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

Querol Egido, Albert; Oropesa Física, Ana, dir. Falling Boxes: joc amb dificultat adaptativa. 2023. (958 Enginyeria Informàtica)

This version is available at <https://ddd.uab.cat/record/272813>

under the terms of the  license

Falling boxes: joc amb dificultat adaptativa

Albert Querol Egido

Resum— En aquest document es presenta un videojoc 2D anomenat “Falling Boxes” amb dificultat adaptativa de gènere *Dodge'em up*. El joc utilitza la senzilla mecànica d'esquivar, en aquest cas el jugador haurà de moure's per una sèrie de carrils en els quals aniran caient caixes que haurà d'evitar. El joc conté una sèrie de nivells que són avaluats mitjançant algorismes genètics per extreure certes dades que serviran per poder assignar-li una dificultat a cada un d'aquests, per posteriorment poder extreure les mateixes dades del jugador i poder-lo relacionar amb un nivell d'acord amb la seva habilitat. El treball presentat en aquest document proporciona una solució per enfocar el desenvolupament dels videojocs a una millor experiència de joc pels jugadors, ja que podem trobar una àmplia varietat d'aquests, “Falling Boxes” és un clar exemple d'un joc dirigit a usuaris amb diferents nivells d'habilitats i millora significativament l'experiència de joc, augmentant la retenció i la satisfacció del jugador.

Paraules clau— Ajustament de dificultat, videojocs, intel·ligència artificial, algorismes genètics, entreteniment.

Abstract— This document features a 2D video game called “Falling Boxes” with adaptive difficulty of the Dodge'em up genre. The game uses the dodge simple mechanic, in which case the player will have to move along a series of lanes on which boxes will fall that he will have to avoid. The game contains a number of levels that are evaluated using genetic algorithms to extract certain data that will serve to assign a difficulty to each of these, so that the player can extract the same data and relate it to a level according to his skill. The work presented in this document provides a solution for focusing game development on a better game experience for players, as a wide variety of players can be found, “Falling Boxes” being a clear example of a game aimed at users with different levels of skill and significantly improves the game experience, increasing the player's retention and satisfaction.

Index Terms— Difficulty adjustment, video games, artificial intelligence, genetic algorithms, entertainment.



1 INTRODUCCIÓ

DES dels salons de les màquines recreatives dels anys setanta, fins a les modernes consoles o PC destinats al món del *gaming*: la indústria dels videojocs ha evolucionat de manera exponencial, convertint-se en un paper important de la societat actual. En l'actualitat, aproximadament el quaranta per cent de la població mundial té interès en els videojocs [1] i aquest nombre està en constant creixement [2]. Amb la creixuda d'usuaris al sector no és difícil preveure que la facturació d'aquesta indústria no parará de créixer [2].

En paral·lel a l'evolució i creixement de la indústria dels videojocs, la intel·ligència artificial (IA) està formant un paper important en el desenvolupament tecnològic actual, comprènent àrees des del *machine learning* fins a la robòtica. I és que cada cop són més les àrees d'estudi on s'integren aquestes tecnologies amb el propòsit de crear màquines

automatitzades que repliquin capacitats semblants a l'ésser humà [3].

Així mateix, combinar IA i videojocs és possible: i si no fos l'usuari qui s'adaptés al videojoc sinó que fos el videojoc que s'adaptés a l'habilitat de joc de l'usuari? Els videojocs cerquen la satisfacció del jugador per tal que serveixi com a entreteniment, i és per aquest motiu que és imperiós mantenir un nivell d'habilitat equilibrat, ja que si el nivell és molt inferior al de l'usuari, aquest s'avorrirà, i si és molt superior causarà frustració [4].

La motivació principal i la finalitat d'aquest projecte és desenvolupar un videojoc en el qual mitjançant la IA amb l'ús d'algorismes genètics aconseguir que el nivell de dificultat s'apropi i s'adapti a l'usuari que estigui jugant perquè la seva experiència sigui satisfactòria.

2 OBJECTIUS

El present treball té l'objectiu general de crear un videojoc que tingui incorporat una capa de IA perquè els nivells siguin decidits segons el nivell d'habilitat de l'usuari. A més, el projecte consta dels següents objectius específics:

- E-mail de contacte: albertquerolegido@gmail.com
- Menció realitzada: Tecnologies de la Informació
- Treball tutoritzat per: Ana Oropesa
- Curs 2022/23

1. Primerament, realitzar una investigació en aquest tipus de videojocs, on els nivells són adaptatius. D'aquesta manera, s'obté una visió més global de quins són els mecanismes utilitzats més comuns, i permet definir amb més claredat el punt de partida.
2. Familiaritzar-se amb els algorismes genètics, serà un altre dels objectius específics. Abans d'iniciar el procés de creació, és important conèixer aquesta tècnica de programació inspirada en la reproducció dels éssers vius i, que imita l'evolució biològica com a estratègia per a resoldre problemes d'optimització.
3. En línia amb el propòsit anterior, crear un algorisme genètic és un dels propòsits específics més destacables. Aquest punt comprèn la creació d'un sistema que sigui capaç d'adaptar el nivell d'habilitat o estil de joc en funció del comportament de l'usuari final.
4. Com últim propòsit, aconseguir que el joc sigui entretingut per l'usuari i que pugui notar l'adaptació de dificultat personal. Mitjanant un formulari que ompliran posteriorment de jugar s'obtindrà el *feedback* per poder treure conclusions.

3 METODOLOGIA

La metodologia escollida per executar aquest projecte ha sigut *Kanban* [5] aplicada amb l'eina *Kanbanflow* [6] que permet la gestió i planificació d'aquesta. Aquesta combinació permet organitzar i fer un seguiment de les tasques necessàries per complir l'objectiu final.

2.1 Metodologia àgil *Kanban*

Kanban s'aplica primerament creant un taulell amb columnes i una targeta per cada tasca a realitzar per finalitzar el projecte. Aquestes tasques hauran de tenir una durada aproximada i una descripció de la tasca que correspon, i s'hauran de posar al taulell a una de les columnes corresponent a l'estat d'aquesta. En general, el taulell es divideix en mínim tres columnes que seran els tres estats en el que pot estar una tasca.

1. *TO DO*: Aquesta columna s'assignen les tasques que estan per fer i estan pendents d'iniciar.
2. *IN PROGRESS*: Aquesta columna s'assignen les tasques en les quals s'està treballant.
3. *DONE*: Aquesta columna s'assignen les tasques completament acabades.

2.2 Eina *KanbanFlow*

Originàriament, el Taulell de *Kanban* [5] era una pissarra on es dibuixaven columnes relacionades amb l'estat de les tasques i aquestes es posaven escrites en una targeta amb la seva descripció a l'estat corresponent. En l'actualitat encara que la metodologia es continuï utilitzant, no s'utilitza majoritàriament de la forma tradicional, però sí que s'utilitzen solucions tecnològiques que apliquin la metodologia

de forma digital, un exemple és *KanbanFlow* [6] l'eina que s'utilitzarà per a l'organització del projecte.

4 PLANIFICACIÓ

Per la planificació del projecte s'ha elaborat un diagrama de *Gantt* [A1] el qual té dos tipus de tasques, les d'investigació i aprofundiment per adquirir coneixement per poder fer les altres tasques, que són de desenvolupament i d'aplicació d'aprenentatge. *KanbanFlow* és una eina en la qual es pot aplicar la metodologia *Kanban*.

5 ENTRETENIMENT I DIVERSIÓ

Què és el que fa que un joc sigui entretingut o divertit? Aquesta pregunta no té una resposta contundent i inamovible, s'han de tenir en compte diferents factors. Per resoldre aquesta qüestió, en els darrers anys diversos investigadors han treballat en diferents teories relacionades amb la diversió. Seguidament, s'exposen les teories proposades per Malone, Csikszentmihalyi i Raphl Koster.

5.1 Motivació intrínseca de Malone

Malone va desenvolupar una teoria de la instrucció intrínsecament motivadora. Les tres categories que comprenen la seva teoria són desafiament, fantasia i curiositat.[7].

Desafiament: Cada desafiament ha de tenir una sèrie d'objectius, que poden ser personalment significatius per al jugador o poden ser generats pel joc per a mantenir al jugador compromès. El joc proporciona retroalimentació al jugador sobre el progrés cap a la meta durant tot el joc. Pel fet que el resultat del joc és incert, això manté al jugador compromès i motivat. Quan un jugador és desafiat i té èxit a través de la lluita, l'autoestima d'un jugador pot augmentar, sempre que els comentaris del joc siguin constructius i fomentin l'aprenentatge. Un desafiament òptim no ha de ser massa difícil ni massa fàcil.

Fantasia: Malone defineix la fantasia com les imatges mentals que els jugadors creen en funció de la interacció amb l'entorn. Les fantasies més efectives en els videojocs són aquelles que estan més completament integrades amb el contingut que s'ha d'aprendre (intrínsec). La incorporació de fantasies intrínseques crea més compromís, la qual cosa augmenta la memòria del material, ja que poden satisfer les necessitats emocionals dels jugadors i ajudar-los a aprendre habilitats dins d'un context significatiu.

Curiositat: Dos tipus de curiositats són importants per a la creació reeixida de videojocs, la curiositat sensorial i cognitiva. La curiositat sensorial s'activa per l'estètica del joc (el seu aspecte, sons, creació realista d'un món o esdeveniment). La curiositat cognitiva s'activa presentant oportunitats perquè el jugador millori el seu coneixement.

Quan un videojoc està dissenyat sobre la base d'aquest marc, els jugadors estan més motivats per a jugar i aprendre.

5.2 Teoria del flux de Mihaly Csikszentmihalyi

Csikszentmihalyi defineix la teoria del flux com la possible explicació del que ocorre quan la realització d'una activitat

provoca en una persona una sensació tan plaent que l'individu la realitzarà pel pur plaer de fer-la, encara que l'activitat sigui molt complexa. [8]

Mihaly denomina "flux" a aquell "estat de concentració intens i plaent que quan una persona experimenta es queda totalment absorta en l'activitat que estigui realitzant en aquest moment".

Ell considera que aquest és un estat perfecte de motivació intrínseca, que la persona està totalment immersa en el que està fent. El grau de concentració de l'individu és tan alt que sovint perd la noció de temps i espai.

És important tenir en compte els següents requisits que s'han de complir per estar en l'estat de flux [9]:

1. Primerament, ha d'existir un equilibri o balanç entre el grau de complexitat de la tasca i la capacitat de l'individu qui la realitza.
2. Ha d'haver-hi un determinat nivell de concentració.
3. Els objectius de la tasca han d'estar clarament definits.

Entre els aspectes més positius de l'estat de flux, destaca: tenir un objectiu a aconseguir, i l'existència entre l'oportunitat i la capacitat de desenvolupament [10]. D'altra banda, tenint en compte el paper tan determinant que té la concentració, és important controlar-la per tal de no caure en l'anomenada hiperconcentració. Quan un individu arriba a aquest punt, està absorbt per complet, i pot conduir a descuidar la resta de responsabilitats, per exemple.

5.3 Teoria de la diversió per al disseny de videojocs de Raph Koster

Raphael "Raph" Koster, nascut l'any 1971 és un famós dissenyador de videojocs i l'autor de "A Theory of Fun for Game Design". Aquest llibre explica el procediment des de la decisió de crear un joc fins a la implementació d'aquest [11]. Koster exposa què és un joc i què no és un joc, com funciona el nostre cap i com podem fer que un joc sigui divertit pel públic més gros possible. S'ha de tenir en compte que quan es dissenya un joc s'ha de tenir un objectiu al cap.

El primer que fa és ignorar l'experiència de joc, ja que considera que només és relativament útil, atès que l'experiència de l'usuari és subjectiva. Compara mirar a l'experiència amb mirar el cim d'una muntanya sense conèixer les plaques tectòniques, pel fet que la punta de l'iceberg és substancialment semblant per damunt i per sota de l'aigua. Sí, hi ha molt més sota l'aigua, però no és diferent en la seva naturalesa. És per això que comença amb les coses "sota" l'experiència: mecàniques, inputs, processos, regles i accions. [12].

Es va preguntar què volia aconseguir com a dissenyador, i va concloure que les coses més comunes que busca són:

1. Fer que el jugador continuï jugant.
2. Fer que el jugador gastí diners.

3. Fer que el jugador pari esment a una experiència en lloc d'un sistema.
4. Fer que el jugador se senti bé, normalment fent-lo poderós.

6 GÈNERE DODGE'EM UP

Al llarg de la història dels videojocs, els seus creadors han anat donant lloc a una varietat creixent de gèneres a les diferents plataformes disponibles. Aquests gèneres s'han anat conformant al voltant de factors com ara la representació gràfica, el tipus d'interacció entre el jugador i la màquina, l'ambientació, i el sistema de joc, i aquest últim és el criteri més habitual a tenir en compte.

Els gèneres en els videojocs són la manera que es té de classificar els videojocs basats en la seva jugabilitat, més que en les diferències visuals o narratives que poden tenir. Un gènere estarà delimitat per les accions que es realitzin en aquest joc independentment de l'ambientació. També s'ha de tenir en compte que un videojoc pot pertànyer a més d'un gènere a l'hora.

En aquest projecte es desenvoluparà un videojoc basat en el gènere Dodge'Em Up. Els jocs d'aquest gènere es caracteritzen principalment per tenir com a objectiu haver d'esquivar quelcom tota l'estona, siguin projectils cap al personatge o qualsevol altre objecte. Aquest gènere és bastant simple i primitiu en el món dels videojocs, ja que la seva mecànica principal és de les més intuïtives i interpretables que pot haver-hi, per això permet a qualsevol mena de jugador, sigui més o menys experimentat, tenir un aprenentatge ràpid i poder-se moure correctament en l'entorn, alguns exemples d'aquest gènere poden ser els següents jocs, Lost Orbit[13], Thunder Chase[14], SwordShip[15] i Jump Grid[16].

L'objectiu d'aquest projecte és dissenyar un joc on el nivell del joc s'adapti al del jugador el màxim possible llavors el joc serà en dues dimensions i consistirà en un jugador i diferents carrils on aniran caient caixes a diferents velocitats i s'haurà de moure a dreta o esquerra per esquivar-los per poder passar-se el nivell. Un cop se'l passi se li assignarà un altre d'acord amb l'habilitat mostrada al nivell anterior.

7 ALGORISMES GENÈTICS

En la dècada de 1970 sorgeix una de les línies d'intel·ligència artificial més prometedores, l'Algorisme Genètic[17]. Reben aquest nom perquè s'inspiren en l'evolució biològica i la seva base genètica molecular.

Aquests algorismes fan evolucionar a una població inicial realitzant accions aleatòries sobre aquest grup, similars a les que ocorren en l'evolució biològica i la selecció. Amb base en determinats criteris, es decideix quins individus són més aptes, quins sobreviuen, quins eren els menys aptes i quins es descartaven.

S'inicia amb un conjunt d'individus d'una població natural, codificant la informació sobre cada solució en una cadena, normalment binària, anomenada cromosoma. Els símbols que formen la cadena s'anomenen gens. Quan un cromosoma està representat per una cadena de nombres

binaris, s'anomena genotip. Els cromosomes evolucionen mitjançant iteracions, anomenades generacions i en cada generació, els cromosomes s'avaluen mitjançant algun tipus d'aptitud determinada a conveniència pel tipus de qüestió. La descendència es produeix aplicant repetidament operadors genètics, que són operadors de selecció, encreuament, mutació i substitució.

7.1 Funcionament dels algorismes genètics

Els algorismes genètics són una tècnica de cerca i optimització inspirada en el procés de l'evolució natural. Aquests algorismes utilitzen un enfocament heurístic i es basen en la selecció natural i la reproducció d'individus per a generar solucions a un problema donat.

La metodologia dels algorismes genètics es compon principalment de tres etapes: selecció, reproducció i mutació.

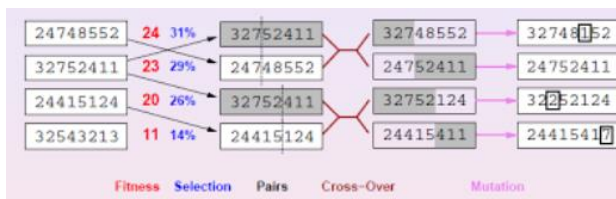


Fig. 1 : Etapes d'un algoritme genètic.

1. **Població inicial:** és un conjunt d'individus que s'utilitzen com a punt de partida per a l'algorisme genètic. Aquests individus representen possibles solucions al problema que s'està intentant resoldre. La població inicial es crea de manera aleatòria o usant un enfocament de disseny sistemàtic, depenent de l'aplicació específica. La població inicial és important perquè determina el rang de possibles solucions que l'algorisme genètic pot explorar. Una població inicial diversa pot permetre que l'algorisme trobi solucions òptimes més eficientment, mentre que una població inicial poc diversa pot limitar les possibles solucions trobades per l'algorisme. Un individu es caracteritza per tenir un conjunt de paràmetres (variables) coneguts com a gens. Els gens s'uneixen en una cadena per formar un cromosoma (solució).
2. **Funció d'avaluació:** és una eina clau en els algorismes genètics. Aquesta funció s'utilitza per a mesurar l'aptitud de cada individu d'una població donada, és a dir, la seva capacitat per a resoldre el problema en qüestió. La funció d'avaluació pot ser qualsevol funció que assigni un valor numèric a cada individu, i sol ser dissenyada específicament per al problema que s'està intentant resoldre. La funció d'avaluació és usada per l'algorisme genètic per a seleccionar els individus més aptes d'una població. Els individus amb una puntuació (*fitness*) alta en la funció d'avaluació tenen més probabilitats de ser seleccionats per a reproduir-se i crear una nova població. Això permet que l'algorisme genètic evolucioni cap a solucions òptimes a mesura que s'executa.

3. **Selecció:** és una part fonamental de la metodologia dels algorismes genètics. Aquesta funció s'utilitza per a seleccionar els individus més aptes d'una població donada per a reproduir-se i crear una nova població i els menys aptes que seran substituïts en noves generacions. La funció de selecció es basa en la puntuació obtinguda per cada individu en la funció d'avaluació. Els individus amb una puntuació més alta tenen més probabilitats de ser seleccionats per a reproduir-se. Existeixen diferents enfocaments per a implementar la funció de selecció en un algorisme genètic. Un enfocament comú és la selecció per ruleta, en la qual cada individu té una probabilitat de ser seleccionat proporcional a la seva puntuació en la funció d'avaluació. Altres enfocaments populars inclouen la selecció per torneig i la selecció per truncament.

4. **Crossover:** és una operació que s'utilitza en algorismes genètics per a produir una nova generació de solucions a partir de les solucions existents (conegudes com a parelles). La idea és combinar els millors aspectes de cada pare per a produir solucions encara millors. Això es fa seleccionant aleatòriament alguns punts de tall en els pares i combinant els segments corresponents per a produir un nou individu. D'aquesta manera, el nou individu hereta algunes característiques de cada pare, la qual cosa augmenta les possibilitats que tingui un acompliment superior.
5. **Mutació:** és una operació que es fa servir en algorismes genètics per a introduir nova variabilitat en la població. Això es fa canviant aleatòriament alguns aspectes dels individus existents, la qual cosa permet que es generin noves solucions que poden tenir un acompliment superior. La mutació també ajuda a evitar que la població s'estanqui en un òptim local en lloc del global. En resum, la mutació és un mecanisme que ajuda els algorismes genètics a explorar noves àrees de l'espai de cerca i a trobar solucions encara millors.

Aquests últims tres passos es repetiran fins que s'aconsegueixi un criteri de parada, com un nombre màxim de generacions o una puntuació mínima en la funció de *fitness*. Se seleccionarà la solució final entre les solucions de l'última generació en funció de la seva puntuació en la funció de fitness. Per finalitzar verificar la qualitat de la solució final i comparar-la amb altres possibles solucions. Si és necessari, es poden realitzar ajustos en els paràmetres de l'algorisme genètic i tornar a executar-lo per a millorar la solució obtinguda.

8 DISSENY I IMPLEMENTACIÓ DEL JOC

La implementació d'aquest projecte s'ha realitzat mitjançant *HTML5* i el llenguatge de programació *JavaScript* el qual utilitza *Nodejs* per la part del servidor.

Per poder dur a terme animacions en *HTML* es fa ús l'etiqueta *canvas*, aquesta etiqueta s'usa per a la creació d'elements gràfics, siguin formes geomètriques, text o imatges, juntament amb *JavaScript* per donar-li forma i moviment.

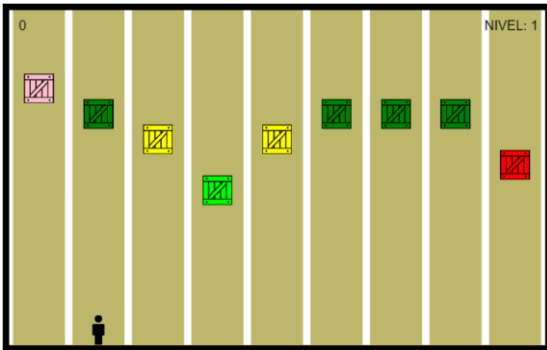


Fig. 2: Imatge del joc

Aquest és un joc 2D d'un jugador on hi ha diferents carrils delimitats per línies blanques, aquests carrils és per on es podrà moure el jugador. El jugador podrà fer dos tipus de moviments, moure's a la dreta o moure's a l'esquerra a no ser que estigui a l'últim carril de cada cantó, llavors només es podrà moure en una direcció.

Per cada carril cauran diferents tipus de caixes, el tipus ve determinat per la velocitat i el color que tenen assignades, llavors l'objectiu del jugador serà esquivar-les per passar-se el nivell.

Veient la figura 3 es pot observar els elements clau del joc. El primer element serà el jugador que tindrà un avatar amb forma de persona, el qual es podrà desplaçar pels diferents carrils. Seguidament, tindrà els carrils pels quals el jugador es mourà a dreta o esquerra per tal d'evitar xocar amb les caixes que van caient i per últim estarien les caixes, que són cinc tipus i depenent el color la velocitat serà diferent.

La relació de velocitat amb el color és el següent:
pink : $v=5$, *green* : $v=7$, *yellow* : $v=9$, *red* : $v=11$, *lime* : $v=13$.

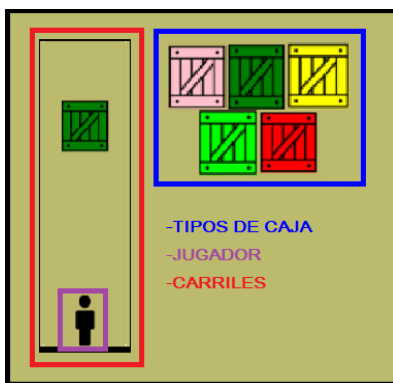


Fig. 3: Elements del joc

Els nivells no canviaran un cop creats, s'han creat prèviament amb un script que genera un arxiu de text on cada carril és representat per cada fila i els números de cada fila representen els tipus de caixes que cauran pel carril corresponent com podeu veure a la figura 4.

1	1	4	2	0	4	0	3	3	1	1	1	1
2	0	3	2	2	0	2	1	2	2	1	3	1
3	3	3	2	1	0	2	4	2	3	2	1	2
4	2	1	2	1	2	4	1	1	2	1	1	0
5	2	4	4	3	1	4	1	0	1	4	1	3
6	2	1	4	0	4	0	4	0	3	4	2	3
7	1	1	0	2	3	2	0	0	1	1	1	3
8	2	2	1	0	2	3	2	3	1	2	3	4
9	1	1	1	1	1	0	3	1	3	3	3	1
10	3	2	3	0	4	1	1	3	0	3	1	1

Fig. 4: Exemple d'arxiu de nivell

Aquests nivells es completen quan totes les caixes del nivell han caigut. El primer nivell és un nivell introductori de no molta dificultat, per poder analitzar com ho ha fet el jugador per assignar-li el següent nivell d'una dificultat acord al seu rendiment. La dificultat dels nivells serà donada per l'anàlisi i resultat que s'hagi obtingut de la simulació amb algorismes genètics.

9 AJUSTAMENT LA DIFICULTAT

L'objectiu principal d'aquest treball és aconseguir crear un joc on la dificultat del joc s'ajusti al nivell del jugador per tal que tingui millor experiència jugant. Per arribar aquesta finalitat, és necessari determinar la dificultat de cada nivell i una manera d'avaluar el rendiment del jugador per tal d'aplicar l'ajustament en qüestió.

El procés que s'ha seguit per arribar a l'objectiu d'aplicar l'ajustament dinàmic de dificultat és el següent:

1. Generar vint nivells, els quals siguin sempre els mateixos per poder avaluar-los i posteriorment poder-li assignar un valor numèric que representi la dificultat d'aquests nivells. En aquest cas han estat generats automàticament de forma aleatòria dintre d'uns paràmetres predefinits.
2. Mitjançant algorismes genètics, crear aleatòriament
3. Una població inicial de possibles solucions del nivell i evolucionar-la fins que una d'aquestes sigui capaç de completar un nivell sense cometre cap error.
4. Sotmetre a cada nivell creat aquest procés per determinar i registrar un temps de vida mitjana per poder posteriorment equiparar amb els resultats del jugador.

- Quan el jugador completa un nivell, cercar i assignar un nivell que depenent de l'acompliment del nivell realitzat posteriorment pel jugador s'apropi al seu nivell d'habilitat.

9.1 Representació d'una generació del joc

La implementació dels algorismes genètics aplicada al projecte de Falling boxes s'ha dut a terme mitjançant una població inicial de 16 individus. Aquests individus (cromosoma) són representats com un array de 50 posicions on els gens poden prendre els valors de -1 o 1 que representen els moviments de desplaçar a l'esquerra o a la dreta respectivament quan estigui prop de col·lidir amb la caixa que cau en el carril en el qual està l'avatar.

```
[-1,1,-1,1,1,1,-1,1,1,-1,1,1,1,1,1,1,-1,1]
```

Fig. 5: Representació d'un cromosoma

Per començar, la població inicial es crea aleatòriament, un cop, i servirà per a l'avaluació de dificultat de tots els nivells. Primerament, es proven els individus inicials per intentar aconseguir completar un nivell. Un cop s'han provat tots i s'ha enregistrat el temps de vida per a cada cromosoma, si cap cromosoma ho ha assolit, arriba el procés de selecció dels millors gens per tenir descendència, el qual és l'estratègia de selecció es fa per torneig. La selecció per torneig es fa agrupant aleatòriament els 16 cromosomes en grups de 4 individus i seleccionant el de millor *fitness* de cada grup.

Com es pot observar a la figura 6 cada grup esta representat per un color d'aquest grup només es selecciona el de millor *fitness*.

NIVEL: 6 → Temps base: 19921

Cadena:	Fitness Time ms	Fitness Movements	Selecció:	Descartat:
1	4848	14		
2	7329	14		
3	5613	10		
4	5612	10		
5	7446	16		
6	5647	16		
7	1500	2		X
8	3015	6		X
9	3164	7		X
10	5613	11		
11	6444	10		
12	2133	6		X
13	8495	17		
14	3165	5		
15	3164	7		
16	8492	15		

Fig. 6: Selecció per torneig de cromosomes per el crossover

Una vegada seleccionats els 4 pares s'ha de triar en quin punt del cromosoma fer el *crossover* que en aquest cas serà els moviments que ha pogut arribar en l'intent anterior per intercanviar gens i arribar a una millor solució. Dels cromosomes resultants, es realitzen una sèrie d'estratègies de

mutacions amb l'objectiu d'afegir més diversitat a la població i baixar el màxim la possibilitat d'arribar a un bucle infinit en el qual l'algoritme no pugui evolucionar i tenir millor resultats.



Fig. 7: Crossover dels 4 cromosomes seleccionats

Per cada execució hi haurà dues fases de mutació la fase de mutació pels nous cromosomes el qual mutarà un dels 4 nous cromosomes escollit de forma aleatòria en una posició també aleatòria des de l'últim moviment que ha realitzat amb èxit fins a l'última posició. Seguidament, farà la mutació dels 4 cromosomes amb millor *fitness* que es farà de la posició on han fallat a 5 posicions enrere. La primera mutació està enfocada a augmentar la diversitat de gens i la segona està enfocada a reduir la possibilitat que l'algoritme entri en un bucle infinit, sense trobar una possible solució.

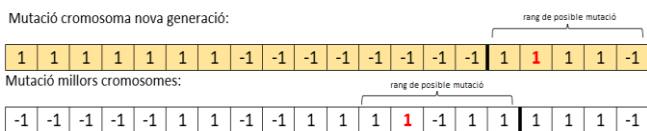


Fig. 8: Mutació cromosoma nova generació i mutació de cromosomes amb major *fitness*.

Finalment, es construeix la nova generació reemplaçant els 4 pitjors individus de la generació anterior els que han estat menys temps vius pels 4 nous cromosomes obtinguts. Llavors s'aniran creant noves generacions repetidament fins que l'algoritme aconsegueixi un cromosoma que pugui passar-se el nivell en qüestió.

9.2 Representació i tractament de dades

Un cop realitzat el procés de trobar una solució a un nivell mitjançant els algorismes genètics, amb la finalitat de poder assignar una dificultat a aquell nivell en concret de forma objectiva, s'han hagut de guardar certes dades en l'execució de l'algoritme.

Les dades escollides per extreure de l'execució de l'algoritme per fer l'avaluació de la dificultat són tres valors. Primerament, el nombre de generacions que s'han hagut de crear abans d'aconseguir que superes el nivell, el temps total que ha trigat a superar el nivell, el qual és un sumatori del millor temps de cada generació i per últim una mitjana aritmètica del temps que ha estat viu. S'han escollit aquests paràmetres perquè són equiparables a les dades que es po-

den extreure d'un jugador real. A part d'aquestes tres dades també s'utilitza la duració base del nivell.

const dataIA = [	const leveltime = [
{gen:9,time:101749,av:11305},// 1	16456, //1
{gen:3,time:22975,av:7658},// 2	14047, //2
{gen:2,time:21165,av:10583},// 3	13071, //3
{gen:2,time:27451,av:13726},// 4	17791, //4
{gen:4,time:29292,av:7323},// 5	13218, //5
{gen:6,time:76142,av:12690},// 6	19921, //6
{gen:8,time:80333,av:10042},// 7	21609, //7
{gen:7,time:65579,av:9368},// 8	12687, //8
{gen:3,time:39998,av:13333},// 9	17083, //9
{gen:5,time:70936,av:14187},// 10	18814, //10
{gen:5,time:57913,av:11583},// 11	14017, //11
{gen:3,time:42957,av:14319},// 12	15764, //12
{gen:3,time:33811,av:11270},// 13	16791, //13
{gen:4,time:44963,av:11241},// 14	18431, //14
{gen:3,time:33681,av:11227},// 15	18610, //15
{gen:4,time:53502,av:13376},// 16	18232, //16
{gen:1,time:18035,av:18035},// 17	18035, //17
{gen:3,time:40271,av:13424},// 18	17507, //18
{gen:5,time:51729,av:10346},// 19	19871, //19
{gen:5,time:54060,av:10812},// 20	17424, //20

Fig. 9: Representació de les dades per cada nivell

Per tal de facilitar la interpretació de la dificultat del nivell d'acord amb els paràmetres mencionats anteriorment, la decisió va ser resumir i processar les dades en un sol valor numèric per nivell. Aquest valor numèric té en compte tots els paràmetres extrets i està calculat amb la següent fórmula:

$$dificultat = \text{round}\left(\frac{gen - 3}{2}\right) + \text{round}\left(\frac{TB - AV}{2000}\right) + \text{round}\left(\frac{TB - \min(TB)}{2000}\right) \quad (1)$$

A continuació explico els termes exposats a la fórmula:

TB: Temps base del nivell.

AV: Mitjana de temps viu.

Gen: Nombre de generacions.

min(TB): Fa referència al Temps base més petit d'entre tots els nivells.

Amb aquesta fórmula també es pot calcular el rendiment del jugador modificant el valor de generacions amb els intents que ha necessitat per completar el nivell i així poder fer una comparativa i poder-li assignar un nivell d'acord amb les seves capacitats actuals. L'assignació d'un nivell nou es faria comparant el valor de dificultat del nivell i el rendiment del jugador. Per exemple el jugador està jugant un nivell de dificultat 7 i amb el mateix càlcul ha aconseguit completar el nivell amb un rendiment de 5, com el rendiment és més petit significa que ha superat el nivell amb més facilitat i se li ha d'assignar un nivell que tingui més dificultat, si fos més gran el rendiment que la dificultat se li assignaria un de més fàcil.

D'aquesta manera en tot moment el joc s'adapta al nivell del jugador així obtenint una experiència molt més gratificant i divertida.

10 RESULTATS

En aquest apartat es presenten els resultats obtinguts a través de l'estudi realitzat sobre Falling Boxes el videojoc amb dificultat adaptativa. L'objectiu d'aquest treball de final de grau era avaluar l'efectivitat de la implementació de la dificultat adaptativa en el videojoc i com aquesta afecta a l'experiència de joc dels usuaris.

Per a dur a terme aquesta avaluació, s'ha comptat amb la participació d'un grup d'usuaris que han provat el videojoc i han completat un formulari d'avaluació. Aquest formulari ha permès recollir informació sobre l'experiència de joc dels participants i com han percebut la dificultat adaptativa implementada. Els resultats obtinguts ens permeten conèixer l'opinió dels usuaris sobre el videojoc i ens brinden una visió general sobre el seu rendiment i satisfacció.

A continuació, es presenten de manera detallada els resultats obtinguts a partir de l'anàlisi de les respostes del formulari.

La prova consistia a jugar el nivell inicial fins que el superés i li assignes un altre nivell d'acord amb el seu rendiment fins a un mínim de dues reassignacions de nivell. Després de complir els requisits mínims per poder avaluar el joc omplien el formulari. Un total de 29 persones han realitzat aquestes proves.

El formulari estava compost per set preguntes relacionades amb l'experiència del usuari en relació amb la seva experiència jugant videojocs i les sensacions que tenien després de jugar a Falling Boxes, El qüestionari complet es pot trobar en apèndix [A2]. A continuació es presenten els resultats de les respostes rebudes:

L'objectiu principal de les primeres tres preguntes de l'enquesta són per poder identificar el tipus de perfil que

T'agraden els jocs web en 2D? Jagues habitualment a videojocs?

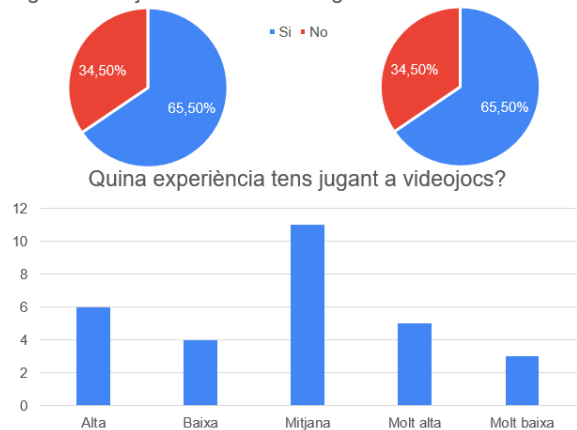


Fig. 10: Resultats Pregunta 1, 2 i 3

ha provat el joc Falling Boxes. Es volia saber l'experiència de l'enquestat amb els videojocs en general i amb els jocs de web en 2D.

Com es pot veure en la figura, la gran majoria d'enquestats juga habitualment videojocs i els agraden els jocs de web. No obstant això, la seva experiència jugant videojocs és variada, amb un clar predomini de persones que tenen

una experiència mitjana i alta, i per l'altre banda tenim un aproximadament un vint per-cent d'experiència entre baixa i molt baixa. Al estar mes o menys variat el nivell d'experiència podem veure amb les següents preguntes l'efectivitat del ajustament de dificultat.

Les altres quatre preguntes estan enfocades en l'experiència del jugador i les sensacions que té provant el joc Falling Boxes. Com podem veure a la següent figura li preguntem a l'usuari que es classifiqui per quin creu que és el seu nivell de joc. La gran majoria es classifiquen en un nivell mitjà encara que també hi ha varietat en els altres nivells sent els dos extrems els que menys persones es classifiquen.

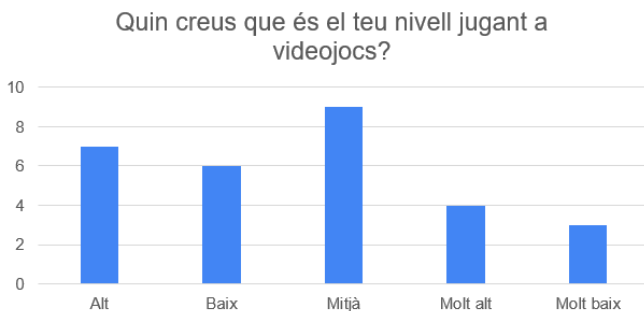
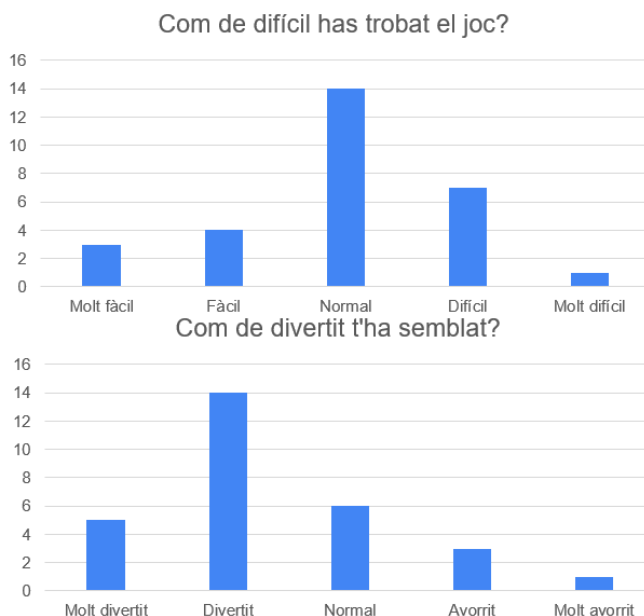


Fig. 11: Resultats Pregunta 4

A les tres següents preguntes ja aprofundim en els objectius del projecte i se li pregunta al jugador si ha trobat difícil el joc, i si ha trobat el joc divertit o entretingut. Una de les finalitats marcades al principi del projecte era crear un joc que s'ajustés a la dificultat al nivell del jugador i que arribés a un punt de diversió òptim per l'usuari.



Amb les respostes donades pels jugadors a la pregunta número 5, indica que han trobat en una gran majoria una

Fig. 11: Resultats Pregunta 5 i 6

dificultat normal que és un indicador de què l'ajustament s'ha pogut realitzar correctament. Amb les respostes donades a la pregunta número 6, podem concloure que l'objectiu de crear un joc entretingut perquè més d'un seixanta-cinc per cent de jugadors han indicat que els hi ha semblat entre divertit i molt divertit.

Per concloure els resultats a la següent figura els jugadors han indicat en més d'un vuitanta per cent dels casos que han notat l'ajustament a la dificultat.

Creus que la dificultat del joc s'ha adaptat realment a les teves habilitats?

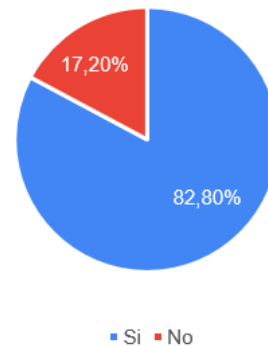


Fig. 12: Resultats Pregunta 7

11 CONCLUSIONS

Durant el llarg del projecte han anat sorgint diferents problemes i inconvenients que han sigut necessaris resoldre setmana rere setmana per poder arribar al punt final. Seguidament, comentaré quins són els inconvenients més importants que m'he trobat en la realització d'aquest treball, primerament el primer inconvenient que em vaig trobar de no conèixer molt bé l'etiqueta Canva d'HTML i com realitzar animacions amb JavaScript.

Una altra qüestió va sorgir quan vaig voler implementar que els nivells es guardessin en arxius .txt per després poder-los carregar al joc i no es podia fer des del codi del client, llavors vaig haver de programar la part del servidor amb NodeJs per tenir aquesta funcionalitat.

Més endavant vaig començar a investigar els algorismes genètics com funcionaven i com implementar-los. Com que no tenia cap coneixement previ va suposar més temps del planificat en un principi, ja que vaig trigar molt de temps abans d'aconseguir que l'algorisme fos complet en tots els nivells i per últim l'avaluació de dificultat de nivells ha sigut molt enrevesada, pel fet que les execucions era a temps real i cada cromosoma que s'executava consumia d'entre 5 a 20 segons.

Quelcom que m'ha ajudat a superar amb èxit aquests imprevistos ha sigut deixar espais de temps buits a la planificació des d'un principi per aquests possibles imprevistos que al final han estat presents.

Desenvolupar un videojoc que implementi algorismes genètics en JavaScript pot ser un projecte de final de grau molt interessant i desafiador. Algunes conclusions que

s'han pogut extreure durant la realització d'aquest projecte serien les que exposaré seguidament.

La implementació d'algorismes genètics en un videojoc pot millorar significativament la qualitat i la diversitat dels resultats obtinguts en el joc, ja que aquests algorismes poden trobar solucions òptimes en situacions on un enfocament basat en regles podria ser insuficient. És important tenir en compte que els algorismes genètics no són una solució màgica per a tots els problemes de videojocs, i que poden no ser adequats per a alguns casos d'ús.

Desenvolupar un videojoc que usi algorismes genètics pot requerir una comprensió profunda de com funcionen aquests algorismes i com s'apliquen en diferents contextos. És rellevant tenir en compte l'eficiència i l'escalabilitat en implementar algorismes genètics en un videojoc, especialment si s'espera que el joc s'executi amb recursos limitats. La implementació d'algorismes genètics en un videojoc pot proporcionar una experiència de joc més dinàmica i única, ja que els algorismes poden fer-se servir per a generar contingut i esdeveniments aleatoris. La creació d'un videojoc que faci servir algorismes genètics ha sigut una oportunitat per a aplicar els coneixements adquirits durant el grau i desenvolupar habilitats en el camp de la intel·ligència artificial i l'optimització d'algorismes.

El procés de desenvolupament d'un videojoc que implementi algorismes genètics pot ser llarg i requerir molta feina i dedicació. No obstant això, el resultat final pot ser molt gratificant i aportar una experiència de joc única i nova.

Amb tot el que he esmentat anteriorment i amb els resultats obtinguts podem concloure que els algorismes genètics han sigut una solució vàlida per desenvolupar un joc que s'adapti a les habilitats del jugador així aconseguint més diversió i entreteniment per l'usuari.

12 TREBALL FUTUR

Tot i haver acabat el projecte a causa de les limitacions de temps i la quantitat de treball necessària, queden possibilitats per a millores addicionals i la incorporació de noves funcionalitats en el videojoc. Algunes àrees de desenvolupament futur per a aquesta implementació podrien incloure:

1. Afegir nous nivells i contingut per a ampliar l'experiència del jugador.
2. Millorar la interfície d'usuari per a fer-la més intuïtiva i fàcil d'usar.
3. Implementar noves mecàniques de joc per a augmentar la varietat i el desafiament.
4. Optimitzar el rendiment del joc per a millorar l'experiència de joc en dispositius amb especificacions més baixes.
5. Millorar l'aparença del joc, afegint *sprites* personalitzats que vagin d'acord a una estètica específica i a una línia de disseny.
6. Una altra possible millora seria comprar un domini web per comercialitzar el joc.

És important destacar que aquestes són només algunes possibles àrees de desenvolupament futur s'ha d'avaluar acuradament les prioritats i recursos disponibles abans de prendre decisions sobre les quals són millors maneres d'avançar amb el joc.

AGRAÏMENTS

Vull expressar el meu més sincer agraïment a la meua tutora Ana Oropesa, qui ha estat la meua guia i mentora en aquest procés. Els seus valuosos consells i orientació han estat fonamentals per a aconseguir-ho.

També vull agrair als meus amics, familiars i parella que m'han estat donant suport en tot el procés i donant idees i opinió. Sense tots ells tampoc hagués sigut possible..

BIBLIOGRAFIA

- [1] "Crece el público gamer: un estudio revela sus ganancias y tendencias esenciales para este año". Forbes Colombia. <https://forbes.co/2022/05/22/actualidad/crece-el-publico-gamer-un-estudio-revela-sus-ganancias-y-tendencias-esenciales-para-este-ano/> (accedit el 29 de setembre de 2022).
- [2] "El videojuego facturó 1.795 millones de euros en 2021, con una base superior a los 18 millones de usuarios en España (Anuario AEVI 2021)". Hobbyconsolas. <https://www.hobbyconsolas.com/noticias/videojuego-tuvo-1795-millones-euros-2021-18-millones-usuarios-espana-1047759> (accedit el 29 de setembre de 2022). Etc.
- [3] "¿Qué es la Inteligencia Artificial y por qué es tan importante? - Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia - CTA". Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia - CTA. <https://cta.org.co/que-es-la-inteligencia-artificial-y-por-que-es-tan-importante/> (accedit el 29 de setembre de 2022).
- [4] "Teoría de Flujo de Mihaly Csikszentmihalyi | toolshero". toolshero. <https://www.toolshero.es/psicologia/teoria-de-flujo-mihaly-csikszentmihalyi/> (accedit l'1 d'octubre de 2022).
- [5] "¿Qué es Kanban? Principales características y funciones". Kanban Software for Agile Project Management. <https://kanbanize.com/es/recursos-de-kanban/primeros-pasos/que-es-kanban> (accedit l'1 d'octubre de 2022).
- [6] "Tutorial Kanban Flow: planifica, organiza y gestiona tus tareas". Hormigas en la Nube. <https://hormigasenlanube.com/kanban-flow/> (accedit l'1 d'octubre de 2022).
- [7] Colaboradores de los proyectos Wikimedia. "Thomas Malone - Wikipedia, la enciclopedia libre". Wikipedia, la enciclopedia libre. <https://es.wikipedia.org/wiki/ThomasMalone> (accedit el 26 d'octubre de 2022).
- [8] "TEORÍA DEL FLUJO o FLOW - Psicólogos en Madrid. Hipnosis Clínica. Psicología Clínica". Psicólogos en Madrid. Hipnosis Clínica. Psicología Clínica. <https://www.isidroperezhidalgo.com/teoria-del-flujo-o-flow>. (accedit el 26 d'octubre de 2022).
- [9] "La Teoría del Flujo". Blog de Terapia Ocupacional. <http://miprimerportafolio.blogspot.com/p/la-teoria-del-flujo.html> (accedit el 26 d'octubre de 2022).
- [10] Bienvenido a la Web del Ministerio de Educación y Formación Profesional | Ministerio de Educación y Forma-

- ción Profesional. <https://www.educacionyfp.gob.es/dam/jcr:e8f77826-0dc3-4174-b33d-20632a616416/2006-redele-6-01abio-pdf.pdf> (accedit el 26 d'octubre de 2022).
- [11] Contributors to Wikimedia projects. "Raph Koster - Wikipedia". Wikipedia, the free encyclopedia. <https://en.wikipedia.org/wiki/RaphKosterWriting> (accedit el 26 d'octubre de 2022).
- [12] "Raph Koster: Cómo analizo un juego (parte I)". I designer – la escuela online de 3d, videojuegos y apps. <https://www.idesigner.es/noticia/raph-koster3A-como-analizo-un-juego-parte-i/75> (accedit el 26 d'octubre de 2022).
- [13] "LOST ORBIT on Steam". Welcome to Steam. [https://store.steampowered.com/app/282640/LOST ORBIT/](https://store.steampowered.com/app/282640/LOST_ORBIT/) (accedit el 10 de novembre de 2022).
- [14] "Thunder Chase on Steam". Welcome to Steam. [https://store.steampowered.com/app/762270/Thunder Chase/](https://store.steampowered.com/app/762270/Thunder_Chase/) (accedit el 10 de novembre de 2022).
- [15] "Swordship on Steam". Welcome to Steam. <https://store.steampowered.com/app/1804270/Swordship/> (accedit el 10 de novembre de 2022).
- [16] "JUMPGRID on Steam". Welcome to Steam. <https://store.steampowered.com/app/942060/JUMPGRID/> (accedit el 10 de novembre de 2022).
- [17] Colaboradores de los proyectos Wikimedia. "Algoritmo genético - Wikipedia, la enciclopedia libre". Wikipedia, la enciclopedia libre. [https://es.wikipedia.org/wiki/Algoritmo genético](https://es.wikipedia.org/wiki/Algoritmo_genético) (accedit el 10 de novembre de 2022).

