacil·lant* i *Derrota*:
 - Si el resultat de la tirada és doble 1 la unitat aguanta (*Ferme*), sense importar el dany acumulat.
 - Si el resultat de la tirada és doble 6 la unitat estarà com a mínim afectada per *Vacil·lant* (a no ser que sigui eliminada per igualar o superar el valor de *Derrota*).
 - Si la tirada és igual o superior al valor de *Derrota* la unitat és eliminada.
 - Si la tirada és igual o superior al valor de *Vacil·lant* la unitat estarà deshabilitada durant el següent torn.
- El valor de les tirades es conserven per tots els atacs durant 1/3 de torn.

DEVASTAT

- Si una unitat rep més punts de dany que el seu valor de *Derrota* però no ha estat destruïda es redueixen els seus atacs a la meitat.

TERRENY

- Terreny impassable no es pot travessar i no es pot aturar una unitat a sobre.
- Terreny difícil no permet moure's *a la marxa*, depenent de l'alçada atorga cobertura (-1 a la tirada d'atacs distància contra la unitat), i destorba (-1 a la tirada d'atacs cos a cos).
- Les colines no tenen cap efecte en aquest prototip.

REGLES ESPECIALS

Algunes unitats tenen regles especials que modifiquen les regles habituals del joc.

- **Brutal:** si la unitat causa mal penalitza a la tirada de moral.
- **Grans Escuts:** els atacs de projectils requereixen un 6 per impactar pel front de la unitat.
- **Força Arrasadora:** modificador a la tirada de dany
- **Duelista:** duplica atacs contra personatges Individus
- **Elit:** repeteix les tirades per impactar si treu un 1.
- **Enredador:** modificador -1 a la tirada d'atacs cos a cos contra ells.
- **Volador:** pot travessar obstacles i ignora el terreny difícil.
- **Ignora Cobertura:** els atacs ignoren el modificador per cobertura dels objectius.
- **Individu:** la unitat no rep atacs múltiples posicionals ni pateix penalització i aplica un modificador de -1 a ser impactat per projectils.
- **Inspirador:** si falla la tirada de moral pot repetir-la (una tirada només pot repetir-se un cop)
- **Explorador:** ignora la penalització per terreny difícil.
- **Falange:** si es rep un atac pel front anul·la el modificador per *Càrrega Retronant* i aplica un modificador de -1 a les tirades d'atac d'unitats de cavalleria, cavalleria monstruosa i voladores.
- **Penetrant:** bonificador a les tirades de dany de projectils.
- **Malforjat:** la unitat mai pot moure's *a la marxa*.
- **Fràgil:** la unitat rep una penalització a les tirades de moral si rep atacs de projectils.
- **Cames Llargues:** la unitat ignora els efectes de ser destorbat.
- **Càrrega Retronant:** mentre la unitat no estigui desordenada aplica un modificador a les tirades de dany.
- **Viciós:** repeteix les tirades de danyar si treu un 1.
- **Sigil·lós:** aplica -1 a les tirades d'atac de projectils que els tinguin com objectiu.

Annex C: Llistes d'exercit

Interpretació de les llistes		
Mv: Moviment	AC: Atac cos a cosmètic	V: Vacil·lació
AD: Atac a distància	Df: Defensa	D: Derrota

Taula 9: Abreviatures dels atributs a les llistes d'exèrcit

HUMANS

Unitat			Mida	Atacs	V/D	Punts	
MILÍCIA (<i>infanteria</i>)							
Mv:	5	AC:	5	<i>Regiment</i>	12	11/14	65
AD:	0	Df:	3	<i>Horda</i>	25	18/21	105
			<i>Legió</i>	30	24/27	155	
GUARDIA IMPERIAL (<i>infanteria</i>)							
Mv:	5	AC:	3	<i>Tropa</i>	10	10/12	90
AD:	0	Df:	5	<i>Regiment</i>	12	14/16	135
			<i>Horda</i>	25	21/23	225	
ARQUERS (<i>infanteria</i>)							
Mv:	5	AC:	5	<i>Tropa</i>	8	9/11	75
AD:	5	Df:	3	<i>Regiment</i>	10	13/15	100
			<i>Horda</i>	22	20/22	175	
Arcs, 24"							
FALANGE IMPERIAL (<i>infanteria</i>)							
Mv:	5	AC:	4	<i>Regiment</i>	15	13/15	120
AD:	0	Df:	4	<i>Horda</i>	30	20/22	200
Falange							
CAVALLERS IMPERIALS (<i>cavalleria</i>)							
Mv:	8	AC:	3	<i>Tropa</i>	15	13/15	120
AD:	0	Df:	5	<i>Regiment</i>	30	20/22	200
Càrrega Retronant (2)							
GENETS DE GRIFÓ (<i>gran cavalleria</i>)							
Mv:	10	AC:	4	<i>Regiment</i>	9	12/14	125
AD:	0	Df:	4	<i>Horda</i>	18	15/17	210
Volador, Força Arrasadora (1)							
CANÓ (<i>màquina de guerra</i>)							
Mv:	5	AC:	0	-	2	9/11	100
AD:	5	Df:	4				
Canó, 48", Blast D3+1, Ignora Cobertura, Penetrant (3), Fràgil							
GENERAL (<i>infanteria, heroï</i>)							
Mv:	5	AC:	3	-	5	12/14	85
AD:	0	Df:	5				
Força Arrasadora (1), Individu, Molt Inspirador							
GENERAL MUNTAT (<i>cavalleria, heroï</i>)							
Mv:	8	AC:	3	-	5	12/14	120

Unitat	Mida			Atacs	V/D	Punts
AD: 0	Df: 5					
Força Arrasadora (1), Individu, Molt Inspirador						
GENERAL EN GRIFÓ (<i>gran cavalleria, heroi</i>)						
Mv: 10	AC: 3	-		7	14/16	190
AD: 0	Df: 5					
Força Arrasadora (2), Volador, Càrrega Retronant (1), Molt Inspirador						

Taula 10: Llista d'exèrcit humà

ORCS

Unitat			Mida	Atacs	V/D	Punts	
GOBLINS (<i>infanteria</i>)							
Mv:	5	AC:	5	<i>Regiment</i>	12	12/14	75
AD:	0	Df:	4	<i>Horda</i>	25	19/21	125
				<i>Legió</i>	30	25/27	180
ORCS NEGRES (<i>infanteria pesada</i>)							
Mv:	5	AC:	4	<i>Tropa</i>	10	9/11	85
AD:	0	Df:	5	<i>Regiment</i>	12	13/15	130
				<i>Horda</i>	25	20/22	215
				<i>Legió</i>	30	26/28	310
Força Arrasadora (1)							
ORCS SALVATGES (<i>infanteria pesada</i>)							
Mv:	5	AC:	3	<i>Tropa</i>	15	-/11	85
AD:	0	Df:	4	<i>Regiment</i>	20	-/15	175
Força Arrasadora (1)							
ORCS CAÇADORS (<i>infanteria pesada</i>)							
Mv:	5	AC:	5	<i>Tropa</i>	8	9/11	85
AD:	5	Df:	3	<i>Regiment</i>	10	13/15	110
Força Arrasadora (1); Rifles Rovellats, 24", Penetrant (1)							
ORCS ASSALTANTS (<i>infanteria pesada</i>)							
Mv:	5	AC:	4	<i>Tropa</i>	8	9/11	100
AD:	5	Df:	3	<i>Regiment</i>	10	13/15	110
Força Arrasadora (1); Explorador; Rifles Rovellats, 24", Penetrant (1)							
GENETS DE SENGLARS (<i>cavalleria</i>)							
Mv:	8	AC:	3	<i>Tropa</i>	8	10/12	125
AD:	0	Df:	5	<i>Regiment</i>	16	13/15	190
Força Arrasadora (1), Càrrega Retronant (1)							
TROLLS (<i>gran infanteria</i>)							
Mv:	6	AC:	4	<i>Regiment</i>	9	11/14	115
AD:	0	Df:	5	<i>Horda</i>	18	14/17	190
Força Arrasadora (2)							
CATAPULTA (<i>màquina de guerra</i>)							
Mv:	5	AC:	0	-	2	9/11	90
AD:	5	Df:	4				
Catapulta, 48", Blast D3+1, Ignora Cobertura, Penetrant (3)							
DICTADOR (<i>infanteria pesada, heroi</i>)							
Mv:	5	AC:	3	-	5	12/14	95

Unitat		Mida		Atacs	V/D	Punts
AD:	0	Df:	5			
Força Arrasadora (2), Individu, Inspirador						
DICTADOR MUNTAT (<i>cavalleria, heroi</i>)						
Mv:	8	AC:	3	-	5	12/14
AD:	0	Df:	5			130
Força Arrasadora (2), Individu, Inspirador						
CAP DE GUERRA EN VÍBRIA (<i>tità, heroi</i>)						
Mv:	10	AC:	3	-	10	17/19
AD:	0	Df:	5			285
Força Arrasadora (3), Volador, Inspirador						

Taula 11: Llista d'exèrcit orc

ELFS

Unitat			Mida		Atacs	V/D	Punts
GUERRERS ELFS (<i>infanteria</i>)							
Mv:	6	AC:	4	<i>Tropa</i>	10	10/12	80
AD:	0	Df:	4	<i>Regiment</i>	12	14/16	120
				<i>Horda</i>	25	21/23	200
Elit							
FORESTALS (<i>infanteria</i>)							
Mv:	6	AC:	3	<i>Tropa</i>	10	11/13	105
AD:	0	Df:	4	<i>Regiment</i>	12	12/15	165
				<i>Horda</i>	25	15/17	270
Elit, Càrrega Retronant (1), Explorador							
LLANCERS ELFS (<i>infanteria</i>)							
Mv:	6	AC:	4	<i>Tropa</i>	12	10/12	90
AD:	0	Df:	4	<i>Regiment</i>	15	14/16	140
				<i>Horda</i>	30	21/23	230
Elit, Falange							
SOTJADORS OMBRÍVOLS (<i>infanteria</i>)							
Mv:	6	AC:	4	<i>Tropa</i>	8	10/12	130
AD:	4	Df:	3	<i>Regiment</i>	10	14/16	175
Elit; Explorador; Arc Èlfic, 24"							
CENTAURES (<i>cavalleria</i>)							
Mv:	10	AC:	4	<i>Tropa</i>	8	11/13	140
AD:	0	Df:	4	<i>Regiment</i>	16	14/16	215
Càrrega Retronant (2), Explorador, Viciós, Elit							
CAMINANTS DELS BOSCOS (<i>gran infanteria</i>)							
Mv:	6	AC:	4	<i>Tropa</i>	9	-/14	120
AD:	0	Df:	5	<i>Regiment</i>	18	-/17	200
Força Arrasadora (1), Explorador, Malforjat							
GENETS DE MUSSOLS GEGANTS (<i>gran cavalleria</i>)							
Mv:	10	AC:	3	<i>Regiment</i>	9	12/14	165
AD:	0	Df:	5	<i>Horda</i>	18	15/17	275
Volador, Curshing Strength (1), Càrrega Retronant (1), Elit							
LLENÇA PIVOTS (<i>màquina de guerra</i>)							
Mv:	6	AC:	0	-	2	10/12	90
AD:	4	Df:	4				
Llença Pivots, 48", Blast D3, Ignora Cobertura, Penetrant (3), Fràgil							
PRINCEP ELF (<i>infanteria, heroi</i>)							

Unitat			Mida		Atacs	V/D	Punts
Mv:	6	AC:	3	-	5	13/15	100
AD:	0	Df:	5				
Força Arrasadora (1), Individu, Inspirador, Elit							
SENYOR EN MUSSOL GEGANT (<i>gran cavalleria, heroï</i>)							
Mv:	10	AC:	3	-	5	13/15	160
AD:	0	Df:	5				
Força Arrasadora (1), Individu, Inspirador, Elit, Càrrega Retronant (1)							
REI ELF EN DRAGÓ (<i>tità, heroï</i>)							
Mv:	10	AC:	3	-	10	17/19	305
AD:	0	Df:	5				
Força Arrasadora (3), Volador, Inspirador, Elit							

Taula 12: Llista d'exèrcit elf

NO-MORTS

Unitat			Mida	Atacs	V/D	Punts	
ZOMBIS (infanteria)							
Mv:	5	AC:	5	<i>Regiment</i>	12	-/15	70
AD:	0	Df:	2	<i>Horda</i>	25	-/22	115
			<i>Legió</i>	30	-/28	170	
Malforjat							
GUERRERS ESQUELETS (infanteria)							
Mv:	5	AC:	5	<i>Tropa</i>	10	-/11	55
AD:	0	Df:	4	<i>Regiment</i>	12	-/15	85
			<i>Horda</i>	25	-/22	140	
Malforjat							
BALLESTERS ESQUELETS (infanteria)							
Mv:	5	AC:	6	<i>Tropa</i>	8	-/11	70
AD:	5	Df:	3	<i>Regiment</i>	10	-/15	95
			<i>Horda</i>	20	-/22	165	
Malforjat; Ballestes, 24''							
NECRÒFAGS (infanteria)							
Mv:	6	AC:	4	<i>Tropa</i>	12	9/11	70
AD:	0	Df:	3	<i>Regiment</i>	15	13/15	110
			<i>Horda</i>	30	20/22	180	
ESPECTRES (infanteria)							
Mv:	7	AC:	4	<i>Tropa</i>	10	-/12	120
AD:	0	Df:	6	<i>Regiment</i>	12	-/15	185
Força Arrasadora (1), Volador, Malforjat, Cames Llargues							
RETORNATS (infanteria)							
Mv:	5	AC:	4	<i>Tropa</i>	10	-/13	80
AD:	0	Df:	5	<i>Regiment</i>	12	-/17	125
			<i>Horda</i>	25	-/22	205	
Malforjat							
CAVALLERIA DE RETORNATS (cavalleria)							
Mv:	8	AC:	4	<i>Tropa</i>	8	-/14	115
AD:	0	Df:	5	<i>Regiment</i>	16	-/17	180
			<i>Horda</i>	32	-/24	305	
Malforjat, Càrrega Retronant (2)							
TUMULARIS (gran infanteria)							
Mv:	7	AC:	3	<i>Regiment</i>	9	-/14	155
AD:	0	Df:	5	<i>Horda</i>	18	-/17	260
Malforjat, Força Arrasadora (2), Brutal, Volador							

Unitat		Mida		Atacs	V/D	Punts	
TROLLS ZOMBIS (<i>gran infanteria</i>)							
Mv:	6	AC:	4	<i>Regiment</i>	9	-/14	115
AD:	0	Df:	5	<i>Horda</i>	18	-/17	190
Malforjat, Força Arrasadora (2)							
ARTILLERIA INFERNAL (<i>màquina de guerra</i>)							
Mv:	5	AC:	0	-	2	-/11	95
AD:	5	Df:	4				
Malforjat; Artilleria Infernal, 48", Blast D3+1, Ignora Cobertura, Penetrant (2), Viciós							
REI RETORNAT (<i>infanteria, heroi</i>)							
Mv:	5	AC:	3	-	3	-/14	80
AD:	0	Df:	5				
Força Arrasadora (1), Individu, Inspirador							
REI RETORNAT MUNTAT (<i>cavalleria, heroi</i>)							
Mv:	8	AC:	3	-	3	-/14	105
AD:	0	Df:	5				
Força Arrasadora (1), Individu, Inspirador							
REI RETORNAT EN DRAGÓ ZOMBI (<i>tità, heroi</i>)							
Mv:	10	AC:	4	-	10	-/18	285
AD:	0	Df:	5				
Força Arrasadora (3), Inspirador, Volador							

Taula 13: Llista d'exèrcit no-morts

Annex D: Comparativa planificació inicial vs real

Taula 14: Comparativa planificació inicial i real

	Tasques inicials	Duració	Tasques reals	Duració
Sprint 1	Anàlisis, Disseny de UI, PAC2	38h	Locomoció, Navegació entre sales, Disseny d'interaccions, Gestos	28h
Sprint 2	Disseny d'interaccions, Disseny de regles del joc, Creació escenes	40h	Planificació, Estudi de l'estat de l'art, Estudi de mercat, PAC2, Anàlisi de Requisits, Disseny d'interfícies d'usuari	38h
Sprint 3	Implementació UI, interacció UI, interacció unitats, gestos	40h	Impl. D'interfícies d'usuari, Interfícies, Escenes	40h
Sprint 4	PAC3, Motor de combat	40h	Sistema de desplegament, Exercit: Humans, Mapa: Humans, Sistema navegació, Investigació BT, IA Simple, Motor de combat	66h
Sprint 5	Teclat Virtual, IA Simple, Exercit: Humans, Sistema navegació	40h	Sistema d'ordres, Unitats Joc, <i>Display</i> Unitats, VFX, Regles Joc, PAC3	64h
Sprint 6	Connectivitat jugadors, Mapa: Humans, Desplegament	38h	Prova Handtracking v2, Avatars, Voicechat, Sinc. Avatars, Sinc. Joc	61h
Sprint 7	PAC4, Proves	32h	Exercit: Orcs, Tutorial, Mapa: Orcs, Mapa: No morts, Mapa: Elfs, Exercit: Elfs, Exercit: No morts, Testeig funcional, PAC: 4	60h
		230h		357h

Cal destacar que la addició del tutorial, els tres mapes i tres exercits addicionals no estaven planificades i es podrien haver deixat de banda, reduint el nombre d'hores totals a 321 (un ~40% més de l'estimat inicialment).

Annex E: Lliurables del projecte

- **Memòria del treball:** aquest document.
- **Executable del joc:** fitxer .apk per Meta Quest 2 amb el prototip final.
- **Vídeo del tràiler:** tràiler del prototip.
- **Vídeo de defensa del treball:** defensa d'aquest projecte.

Annex F: Nota biogràfica

Xavier Garcia Rodríguez, nascut en Barcelona en 1977. Va estudiar «*Desenvolupament d'aplicacions multiplataforma*» a l'Institut Obert de Catalunya i un postgrau en desenvolupament de jocs per la Universitat de Castilla la Mancha.

Desenvolupador freelance des del 2012, desenvolupador del joc «*Mines of Doom*» ([enllaç](#)) per Oculus Go, autor de materials didàctics pels CFGS de "*Desenvolupament d'aplicacions web*" i "*Animacions 3D, jocs i entorns interactius*" i professor de "*Desenvolupament d'entorns interactius multidispositiu i videojocs*" a l'Institut Obert de Catalunya des del 2021.

Apassionat pel desenvolupament de videojocs, i més concretament, en els jocs per a realitat virtual multijugador.

Annex G: Captures de pantalla

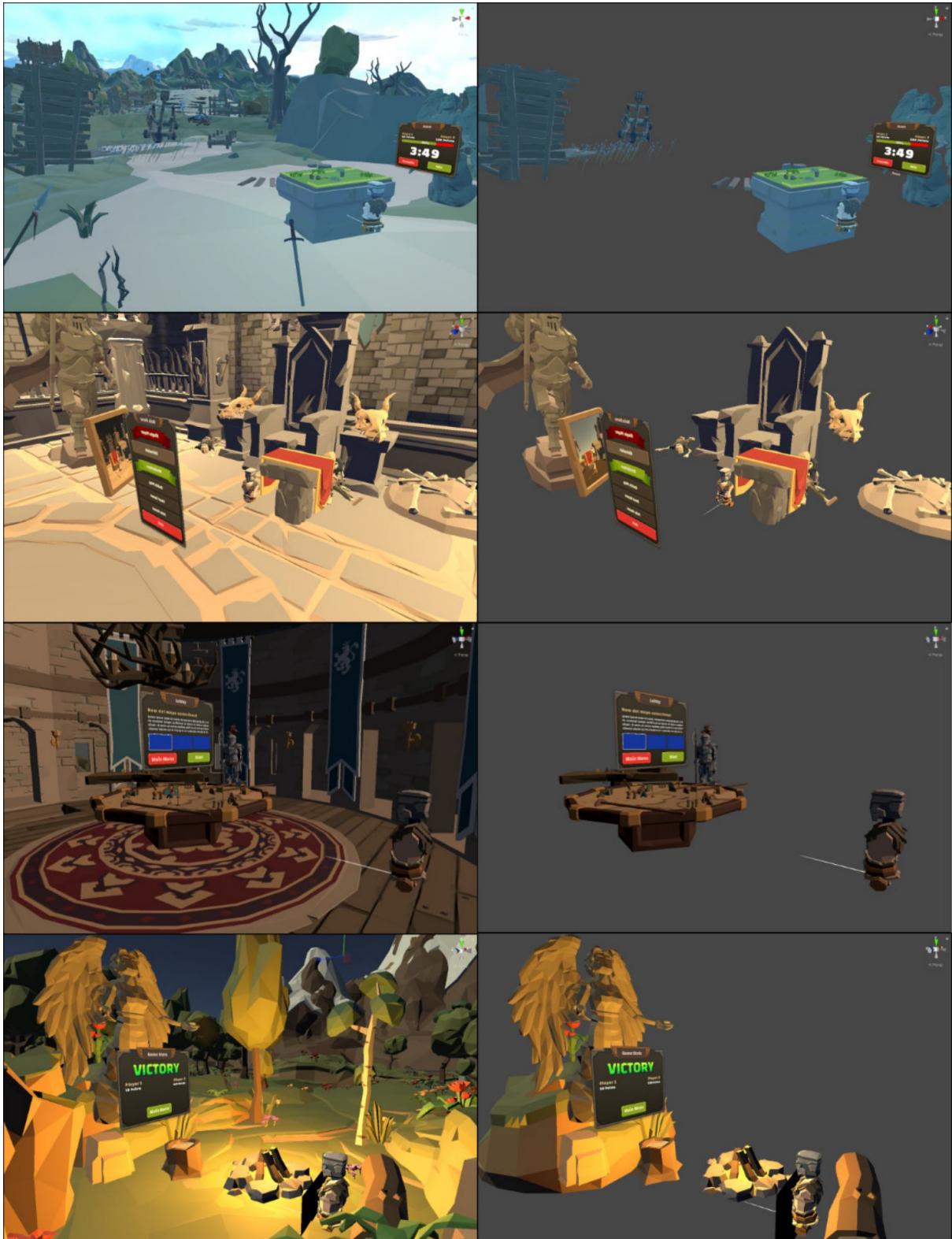


Figura 60: Warbringers – Escenes per a realitat virtual i per a realitat augmentada. Font: captura pròpia.



Figura 61: GUI KIT - The Stone. Font: Layer Lab.

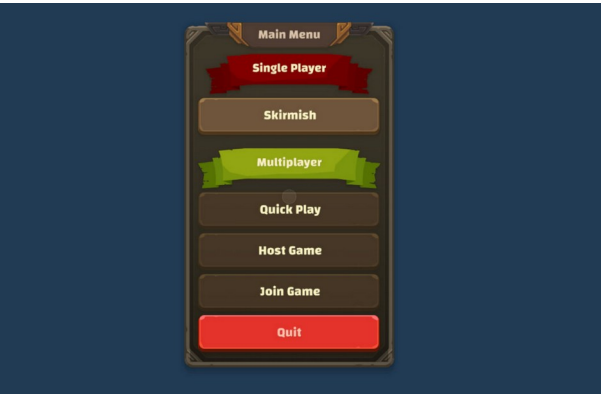


Figura 62: Warbringers - Interfície menú principal. Font: captura pròpia.

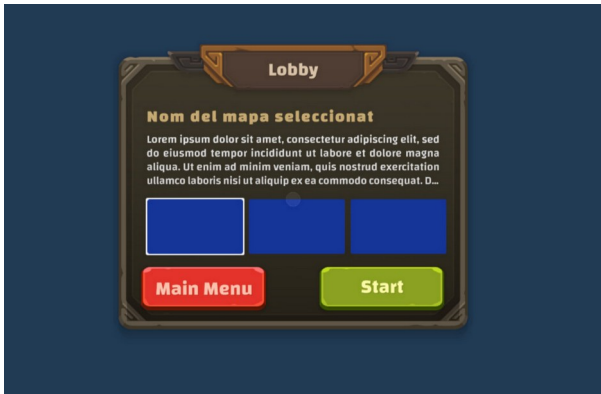


Figura 63: Warbringers - Interfície lobby. Font: captura pròpia.

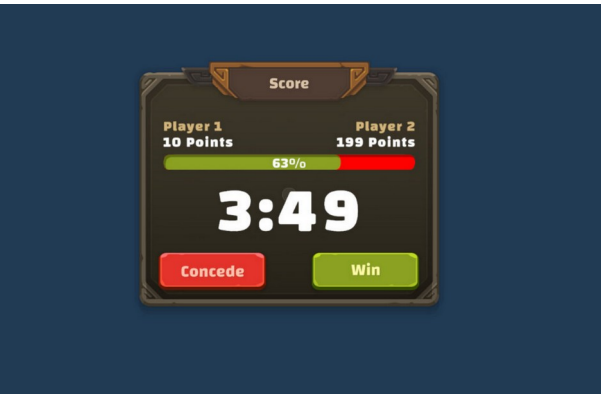


Figura 64: Warbringers - Interfície puntuacions i temporització de la partida. Font: captura pròpia.

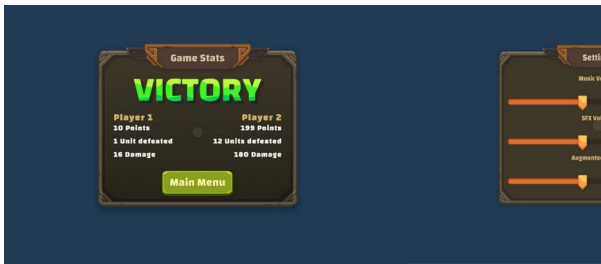


Figura 65: Warbringers - Interfície fi de partida. Font: captura pròpia.

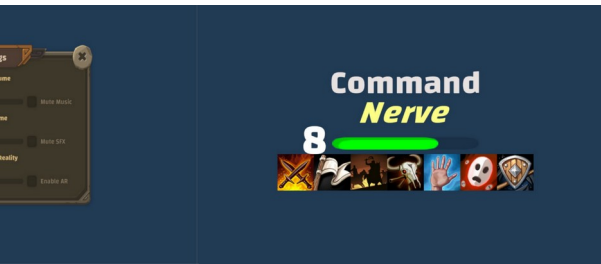


Figura 66: Warbringers - Interfície opcions de configuració. Font: captura pròpia.

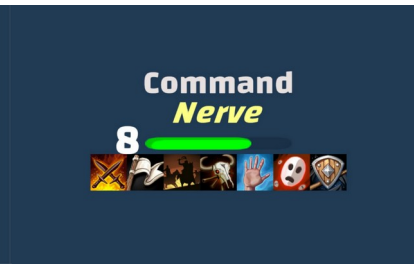


Figura 67: Warbringers - Interfície visualitzador d'unitats. Font: captura pròpia.

Annex H: Pressupost complet

Maquinari	Unitats	Preu/unitat	Total
MSI GP75 Leopard 9SF-1037XES, VR Ready	1	1,599€	1,599€
Oculus Quest 2, 64 GB	2	349€	698€
		Subtotal	2,297€
Programari			
Windows 10	1	145€	145€
Unity 2020.3	1	0€	0€
Affinity Photo	1	55€	55€
		Subtotal	200€
Subscripcions	Preu/anual		
IDE Rider		139€	139€
PUN 2+ (100 CCU)		95€	95€
PUN Voice 2 (100 CCU)		95€	95€
PlayFab		0€	0€
		Subtotal	329€
Assets			868€
Recursos Humans	Hores	Preu/hora	
Fase 0. Prototipatge	48	30€	1,440€
Fase 1. Documentació	40	30€	1,200€
Fase 2. Anàlisi	98	30€	2,940€
Fase 3. Desenvolupament	926	30€	27,780€
Fase 4. Proves	96	30€	2,880€
Fase 5. Desplegament	24	30€	720€
		Subtotal	36,960€
Contingències	%	Subtotal	
Maquinari	5%	2,297€	115€
Programari	0%	200€	0€
Suscripcions	0%	329€	0€
Assets	10%	868€	87€
Recursos Humans	10%	36,960€	3,696€
Total			43,155€

Taula 15: Pressupost resumit del projecte complet.