

# Crystal Defenders

**Martí Serra Plomer**

Grau d'Enginyeria Informàtica  
Videojocs

**Consultor:** Joel Servitja Feu

**Professor responsable:** Javier Luís Cánovas Izquierdo

8 de juny de 2019



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

## FITXA DEL TREBALL FINAL

<b>Títol del treball:</b>	<i>Crystal Defenders</i>
<b>Nom de l'autor:</b>	<i>Martí Serra Plomer</i>
<b>Nom del consultor/a:</b>	<i>Joel Servitja Feu</i>
<b>Nom del PRA:</b>	<i>Javier Luís Cánovas Izquierdo</i>
<b>Data de lliurament (mm/aaaa):</b>	<i>06/2019</i>
<b>Titulació o programa:</b>	<i>Grau d'Enginyeria Informàtica</i>
<b>Àrea del Treball Final:</b>	<i>Videojocs</i>
<b>Idioma del treball:</b>	<i>Català</i>
<b>Paraules clau</b>	<i>Tower defense, Unity, Videogames</i>
<p><b>Resum del Treball (màxim 250 paraules):</b> <i>Amb la finalitat, context d'aplicació, metodologia, resultats i conclusions del treball</i></p>	
<p>L'objectiu d'aquest treball és realitzar un videojoc com a treball final del grau d'enginyeria informàtica, posant en pràctica les tècniques i coneixements apresos durant el grau, i tenir així una primera aproximació al món del desenvolupament de videojocs.</p> <p>Per realitzar el videojoc només s'han utilitzat recursos i software gratuït: Unity com a motor de desenvolupament, juntament amb <i>Visual Studio 2017 (Community Edition)</i> per l'edició de codi, i recursos gratuïts d'<i>Unity Asset Store</i>.</p> <p>La metodologia utilitzada ha consistit en crear primerament un <i>MVP (Minimum Viable Product)</i> i afegir noves funcionalitats a partir del feedback rebut i del temps disponible per l'entrega, sempre intentant respectar la planificació original del videojoc.</p> <p>L'ús de recursos gratuïts ha permès dedicar més temps a l'aprenentatge sobre el motor i en aprofundir en tècniques i algorismes comunament usats en el món dels videojocs.</p> <p>El resultat del treball és un <i>tower defense</i> bàsic amb el que es pot jugar, obert a millores i fàcilment modificable.</p> <p>Com a conclusió, estic content del treball realitzat perquè m'ha ajudat a aprendre moltes coses sobre el desenvolupament de videojocs que desconeixia fins abans de començar del treball. Estic orgullós del meu primer videojoc: si bé és cert que s'han quedat fora moltes idees que no he tingut temps d'implementar, he après a identificar i prioritzar quines tindrien un major impacte sobre el resultat final segons el temps disponible.</p>	

**Abstract (in English, 250 words or less):**

The goal of this work is to make a videogame as a final project for the Computer Engineering bachelor's degree, putting into practice the techniques and knowledge acquired during the degree, and having a first approach into the world of videogame developing.

In order to create the videogame, only free assets and software had been used: Unity as the main developing engine, along with *Visual Studio 2017 (Community Edition)* for the code edition, and free assets form *Unity Asset Store*.

The methodology used had consisted in first developing an MVP (Minimum Viable Product) and then adding new functionalities considering the received feedback and the deadlines, always trying to follow the original planning of the videogame.

The use of free assets has allowed to invest more time in learning about the engine and deepen in the techniques and algorithms commonly used in the world of videogames.

The output of this work is a basic and playable tower defense, open to improvements an easily modifiable.

As a conclusion, I am happy with the completed work because it has helped me to learn a lot about developing videogames that were completely unknown to me until I start it. I am proud of my first videogame: though there are some ideas that have been left out due to the lack of time, I have learnt to identify and prioritize which one could have a bigger impact on the final product taking into account the available time.

# Índex

1. Introducció.....	1
1.1 Context i justificació del Treball .....	1
1.2 Objectius del Treball.....	2
1.3 Enfocament i mètode seguit.....	2
1.4 Planificació del Treball.....	3
1.5 Breu sumari de productes obtinguts .....	4
1.6 Breu descripció dels altres capítols de la memòria .....	4
2. Estat de l'art .....	6
2.1 El gènere del <i>tower defense</i> .....	6
2.2 Plataformes de desenvolupament .....	8
3. Definició del joc .....	9
3.1 Història, ambientació i trama .....	9
3.2 Definició dels elements.....	9
3.3 Interacció entre els actors del joc .....	14
3.4 Objectius plantejats al jugador .....	14
3.5 <i>Concept Art</i> .....	15
4. Disseny tècnic .....	17
4.1 Entorn de desenvolupament.....	17
4.2 Requeriments tècnics .....	18
4.3 Eines emprades .....	19
4.4 <i>Assets</i> .....	21
4.5 Esquema d'arquitectura del joc .....	24
4.6 IA del enemics .....	36
5. Disseny del nivell.....	37
6. Manual d'usuari .....	39
7. Conclusions.....	46
8. Bibliografia.....	48

## Llista de figures

Il·lustració 1. Planificació general per PAC .....	3
Il·lustració 2. Planificació detallada. ....	3
Il·lustració 3. Trello amb les tasques del projecte.....	4
Il·lustració 4. Pantalla del joc <i>Rampart</i> , un dels primers <i>tower defense</i> .....	6
Il·lustració 5. <i>GemCraft</i> , un <i>tower defense</i> per navegador .....	7
Il·lustració 6. <i>Mazebert TD</i> , un <i>tower defense</i> per dispositius mòbils.....	8
Il·lustració 7. Torres disponibles.....	9
Il·lustració 8. Diferents tipus d'enemics .....	12
Il·lustració 9. Vida dels enemics per nivell.....	13
Il·lustració 10. Captura del mapa <i>Wintermaul One</i> , per <i>Warcraft III</i> .....	15
Il·lustració 11. Concepte inicial de la pantalla durant una partida.....	16
Il·lustració 12. Blocs modificats usats en el videojoc.....	21
Il·lustració 13. Escena creada amb els <i>assets</i> de <i>Too Cube Forest</i> .....	22
Il·lustració 14. Imatges usades per les torres i els botons de compra .....	22
Il·lustració 15. Sprites dels enemics del videojoc .....	23
Il·lustració 16. Imatges usades per representar l'or i les vides del jugador .....	24
Il·lustració 17. Diagrama d'estats del videojoc .....	24
Il·lustració 18. Escena 1: Menu .....	25
Il·lustració 19. Classe MainMenu .....	26
Il·lustració 20. Classe SoundManager.....	26
Il·lustració 21. Escenes 2 i 3: Introduction i Tutorial .....	26
Il·lustració 22. Escena 2: Game .....	27
Il·lustració 23. Classe GameManager .....	28
Il·lustració 24. Classe LevelManager .....	29
Il·lustració 25. Classe CameraMovement.....	29
Il·lustració 26. Struct Point.....	30
Il·lustració 27. Classe TileScript .....	30
Il·lustració 28. Classe TowerBtn.....	31
Il·lustració 29. Classe TowerTooltip .....	31
Il·lustració 30. Classe Hover.....	31
Il·lustració 31. Classe Tower .....	32

Il·lustració 32. Classe Projectile .....	32
Il·lustració 33. Classe UpgradeTowerBtn .....	33
Il·lustració 34. Classe Monster .....	33
Il·lustració 35. Classe HealthBar .....	34
Il·lustració 36. Classe AStar .....	34
Il·lustració 37. Classe Node.....	34
Il·lustració 38. Classe Singleton .....	35
Il·lustració 39. Classe ObjectPool.....	35
Il·lustració 40. Camí seguit pels enemics per anar de A a B .....	36
Il·lustració 41. Contingut del fitxer amb el mapa del joc .....	37
Il·lustració 42. Taula amb el codi de cel·les per la generació del mapa .....	37
Il·lustració 43. Resultat de la generació d'un mapa .....	38
Il·lustració 44. Pantalla inicial de configuració .....	39
Il·lustració 45. Menú principal del joc .....	40
Il·lustració 46. Opcions del menú principal.....	40
Il·lustració 47. Pantalla amb la història del joc.....	41
Il·lustració 48. Pantalla amb el tutorial del videojoc.....	41
Il·lustració 49. Pantalla d'una partida amb els elements ressaltats (I).....	42
Il·lustració 50. Pantalla d'una partida amb els elements ressaltats (II) .....	42
Il·lustració 51. Pantalla del joc pausat.....	43
Il·lustració 52. Pantalla de final de partida.....	44
Il·lustració 53. Pantalla de victòria.....	44

# 1. Introducció

## 1.1 Context i justificació del Treball

Originalment el públic dels videojocs era bastant reduït, possiblement degut a les limitacions de hardware que tenien. Els videojocs estaven completament lligats a la plataforma per la qual eren dissenyats i això feia que a menys que adquirissis una videoconsola o tinguessis un ordinador, el món dels videojocs quedés fora del teu abast. A més, havies de dedicar part del teu temps lliure. Jugar a videojocs no era una cosa corrent.

Les empreses ja feien els jocs amb aquest tipus de públic en ment: algú disposat a invertir diners i temps lliure en un joc voldrà un videojoc molt ben acabat i de qualitat. Aquestes restriccions i la limitació de les plataformes disponibles feien que fos gairebé impossible per una sola persona crear un videojoc amb èxit.

Tot això va canviar amb l'arribada dels dispositius mòbils i especialment dels *smartphones*: tenir un mòbil es va convertir en una cosa comuna entre la gent i emprar-lo durant els moments d'espera, el dia a dia.

Va ser durant aquests moments d'espera que la gent, acostumada o no al món dels videojocs, va començar a jugar. Ja no era necessari tenir un joc amb una gran història o realista gràficament: només era necessari un joc perquè el temps d'espera fossin menys avorrits.

Aquest canvi de públic i restriccions va obrir les portes a molts de desenvolupadors a poder crear jocs que, encara que fossin simples, agradessin a la gent i tinguessin èxit.

La idea del videojoc realitzat en aquest TFG segueix aquesta idea: un videojoc simple però addictiu, que pugui gaudir tant la gent que dedica el seu temps lliure a jugar als videojocs com la que només pot jugar esporàdicament.



## 1.2 Objectius del Treball

Els objectius proposats d'aquest treball són:

- Aprendre a crear videojocs 2D usant Unity.
- Aprendre tècniques i patrons usats en el desenvolupament de videojocs.
- Aplicar els coneixements adquirits durant el grau.
- Millorar els processos de planificació i prioritització d'objectius.
- Crear un MVP d'un *tower defense* obert a millores.

Pel que fa al videojoc com a tal, els objectius són:

- Crear un mapa on els enemics no tinguin un camí definit.
- Permetre al jugador crear un laberint de torres pel que passin els enemics.
- No limitar el nombre d'onades d'enemics, sinó que els enemics cada cop tinguin més vida segons el número d'onada.
- Tenir diverses torres amb característiques diferents que es puguin millorar.
- Implementar un sistema de puntuació final.
- Afegir elements aleatoris a les partides perquè no siguin totes iguals.

## 1.3 Enfocament i mètode seguit

El primer punt ha estat triar quin tipus de videojoc realitzaria. L'objectiu era fer un joc simple que es pogués jugar esporàdicament. Per aquest motiu, la història no podia ser un punt fort del joc i s'ha descartat el gènere de RPG. S'ha acabat triant el gènere de tower defense perquè la història no juga un paper important i perquè no és necessari dedicar-li molt de temps per gaudir-lo.

El motor triat ha estat Unity perquè permet compilar el joc fàcilment per diverses plataformes i agilitzar la creació dels videojocs. A més, es pot desenvolupar en *c#*, un llenguatge amb el qual l'estudiant està avesat a fer feina.

Pels gràfics i sons s'han usat recursos gratuïts per així poder reduir el temps dedicat en aquestes àrees i maximitzar el temps dedicat a la programació com a tal del videojoc.

Pel joc s'ha creat un MVP (*Minimum Viable Product*) que s'ha distribuït entre un grup seleccionat d'usuaris. A partir del seu feedback, s'han seguit implementant noves funcionalitats sobre el joc i canviant funcionalitats existents. Això ha permès aconseguir un producte final amb millors resultats del que es podrien obtenir cenyint-se completament a la planificació inicial.

## 1.4 Planificació del Treball

La planificació del joc ve pautaada per les dates d'entrega de les PACs i per la càrrega dels crèdits: 300 hores. Aquesta és la planificació més general segons les PACs:

Activitat	Inici	Fi	Hores
TFG	25/02	23/06	300
1. PAC 1 - Disseny del videojoc	25/02	03/03	24
2. PAC 2 - Versió parcial	04/03	07/04	90
3. PAC 3 - Versió jugable	08/04	26/05	132
4. PAC Final - Versió final	27/05	09/06	36
5. Defensa	17/06	23/06	18

Il·lustració 1. Planificació general per PAC

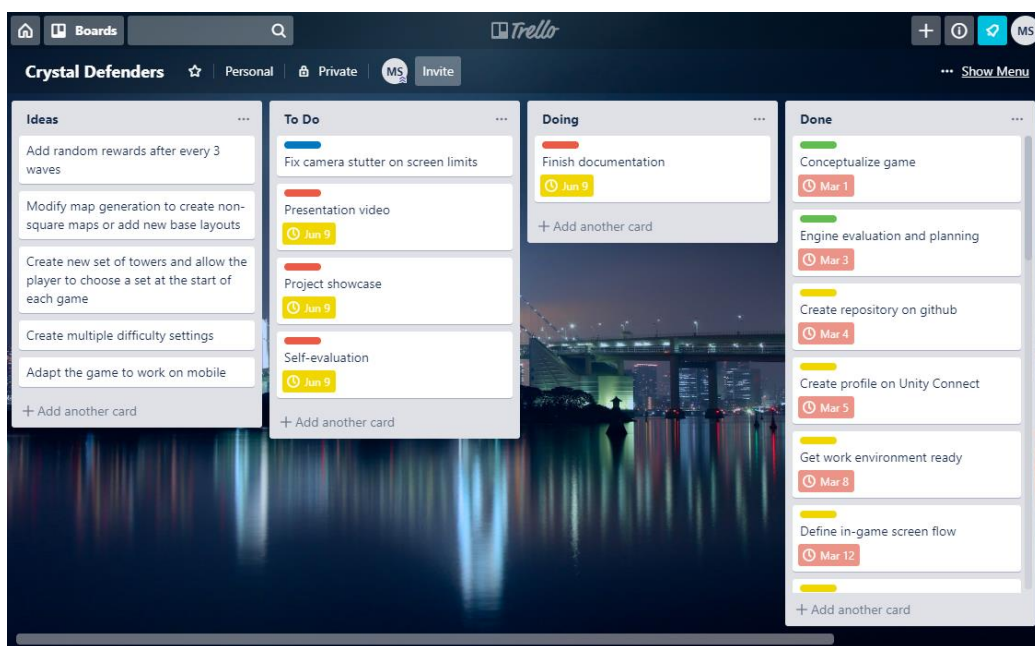
La planificació detallada és la següent:

Activitat	Inici	Fi	Hores
TFG	25/02	23/06	300
1. PAC 1 - Disseny del videojoc	25/02	03/03	24
1.1. Idea del joc	25/02	27/02	6
1.2. Conceptualització	28/02	01/03	6
1.3. Planificació i avaluació d'engines	03/03	03/03	12
2. PAC 2 - Versió parcial	04/03	07/04	90
2.1. Crear repositori de codi a github	04/03	04/03	2
2.2. Crear perfil a la plataforma Unity Connect	05/03	05/03	2
2.3. Montar entorn de treball	06/03	08/03	6
2.4. Definir pantalles i navegació	09/03	12/03	8
2.5. Cercar recursos gràfics gratuïts	13/03	15/03	10
2.6. Crear menú principal	16/03	17/03	6
2.7. Crear menú d'opcions	18/03	19/03	6
2.8. Crear mapa del joc	20/03	25/03	16
2.9. Crear i posicionar la interfície d'usuari	26/03	29/03	10
2.10. Crear menú de pausa	30/03	31/03	6
2.11. Documentar entrega	01/04	05/04	10
2.12. Crear vídeo sobre l'entrega	06/04	07/04	8
3. PAC 3 - Versió jugable	08/04	26/05	132
3.1. Memòria	08/04	26/05	66
3.2. Implementar construcció de torres	08/04	15/04	10
3.3. Implementar algoritme A*	16/04	20/04	8
3.4. Implementar generació automàtica d'enemics	21/04	26/04	8
3.5. Implementar atacs	27/04	03/05	10
3.6. Implementar economia	04/05	05/05	4
3.7. Implementar sistema de puntuació	06/05	09/05	4
3.8. Implementar noves varietats de torres	10/05	13/05	6
3.9. Testing i feedback	14/05	26/05	16
4. PAC Final - Versió final	27/05	09/06	36
4.1. Finalitzar redacció de la memòria	27/05	30/05	8
4.2. Vídeo de presentació	31/05	07/06	20
4.3. Showcase del projecte	08/06	08/06	4
4.4. Autoavaluació	09/06	09/06	4
5. Defensa	17/06	23/06	18
5.1. Contestar les preguntes del jurat	17/06	23/06	18

Il·lustració 2. Planificació detallada.

Durant la tercera PAC, el 50% del temps es dedica a la redacció de la memòria, que es fa en paral·lel a la resta de tasques.

Per gestionar les tasques del projecte, així com el feedback dels usuaris i la correcció d'errors, s'ha emprat la plataforma Trello, que permet organitzar tasques en taulells, per millorar-ne el seguiment:



Il·lustració 3. Trello amb les tasques del projecte

## 1.5 Breu sumari de productes obtinguts

Els productes obtinguts en aquest treball són:

- Un executable per Windows del videojoc.
- Un repositori amb el codi font del projecte.
- La memòria del projecte.
- Vídeo explicatiu del projecte.
- Informe d'autoavaluació.

## 1.6 Breu descripció dels altres capítols de la memòria

La resta de capítols de la memòria són els següents:

- Capítol 2: Estat de l'art.  
Revisió sobre el gènere escollit i la tecnologia utilitzada.
- Capítol 3: Definició del joc.  
Conceptualització de joc, idees, definició d'actors i personatges.
- Capítol 4: Disseny tècnic.  
Definició de l'entorn de treball escollit, inventari d'eines utilitzades, llistat de recursos i assets, esquema d'arquitectura del joc, explicació de la IA dels enemics.

- Capítol 5: Disseny de nivells.  
Mapa del nivell i criteris de disseny seguits.
- Capítol 6: Manual d'usuari.  
Requisits tècnics per executar l'aplicació i instruccions de joc.
- Capítol 7: Conclusions.  
Conclusions extretes de la realització d'aquest TFG.
- Capítol 8: Glossari.  
Definició dels termes i acrònims més rellevants usats.
- Capítol 9: Bibliografia.

## 2. Estat de l'art

### 2.1 El gènere del *tower defense*

*Tower defense* és un subgènere dels jocs d'estratègia on l'objectiu del jugador és defensar un territori o estructura dels enemics, obstruint-los mitjançant la construcció d'estructures que poden els bloquejar o atacar.

Es considera que un dels primers jocs del gènere va ser *Rampart*, creat per Atari l'any 1990. En ell, el jugador havia de defensar una sèrie de castells atacant als vaixells enemics.



Il·lustració 4. Pantalla del joc *Rampart*, un dels primers *tower defense*

El gènere va tenir un boom en els anys 2007-2008 amb el sorgiment dels jocs per navegador, ja que va permetre a molts de desenvolupadors independents crear els seus propis jocs. També es popularitzaren amb l'*App Store* de Apple, gràcies a la idoneïtat d'aquests tipus de jocs a ser jugats mitjançant una pantalla tàctil.

Els elements comuns que solen estar presents en qualsevol *tower defense* són els següents:

- Una base o estructura per defensar.
- Un punt o varis de sortida dels enemics.
- Els enemics, que solen avançar progressivament cap a la base que s'intenta protegir.
- Unes torres o estructures que ataquen als enemics.
- Monedes, obtingudes periòdicament o amb la derrota dels enemics, per poder millor les torres.
- Onades, o *waves*, on cada *wave* és un grup d'enemics més difícil de derrotar que l'anterior.
- Un mapa, per on es mouen els enemics i el jugador pot construir torres. El camí dels enemics pot estar separat de les zones on es poden construir torres (camí fitxat) o poden no tenir un camí definit. En el segon cas, els enemics aniran pel camí més curt entre les construccions del jugador.



Il·lustració 5. *GemCraft*<sup>1</sup>, un *tower defense* per navegador

<sup>1</sup> Es pot jugar i descarregar el joc gratuïtament a <http://gameinabottle.com/gemcraft1.php>.

## 2.2 Plataformes de desenvolupament

Els *tower defense* solen requerir que el jugador construeixi les torres en posicions precises per poder combatre els enemics i, si el videojoc permet construir torres durant la invasió dels enemics, també requereix que el jugador puguis moure's ràpidament pel mapa per col·locar o modificar les seves torres. És per això que, de manera similar al que passa amb els jocs d'estratègia en temps real (*RTS*), la plataforma ideal per aquest gènere és l'ordinador, gràcies a la rapidesa i precisió del ratolí en moure's per damunt la pantalla, cosa que seria molt més difícil d'aconseguir utilitzant un controlador convencional de videoconsola. És per això que, tal com s'ha comentat en el punt anterior, en sorgir els jocs de navegador, aquest gènere va tenir tant d'èxit, ja que es trobava en el medi idoni.

A més, a diferència dels jocs d'estratègia en temps real, normalment només és necessari gestionar una estructura a l'hora i els mapes solen ser bastant reduïts. En canvi, en un joc d'estratègia real convencional, es vol poder triar moltes unitats alhora per poder-les moure pel mapa, i els mapes solen ser més grans, pel que és necessari tenir mecanismes que en facilitin el moviment. Tot això fa que el gènere del *tower defense* sigui adequat també pels dispositius mòbils, ja que les pantalles reduïdes i la dificultat de seleccions múltiples no és un problema.



Il·lustració 6. *Mazebert TD*, un *tower defense* per dispositius mòbils

## 3. Definició del joc

### 3.1 Història, ambientació i trama

Crystalia és un regne famós pels seus cristalls màgics. Ha viscut pacíficament els darrers mil anys, gràcies al comerç amb altres regnes i a les serves tècniques d'artesanía per tractar els cristalls.

Tot això canvia quan apareix el senyor de les tenebres! El seu objectiu són els cristalls màgics de Crystalia, ja que l'hi permetran crear armes pel seu exèrcit d'esquelets i aranyes, i així sumir en l'obscuritat total el món i dominar-lo.

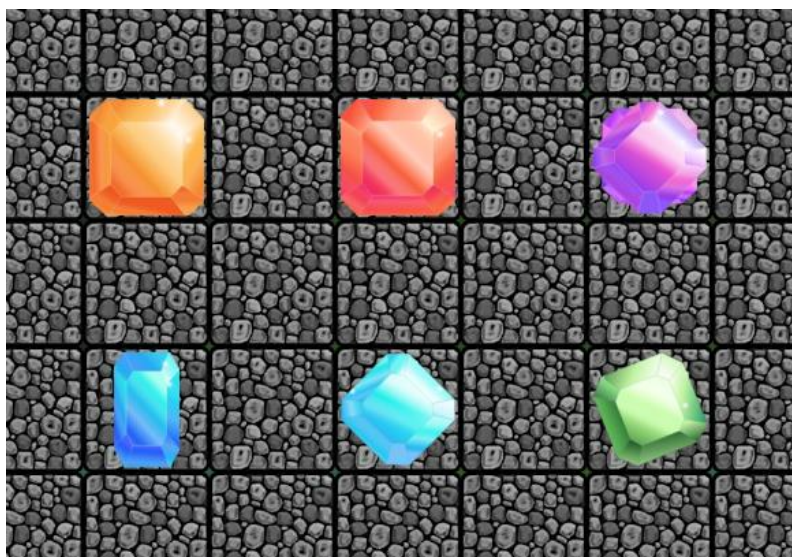
És l'objectiu del jugador frenar l'avanç de l'exèrcit de les tenebres. Posant en pràctica les antigues tècniques de construcció d'armes usant els cristalls disponibles, haurà de crear un mur de defensa per atacar als invasors.

Fins quan podrà el jugador frenar les tropes enemigues?

### 3.2 Definició dels elements

#### Torres

Aquest són l'element principal del videojoc i són les que ajudaran al jugador a aturar l'avanç de les tropes enemigues. Les torres estan representades per cristalls i cadascuna té una distància d'atac, una velocitat d'atac, un rang de mal i un preu. Algunes tenen habilitats especials, com probabilitat de fer mal crític o mal en àrea.



Il·lustració 7. Torres disponibles



Hi ha 6 torres a la disposició del jugador:

- ***Amber Tower***

Aquesta és la primera torre que el jugador pot comprar. El seu preu és molt barat i per això també és la torre més dèbil. Malgrat això, servirà per construir murs i laberints de manera que els enemics puguin estar més temps baix el rang de les torres més potents.

- Color: Taronja
- Preu: 10
- Rang: 10
- Mal: 22 – 32
- Temps entre atacs: 0.9 segons

- ***Sapphire Tower***

La segona torre suposa una gran millora sobre la primera. No només té uns valors de mal i velocitat superiors a l'*Amber Tower*, sinó que a més és la primera torre disponible amb mal en àrea. El mal en àrea és d'extrema utilitat contra els enemics més lents, ja que aquests solen estar més agrupats i permet ferir molts d'ells en cada atac. Es tracta d'una torre indispensable per superar els primers nivells.

- Color: Blau
- Preu: 50
- Rang: 12
- Mal: 72 – 92
- Temps entre atacs: 0.7 segons
- Àrea: 1

- ***Ruby Tower***

La següent torre disponible no té atac en àrea, però ho compensa amb una velocitat d'atac extremadament alta, on cada atac té un 20% de probabilitats de fer 5 vegades el mal normal.

- Color: Vermell
- Preu: 150
- Rang: 12
- Mal: 121 – 141
- Temps entre atacs: 0.2 segons
- Especial: 20% que cada atac faci mal x5

- ***Turquoise Tower***

Aquesta és una de les torres més importants pel jugador. No pel seu mal o velocitat d'atac, sinó per la seva habilitat especial: els enemics ferits per aquesta torre van a la meitat de la seva velocitat durant 2 segons. A més, la torre té atac en àrea, pel que pot endarrerir diversos enemics en cada atac.

- Color: Cel
- Preu: 280
- Rang: 12
- Mal: 293 – 380
- Temps entre atacs: 0.9 segons
- Àrea: 1.5
- Especial: Redueix la velocitat dels enemics ferits a la meitat durant 2 segons

- ***Amethyst Tower***

Una de les darreres torres disponibles pel jugador. No només disposa d'un rang de mal molt alt, sinó que a més és la torre amb l'àrea d'atac més ampli. Combinada amb la *Turquoise Tower* el jugador pot fer que cada atac fereixi a un gran nombre d'enemics.

- Color: Violeta
- Preu: 400
- Rang: 14
- Mal: 652 – 752
- Temps entre atacs: 1.3 segons
- Àrea: 4

- ***Emerald Tower***

Aquesta és la torre més cara però el seu cost està justificat, ja que es tracta de la torre més poderosa de l'arsenal del jugador. Tant és la torre amb el rang de mal més gran, com la més ràpida. Fins i tot disposa d'una àrea d'atac, per poder ferir a més enemics en cada atac.

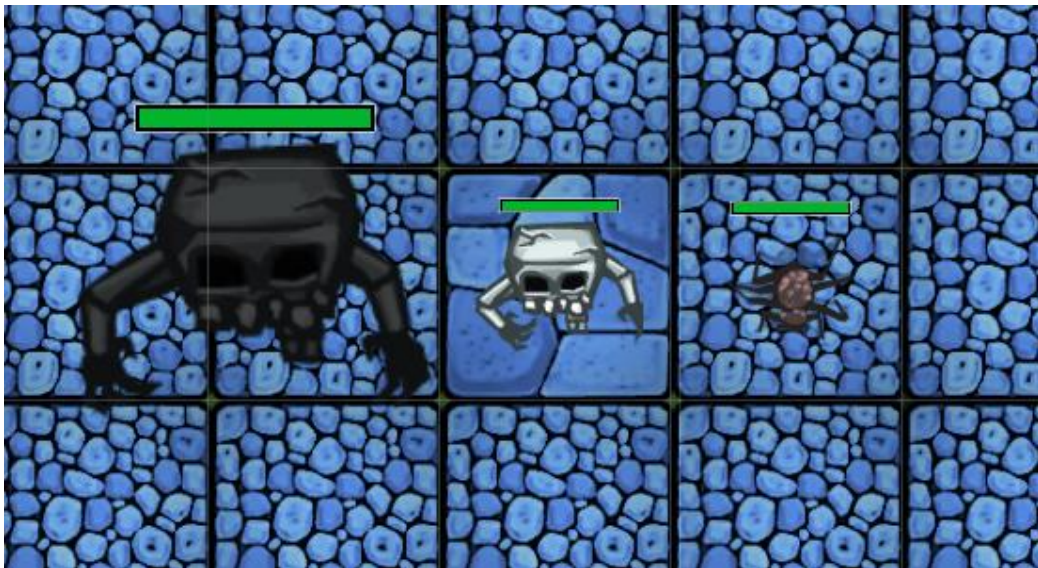
- Color: Verd
- Preu: 500
- Rang: 14
- Mal: 702 – 900
- Temps entre atacs: 0.1 segons
- Àrea: 1

Cada torre es pot vendre per la meitat del seu preu. També es pot millorar a la següent torre, pagant la diferència entre el preu de venda de la torre actual i el de compra de la torre següent.

## Enemies

En el joc podem trobar tres tipus d'enemics diferents, que es van alternant entre cada onada d'enemics. Tots els enemics tenen uns punts de vida, una velocitat i una mida de grup. La velocitat i la mida del grup depèn de cada tipus d'enemic, mentre que els punts de vida també depenen de l'onada en què es trobi el jugador. Cada enemic proporciona or al jugador quan és derrotat. L'or proporcionat depèn de la mida del grup i del nivell en el qual el jugador es trobi.

Els enemics van sortint progressivament en el punt d'inici del nivell i van pel camí més curt cap al destí. Un cop arriben al destí, són transportats de nou a l'inici del nivell, amb els punts de vida restants.



II-lustració 8. Diferents tipus d'enemics

Els enemics existents són:

- ***Skeleton***

Aquest és l'enemic bàsic al qui s'enfrontarà el jugador. No té cap característica particular.

- Modificador de velocitat: x1
- Modificador de vida: x1
- Modificador de grup: x1

- ***Spider***

El següent enemic es tracta d'una aranya. Té menys vida que un *Skeleton*, però és molt més ràpida i ve en grans grups.

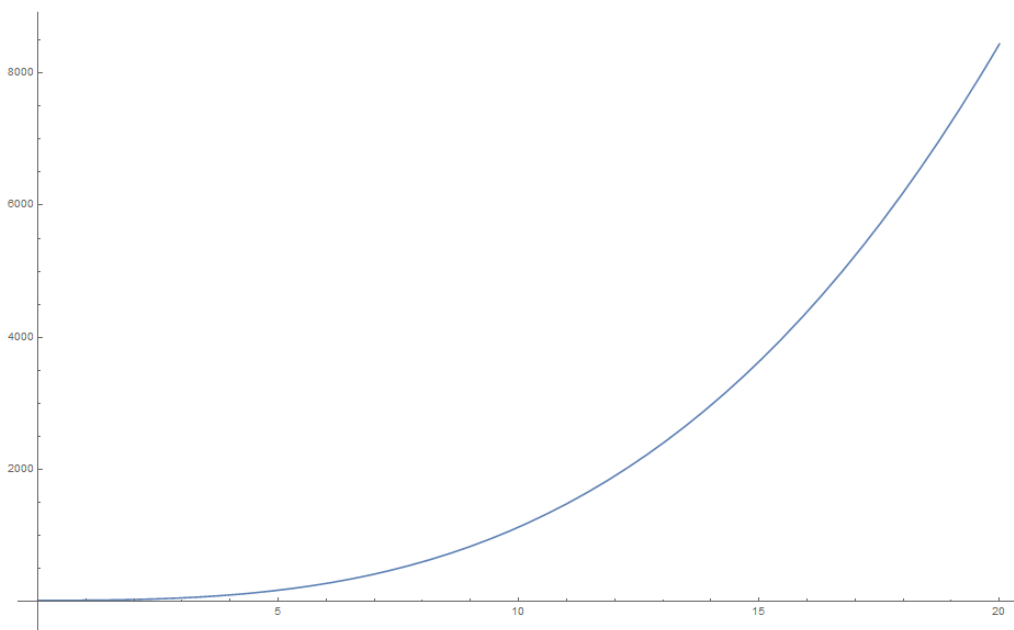
- Modificar de velocitat: x2
- Modificador de vida: x0.5
- Modificador de grup: x2

## - **Black Skeleton**

El darrer dels enemics al qui s'enfrontarà el jugador és un esquelet gegant. Si bé ve en grups reduïts i és lent, ho compensa amb una immensa quantitat de vida.

- Modificar de velocitat: x0.5
- Modificador de vida: x8
- Modificador de grup: x0.5

Els punts de vida de cada enemic abans d'aplicar cap modificador es calculen a partir de l'onada en la qual es troba el jugador, amb la fórmula  $x^3 + x^2 + x + 20$ , on  $x$  és l'onada actual.



**Il·lustració 9. Vida dels enemics per nivell**

L'or proporcionat al jugador amb cada enemic derrotat és 1 més 1 cada 5 nivells, multiplicat pel modificador de grup.

Finalment, cada enemic també proporciona punts al jugador, que es mostraran al final de cada partida. Cada enemic proporciona 10 punts multiplicats per l'onada en la qual es trobi el jugador, multiplicat pel modificador de grup.

## **Altres elements**

A part de torres i enemics, el jugador disposa d'or, que s'obté derrotant enemics i amb un valor inicial de 100. Aquest l'hi servirà per poder comprar torres.

El jugador també disposa de vides. Comença amb 50 i cada cop que un enemic arribi al seu destí, el jugador perdrà una vida. Un cop arribin a 0, s'acaba la partida.

### **3.3 Interacció entre els actors del joc**

Cada torre té una distància d'atac. Quan un enemic passa pel rang de la torre, aquesta l'ataca amb un projectil. Quan el projectil impacta amb el seu objectiu, es disminueixen els punts de vida d'aquest amb un valor aleatori dintre del rang de mal de la torre que ha disparat. És en aquest moment en què, si s'escau, es redueix temporalment la velocitat de l'enemic.

Si la torre que ha disparat el projectil té un atac en àrea, en lloc de simplement restar els punts de vida a l'objectiu, es crea una explosió en el punt d'impacte del projectil i es cerquen tots els enemics dintre de l'àrea d'impacte. Segons la distància en la qual es trobi un enemic de l'impacte, s'aplica un percentatge del mal original del projectil que va des de 100% al centre de l'impacte fins a 0% a l'extrem de l'àrea de l'explosió.

Quan els punts de vida de l'enemic arribin a 0, aquest desapareix i es recompensa al jugador amb or que pot usar per construir més torres o millorar les existents.

Un cop l'enemic es queda sense punts de vida o es troba fora del rang d'atac de la torre, aquesta ataca al següent enemic que tingui dintre el rang i estigui més proper al seu destí.

Les torres no només ataquen als enemics, sinó que també en bloquegen el pas. Els enemics intentaran trobar el camí més curt pel mapa a través de les torres col·locades pel jugador. Això no obstant, no es permet bloquejar completament el pas dels enemics (sempre ha d'existir un camí entre l'inici i el final).

### **3.4 Objectius plantejats al jugador**

L'objectiu del jugador és sobreviure el màxim nombre de rondes possibles, impedint que els enemics creuin el mapa. Per fer-ho, no només ha de construir torres per atacar als enemics, sinó que les ha de col·locar estratègicament perquè el camí dels enemics sigui el més llarg possible i així maximitzar la quantitat d'atacs que rebin de les torres.

També ha de fer ús de les habilitats especial de les torres i planificar com gastarà l'or obtingut.

Finalment, ha d'aprofitar els murs del terreny, que es generen aleatòriament al començament de cada partida, per tancar els camins lliures que tinguin els enemics i assegurar-se que l'únic camí disponible passi al costat de les seves torres més poderoses.

### 3.5 Concept Art

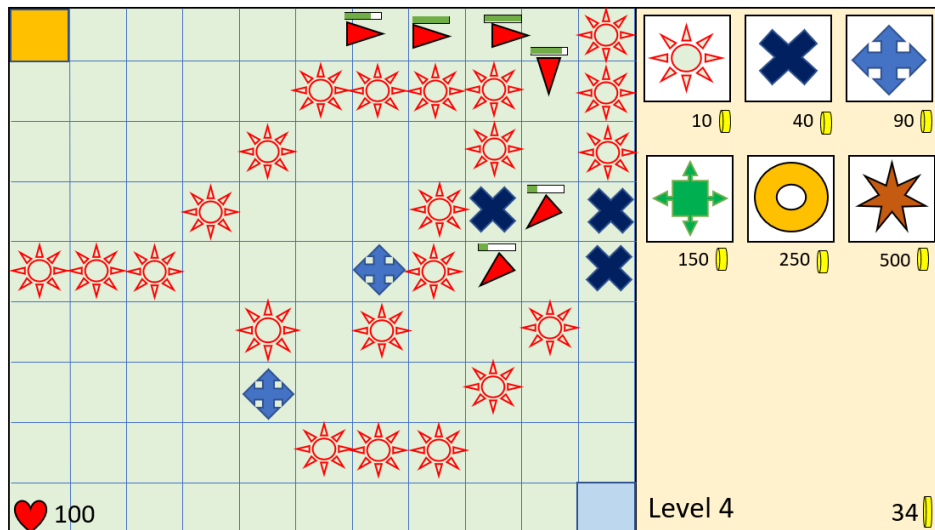
Originalment s'havia plantejat fer un mapa rectangular i llarg, inspirat en el mapa *Wintermaul One*, de *Warcraft III*. Després de diverses versions inicials, aquesta idea es va abandonar perquè suposava molest pels jugadors no poder tenir una visió global del mapa a simple vista i haver de fer *scroll* pel mapa.



Il·lustració 10. Captura del mapa *Wintermaul One*, per *Warcraft III*

Es va acabar fent una pantalla pensada exclusivament per ordinador, en el que es podia veure tot el mapa a simple vista i els controls no foren excessivament grans.

Per aprofitar la mida de la pantalla, es deixa un espai a la part dreta per a mostrar un panell amb les diferents torres que pot construir el jugador així com els botons per canviar la velocitat del joc.



**Il·lustració 11. Concepte inicial de la pantalla durant una partida**

A causa de les limitacions de disseny i a què l'objectiu era usar *assets* gratuïts per la realització del videojoc, els enemics i torres existents s'han adaptat a partir dels recursos gratuïts a l'*asset store* d'Unity, així com el terreny usat. És per aquest motiu que no existeix cap *concept art* previ de com haurien de ser les torres i els enemics. L'únic requisit cercat era que encaixessin en una temàtica fantàstica. Això ha causat que la trama del joc (el senyor de les tenebres que vol robar els cristalls de Crystalia) s'hagi creat a partir dels *assets* disponibles, i no que els *assets* s'hagin creat a partir de la trama del joc.

## 4. Disseny tècnic

### 4.1 Entorn de desenvolupament

Pel desenvolupament del videojoc, es pot usar o bé un *engine* especialitzat en la creació de videojocs, o usar un llenguatge de programació d'ús general i crear manualment les subrutines i funcions necessàries.

Tècnicament, es pot aconseguir un videojoc més eficient si es programen manualment totes les funcions emprades, però a canvi és necessari molt més temps i no es pot assegurar la portabilitat del codi en totes les plataformes.

Tenint en compte aquests punts, es tria usar un entorn de desenvolupament especialitzat.

L'*engine* i kit de desenvolupament emprat pel videojoc ha de ser adient per la creació de jocs 2D per escriptori. Idealment ha de ser gratuït, o que el *tier* gratuït ofereixi suficients prestacions per la creació del videojoc.

També és necessari que tingui una gran varietat de recursos, ja que l'apartat artístic del videojoc queda en segon pla i s'usaran recursos gratuïts tant pels gràfics com pel so.

Amb aquestes premisses, els entorns de desenvolupament considerats són els següents<sup>2</sup>:

- Unity: Actualment un dels programaris més populars per la creació de videojocs, gràcies a la flexibilitat per crear diferents tipus de jocs per multitud de plataformes i la gran quantitat de recursos disponibles tant gratuïts com comercials. El llenguatge de programació que s'empra per al desenvolupament és C#.
- *GameMaker Studio: Engine* especialitzat per la creació de jocs 2D. Disposa d'una versió gratuïta pel desenvolupament de jocs d'escriptori per Windows i Mac. Usa un llenguatge propi, GML, pel desenvolupament de scripts.
- *Marmalade*: Programari pel desenvolupament de jocs per múltiples plataformes, usat per grans companyies. Permet desenvolupar els jocs en C++ i LUA.

Les 3 opcions compleixen els requisits imposats, però finalment es tria Unity com entorn de desenvolupament del videojoc. El motiu determinant per la tria és el llenguatge de programació que usa el programari, C#, ja

---

<sup>2</sup> Llistat extret de *The Indie Game Developer Handbook*, de Richard Hill-Whittall



que l'estudiant que ha de realitzar el treball té 6 anys d'experiència treballant amb Visual Studio i C#. Aquesta experiència reduirà la corba d'aprenentatge inicial per començar el desenvolupament del videojoc i permetrà obtenir un producte final de major qualitat amb el mateix temps dedicat. A més, la facilitat de distribució a altres plataformes permetrà, en un futur, publicar el videojoc per dispositius mòbils.

## 4.2 Requeriments tècnics

Per desenvolupar el videojoc, s'usa Unity juntament amb Visual Studio.

Els requisits tècnics per l'ús d'Unity pel desenvolupament d'un videojoc d'escriptori per Windows són<sup>3</sup>:

- **OS:** Windows 7 SP1+, 8, 10, només versió de 64 bits; macOS 10.12+.
- **CPU:** Suport per executar el conjunt d'instruccions SSE2.
- **GPU:** Targeta gràfica compatible amb *DX10 (shader model 4.0)*.

Els requisits tècnics per usar Visual Studio per l'edició de codi són<sup>4</sup>:

- **OS:**
  - Windows 10 versió 1507 o posterior: Home, Professional, Education i Enterprise (no suporta LTSC i S).
  - Windows Server 2016: Standard i Datacenter.
  - Windows 8.1 (amb l'actualització 2919355): Core, Professional i Enterprise.
  - Windows Server 2012 R2 (amb l'actualització 2919355): Essentials, Standard i Datacenter.
  - Windows 7 SP1 (amb la darrera actualització disponible): Home Premium, Professional, Enterprise, Ultimate.
- **CPU:** Velocitat de processament 1.8 GHz o superior. Es recomana Dual-core o millor.
- **GPU:** Targeta gràfica amb una resolució mínima de 720p (1280 x 720). Es recomana una resolució de 1366 x 768 o més.
- **RAM:** Mínim 2 GB de RAM (2.5 GB si s'usa en una màquina virtual). Es recomana 4 GB.

Els requisits mínims per l'execució del videojoc en escriptori són<sup>5</sup>:

---

<sup>3</sup> Requisits extrets de <https://unity3d.com/unity/system-requirements>

<sup>4</sup> Requisits extrets de <https://docs.microsoft.com/en-us/visualstudio/productinfo/vs2017-system-requirements-vs>

<sup>5</sup> Requisits extrets de <https://unity3d.com/unity/system-requirements>

- **OS:** Windows 7 SP1+ o posterior.
- **CPU:** Suport per executar el conjunt d'instruccions SSE2.
- **GPU:** Targeta gràfica compatible amb *DX10 (shader model 4.0)*.

### 4.3 Eines emprades

Les versions del programari específiques usades pel desenvolupament del videojoc són:

- **Windows 10 Pro (64 bits)**

Aquest és el sistema operatiu que s'ha emprat durant tot el desenvolupament del videojoc.

Una de les eines principals que es volien usar, Visual Studio, només és compatible amb el sistema operatiu Windows, per tant era un requisit mínim pel desenvolupament. A més, es tracta de la plataforma de destí del videojoc desenvolupat, així que en el cas d'aquest TFG es tracta del sistema operatiu més adient.

S'ha usat la versió Pro perquè ja es disposava de la llicència i no era necessari fer cap inversió, però la versió Home hauria estat suficient pel desenvolupament.

L'única alternativa pel desenvolupament a aquest OS hauria estat macOS 10.12+, usant Visual Studio Code enlloc de Visual Studio.

- **Unity 2018.3.14f1 Personal**

Aquest és el nivell gratuït que ofereix Unity. És ideal per gent que no es dedica professionalment a la creació de videojocs o que està començant. L'única restricció que té és que per usar-lo no es pot generar més de \$100,000 per any, o el teu finançament no supera aquesta xifra<sup>6</sup>.

És l'eina principal usada durant el desenvolupament del videojoc, ja que permet crear fàcilment mapes i interfícies d'usuari, requerint una programació mínima. A més disposa d'una extensa col·lecció de llibreries de c# especialitzades en el desenvolupament de videojocs.

- **Visual Studio Community 2017 version 15.9.12**

Aquesta és la versió gratuïta de l'editor de codi Visual Studio 2017. La restricció és que no es pot emprar amb equips superiors

---

<sup>6</sup> Comparació entre les distintes edicions d'Unity: <https://store.unity.com/compare-plans>

a 5 persones o empreses amb més de 250 empleats o que generin més de \$1,000,000 anuals<sup>7</sup>.

No disposa d'algunes eines de refactorització, diagrames d'arquitectura o *profiling* com les versions no gratuïtes, però les seves prestacions són més que suficients per al desenvolupament inicial d'un videojoc d'escriptori.

- **Notepad++ v7.6.2 (64-bit)**

Notepad++ és un editor de text gratuït, que suporta una gran quantitat de llenguatges de programació i marques. S'ha usat per a l'edició ràpida d'algunes classes o fitxers.

- **Paint 3D**

Gràcies a l'ús de recursos gratuïts, l'edició d'imatges i gràfics ha estat mínima en aquest treball, pel que l'ús de l'eina gratuïta Paint 3D que ve instal·lada amb Windows 10 ha estat suficient per aplicar els petits canvis necessaris sobre els *assets* adquirits.

- **7zip 18.06 (x64)**

7zip és una eina gratuïta per comprimir i descomprimir fitxers en diferents formats. És l'eina que s'ha usat per comprimir els executables i arxius entregats.

- **Microsoft Office 365**

Gràcies a la llicència d'estudiant proporcionada per la universitat, s'ha pogut usar la suite d'ofimàtica de Microsoft sense cap despesa addicional. S'ha usat Word per la realització d'aquesta memòria perquè es tracta d'un editor de text molt complet, sense arribar a la complexitat de LaTeX, i que permet exportar els documents a pdf.

Per la planificació del projecte i la generació dels diagrames de Gantt, s'ha usat Excel.

Pel *concept art* i la generació del prototip de pantalla pel videojoc, PowerPoint.

- **GitHub Desktop**

S'ha usat GitHub com a repositori de codi i control de versions. Per la gestió dels canvis i les branques, tant s'ha usat l'aplicació d'escriptori de GitHub, GitHub Desktop, com la integració amb Git que té l'eina Visual Studio.

---

<sup>7</sup> Comparació entre les distintes edicions de Visual Studio:  
<https://visualstudio.microsoft.com/vs/compare/>

- **draw.io**

Es tracta d'una aplicació gratuïta en línia que permet realitzar diagrames UML i exportar-los a fitxers .png. És el software usat per la realització dels diagrames d'aquesta memòria.

Les especificacions de l'ordinador utilitzat pel desenvolupament del videojoc són les següents:

- **CPU:** Intel Core i5-8600K CPU @ 3.60Hz
- **GPU:** NVIDIA GeForce GTX 1080 Ti (1920 x 1080)
- **RAM:** 16.0 GB

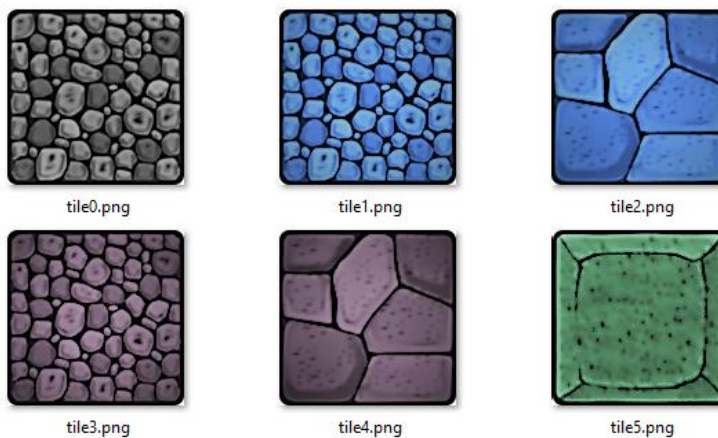
#### 4.4 Assets

La majoria dels assets usats són assets gratuïts que es troben a la Unity Asset Store<sup>8</sup>, que disposa d'un ampli catàleg de recursos, tan gratuïts com no, per la creació de jocs 2D i 3D. Un cop s'ha adquirit un asset, el programari propi d'Unity permet importar-lo fàcilment al projecte del videojoc.

Els assets usats són els següents:

- **Too Cube Forest, the free 2D platformer game tile set<sup>9</sup>**, de NEMO-MK2

D'aquest asset s'han usat tant els blocs per fer el mapa com les imatges de fons per la pantalla d'inici i de fons durant la partida. Només s'han modificat lleugerament els blocs usats per canviar-ne la tonalitat del color i reduir l'espai en blanc entre ells.



II-lustració 12. Blocs modificats usats en el videojoc

<sup>8</sup> <https://assetstore.unity.com/>

<sup>9</sup> <https://assetstore.unity.com/packages/2d/environments/too-cube-forest-the-free-2d-platformer-game-tile-set-117493>



Il·lustració 13. Escena creada amb els assets de *Too Cube Forest*

- **Free 48 Gems Icon Pack<sup>10</sup>**, de Cryptogene

Aquest és l'asset usat per crear els gràfics de les torres. Per defecte, el fons de les gemmes no és transparent i aquests són els gràfics que s'han usat per als botons. Per les torres com a tal, s'ha modificat l'asset per crear les torres amb un fons transparent.

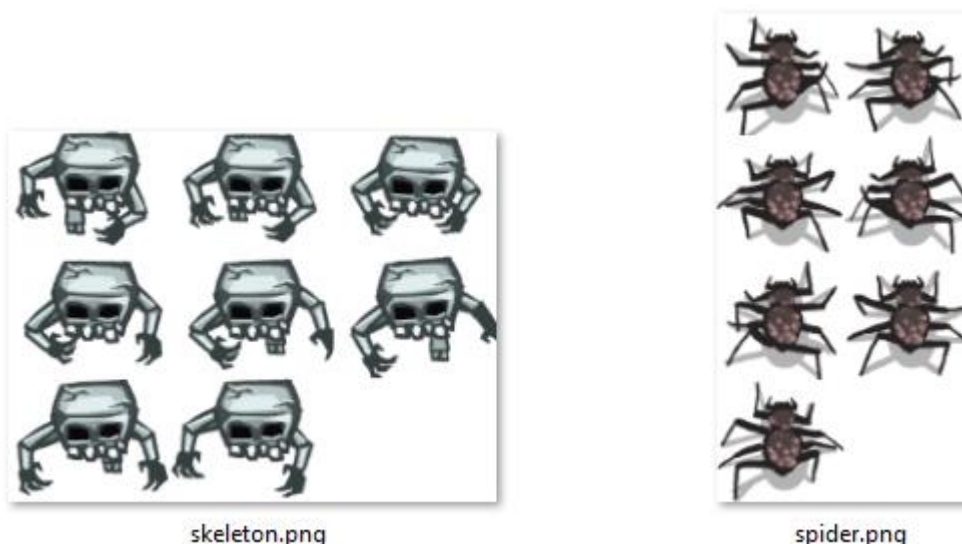


Il·lustració 14. Imatges usades per les torres i els botons de compra

<sup>10</sup> <https://assetstore.unity.com/packages/2d/gui/icons/free-48-gems-icon-pack-127451>

- **Free Dungeon Pack**<sup>11</sup>, de Icarus Studio

S'han utilitzat l'esquelet i l'aranya d'aquest asset per fer els enemics del videojoc. Amb Unity s'ha modificat la imatge de l'esquelet per fer una segona varietat d'esquelet més obscura i gran.



II-lustració 15. Sprites dels enemics del videojoc

- **Loop & Music Free**<sup>12</sup>, de marching dream

Aquí es troba la música que usa el joc tant pel menú d'inici com durant el joc. S'ha usat *Loop Ambient008.mp3* com a música del menú d'inici i *Loop Electronic001.mp3* per la música que sona durant la partida.

- **8-bit Sounds Free Package**<sup>13</sup>, de Electrodynamics

D'aquest paquet s'han extret els sons usat pel menú i els enemics. Els sons de trets per les torres no s'usen perquè resultaven massa molestos.

Les imatges usades per representar les vides<sup>14</sup> i les monedes<sup>15</sup> s'han trobat usant el cercador de Google, cercant expressament aquelles imatges que es permetessin usar amb modificacions.

<sup>11</sup> <https://assetstore.unity.com/packages/2d/characters/free-dungeon-pack-12571>

<sup>12</sup> <https://assetstore.unity.com/packages/audio/music/loop-music-free-111896>

<sup>13</sup> <https://assetstore.unity.com/packages/audio/sound-fx/8-bit-sounds-free-package-3766>

<sup>14</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/File:Love\\_Heart\\_SVG.svg](https://en.wikipedia.org/wiki/File:Love_Heart_SVG.svg)

<sup>15</sup> <https://pixabay.com/illustrations/coin-gold-game-asset-savings-3468160/>



gold.png

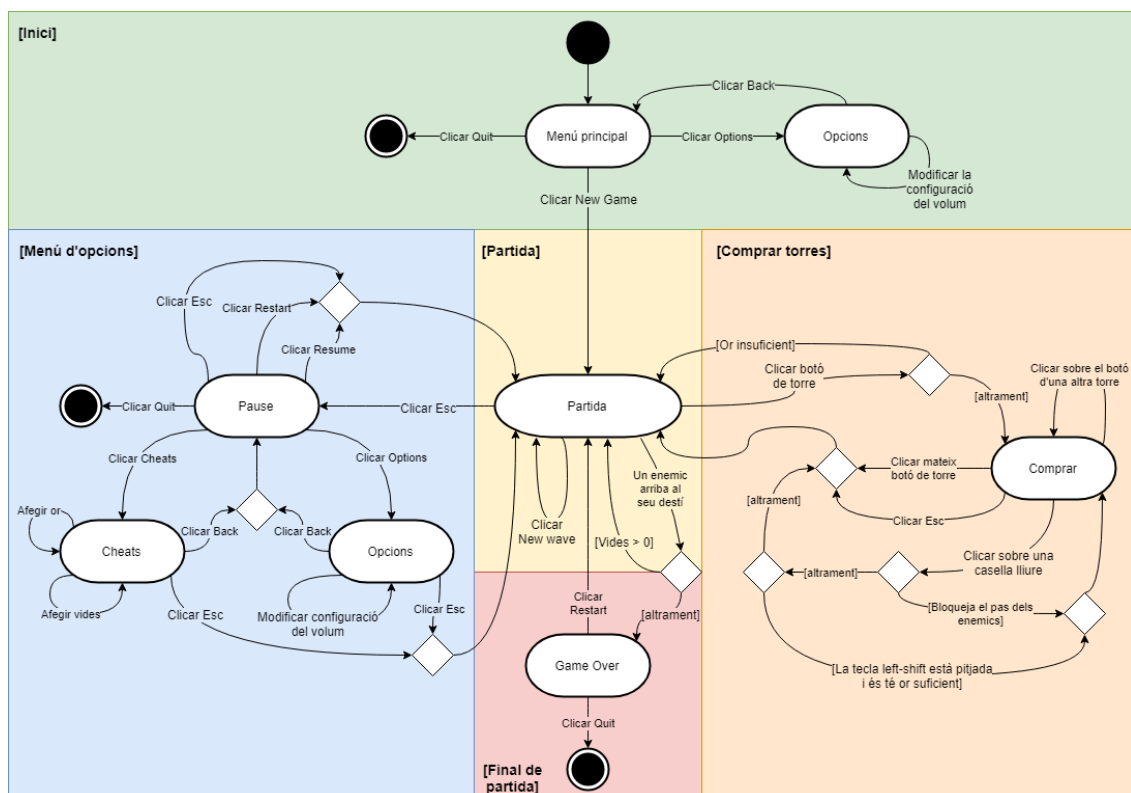


lifes.png

II-lustració 16. Imatges usades per representar l'or i les vides del jugador

### 4.5 Esquema d'arquitectura del joc

Aquest és el diagrama d'estats del videojoc:



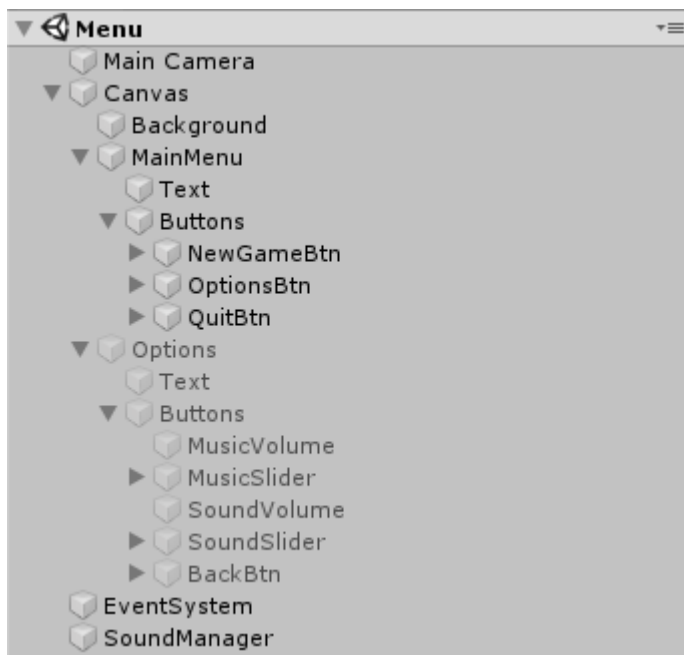
II-lustració 17. Diagrama d'estats del videojoc

Podem distingir 5 grups d'accions i estats:

- **Inici:** Aquesta és la primera pantalla que se l'hi presenta al jugador. Des d'aquí pot començar una partida nova, modificar el volum del so o tancar el joc.

- **Partida:** Aquest és l'estat principal del videojoc, on ocorre tota l'acció. Des d'aquí el jugador pot fer començar una nova onada d'enemics, comprar torres o aturar el joc.
- **Menú d'opcions:** Aquesta és el menú del joc. Quan el jugador accedeix a aquest menú la partida es pausa. Des d'aquí pot modificar el volum, tornar a començar el joc, sortir o accedir al menú de trucs, on pot afegir-se or i vides.
- **Comprar torres:** Aquest és l'estat en què el jugador pot comprar i construir noves torres per defensar-se dels enemics. Quan el jugador es troba en aquest estat, veu el rang de la torre triada on tingui el cursor.
- **Final de partida:** Aquest és l'estat al qual s'arriba quan el jugador ha perdut totes les vides. En aquesta pantalla veu la seva puntuació final i pot o bé començar de nou la partida o bé tancar el joc. En el cas que el jugador hagi superat el màxim de rondes disponibles, també arriba a aquest estat, però canvia el missatge mostrat.

El videojoc està organitzat en quatre escenes. La primera és el menú principal i conté els estats del grup Inici.

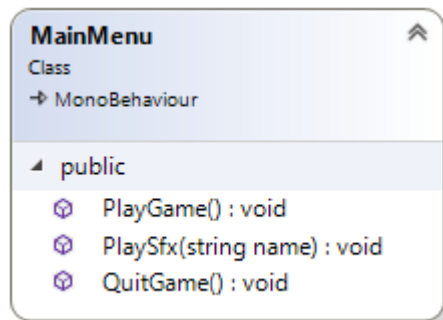


Il·lustració 18. Escena 1: Menu



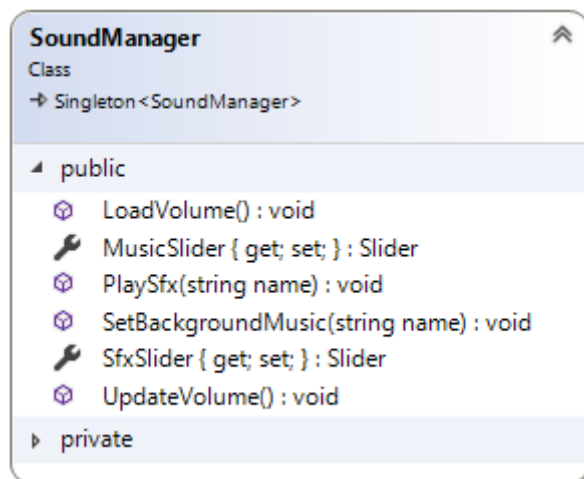
Per aquesta primera escena s'usen dues classes:

- **MainMenu**: Només conté dues funcions, una per tancar el joc i l'altra per avançar a la següent escena.



Il·lustració 19. Classe MainMenu

- **SoundManager**: Conté les funcions necessàries perquè el jugador pugui configurar el volum de la música i per poder reproduir música i sons. És una subclasse de Singleton i és un objecte persistent entre escenes.



Il·lustració 20. Classe SoundManager

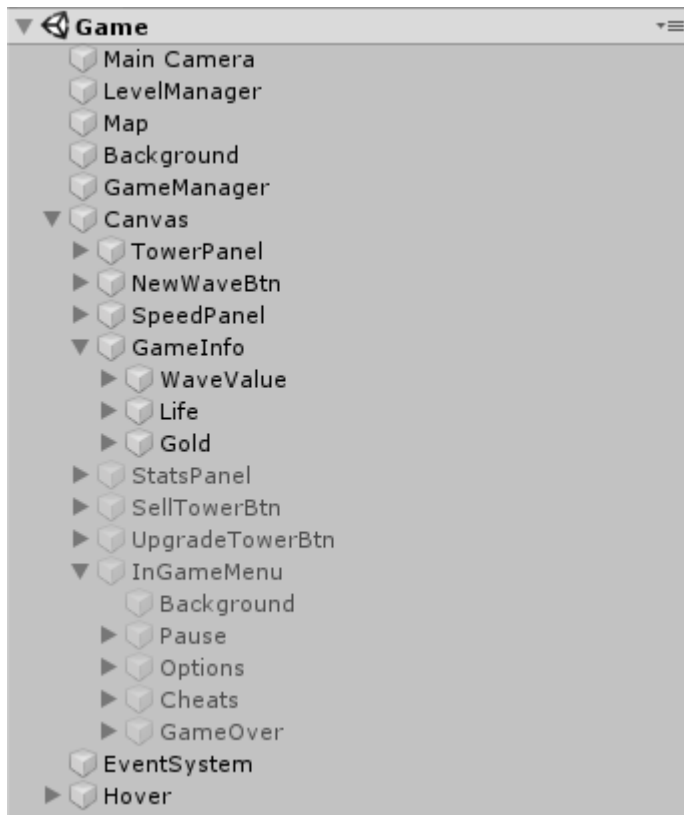
La segona i tercera escena són molt semblants. La primera d'elles és una pantalla amb la història sobre el joc. La següent s'encarrega d'explicar els conceptes principals dels joc al jugador.



Il·lustració 21. Escenes 2 i 3: Introduction i Tutorial

Ambdues reutilitzen la funció PlayGame i PlaySfx de la classe MainMenu per poder navegar a la següent escena i reproduir sons.

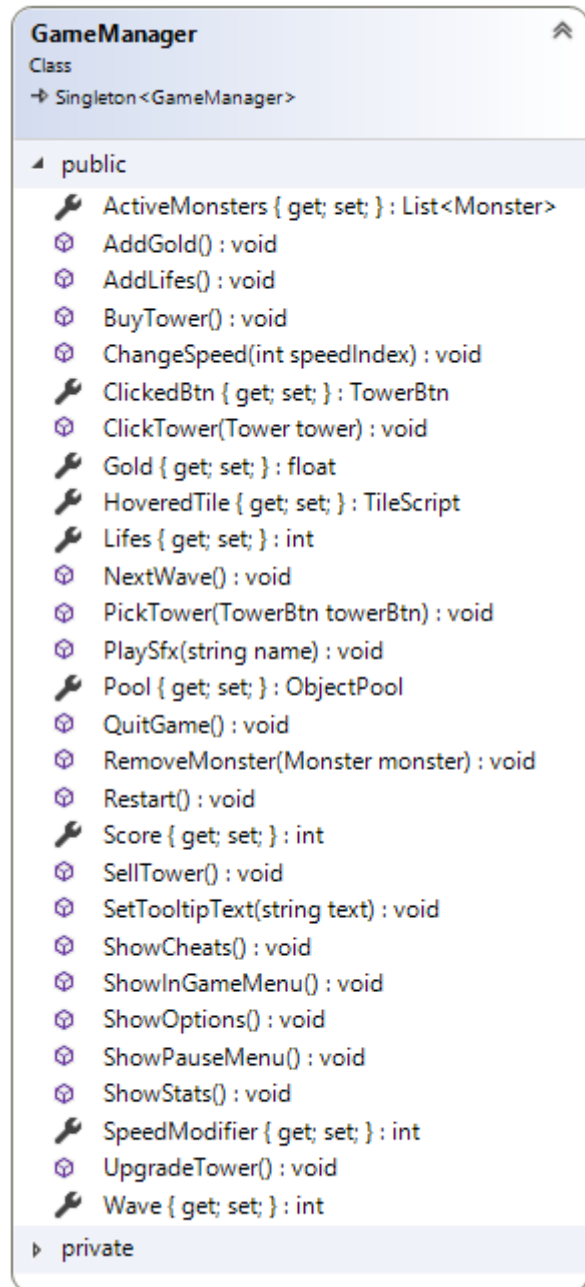
La darrera escena és més complexa, ja que és la que conté el joc en si. Aquesta engloba la resta de grups d'estats definits prèviament: Partida, Menú d'opcions, Comprar torres i Final de partida.



Il·lustració 22. Escena 2: Game

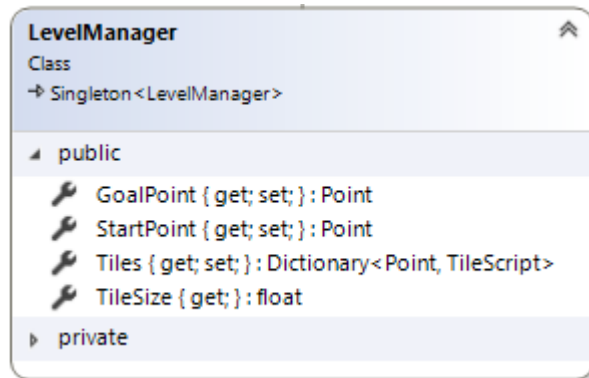
Les classes usades en aquest escena són:

- **GameManager**: Aquesta és la classe principal del joc i la que s'encarrega de manejar el flux del joc, des de començar una nova partida fins a la compra i venda de torres.



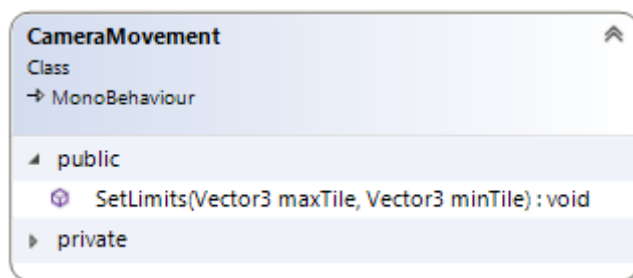
II-lustració 23. Classe GameManager

- **LevelManager:** Aquesta classe és la que s'encarrega de generar el nivell al principi de la partida. S'usa per accedir i gestionar les caselles del mapa.



Il·lustració 24. Classe LevelManager

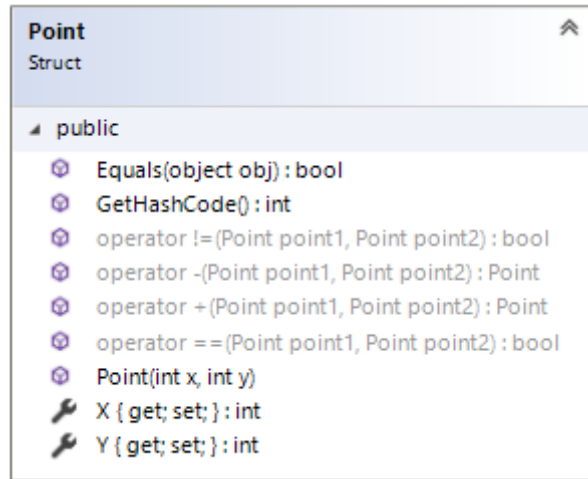
- **CameraMovement:** Aquesta classe s'encarrega de moure la càmera pel mapa, en el cas que el mapa sigui més gran que la mida de la pantalla. També permet fer zoom amb la roda del ratolí.



Il·lustració 25. Classe CameraMovement

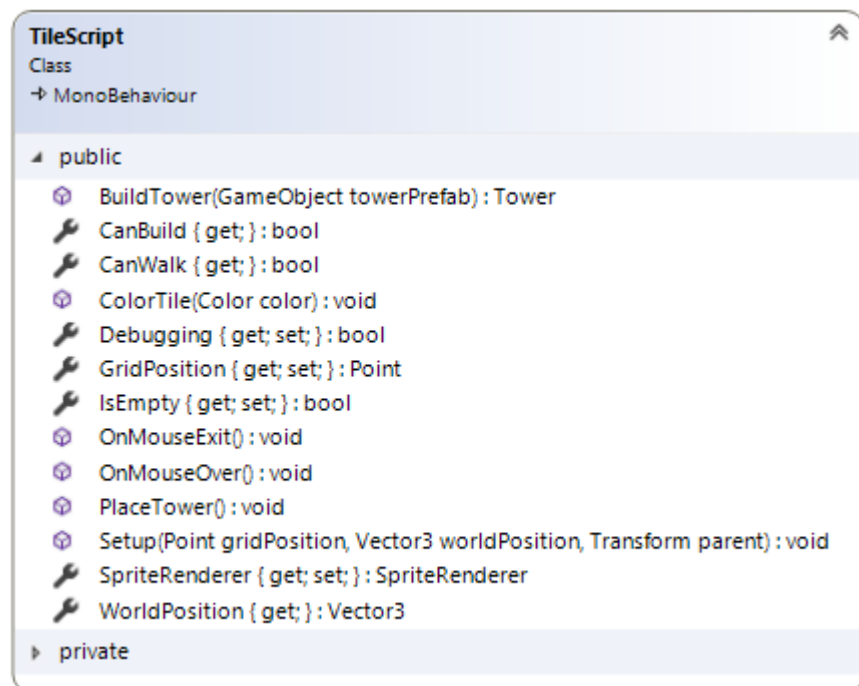
Per la gestió de les caselles del mapa i les posicions, s'usen dues classes:

- **Point:** Es tracta d'un Struct, i consta de dues coordenades. Implementa les funcions per sumar, restar i comparar.



II-lustració 26. Struct Point

- **TileScript:** Aquesta és la classe que representa les caselles del mapa. Cada casella del mapa és una instància d'aquesta classe.



II-lustració 27. Classe TileScript

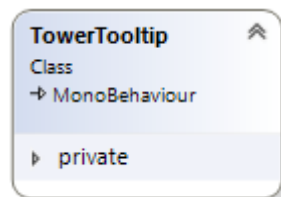
Per gestionar les funcionalitats i accions de les torres, són necessàries diverses classes:

- **TowerBtn**: Aquesta és la classe de cada un dels botons per comprar torres. Cada instància té una torre diferent assignada.



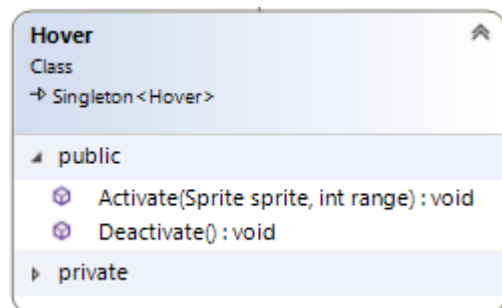
Il·lustració 28. Classe TowerBtn

- **TowerTooltip**: Aquesta classe s'encarrega de mostrar un panell amb la informació de la torre del botó on es té el cursor.



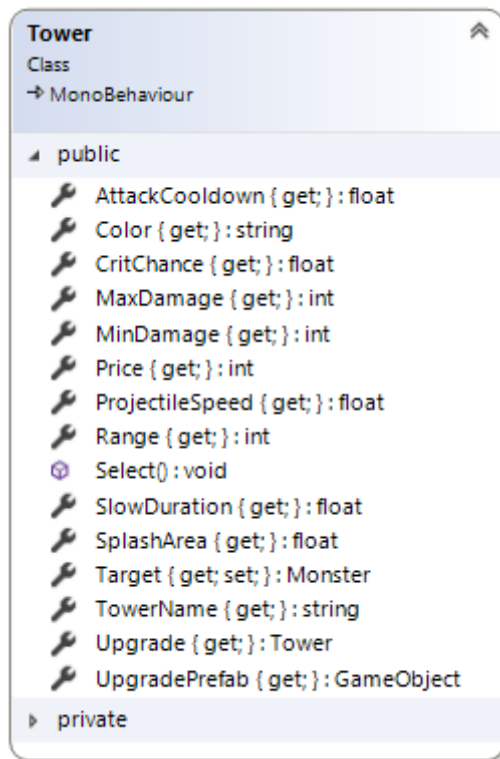
Il·lustració 29. Classe TowerTooltip

- **Hover**: Un cop el jugador ha seleccionat una torre, aquesta classe s'encarrega de mostrar la torre i el seu radi sota el cursor del jugador.



Il·lustració 30. Classe Hover

- **Tower:** Un cop el jugador ha trobat un espai lliure per construir la torre, es crea una instància d'aquesta classe. Aquesta té totes les propietats de la torre que havia seleccionat el jugador.



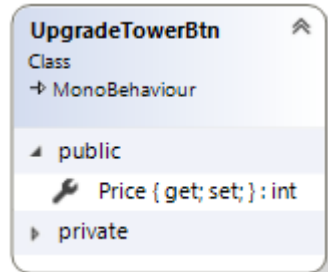
II-lustració 31. Classe Tower

- **Projectile:** Cada vegada que una torre ataca a un enemic, genera (o reutilitza) una instància d'aquesta classe. Les propietats s'inicialitzen amb la torre que l'ha generat i en impactar contra un enemic se l'hi resta vida.



II-lustració 32. Classe Projectile

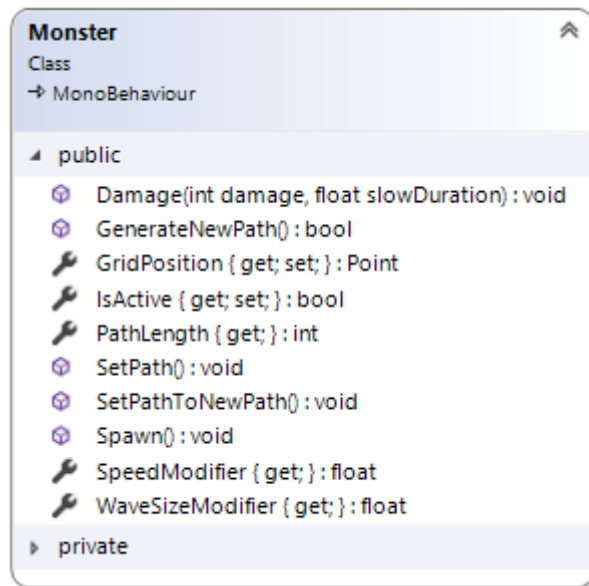
- **UpgradeTowerBtn**: Finalment, en triar una torre, la podem vendre o millorar a la següent torre disponible. Millorar una torre només està disponible quan el jugador té or suficient. Aquesta classe s'encarrega d'activar o desactivar el botó segons l'or disponible pel jugador.



II-lustració 33. Classe UpgradeTowerBtn

Els enemics estan formats per dues classes:

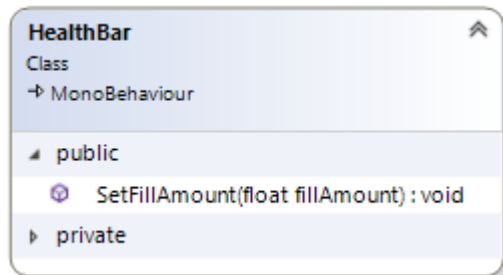
- **Monster**: Aquesta és la classe com a tal dels enemics. Cada enemic és una instància d'aquesta classe. Tenen uns punts de vida, una velocitat i un camí. Si arriben al seu destí, tornen a aparèixer al començament del nivell.



II-lustració 34. Classe Monster



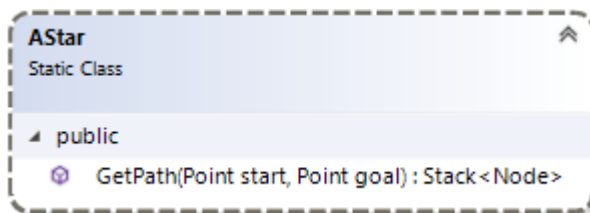
- **HealthBar**: Aquesta és la barra de vida que es mostra a sobre dels enemics. Cada instància de Monster té una instància de HealthBar.



II-lustració 35. Classe HealthBar

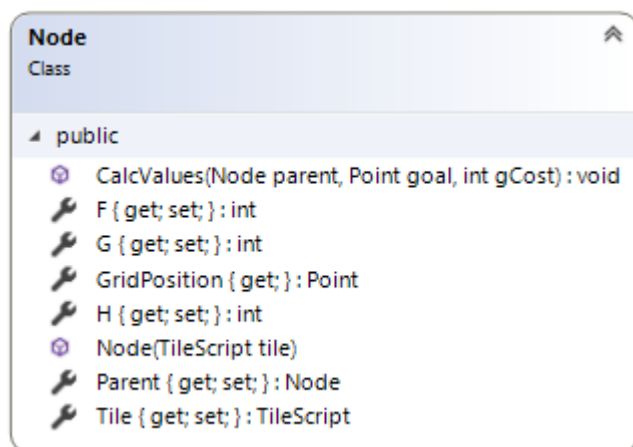
Per calcular el camí a seguir pels enemics, s'usa l'algoritme A\*. Per aplicar-lo, usem dues classes:

- **AStar**: Aquesta és la classe que s'encarrega d'aplicar l'algoritme. El seu únic mètode públic, GetPath, retorna una pila de nodes amb el camí trobat entre el punt d'inici i el punt de destí.



II-lustració 36. Classe AStar

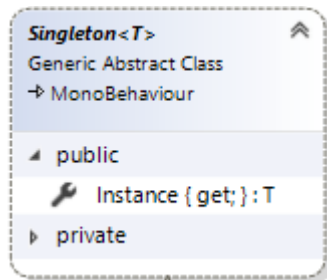
- **Node**: Aquesta és la classe usada per representar els nodes de l'algoritme A\*. Usa l'Struct Point per definir les coordenades del node.



II-lustració 37. Classe Node

Per millorar el rendiment del joc, s'han implementat dos patrons de disseny. El primer és el patró *Singleton*, implementat per reduir el nombre d'instàncies d'algunes classes.

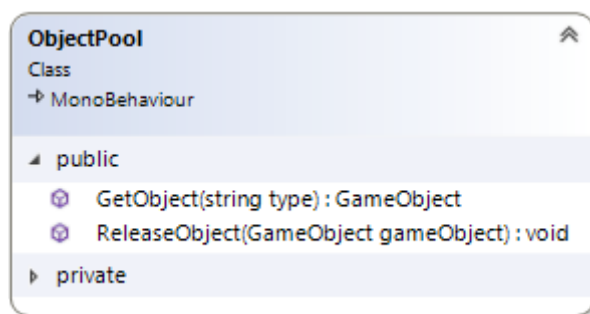
- **Singleton:** Classe abstracta amb la propietat pública Instance, que s'encarrega de què les classes que heretin d'ella siguin usades amb una única instància. Les subclasses que implementen aquest patró són SoundManager, GameManager, LevelManager i Hover.



Il·lustració 38. Classe Singleton

El segon patró de disseny implementat és l'*Object Pool*. És un patró realment important que ens evita generar i destruir instàncies de nous objectes constantment, activant-los i desactivant-los.

- **ObjectPool:** Classe que s'encarrega de manejar els objectes que es poden reutilitzar en el joc. Les instàncies que es guarden en el *pool* d'objectes són les de Monster i les de Projectile. Aquesta segona és molt important sobretot quan el nombre de torres del jugador augmenta, ja que instanciar i destruir molts d'objectes podria causar una sobrecàrrega de la CPU de l'usuari per culpa del *Garbage Collector* de .Net.



Il·lustració 39. Classe ObjectPool

## 4.6 IA dels enemics

En aquest videojoc la IA dels enemics és simple: el seu objectiu és arribar a un punt definit del mapa i per fer-ho apliquen l'algorisme heurístic A\*.



Il·lustració 40. Camí seguit pels enemics per anar de A a B

El camí més curt entre la posició de l'enemic i el seu destí pot variar segons on el jugador posiciona les torres. Com al jugador se li permet construir torres noves inclús mentre els enemics es troben per la pantalla, és necessari recalculer el camí de cada enemic sempre que el jugador construeixi una torre nova o vengui una.

En realitat, el recàlcul del camí es realitza just abans de construir la torre, ja que si la construcció de la torre bloqueja el camí d'alguns dels enemics, es cancel·la la construcció. Això es degut a que els enemics no tenen cap mecanisme per passar sobre les torres del jugador o destruir-les.

Un cop s'ha validat que no hi ha cap enemic amb el camí bloquejat, s'actualitza la ruta de cadascun dels enemics amb el nou camí.

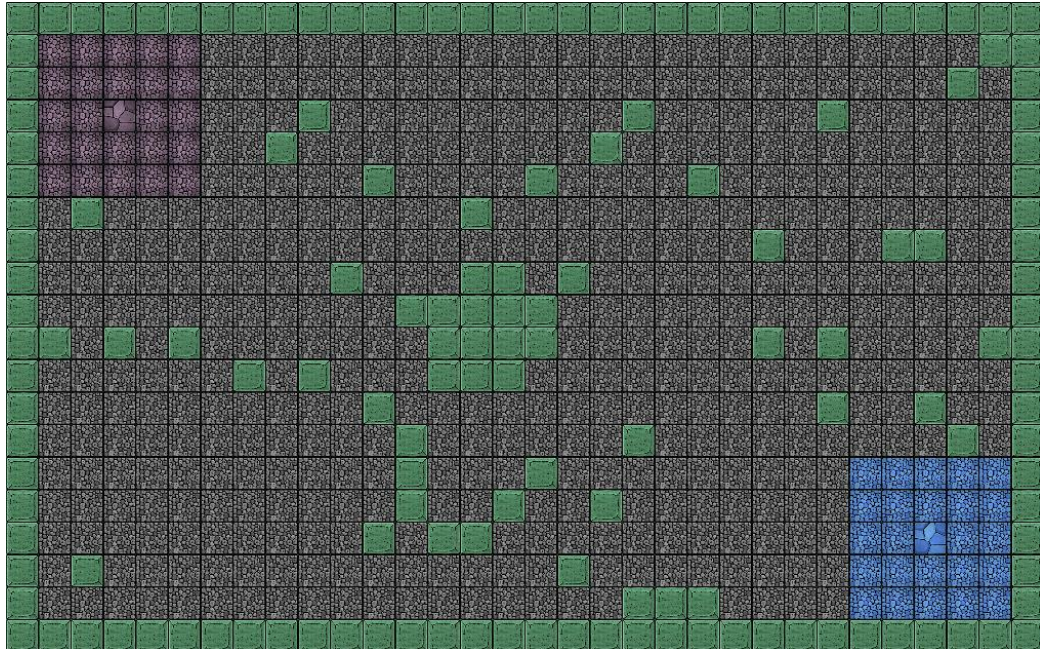
Per tant, l'algorisme A\* s'executa per cadascun dels enemics en les següents situacions:

- L'enemic apareix en el punt de sortida del mapa.
- El jugador ven una torre.
- El jugador intenta construir una torre.

En el cas dels dos darrers punts, si hi ha molts d'enemics al mapa, és possible que es ralenti el joc momentàniament degut a totes les execucions simultànies de l'algorisme A\*.



Durant la generació del mapa, cada cel·la amb codi 0 té un 10% de probabilitats de convertir-se en una cel·la amb codi 5, és a dir, cada casella on tant es pot caminar com construir es pot convertir en un mur. D'aquesta manera s'aconsegueix que cada partida sigui lleugerament diferent de l'anterior i dóna al jugador l'oportunitat de poder aprofitar els recursos que ofereix el mapa per crear nous camins pels enemics.



**Il·lustració 43. Resultat de la generació d'un mapa**

El mapa està dissenyat perquè càpiga en una pantalla d'ordinador, evitant així que el jugador hagi de moure's pel mapa i permetent que pugui veure tot el que passa amb un simple cop d'ull. Per a pantalles més petites està implementat un controlador que gestiona el moviment pel mapa tant emprant el teclat com el ratolí.

Amb el teclat, el jugador es pot moure pel mapa amb les tecles ASDW o les fletxes. Amb el ratolí, pot estirar el mapa emprant el botó dret del ratolí o pot fer zoom amb la roda.

## 6. Manual d'usuari

Tal com s'ha comentat en el punt 4.2, els requisits tècnics per l'execució del videojoc són:

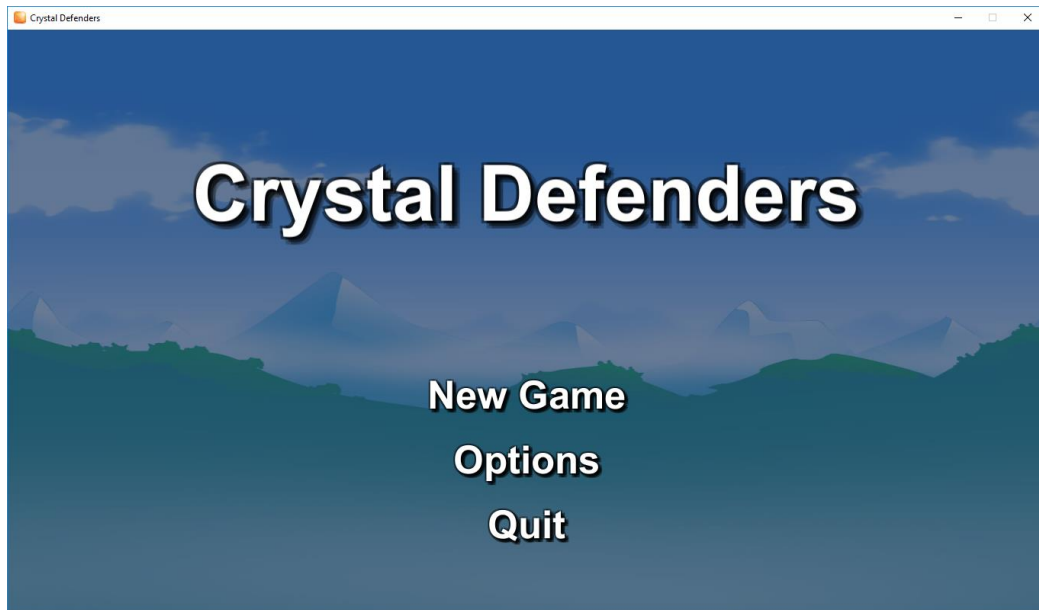
- **OS:** Windows 7 SP1+ o posterior.
- **CPU:** Suport per executar el conjunt d'instruccions SSE2.
- **GPU:** Targeta gràfica compatible amb *DX10 (shader model 4.0)*.

El primer que veurà el jugador en executar el joc és una pantalla inicial de configuració. Des d'aquí pot triar la resolució de pantalla amb la qual s'estimi més jugar.



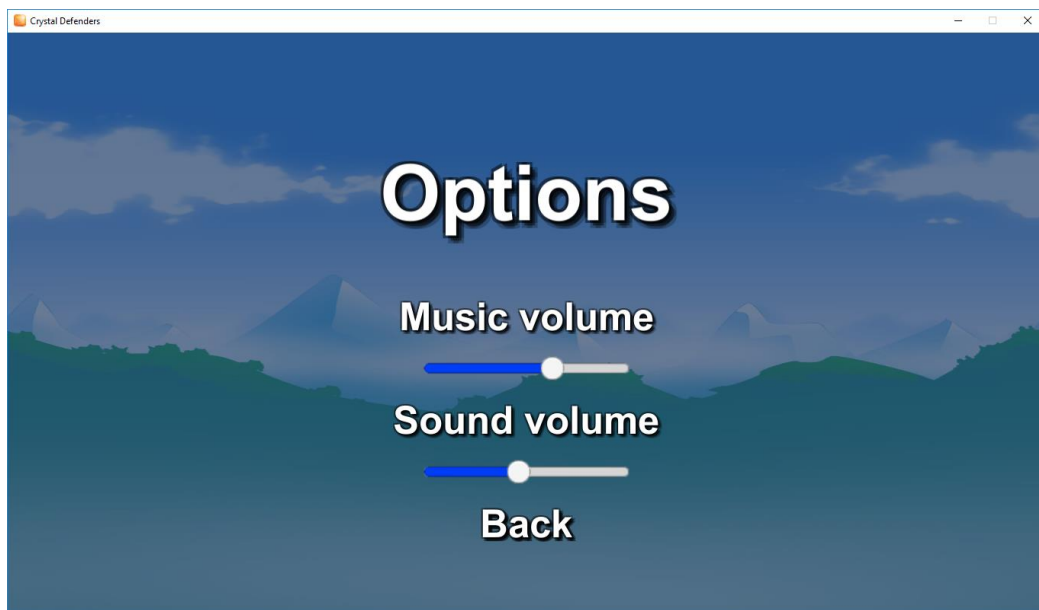
II-lustració 44. Pantalla inicial de configuració

La següent pantalla és la pantalla del menú d'inici. Des d'aquí es pot accedir a la configuració del volum de so, començar una partida nova o tancar l'aplicació.



**Il·lustració 45. Menú principal del joc**

El menú d'opcions és molt simple, ja que només permet configurar les opcions de so. Aquestes opcions es queden guardades per l'usuari, de manera que les seves preferències es mantenen entre diferents execucions del videojoc.



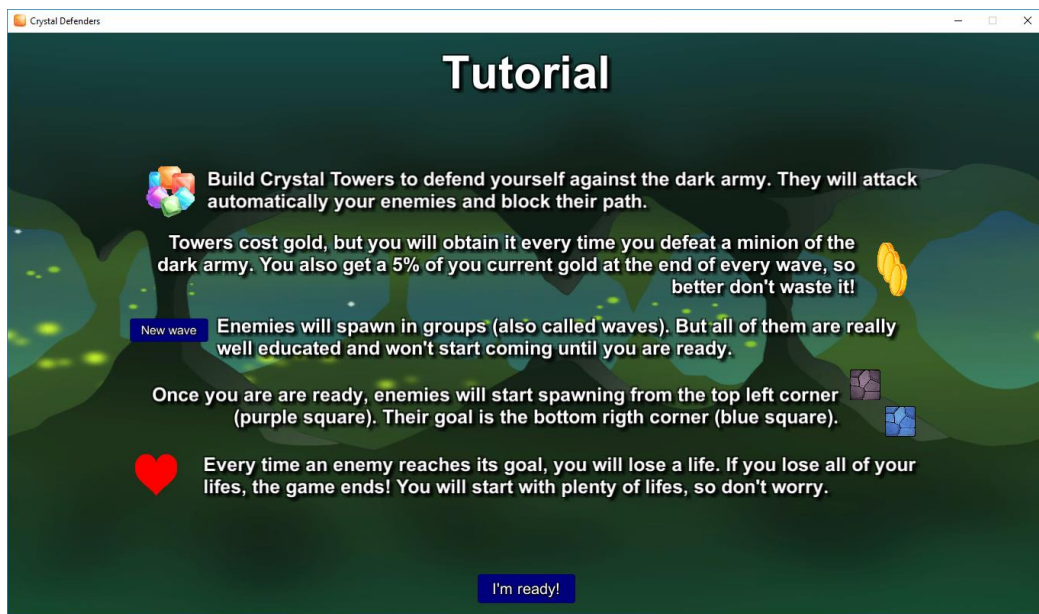
**Il·lustració 46. Opcions del menú principal**

La següent pantalla que apareix, quan el jugador decideix començar una partida nova, serveix explicar l'argument del videojoc.



Il·lustració 47. Pantalla amb la història del joc

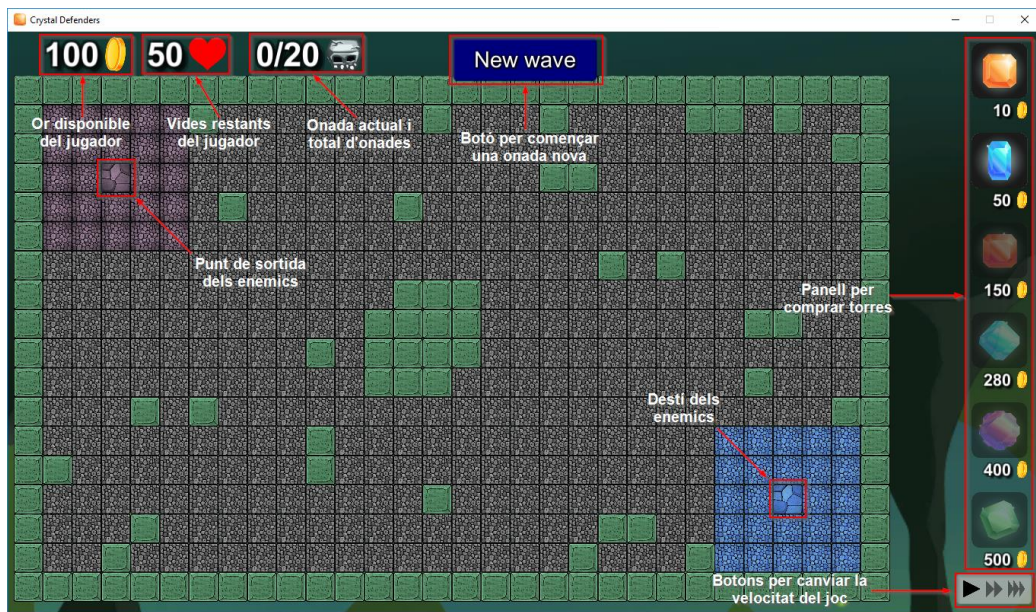
Aquesta segueix d'un petit tutorial per a que el jugador conegui els elements més importants del joc:



Il·lustració 48. Pantalla amb el tutorial del videojoc

Un cop el jugador comença una partida nova, es genera un mapa i se l'hi presenta aquesta pantalla:





II-lustració 49. Pantalla d'una partida amb els elements ressaltats (I)

Aquí l'objectiu del jugador és impedir que els enemics arribin al seu destí mitjançant la construcció de torres que els ataquin.

El jugador comença amb 100 monedes d'or i el primer que ha de fer és construir torres per poder-se defensar de la primera onada. Al començament només té dues torres que triar, però derrotant els enemics que surten pot aconseguir més or i comprar torres més poderoses.

Un cop el jugador estigui preparat, haurà de clicar el botó *New wave* i començaran a sortir els enemics.



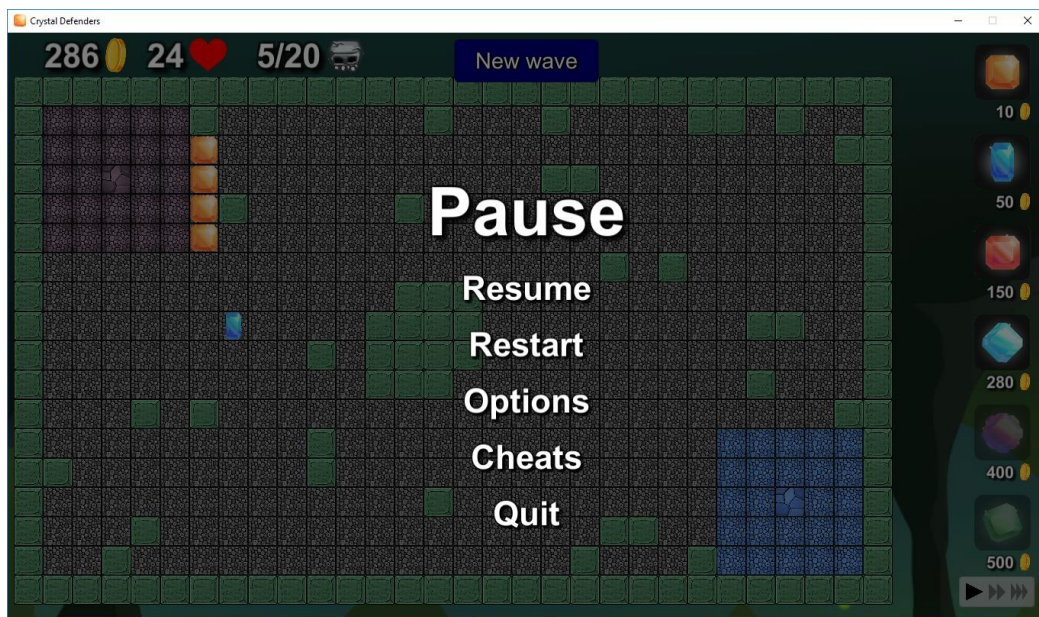
II-lustració 50. Pantalla d'una partida amb els elements ressaltats (II)

Durant la partida, el jugador pot seleccionar qualsevol torre per vendre-la o per millorar a la següent torre, pagant la diferència entre el preu de

venda de la torre seleccionada i el de compra de la següent torre. El preu de venda de les torres és igual a la meitat del seu preu de compra.

Amb els botons de la part superior esquerra de la pantalla pot augmentar la velocitat del joc. La primera fletxa és la velocitat estàndard del joc, velocitat x1. La següent accelera el joc a velocitat x3. Finalment, la darrera accelera el joc a velocitat x5.

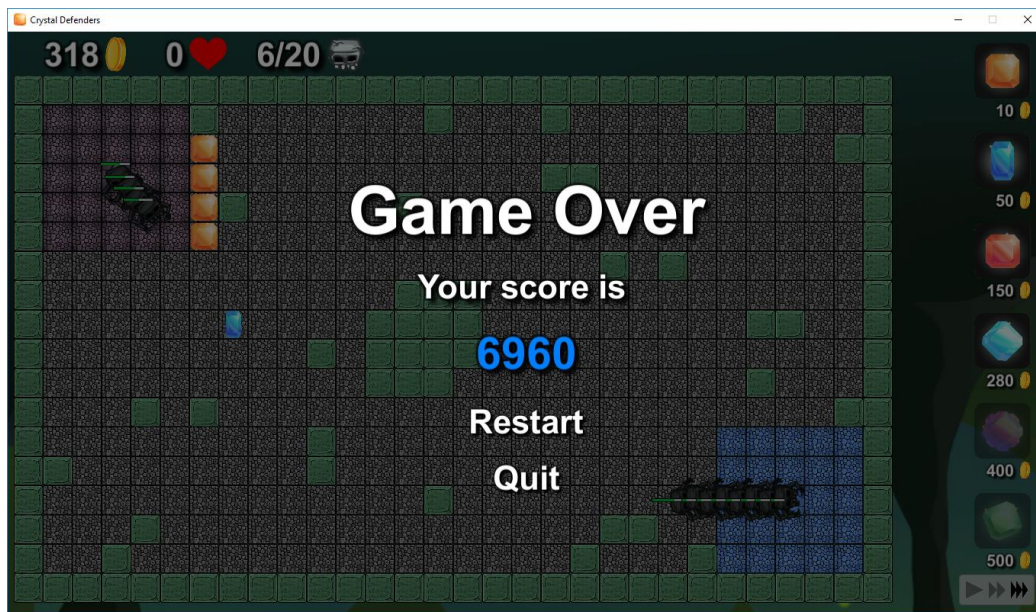
Amb la tecla Esc, el jugador pot aturar la partida i accedir al menú del joc, des d'on podrà configurar de nou les opcions de so, tancar el joc, començar de nou o accedir a un menú de trucs, per afegir-se vides i or.



Il·lustració 51. Pantalla del joc pausat

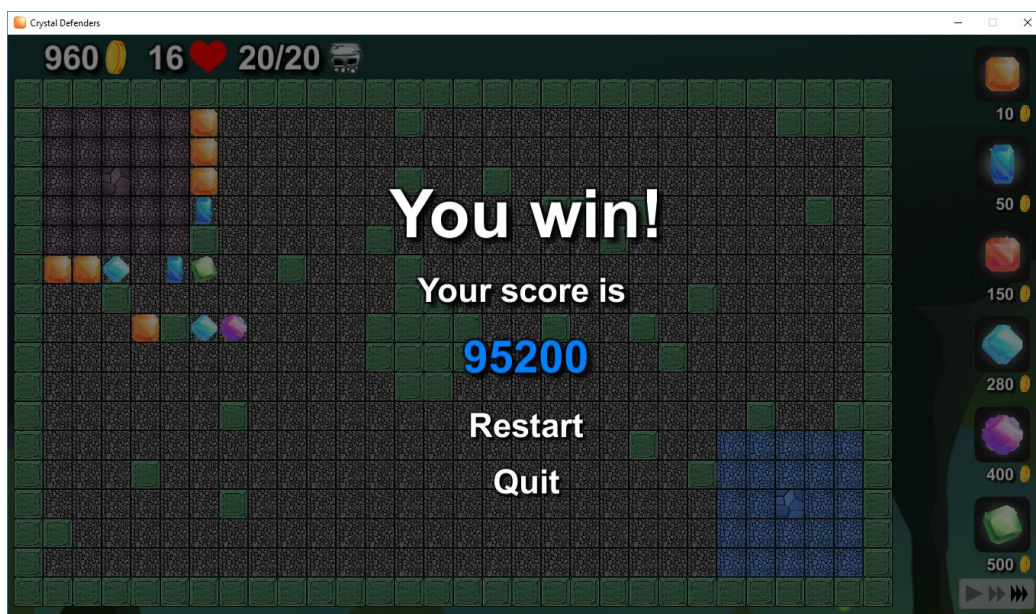
Cada cop que un enemic arribi al seu destí, el jugador perd una vida. Si les vides del jugador arriben a 0, la partida s'acaba.

A la pantalla de final de partida, el jugador rebrà una puntuació depenent dels enemics derrotats i tindrà l'opció de començar una partida nova.



Il·lustració 52. Pantalla de final de partida

Si el jugador supera totes les onades, rebrà puntuació addicional per l'or i vides restants, i l'hi apareixerà una pantalla amb el missatge de victòria.



Il·lustració 53. Pantalla de victòria

La millor estratègia és usar les torres inicials, *Amber Tower*, només per tancar els murs i començar a crear un camí pels enemics.

El següent objectiu és comprar la segona torre, *Sapphire Tower*, perquè és la primera torre amb un atac en àrea, i és una habilitat molt efectiva en aquest videojoc.

La tercera torre, *Ruby Tower*, només és recomanable comprar-la si es té problemes amb els enemics més ràpids: les aranyes. En cas contrari, és recomanable estalviar per poder comprar la *Turquoise Tower*, ja que

disminueix la velocitat de moviment de tots els enemics que fereix i té atac en àrea.

A partir d'aquí, es pot intentar estalviar per comprar la darrera torre ja, *Emerald Tower*, i intentar fer un laberint d'aquestes, posant de tant en tant una *Turquoise Tower* perquè els enemics sempre vagin lents.

## 7. Conclusions

Des de sempre m'han agradat molt els videojocs. Quan era més petit, m'havia acostat al món de la creació dels videojocs amb l'eina RPG Maker<sup>16</sup>, que et permet crear jocs sense cap coneixement sobre programació. Aquest programari permetia crear scripts en Ruby, però sempre se m'havia quedat gran.

Un cop vaig aprendre a programar, em varen tornar les ganes de fer un videojoc, però mai trobava temps per fer-ho. El TFG va ser l'excusa perfecta per finalment crear un videojoc: aquesta vegada no em quedaria més remei que dedicar-li temps.

He de dir que personalment, la realització d'aquest treball ha estat un èxit. Finalment, he après el procediment per fer un videojoc i he pogut tocar amb les meves pròpies mans el codi que fa que tot funcioni.

Al començament, vaig tenir alguns entrebancs. Desconeixia Unity i encara no sabia quines eren les formes més adients d'organitzar les classes i propietats. Per aquest motiu, just després de la versió inicial del mapa, em vaig veure obligat a començar de nou el projecte, perquè no havia plantejat bé la classe per representar les caselles del joc.

En aquest moment em vaig haver d'aturar i dedicar més temps a aprendre com es fa un joc en Unity, consultant els tutorials dels quals disposa la mateixa web i diferents fòrums d'internet.

Aquesta situació hauria d'haver endarrerit el projecte, però no va ser així. Un cop havia après la metodologia del desenvolupament de classes i escenes en Unity, vaig adonar-me que algunes tasques de la planificació original estaven sobrevalorades, el que em va permetre recuperar el temps perdut.

A més, gràcies als comentaris del professor de la primera PAC, vaig adonar-me que els meus objectius originals eren molt ambiciosos i que era millor fer una estructura bàsica pel joc que després pogués expandir. Aquesta manera de pensar l'estic aplicant dia a dia al meu treball: crear una estructura nova i amb les funcionalitats mínimes d'un nou programari permet poder rebre feedback més aviat per parts dels usuaris i facilita la paral·lelització de noves tasques perquè múltiples programadors desenvolupin sobre el mateix programa.

També me n'he adonat de la complexitat que presenta un videojoc en l'àmbit del balanceig i crec que és el punt més dèbil del treball. És molt complicat trobar un punt de dificultat idoni entre molt fàcil i molt difícil, sobretot quan hi ha tantes variables en joc: vida dels enemics, quantitat,

---

<sup>16</sup> Es pot trobar més informació sobre l'eina a <http://www.rpgmakerweb.com/>

or, mal de les torres, preus, forma del mapa... Hi ha jocs que triguen anys a treure una versió final i ara puc entendre bé per què.

Inicialment, no volia incloure elements aleatoris en el joc, però he après que perquè un joc sigui interessant sense elements aleatoris hauria de ser més complex o ràpidament es torna repetitiu. L'únic element aleatori que té un vertader impacte en el joc és la generació semialeatòria del mapa, que obliga al jugador a canviar lleugerament la seva estratègia segons la posició dels murs.

Aquesta aleatorietat ha estat molt fàcil d'implementar i crec que l'hi aporta molta força. És per això que en un futur m'agradaria afegir més elements d'aquest tipus, que facin cada partida més única.

El llistat de tasques futures que quedarien pendents serien:

- Seguir treballant en la dificultat del videojoc. Ara mateix és molt fàcil. Una manera de solucionar-ho podria ser creant distints nivells de dificultat.
- Afegir més elements aleatoris que facin les partides úniques. Una idea seria oferir al jugador tres millores triades a l'atzar al final de cada 3 onades i que el jugador es pogués quedar amb una. Aquestes millores haurien de tenir un impacte sobre el joc suficientment gran perquè l'estratègia seguida pel jugador s'hagués d'adaptar a les millores presentades.
- Crear noves varietats de torres o fer-les més úniques, de manera que totes siguin útils en una situació donada.
- Millorar l'algoritme de creació del mapa inicial perquè hi hagi major varietat entre els mapes generats per una partida i una altra.
- Adaptar el joc per poder ser jugat en dispositius mòbils i amb pantalla tàctil.

## 8. Bibliografia

Hill-Whittall, Richard. *The Indie Game Developer Handbook*.  
Primera edició, Abingdon, 2015.

*Tower Defense: Bringing the genre back*,  
[https://web.archive.org/web/20140203062250/http://palgn.com.au/11898/  
tower-defense-bringing-the-genre-back/](https://web.archive.org/web/20140203062250/http://palgn.com.au/11898/tower-defense-bringing-the-genre-back/), consultat en maig del 2019.