

---

This is the **published version** of the bachelor thesis:

Sanz Martinez, Joel; Hernández i Sabaté, Aura, dir. Vector TD Plus. 2021. (958 Enginyeria Informàtica)

---

This version is available at <https://ddd.uab.cat/record/257823>

under the terms of the  license

# Desenvolupament d'un videojoc estil Tower Defense per fomentar el raonament matemàtic

Joel Sanz Martinez

**Resum**— Aquest projecte sorgeix de la idea d'aprofitar l'atractiu que tenen els videojocs en els joves per fomentar certs aspectes del pensament, com pot ser el raonament matemàtic. Per aconseguir aquest objectiu aquest treball proposa un joc dinàmic i entretingut que presenti un repte sense arribar a ser frustrant per el jugador. L'estètica del joc ha de ser agènere per tal d'incloure a aquelles persones que no es sentin atretes per certes temàtiques o estètiques més definides. Per aquest motiu el joc està inspirat en el joc Vector TD 2.

**Paraules clau**—Videojocs, Projecte, Programació, Java, Tower Defense, Estratègia, Vector TD, Estètica agènere.

**Abstract**—This project stems from the idea of using videogames' appeal to young people to encourage strategic and mathematic thinking. To achieve this goal, the game must be both dynamic and entertaining while presenting a real challenge without it being frustrating to the Player. The game's aesthetic must be gender neutral in order to appeal and include those who are not attracted to more gender-defined aesthetics, therefore the game's aesthetics is inspired by the game Vector TD 2.

**Index Terms**—Project, Videogame, Programming, Java, Tower Defense, Vector TD, Gender-neutral aesthetic.

---

## 1 INTRODUCCIÓ

LA presencialitat dels videojocs en l'última dècada ha crescut d'una manera que ningú sospitava, passant d'un paper exclusivament d'entreteniment cap a un públic molt concret fins a estar presents en la majoria de dispositius existint algun videojoc destinat a qualsevol tipus de públic, ja siguin jugadors habituals o jugadors més casuals.

Al mateix temps, i en ple segle XXI, l'ensenyament de les matemàtiques continua sent un repte per a la comunitat matemàtica a nivell internacional, també al nostre país. L'evidència científica acumulada en els últims anys apunta sobre la potencialitat d'alguns videojocs per promoure aprenentatges relacionats amb les matemàtiques. En diverses investigacions s'han observat evidències dels efectes positius dels videojocs com a eines d'aprenentatge, fins i tot en entorns no educatius[1]. En particular, hi ha estudis explorant la potencialitat dels videojocs comercials per promoure aprenentatges matemàtics o relacionats amb

l'activitat matemàtica a partir de l'activitat de joc no dirigida[2, 3].

Aquest projecte contribueix a la possibilitat d'utilitzar videojocs com a eina d'aprenentatge, més enllà del seu ús per a l'entreteniment[5, 6] proposat un videojoc basat en un videojoc comercial del gènere RTS(Real Time Strategy). En particular hem emulat el videojoc *Vector TD 2*[Fig 1], recreant el videojoc de la manera més fidel possible i afegint mecàniques i eines noves per complementar-lo i reforçar la idea de desenvolupar el raonament matemàtic.

A més s'han incorporat funcions per obtenir dades rellevants sobre la partida com la col·locació i impacte que té cada torre a la partida, fet que permet la seva anàlisi a diferents nivells.

- 
- E-mail de contacte: [1362679@uab.cat](mailto:1362679@uab.cat)
  - Menció realitzada: Computació
  - Treball tutoritzat per: Aura Hernández Sabaté (Ciències de la Computació)
  - Curs 2021/22



Figura 1 – Videojoc Vector TD 2.

Per desenvolupar aquest projecte s'ha optat per utilitzar el llenguatge de programació orientat a objecte *Java* i la utilització de la classe *Graphics2D* per al dibuixat de tots els components que conformen el joc.

### 3.1 Vector TD 2

Els videojocs Tower Defense són un subgènere dels videojocs d'estratègia en tems real (RTS), que consisteixen en evitar l'arribada d'entitats enemigues a un punt concret d'un camí o una estructura. Per evitar que arribin al destí el jugador col·loca unitats defensives o torres que restaran punts de salut als Vectoids i aplicaran diversos estats, com la disminució de velocitat de moviment. Cada unitat defensiva o torre té diferents costos i habilitats. Al mateix temps, els enemics també tenen diferents atributs, com poden ser armadura, velocitat de moviment o força.

La interacció de l'usuari amb el joc es duu a terme principalment als menús de les torres i de la informació de joc. Al menú de les torres el jugador pot seleccionar la torre que desitja col·locar i en cas de tenir suficients diners i col·locar la torre en una cel·la disponible, aquesta es col·loca correctament.

A més, quan es selecciona una torre ja sigui al menú o al mapa del joc, es visualitzen les estadístiques d'aquella torre en concret juntament amb les opcions de vendre la torre per recuperar una part dels diners invertits o millorar les estadístiques de la torre a canvi de diners.

Un cop el jugador vol començar la partida haurà de clicar un botó que accionarà l'aparició dels Vectoids i donarà la partida per començada. Cada cop que es finalitza una onada, la següent no apareix fins que el jugador torna a clicar el botó.

El joc disposa d'un sistema econòmic que recompensa al jugador amb 3€ per cada vectoid derrotat. A aquesta recompensa s'ha d'afegir l'interès actual, que inicialment és un 3% sobre el valor de la recompensa, i aquesta augmenta per 1€ en cada onada. Per complementar el sistema econòmic, també disposa d'un sistema de punts de bonus en el que cada 5 onades fa aparèixer un Vectoid especial que, en cas de ser derrotat, atorga un punt de bonus al jugador. Aquest bonus es pot utilitzar per

incrementar el valor d'interès per un 3% cada cop que es compra aquest bonus, comprar 5 punts de salut, o comprar torres especials que apliquen bonus d'atac o abast a les torres que estiguin al seu abast.

Els elements que s'emulen en el nostre videojoc són els elements que conformen el funcionament principal del videojoc, és a dir, el sistema d'onades de Vectoids que recorren el camí fins al punt d'arribada, el sistema de compra i venda de torres per evitar que els Vectoids arribin al final del camí i el sistema econòmic per rebre recompenses per eliminar els Vectoids i poder comprar les torres.

## 2 OBJECTIUS

L'objectiu d'aquest projecte és emular el videojoc *Vector TD 2*, adaptant-lo als recursos disponibles i afegint-hi eines de reforç que permetin promoure l'aprenentatge de les matemàtiques. Aquestes eines es componen de les següents:

- Marcador de l'abast de torre i botó per activar i desactivar-lo
- Ressaltar visualment la superposició de l'abast de dues o més torres
- Gràfica a temps real de l'activitat de les torres durant la partida
- Mapa de calor dels vectoids eliminats sobre el camí

També s'han afegit noves funcionalitats al llarg del desenvolupament del projecte que no estaven plantejades a la planificació inicial del projecte:

- Creació d'un mapa personalitzat
- Selecció de mapa
- Obtenció de dades rellevants sobre la partida, com accions de les torres o Vectoids derrotats en format csv.

## 3 ESTAT DE L'ART

### 3.1 Videojocs educatius

En referència a l'aprenentatge de les matemàtiques a partir de l'ús dels videojocs, en els darrers anys s'han desenvolupat algunes investigacions molt aclaridores del potencial didàctic dels videojocs. De fet s'han explorat diverses maneres d'utilitzar els videojocs per promoure aprenentatges matemàtics. Hi ha exemples de serious games en què es desenvolupen videojocs alineats adequadament als objectius del joc i els objectius de l'aprenentatge. Aquest seria el cas del semideus[7], un videojoc on les mecàniques de joc fan necessari treballar amb el valor de les fraccions per avançar en l'aventura proposada.



Figura 2- Exemples de nivells de Semideus.

Un altre exemple molt interessant és DragonBox Algebra[8], on les operacions bàsiques per resoldre equacions de primer grau s’han traduït en format visual i els alumnes aprenen els seus fonaments sense necessitat de passar per aspectes abstractes en primera instància.

Una altra opció és crear seqüències d’aula basades en un videojoc comercial. A l’article[3] es fa servir un videojoc del gènere dels puzzles tridimensionals. S’acompanya l’activitat de joc d’una seqüència d’activitats que es plantegen perquè els alumnes de primària visualitzin les plataformes tridimensionals del joc suportant-se en l’ús de materials manipulatius. En aquesta seqüència, són especialment interessants els productes que desenvolupen els alumnes en forma de plataformes tridimensionals que podrien ser nous nivells a incorporar al videojoc.

Per part seva, els autors de [9] usen el videojoc comercial *Plague Inc: Evolved* per introduir l’ús de funcions per modelitzar aspectes essencials del joc amb estudiants de secundària promovent el treball de modelització matemàtica i l’estudi de la funció logística. D’aquesta manera, l’activitat matemàtica promoguda a la feina d’aula amb el videojoc és la modelització matemàtica.

## 4 METODOLOGIA

A continuació s’expliquen les metodologies i recursos utilitzats al llarg d’aquest projecte.

### 4.2 Metodologia SUM

Per dur a terme aquest projecte s’ha adaptat una metodologia SUM[10], que consisteix en una adaptació de la ja coneguda SCRUM[11] però a l’àmbit dels videojocs. Aquesta metodologia proposa 6 fases a seguir per la realització del projecte.

La primera fase és el desenvolupament del concepte. En aquesta fase s’estableixen els objectius del projecte i aspectes com l’estètica i la classe (*estratègia, shooter, roguelike*) del videojoc, el tipus de gameplay. En aquest cas, aquesta fase es va dur a terme principalment durant la primera reunió amb la tutora del projecte.

La segona fase consisteix en la planificació de les següents fases del projecte i el projecte en general. Durant aquesta fase és important la creació d’un cronograma on s’especifiquin les tasques a desenvolupar, personal disponible (en aquest cas, només una persona), pressupost etc..., per tal d’obtenir una planificació el més flexible possible.

A continuació comença la tercera fase, la fase d’elaboració. Aquesta és la fase de desenvolupament pur, al llarg d’aquesta fase s’implementen les tasques i funcions especificades durant la fase de planificació. Es treballa de manera iterativa, generant una versió executable al final de cada iteració per tal de poder avaluar l’evolució del projecte eficientment i poder realitzar canvis a la planificació si fos necessari.

A mesura que la fase d’elaboració arriba al seu tancament, s’inicia la fase de Beta. Durant aquesta fase s’avaluen aspectes com el gameplay, dificultat i diversió entre d’altres per poder ajustar-los abans de la fase de tancament. També s’aprofita aquesta fase per detectar i eliminar els possibles errors i bugs que puguin aparèixer al llarg de la fase de desenvolupament.

Per finalitzar, a la fase de tancament es realitza l’entrega del producte finalitzat i s’avaluen els problemes i solucions que hagin aparegut durant el desenvolupament per tal de plantejar millores a la metodologia.

A més, durant tot aquest procés, es duu a terme una gestió de riscos, on s’identifiquen possibles riscos que puguin aparèixer i en cas de que apareguin, la implementació de plans de mitigació.

La figura 3 mostra l’esquema complet de la metodologia amb totes les fases.

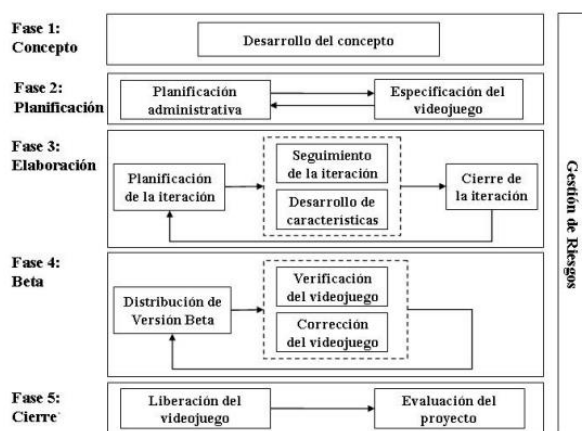


Figura 3 – Esquema de la metodología SUM.

## 4.2 Eines

Per al desenvolupament del projecte s'ha utilitzat l'entorn de desenvolupament IntelliJ per construir i implementar el projecte i l'editor de diagrames *draw.io* per la realització dels diagrames de Gantt i la creació dels *sprites* del joc.

L'elecció d'aquestes eines es va prendre arrel de la ja familiaritat de l'entorn de desenvolupament i el conjunt d'eines de qualitat de vida que incorpora IntelliJ de sèrie sense haver de descarregar complements extra. Com els suggeriments davant d'errors o l'auto completat de mètodes i variables.

## 5 DISSENY I RESULTATS

L'objectiu principal d'aquest projecte és emular el Vector TD tot i ser molt difícil d'emular a la perfecció el joc, a més tenint en compte que l'equip està format per només una persona. A continuació es llisten els elements que s'han emulat satisfactòriament i els que no. A més s'explica en detall els elements emulats i afegits.

Elements emulats:

- Mapa de la partida i camí dels vectoids
- Col·locació de les torres i disseny de torres de nivell 1
- Interfície d'usuari i menús
- Selecció de mapa
- Interacció entre torres i vectoids, incloent els bonus d'atac entre torres i vectoids de certs colors

Elements no emulats:

- Diferents modalitats de partida com el mode puzzle, time attack o lightning.
- Diferents accions de les torres de nivell 2 i 3
- Diferent opcions gràfiques
- Botó de pausa

### 5.1 Estructura del projecte

El joc s'implementa sobre un *JDialog* que inicialitza el tauler. El tauler és l'encarregat de dibuixar tots els elements del joc i les funcionalitats d'interaccions amb ratolí es deleguen a una instància de la classe *MouseListener*.

El dibuixat del joc es realitza tot a partir d'una variable anomenada *cellSize*, que es calcula al moment d'inicialització a partir de la resolució del display on es mostra el joc, per tant, l'aspecte s'escalarà depenent de la resolució.

Un cop s'executa l'aplicació s'inicialitza la classe *Board.java* la qual s'encarrega d'inicialitzar el valor del *cellSize* i de la font de la lletra. Aquesta classe és

l'encarregada del dibuixat de tots els elements del joc, tant del menú principal com del mapa, vectoids i torres.

### 5.2 Mapa de Joc

El mapa consisteix en una matriu de 22x18 sencers que s'inicialitza on els elements que són 0 són cel·les buides, on es poden col·locar torres, les caselles amb valor 1 corresponen al camí que seguiran els Vectoids, les que tenen valor 2 representen el punt de sortida dels Vectoids i les que tenen valor 3 son el punt d'arribada.

En aquest mapa transcorrerà tota la partida, el jugador col·locarà les torres comprades a les caselles disponibles. També es podrà seleccionar una torre que es trobi en el mapa per obtenir la seva informació i poder vendre o millorar la torre al menú d'informació.

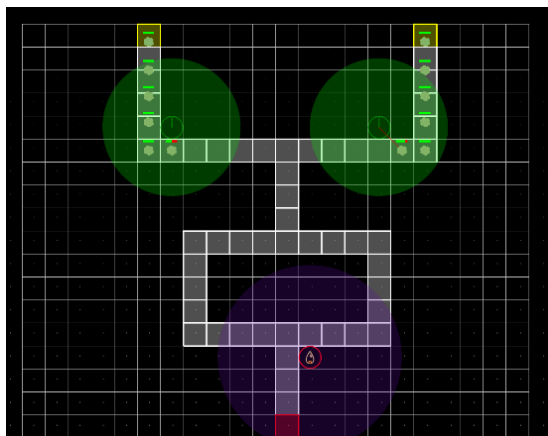


Figura 4 – Instància del mapa de joc en curs.

És en aquest mateix mapa on el jugador pot crear el seu mapa personalitzat a través de l'opció de crear mapa a la interfície de menú principal. Per crear el mapa només cal que el jugador faci clic en una casella per canviar-li el valor. 1 clic posa el valor en 1, el segon en 2, el tercer en 3 i el quart clic torna a posar la cel·la a 0.



Figura 5 – Instància del creador de mapes.

### 5.3 Menús i interfície d'usuari

A continuació es mostren les menús de torres i informació[Figura 6] i el menú d'opcions[Figura 7].

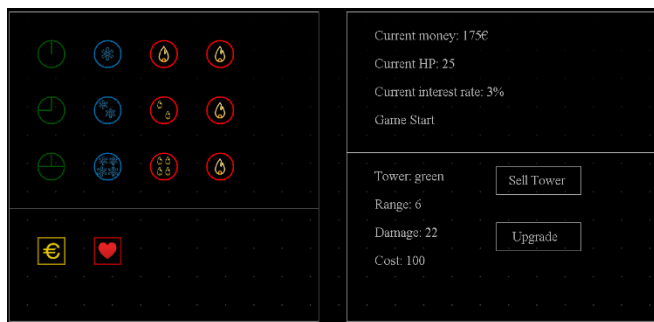


Figura 6 – Menús de compra de torres i informació.

El jugador pot controlar diversos aspectes del joc mitjançant el menú d'opcions, aquest menú permet amagar o ensenyar l'abast de les torres i el mapa de calor de Vectoids eliminats. En aquest menú es troba també el botó per començar la onada. Aquest botó queda bloquejat fins que s'acaba la onada, si el jugador intenta accionar el botó es mostra un missatge al menú d'informació indicant que la onada no s'ha acabat.



Figura 7 – Menú d'opcions.

### 5.3 Eines de suport al jugador

Una de les eines de suport extres que s'implementen en aquest projecte és la gràfica de dany acumulat. Aquesta gràfica mostra en temps real el dany que realitzen les torres als vectoids. El joc disposa d'una gràfica per la partida i una gràfica individual per cada torre, que es crea en el moment en el que es compra una torre.

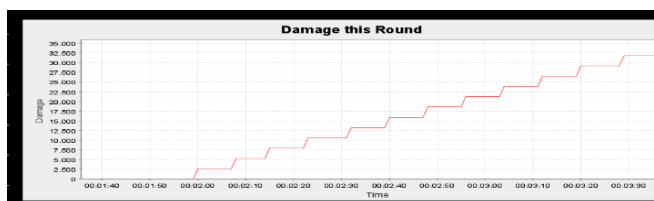


Figura 8 – Instància de gràfica a temps real

La segona eina que s'ha implementat és el marcador d'abast de les torres. Si bé Vector TD 2 incorpora un marcador d'abast, aquest només marca el perímetre de la

circumferència d'abast. En el nostre joc hem optat per marcar tota l'àrea d'abast i hem utilitzat el format de color *rgba* per pintar aquesta àrea. El fet d'utilitzar *rgba* ajuda a visualitzar les interseccions entre les torres, millorant la seva visualització. A més, a diferència del joc original on només es veu l'abast de la torre seleccionada, es poden veure simultàniament l'abast de totes les torres col·locades al mapa de joc.

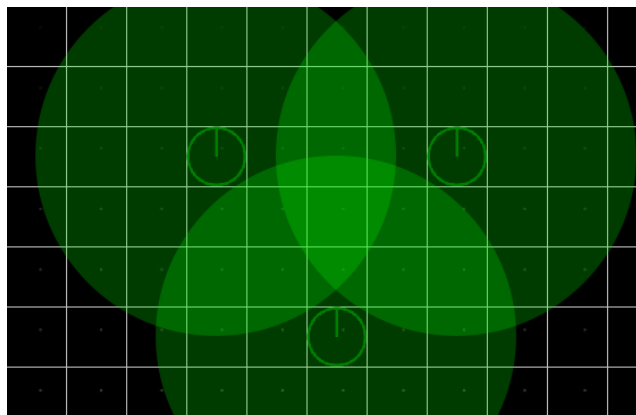


Figura 9 – Exemple d'intersecció de l'abast de diferent torres

Per mostrar el mapa de calor es manté un seguiment de les coordenades on s'ha eliminat cada Vectoid, fent ús d'una paleta de 6 colors, es calcula el rang d'eliminacions que pertany a cada color i si s'activa l'opció de mostrar el mapa de calor, aquest es superposa al camí que segueixen els Vectoids, sent el vermell indicatiu de la casella on s'han eliminat més Vectoids.

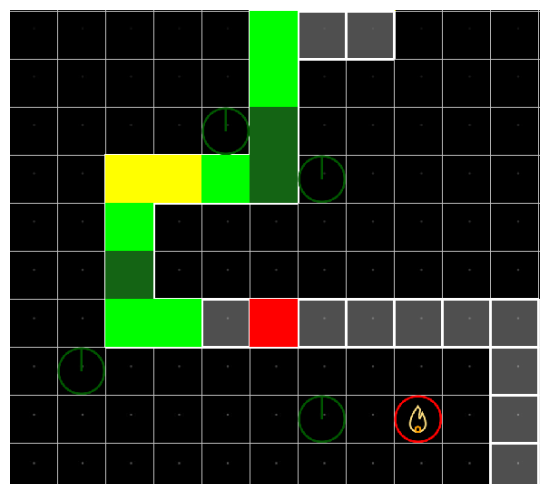


Figura 10 – Mapa de calor dibuixat en plena partida

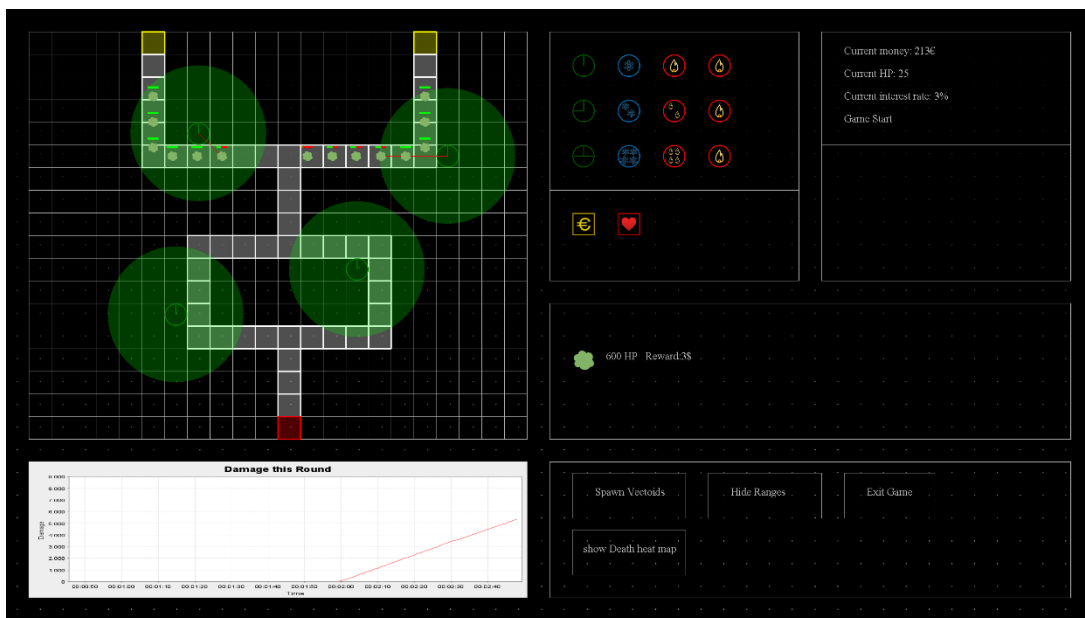


Figura 11 – Instància del videojoc complet amb una partida en curs

## 5.4 Altres eines afegides

Per poder analitzar millor la presa de decisions dels jugadors i com encaren la partida s'ha afegit una funció d'extracció de dades en format *csv* que generen un historial de dades al llarg de tota la partida. En cada partida es generen un arxiu general per a tota la partida i cada vegada que es col·loqui una torre al mapa, es genera un arxiu que guardarà un historial de les accions d'aquesta torre.

Les dades que es guarden són, tal i com es mostra a la figura 12:

- Tipus de la torre
- Posició de la torre al mapa
- Tipus d'acció
- Tipus de l'objectiu
- Valor de l'acció. 0 si és eliminació, un sencer si és un atac
- Ronda en que es realitza l'acció

	A	B	C	D	E	F
1	Tower Type	Location	Action	Target Type	Value	Round
2	green	8_5	Damage	green	22	1
3	green	8_5	Damage	green	22	1
4	green	8_5	Damage	green	22	1
5	green	8_5	Damage	green	22	1
6	green	8_5	Damage	green	22	1
7	green	8_5	Damage	green	22	1
8	green	8_5	Damage	green	22	1
9	green	19_6	Damage	green	22	1
10	green	8_5	Damage	green	22	1
11	green	19_6	Damage	green	22	1
12	green	8_5	Damage	green	22	1
13	green	19_6	Damage	green	22	1
14	green	8_5	Damage	green	22	1
15	green	19_6	Damage	green	22	1
16	green	8_5	Damage	green	22	1

Figura 12 – Arxiu amb informació sobre la partida

## 6 CONCLUSIONS I LÍNIES FUTURES

En aquest projecte hem desenvolupat un videojoc en el que s'han assolit tots els objectius proposats, els resultats són molt satisfactoris perquè permet continuar la línia de recerca d'oportunitats d'aprenentatge matemàtic en videojocs. A continuació detallo alguns aspectes que es podrien millorar o funcions que requereixen de més iteracions per perfeccionar-les de cara al futur.

Tot i que és un joc completament funcional hi manquen certs aspectes que són claus per a un videojoc, com pot ser la música que acompanya al joc i efectes de so per les diferents accions entre el jugador i el joc i els esdeveniments de la partida.

Un altre aspecte que es podria millorar és el balanceig, ja que hi ha torres que al principi de la partida són molt poderoses mentre que les altres es queden enrere. Aquest és un dels aspectes més complicats en la creació d'un videojoc i, fins i tot, les empreses més grans tenen problemes en aquest departament.

Una major varietat de torres seria una bona millora, ja que en aquesta versió, la diferència entre les torres de diferent nivell és el nombre d'objectius que pot tenir la torre. Variar entre diferents accions entre torres del mateix color podria dotar al joc d'una millor varietat a l'hora de plantejar les partides. I de la mateixa manera, tenir més varietats de Vectoids faria el joc més atractiu.

La funció d'obtenir dades en format *csv* de la partida és un bon començament per poder estudiar el comportament dels jugadors i com afronten la partida. Un tractament d'aquestes dades per facilitar el seu anàlisi seria indispensable per poder utilitzar aquest joc com a eina didàctica.

Un dels objectius era aconseguir una estètica agènere i tot i que l'estètica del joc no té un rol gaire definit, es podria millorar bastant afegint més varietat d'*sprites*.

Com a projecte de disseny d'una aplicació es poden realitzar tasques per millorar l'estructura del projecte, ja que la classe Board porta la major carrega del treball i moltes de les funcions es podrien delegar en altres classes per fer el codi més llegible.

## AGRAÏMENTS

M'agradaria agrair en primer lloc a l'Aura, la tutora d'aquest treball, tot el seu suport durant aquests mesos. Tot i els temps estranys que vivim de pandèmia i un atac informàtic a la Universitat, sempre ha estat disponible per resoldre qualsevol dubte o proporcionar indicacions i noves idees per millorar el projecte. Moltes gràcies per els consells a l'hora de fer els informes, sobre tot aquest últim. Als meus amics i família per l'interès mostrat, en especial a la meua parella i els seus consells a l'hora de redactar l'informe.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Connolly, T.M. Boyle, E.A, MacArthur, Hainer, T., & Boyle, J.M. (2012) A systematic literature review of empirical evidence on computer games and serious games. *Computes & educacion*. 59(2), 661-686.
- [2] Albarracín, L., Hernández-Sabaté, A., & Gorgorió, N. (2017). Los videojuegos como objeto de investigación incipiente en Educación Matemática. *Modelling in Science Education and Learning*
- [3] Albarracín, L. (2021). Una secuencia de actividades para desarrollar la visualización usando un videojuego. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 39(2), 181-199.
- [4] Albarracín, L., Hernández-Sabaté, A., & Gorgorió, N. (2021). Designing levels of a video game to promote spatial thinking. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, in press, <https://doi.org/10.1080/0020739X.2021.1953626>.
- [5] Hernández-Sabaté, A., Joanpere, M., Gorgorió, N., & Albarracín, L. (2015). Mathematics learning opportunities when playing a tower defense game. *International Journal of Serious Games*, 2(4), 57-71.
- [6] Hernández-Sabaté, A., Albarracín, L., Calvo, D., & Gorgorió, N. (2016, December). EyeMath: Identifying mathematics problem solving processes in a RTS video game. In *International Conference on Games and Learning Alliance* (pp. 50-59). Springer, Cham.
- [7] M. Ninaus, K. Kiili, J. McMullen Y K. Moeller, Assessing fraction knowledge by a digital game. *Computers in Human Behavior*, 70(1) (2017), 197-206.
- [8] J. Gutiérrez, D. Arnau Y J. A. González, Un estudio exploratorio sobre el uso de dragonbox algebra como una herramienta para la enseñanza de la resolución de ecuaciones. *Ensayos: Revista de la Facultad de Educación de Albacete*, 30(1) (2015), 33-44
- [9] P. Frejd Y J. B. Årleback, Initial results of an intervention using a mobile game app to simulate a pandemic outbreak, *Mathematical modelling and applications*, (pp. 517-527), Springer, 2017.
- [10] SUM, Online. <http://www.gemserk.com/sum/>
- [11] SCRUM, Online <https://www.scrum.org/resources/what-is-scrum>