

Dificultat adaptativa aplicada a la generació de contingut dels nivells

Jordi Polo Tormo



Universitat
Pompeu Fabra
Barcelona

Dificultat adaptativa aplicada a la generació de contingut dels nivells

TREBALL FI DE GRAU DE

Jordi Polo Tormo

Directors: Alan Tapscott i Joaquim Colàs

Grau en Enginyeria en informàtica

Curs 2023-2024



Universitat
Pompeu Fabra
Barcelona

Escola
d'Enginyeria

Dedicat a la meva família i amics, per ser el suport constant en aquesta etapa de la meva vida.

Agraïments

Vull expressar el meu sincer agraïment als professors que m'han acompanyat i ensenyat durant tot el meu grau d'enginyeria informàtica. La seva guia ha estat fonamental per al meu desenvolupament acadèmic i professional.

També vull agrair als directors del TFG per la seva orientació i suport continu durant el desenvolupament d'aquest projecte. Les seves idees i consells han estat essencials per a la realització del treball.

No menys important, vull agrair als meus companys d'universitat. La seva companyia i suport han fet de l'experiència universitària una etapa enriquidora i memorable.

Finalment, vull expressar el meu profund agraïment a la meva família i amics. Sense el seu suport incondicional i encoratjament constant, no hauria estat possible completar amb èxit aquesta etapa acadèmica. Especialment, vull agrair a la meva família per permetre'm cursar la universitat i donar-me el suport necessari en tot moment.

A tots ells, moltes gràcies per ser part important del meu camí acadèmic i personal.

Resum

La dificultat adaptativa és un sistema que ajusta dinàmicament el nivell de dificultat d'un joc segons el rendiment i les habilitats del jugador. El projecte ha buscat millorar l'experiència de joc mitjançant la dificultat adaptativa aplicada en la generació de continguts, enfocant-se en jocs offline i no competitius. Sovint, els jugadors adopten estratègies còmodes, ignorant certes mecàniques. El nostre objectiu ha estat proporcionar una experiència de joc òptima, ajustant la dificultat quan cal, i motivant als jugadors a sortir de la seva zona de confort, fomentant una experiència de joc més rica. Hem investigat diferents enfocaments existents i analitzat jocs que implementen dificultat adaptativa. Hem desenvolupat dos prototips en Unity: un amb la dificultat adaptativa proposada i l'altre sense. Finalment, hem avaluat com aquesta proposta pot millorar l'experiència de joc.

Resumen

La dificultad adaptativa es un sistema que ajusta dinámicamente el nivel de dificultad de un juego según el rendimiento y las habilidades del jugador. El proyecto ha buscado mejorar la experiencia de juego mediante la dificultad adaptativa aplicada en la generación de contenidos, enfocándose en juegos offline y no competitivos. A menudo, los jugadores adoptan estrategias cómodas, ignorando ciertas mecánicas. Nuestro objetivo ha estado proporcionar una experiencia de juego óptima, ajustando la dificultad cuando hace falta, y motivando a los jugadores a salir de su zona de confort, fomentando una experiencia de juego más rica. Hemos investigado diferentes enfoques existentes y analizado juegos que implementan dificultad adaptativa. Hemos desarrollado dos prototipos en Unity: uno con la dificultad adaptativa propuesta y el otro sin. Finalmente, hemos evaluado como esta propuesta puede mejorar la experiencia de juego.

Abstract

Adaptive difficulty is a system that dynamically adjusts the level of difficulty of a game according to the player's performance and skills. The project has sought to improve the game experience through the adaptive difficulty applied in the generation of content, focusing on offline and non-competitive games. Players often adopt comfortable strategies, ignoring certain mechanics. Our goal has been to provide an optimal playing experience, adjusting the difficulty when necessary, and motivating players to get out of their comfort zone, fostering a richer playing experience. We have investigated different existing approaches and analyzed games that implement adaptive difficulty. We have developed two prototypes in Unity: one with the proposed adaptive difficulty and the other without it. Finally, we have assessed how this proposal can improve the gambling experience.

Índex

Introducció	1
1.1 Contextualització del treball.....	1
1.2 Motivació de la investigació	2
Estudi preliminar	4
2.1 Recol·lectar i avaluar les habilitats del jugador	4
2.2 Enfocaments de la dificultat adaptativa.....	6
2.3 Anàlisi de jocs amb dificultat adaptativa	9
Identificació d'oportunitats	12
3.1 Característiques i limitadors dels sistemes existents.....	12
3.2 Possibles millores.....	14
Proposta teòrica.....	16
4.1 Descripció del plantejament del joc	16
4.2 Algorisme de dificultat adaptativa aplicada a la generació de contingut	18
Desenvolupament del prototip i de les proves d'usuari	21
5.1 Desenvolupament del joc	21
5.2 Integració del sistema de dificultat adaptativa en la generació	25
5.3. Desenvolupament de les proves d'usuari	26
Resultats i anàlisi	27
6.1 Resultats i anàlisi del formulari.....	27
6.2 Resultats i anàlisi de les estadístiques	31
Conclusions	32
Treball futur	33

Llista de figures

Figura 1. Canal de flux [7]	1
Figura 2. Equacions pel primer mètode d'anàlisi de les dades [4].....	5
Figura 3. Equació pel segon mètode d'anàlisi de les dades [4]	5
Figura 4. Diagrama de transició d'estat simplificat per a un joc FPS (First Person Shooter) [9]	7
Figura 5. El procés realitzat per el Scripting dinàmic [14].....	7
Figura 6. Transicions d'estat i les recompenses associades en un joc basat en nivells [3].....	8
Figura 7. Càlcul de l'heurístic	19
Figura 8. Sprite del jugador.....	22
Figura 9. Sprite Fantasma.....	22
Figura 10. Sprite Ull errant.....	22
Figura 11. Sprite Monstre de foc.....	22
Figura 12. Sprite Poció de vida	22
Figura 13. Sprite Poció de velocitat de trets.....	22
Figura 14. Sprite Bandera de reducció de cooldowns	22
Figura 15. Sprite del projectil.....	22
Figura 16. Logo del joc	22
Figura 17. Icona de dash.....	22
Figura 18. Icona de tir carregat.....	22
Figura 19. Nivell 7 del prototip sense dificultat adaptativa.....	24
Figura 20. Nivell 7 del prototip amb DDA en dificultat fàcil i forçant a utilitzar les mecàniques.....	25
Figura 21. Freqüència jugant a videojocs dels usuaris	27
Figura 22. Percepció de dificultat del prototip sense DDA	28
Figura 23. Percepció de dificultat del prototip amb el DDA proposat	28
Figura 24. Comparació d'equilibri en la dificultat	29
Figura 25. Comparació de progressió en la dificultat.....	29
Figura 26. Comparació de coherència en la dificultat	29
Figura 27. Comparació de la diversió del prototip	30
Figura 28. Comparació de la frustració del prototip.....	30
Figura 29. Comparació de la satisfacció del prototip	30
Figura 30. Dificultat més adequada a les habilitats de l'usuari.....	30
Figura 31. Preferència general de prototip per l'usuari	30

Llista de taules

Taula 1. Enfocaments de la dificultat adaptativa.....	6
Taula 2. Característiques dels sistemes de DDA i la presència d'aquestes en els sistemes	13
Taula 3. Mecàniques del jugador.....	17
Taula 4. Enemics del joc	17
Taula 5. Objectes del joc	18
Taula 6. Comparació de cops rebuts i morts entre els dos prototips	31
Taula 7. Comparació de l'ús de mecàniques entre els dos prototips	31

Capítol 1

Introducció

1.1 Contextualització del treball

En el projecte explorarem la **dificultat adaptativa o dinàmica** en els videojocs, i com aquesta és aplicada, estudiant els **enfocaments estudiats i aplicats** de les últimes dècades. Per a això, definirem i contextualitzarem el concepte de dificultat adaptativa, començant amb la introducció a la pròpia **dificultat en els videojocs**.

1.1.1 Definició de la dificultat en els videojocs

La dificultat ha estat un factor crucial en la creació de videojocs des que va començar amb les màquines arcade quan la dificultat era vital per fomentar la repetició, obtenint una moneda extra per cada intent, però sense ser tan frustrant que els jugadors no volguessin donar-li una altra vegada [1]. Tanmateix, la percepció del repte és subjectiva i pot variar entre els jugadors, alguns veuen els obstacles com a gratificants, mentre que altres els troben massa difícils. La complexitat de la dificultat és una decisió important pels desenvolupadors de jocs perquè una **dificultat excessiva pot allunyar els jugadors**, mentre que massa **baixa pot provocar l'avorriment** [6]. En funció del joc i del jugador, a alguns els agrada jugar de manera més tranquil·la i fàcil, mentre que uns altres busquen reptes que els posin a prova tot el temps. És clau destacar com es dissenya la corba de dificultat en els videojocs. Per a tenir èxit necessitem que al principi el jugador es familiaritza amb el joc i les seves regles, després, a mesura que va avançant, cal anar pujant la dificultat. Així obliguen el jugador a dominar completament les mecàniques [6].

Per a abordar aquest tema és important parlar de la idea de "**flux**" de M.Csikszentmihalyi [7], més tard introduïda al sector dels videojocs per R.Koster [8]. A la figura 1 podem observar que quan la dificultat (challenge) del joc supera les habilitats (skills) del jugador, l'activitat es torna frustrant i el jugador és portat a un estat d'**ansietat**. En canvi, quan les habilitats del jugador superen la dificultat del joc, aquest es torna massa fàcil i porta al jugador a un estat d'**avorriment**. Per tant, l'objectiu és portar al jugador per l'estat de flux (flow), fent que l'usuari enfronti un repte amb un nivell de dificultat que **coincideixi amb les seves habilitats**. Per aconseguir portar al jugador a un estat de flux durant un llarg període de temps és necessari proporcionar una sèrie de reptes, prenent pauses entre els reptes per a evitar la sobrecàrrega del jugador. D'aquesta manera serà possible crear un joc que captivi el jugador i el mantingui jugant.

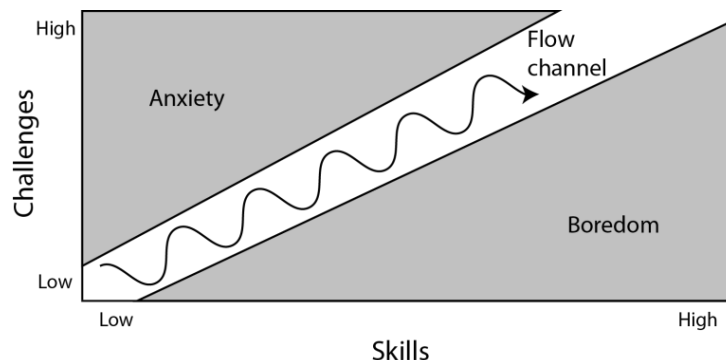


Figura 1. Canal de flux [7]

Per a gestionar la qüestió de quant difícil ha de ser un joc, es van començar a oferir opcions per a que el jugador ajusti la dificultat per si mateix. Un dels primers jocs a fer-ho va ser **DOOM (idSoftware, 1993)**, aquest reconegut shooter en primera persona donava l'opció de **canviar la dificultat** en començar una partida nova. Les diferents configuracions influeixen en com actuaven els rivals, el molt que et poden ferir, la resistència d'aquests i altres característiques del joc. Van aconseguir crear un sistema **flexible** en quant a la dificultat, així varietat de jugadors podien gaudir del joc fins i tot si no eren experts. El concepte d'ajustar el nivell de repte es va fer més comú any rere any, gràcies a millors tecnologies i un enteniment més profund del que els jugadors volen. Sovint aquestes configuracions inclouen **modificacions en diferents parts del joc**. Això abasta des de salut i dany dels adversaris o aliats fins a la quantitat d'enemics, recursos disponibles i com actuen els teus aliats o rivals entre altres detalls. Tot i així, hi ha altres jocs que han preferit no aplicar aquesta dificultat personalitzada, ja sigui perquè la dificultat no és un element rellevant del joc o perquè segons els dissenyadors creguin que és necessari jugar en la dificultat planificada, com pot ser la saga de videojocs **Souls (From Software)** [2].

1.1.2 Definició de la dificultat adaptativa en els videojocs

La dificultat adaptativa o dinàmica (DDA) va sorgir per solucionar el problema de la dificultat en els videojocs. Aquesta permet ajustar la dificultat del joc de **forma automàtica segons el rendiment i les interaccions del mateix jugador**, intentant garantir una experiència més satisfactòria i reduint la frustració del jugador. La DDA abraça les limitacions de les corbes de la dificultat predefinides, reconeixent que hi ha una gran varietat de jugadors amb diferents preferències de dificultat, i inclús preferències de dificultat canviant en el temps en un mateix jugador [3]. A més, considera altres aspectes de la jugabilitat, com són el nivell de diversió, i la satisfacció del jugador, tal com es destaca en la teoria dels quatre eixos de la diversió en videojocs: fantasia, curiositat, control del jugador i repte. On si aquests aspectes es mantenen en equilibri, el jugador estarà entretingut [4]. Per tant, la dificultat adaptativa no només s'ocupa de les preferències de dificultat individuals de cada jugador, sinó que també busca la forma de **mantenir l'equilibri entre els aspectes que contribueixen una experiència de joc satisfactòria i entretinguda**. Per garantir que funcioni de forma correcta, la DDA ha de ser capaç **d'identificar i adaptar-se ràpidament** al jugador, **reaccionar de forma àgil als canvis de rendiment** del jugador i **ajustar-se de forma poc evident** [5].

Tal com s'ha esmentat anteriorment, la selecció de dificultat al principi de la partida és el més habitual a trobar, oferint opcions com **fàcil, mitjana o difícil**. Però, aquesta selecció de dificultat no sempre resulta òptima en tots els casos, ja que aquest no pot fer front a la **diversitat de les habilitats** del jugador i a l'adaptabilitat que té el mateix jugador a les mecàniques durant el transcurs del joc [5]. Hi ha varies estratègies de modificació adaptativa de la dificultat, però tots tenen la capacitat de **predir i intervenir en l'experiència del jugador**, variant la intensitat de la intervenció segons diferents circumstàncies [3]. Aquestes circumstàncies poden incloure diferents situacions com moments de pèrdua repetida en una mateixa fase o nivell, períodes de baix rendiment, necessitat d'ajustar-se a noves mecàniques de joc introduïdes en fases posteriors o frustració davant de situacions difícils. La dificultat adaptativa **intervé en aquests casos** canviant normalment diferents aspectes com ara les estadístiques dels enemics, la quantitat d'enemics que apareixen en escena, la distribució de recursos per al jugador, entre altres aspectes del disseny del nivell i la jugabilitat.

1.2 Motivació de la investigació

En el panorama actual dels videojocs, la dificultat adaptativa s'ha convertit en una **eina popular per a crear experiències de joc més immersives i atractives**. En la gran majoria de jocs de les últimes dècades ha estat aplicada únicament a factors com ara les estadístiques dels enemics (salut, dany), les estadístiques del jugador, la quantitat d'enemics, el seu comportament o agressivitat, i els recursos disponibles per al jugador (munició, objectes), **centrant-se principalment en aspectes numèrics**. Addicionalment, aplicant una dificultat dinàmica en jocs podem aconseguir abordar un problema donat en la gran majoria de jocs d'acció on normalment el jugador **aplica la mateixa mecànica o arma que ha trobat més eficient o està més còmode**. Fent ús de la dificultat dinàmica podem **forçar al jugador**

a utilitzar diferents estratègies, fent que aquestes el beneficiïn per a superar certs nivells, forçant al jugador a sortir de la zona de confort i creant una experiència més completa.

Amb aquest projecte espero aprendre els diferents enfocaments utilitzats per a aplicar la dificultat adaptativa, analitzant la implementació d'aquesta en diferents videojocs. Amb l'aspiració de dedicar-me a la indústria dels videojocs, aquest projecte m'ajudarà a comprendre millor el funcionament d'aquesta, gràcies també a l'anàlisi de grans jocs coneguts, desxifrant com s'han aplicat els aspectes que estudio en el projecte. A més, espero adquirir habilitats tècniques per al desenvolupament de videojocs, concretament els sistemes de dificultat dinàmica, ja que considero que són sistemes fonamentals per a la indústria. Finalment, amb aquest projecte espero contribuir a la recerca de l'aplicació de dificultat adaptativa en videojocs, donant una alternativa la qual millori l'engagement del jugador i dongui una experiència més personalitzada.

Capítol 2

Estudi preliminar

En l'estudi de la dificultat adaptativa hi han hagut nombroses **investigacions i propostes**, explorant diversos enfocaments per a millorar l'experiència del jugador [9]. Explorarem aspectes específics de la dificultat adaptativa i els enfocaments més directes i coneguts que han estat estudiats i aplicats en diferents jocs de les últimes dècades. També analitzarem diversos **jocs populars** i com han aplicat la dificultat adaptativa, explorant l'aplicació d'aquesta en diferents gèneres de jocs. D'aquesta manera comprendrem el seu funcionament i podrem aplicar aquesta en la nostra proposta.

2.1 Recol·lectar i avaluar les habilitats del jugador

Per aconseguir una experiència de joc equilibrada és important **recol·lectar i avaluar les habilitats del jugador** a través de diferents dades i estratègies. Per a través d'aquesta avaluació poder comprovar si la dificultat encaixa amb el jugador [4] i en cas contrari poder aplicar posteriorment els canvis al joc perquè les habilitats del jugador encaixin amb la dificultat del joc. Aquest procés es basa en una anàlisi de les interaccions del jugador amb el joc, com la capacitat de superar reptes i adaptar-se a diferents situacions. Explorarem les variables avaluades i com s'avaluen aquestes en segons quins jocs.

2.1.1 Variables a avaluar

Per a saber quines variables han de ser seleccionades per analitzar, és necessari saber que és un fracàs en el joc [4]. Això ve determinat per les **condicions de guanyar o perdre** definides pel mateix joc, aquestes condicions són diferents depenent del joc. Alguns exemples poden ser videojocs d'acció, on normalment la condició de perdre és si el teu personatge mort, i la condició de guanyar aconseguir matar a tots els enemics en un nivell. Un exemple d'aquest tipus de condicions és el joc **Kingdom Hearts (Square Enix, 2002)**, on aquestes dues condicions són les que defineixen si el jugador ha aconseguit superar el nivell, o en cas contrari ha fracassat. En altres gèneres com poden ser els jocs de carreres, com **Super Mario Kart (Nintendo, 1993)**, la condició de guanyar és guanyar una carrera, o el torneig, i la condició de perdre el cas contrari, no guanyant o quedant en les últimes posicions. Aquestes condicions de guanyar o perdre varien molt segons el gènere de joc i el joc en concret. A partir de conèixer les condicions podem veure quines han de ser les **variables a analitzar** del jugador per a veure si la dificultat del joc correspon amb el nivell d'habilitat del jugador [10].

Les **variables a seleccionar** seran relativament diferents segons el joc i el gènere d'aquest. En jocs d'acció, com pot ser el cas de **Infamous (Sucker Punch, 2009)**, també considerat un shooter, les variables a analitzar són la quantitat de morts del jugador, les habilitats encertades i fallades, els enemics vençuts contra el temps i el temps que ha trigat el jugador a superar cert nivell, entre altres, on aquesta última variable en el cas de Infamous, el qual és un joc de món obert, es pot analitzar en nivells concrets de la història o baralles contra bosses. Cal recalcar, que segons el videojoc a analitzar, aquest contindrà més variables o menys, segons la complexitat [4], sent els jocs competitius en línia els que més variables contenen per a ser analitzades, com ara els jocs de gènere Multiplayer Online Battle Arena (MOBA), com pot ser el conegut joc **League of Legends (Riot Games, 2009)**, tenint varies variables com poden ser la quantitat d'enemics matats, les partides guanyades i perdudes, la quantitat de súbdits, or aconseguit, i un ampli ventall d'altres variables a nomenar, però en ser jocs competitius aquests no disposen de dificultat adaptativa. Gràcies a aquestes variables, podrem obtenir informació detallada sobre el rendiment del jugador, incloent-hi la ràtio d'èxit i fracàs, així com el seu procés d'aprenentatge al llarg del joc, aconseguint un ajustament de dificultat més precís quantes més variables tinguem en compte, però també consumirà més memòria [4].

2.1.2 Recol·lecció i avaluació de les dades

En la recerca "Exploring Dynamic Difficulty Adjustment in Videogames" de Gabriel K. Sepulveda, Felipe Besoain i Nicolas A. Barriga [4], s'investiga la **recol·lecció de dades del jugador i l'anàlisi d'aquestes dades**. Segons la seva investigació, en termes de recol·lecció d'aquestes, perquè el sistema de dificultat adaptatiu pugui fer un seguiment de les variables seleccionades, el joc ha de sobreescrivir el seu valor. El seguiment pot ser **desencadenat per esdeveniments o permanent**. El desencadenat per esdeveniments és per a les variables que canvien quan es compleix una condició o es realitza una acció, en el cas del videojoc Infamous, del qual hem parlat anteriorment, es refereix a dades com són la quantitat de morts del jugador, o la quantitat d'habilitats fallades, sent dades que s'actualitzen quan succeeix aquell esdeveniment. En canvi, el seguiment permanent s'aplica a les variables constants del joc. Per mantenir-les actualitzades, el joc crida la classe del sistema de dificultat adaptativa en el bucle de joc. Exemples d'aquestes variables són la salut del jugador, l'or i el progrés del joc.

Segons l'esmentada recerca per a tractar l'anàlisi de les dades, és important situar un **punt de referència**. Amb les dades recollides, és possible avaluar les habilitats del jugador utilitzant el rendiment d'un jugador que coincideixi amb la dificultat del joc com a punt de referència. Trobar un jugador que s'adapti perfectament a la dificultat del joc és impossible, per tant, es necessita un mètode que pugui proporcionar aquest punt de referència, preferiblement basat en dades de jugadors reals. Tenint les dades a analitzar i el punt de referència per a cada una d'elles, podem procedir a l'avaluació d'aquestes. L'avaluació es fa a través de diferents mètodes els quals **retornen un èxit, fracàs o una ràtio d'habilitat**. L'avaluació ha de ser realitzada amb **constància en el joc**, per a la dificultat **canviar** en el moment adequat. Per a això, l'avaluació del rendiment del jugador ha de succeir una vegada cada X nombre de tics. Un valor X baix fa que el joc sigui més adaptable, però augmenta el cost de processament i pot no ser necessari; la selecció del valor X adequat dependrà del gènere del joc. El rendiment del jugador s'avalua comparant les seves accions amb el punt de referència contra un temps, proporcionant una mesura de la dificultat del joc com podem veure a la figura 2.

$$\begin{cases} \text{Difficulty} = (N - Z)/D \\ \text{Ease} = 1 - \text{Difficulty} \end{cases}$$

Figura 2. Equacions pel primer mètode d'anàlisi de les dades [4]

Considerem a un jugador fent una mateixa acció un número de cops N, en un període de D tics, i prenent com a punt de referència Z. D'aquesta manera podem veure com el valor de Difficulty serà un valor normalitzat entre 0 i 1, i com que un jugador gaudeix de l'experiència quan la dificultat està anivellada, el valor mig és el desitjat, i per tant busquem un valor que estigui al voltant del 0.5. Les possibilitats d'obtenir el valor desitjat són baixes, és per això que hem de **deixar un marge adequat**. Aquest marge ha de ser definit de diferents maneres segons la situació avaluada, deixant aquesta responsabilitat al desenvolupador. Per exemple es podria deixar un marge d'error de 0.1, aconseguint un marge entre [0.4, 0.6] i obtenint un nivell de dificultat acceptable. Utilitzant aquest mètode podem calcular el **rendiment global del jugador**, fent una mitja entre totes les variables calculades o una ponderació i aconseguint un valor normalitzat. Un altre mètode tractat en la recerca esmentada ha estat avaluar el rendiment actual del jugador (Cp) contra el rendiment esperat en aquell instant (Ep[t]), com podem veure a la figura 3. En aquest cas, un valor pròxim a 1 significarà que el repte és l'adequat. Però, com en el mètode anterior, haurem de definir un marge d'error, com que aconseguir el valor desitjat de forma exacta és poc probable. Tots dos mètodes poden modificar-se per adaptar-se millor a les preferències del desenvolupador del joc i necessitats.

$$\text{Performance} = Cp/Ep[t]$$

Figura 3. Equació pel segon mètode d'anàlisi de les dades [4]

2.2 Enfocaments de la dificultat adaptativa

Diferents enfocaments han estat tractats en diferents recerques sobre la dificultat adaptativa en els videojocs al llarg dels anys com podem veure a la taula 1, on estan tots els enfocaments generals que han estat realitzats durant les últimes dècades, com que molts altres enfocaments estan basats en els esmentats. En aquesta secció farem una introducció d'alguns dels **enfocaments més directes** que han estat estudiats sobre la dificultat adaptativa. Per a més informació respecte a tots els enfocaments a "Dynamic Difficulty Adjustment (DDA) in Computer Games: A review" de Mohammed Zohaib [9] es fa una revisió exhaustiva sobre les diferents recerques de cada enfocament.

Taula 1. Enfocaments de la dificultat adaptativa

Autor(s)	Any	Enfocament
Hunicke i Chapman	2004	Sistema Hamlet [13]
Spronck et al.	2006	Scripting dinàmic [14]
Pedersen, Togelius i Yannakakis	2009	Perceptrons de capa única i multicapa [15]
Hagelback i Johansson	2009	Aprenentatge per reforç [16]
Li et al.	2010	Marge de Confiança Superior per Arbres i Xarxes Neuronals Artificials [17]
Ebrahimi i Akbarzadeh-T	2014	Sistema d'Autoorganització i Xarxes Neuronals Artificials [18]
Sutoyo et al.	2015	Mètriques [20]
Xue et al.	2017	Mètodes Probabilístics [3]
Stein et al.	2018	Heurístiques i EEG aplicats al ajustament de dificultat dinàmic [21]
Pfau et al.	2020	Modelatge profund del comportament del jugador (DPBM) [22]
Francillette et al.	2023	Model basat en moure's i evitar [19]

2.2.1 Sistema Hamlet

El sistema Hamlet és un sistema de Dificultat Adaptativa (DDA) que utilitza **mètodes de recerca operativa i gestió d'estocs** per ajustar l'oferta i la demanda d'inventari dels jugadors en els videojocs. Desenvolupat per Hunicke i Chapman [13], Hamlet supervisa i ajusta l'inventari dels jugadors per manipular la dificultat del joc, usant mètriques per predir el futur estat dels jugadors i intervenir quan es detecten situacions de dificultat. Aquest sistema està dissenyat per mantenir els jugadors en un estat d'interacció i desafiament òptim, usant equacions de teoria d'estocs per predir i ajustar els recursos disponibles del jugador i preveure les possibles escassetats d'inventari. A més, esmenta l'ús d'un model de flux inspirat en el model de Csikszentmihalyi per il·lustrar el gameplay d'un joc de tir en primera persona, enfocant-se en cicles d'acció com cercar, recollir, resoldre i combatre com podem veure a la figura 4. Hamlet té diverses funcions, com la gestió d'estadístiques de joc, la presa de decisions d'ajustament, l'execució d'aquests ajustaments, la presentació de dades i configuracions del sistema i la

creació de rastres per a rondes de joc. El sistema Hamlet és fonamentalment un grup de llibreries mantingudes en el motor del Half Life (Valve, 1998) [9]. En resum, Hamlet busca avaluar quan són necessaris ajustaments, decidir sobre els canvis i implementar-los de manera coherent.

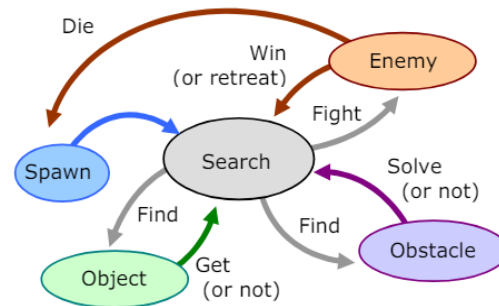


Figura 4. Diagrama de transició d'estat simplificat per a un joc FPS (First Person Shooter) [9]

2.2.2 Scripting dinàmic

El scripting dinàmic és un enfocament d'aprenentatge en línia no supervisat per als jocs que es caracteritza per la seva eficiència, rapidesa computacional i efectivitat [14]. Aquest sistema utilitza **múltiples bases de regles dins del joc**, assignant-ne una per a cada tipus d'oponent, i aquestes regles són dissenyades manualment amb informació específica del domini del joc. En crear un nou oponent, les regles que guien el comportament dels oponents es seleccionen de la base de regles segons el seu tipus, amb la probabilitat de selecció d'una regla de script depenent del pes assignat a aquesta. El sistema ajusta les bases de regles mitjançant la modificació dels pesos de les regles, reflectint les taxes d'èxit o fracàs de les regles relacionades. Aquest enfocament progressiu de l'aprenentatge s'utilitza per generar noves tàctiques d'oponents i ajustar la dificultat del joc per adaptar-se a l'experiència del jugador, i s'han proposat millores com la penalització per alta aptitud, la limitació dels pesos i la poda superior per aconseguir un equilibri de joc òptim. Les proves realitzades han demostrat l'eficàcia d'aquest sistema, amb dues de les tres millores mostrant resultats positius en l'increment de la qualitat de la intel·ligència artificial del joc. Com podem veure a la figura 5, per a cada adversari controlat per ordinador, una base de regles genera un nou script a l'inici d'una trobada. Després que s'acabi una trobada, els pesos que es troben a la base de regles s'adapten per reflectir els resultats de la lluita.

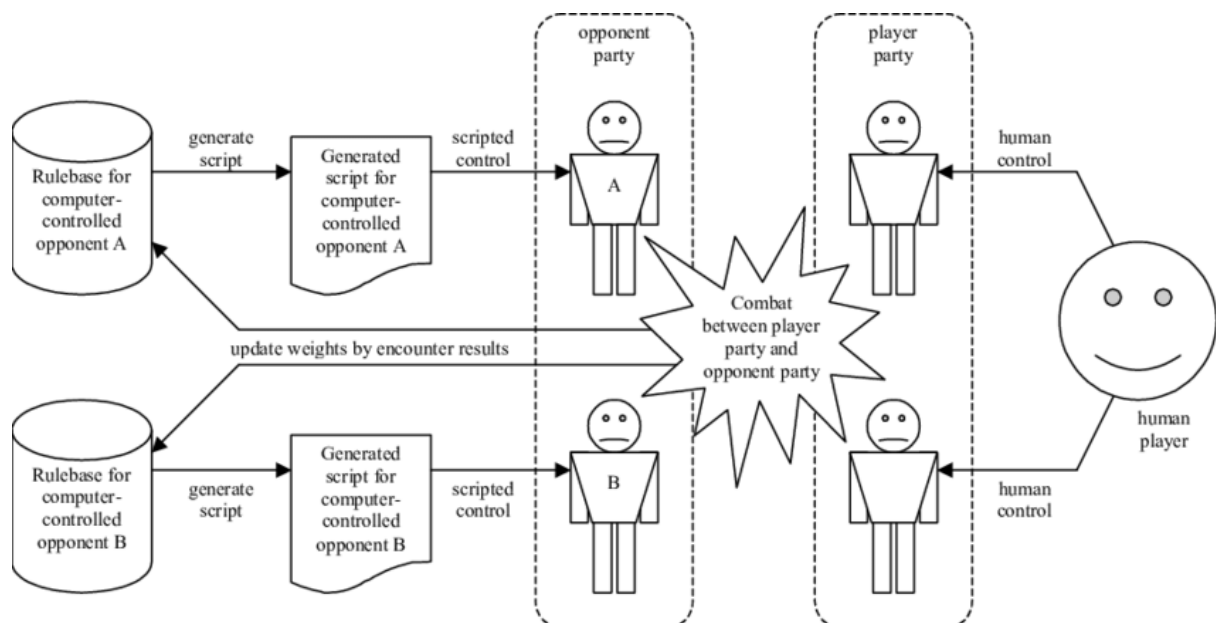


Figura 5. El procés realitzat per el Scripting dinàmic [14]

2.2.3 Mètriques

Dins dels jocs, les "mètriques" són eines fonamentals per mesurar i influir en el rendiment del jugador. En aquest sistema proposat per Sutoyo et al. [20], es fan servir **multiplicadors que s'apliquen als factors que controlen aquests aspectes**. Els desenvolupadors estableixen valors inicials neutres per a aquests multiplicadors, ja que al principi no s'hauria de produir cap canvi significatiu en els factors. Per a cada relació entre les variables utilitzades per avaluar el rendiment del jugador i els atributs que influeixen en aquest rendiment, es defineix un pes específic. És recomanable que cada variable estigui influïda només per uns pocs atributs per reduir la quantitat total de pesos. Aquests pesos es sumen al multiplicador en funció de la diferència entre el rendiment real del jugador i la dificultat esperada del joc. Aquesta avaluació pot realitzar-se mitjançant l'establiment de llindars o la multiplicació del pes per aquesta diferència.

2.2.4 Mètodes Probabilístics

Els mètodes probabilístics estudiats per Xue et al. [3] es centren a **predir esdeveniments del joc mitjançant càlculs probabilístics i utilitzar les probabilitats en una funció de desafiament**. Aquests càlculs s'utilitzen per obtenir el valor esperat dels factors que afecten directament el rendiment del jugador i actuar en conseqüència abans que el jugador enfronti el repte. Per exemple, si el jugador arriba a una zona amb el 40% de la seva salut, el càlcul probabilístic obtindrà el valor esperat del dany total que el jugador patirà. Aquest valor es retornarà a la funció de desafiament que avaluarà si el desafiament és massa difícil o massa fàcil per al jugador i actuarà en conseqüència abans que el jugador entri a la zona [4]. A més, aquests mètodes optimitzen l'engagement del jugador al llarg del joc, modelant la progressió del jugador en un graf probabilístic. Es fa servir una tècnica de programació dinàmica per resoldre-ho eficientment. També s'explora l'ús de tècniques d'aprenentatge en línia i fora de línia per a DDA, destacant la capacitat dels models evolucionats fora de línia i els mètodes d'aprenentatge en línia proposats. Finalment, es destaca l'ús de tècniques d'optimització bayesiana per dissenyar jocs que maximitzin l'engagement dels usuaris, i la proposta d'una coevolució ortogonal com a mètode prometedor per ajustar les dificultats dels jocs. En aquest mètode es centren principalment en jocs basats en nivells, jocs com Sonic (Sonic Team, 1991) o Super Mario Bros (Nintendo, 1985) són jocs basats en nivells, com molts altres jocs d'aquest tipus que han existit al llarg de la història dels videojocs. Per tant, basant el seu mètode en la progressió dels nivells, utilitzant la figura 6, la qual és un graph de progressió per a modelar la progressió del jugador a través dels nivells. Encara que sigui centrat en jocs basats en nivells, aquest mètode es pot generalitzar per a altres gèneres mentre es defineixen de forma correcta les etapes.

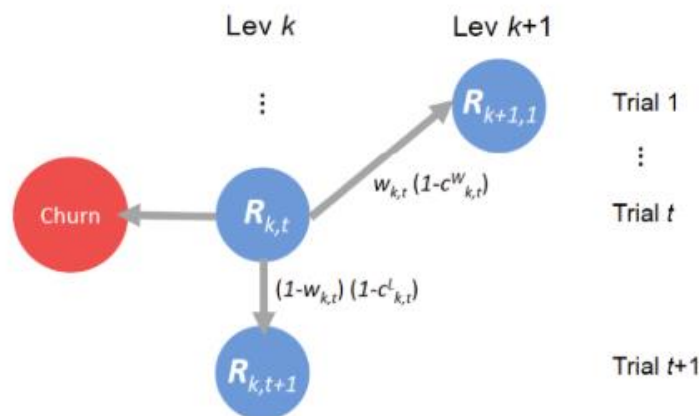


Figura 6. Transicions d'estat i les recompenses associades en un joc basat en nivells [3]

2.2.5 Heurístiques i EEG aplicats al ajustament de dificultat dinàmic

Tant el mètode heurístic com el DDA activat per EEG, els dos proposats i investigats per Stein et al. [21], busquen optimitzar l'experiència del jugador ajustant dinàmicament la dificultat del joc. En el mètode heurístic, s'utilitzen regles basades en estadístiques recollides durant el joc per determinar el nivell de modificació necessària i el moment de la seva activació, **utilitzant diferents heurístics per a diferents variables canviants del joc**. Això inclou estimar el nivell d'experiència relatiu de cada jugador i mesurar la distància entre ells per decidir quina modificació activar, o en el cas de jocs jugats per un sol jugador i sense connexió estimar el mateix nivell d'experiència i decidir quines característiques modificar. Per contra, en el mètode de DDA activat per EEG, les modificacions es disparen quan el nivell d'excitació d'un jugador cau per sota d'un llindar personal, calculant aquest a través de **senyals d'electroencefalografia del cervell a través d'uns auriculars Emotiv EPOC** dels quals disposaven. S'analitzen les mesures d'EEG per identificar l'excitació del jugador i calibrar el sistema per a cada individu. La distància entre els jugadors també es té en compte per seleccionar la modificació adequada. Ambdós enfocaments tenen com a objectiu millorar l'engagement del jugador adaptant la dificultat del joc de manera dinàmica, però utilitzen diferents aproximacions per fer-ho, ja sigui a través de regles heurístiques basades en estadístiques de joc o mitjançant la detecció d'estats emocionals del jugador amb mesures d'EEG.

2.2.6 Modelatge profund del comportament del jugador (DPBM)

El modelatge profund del comportament del jugador (DPBM) proposat per Pfau et al. [22] és un innovador mètode el qual realitza una modelització generativa individual del jugador a través d'una **arquitectura d'estat-acció i estableix una correspondència entre aquests mitjançant aprenentatge automàtic**. Utilitza una xarxa de perceptrons multicapa (MLP) amb retropropagació i una funció d'activació sigmoide logística per generar un agent de replicació representatiu d'un únic individu. La xarxa consta de 4 capes ocultes de mida igual a la capa d'entrada i 22 nodes a la capa d'entrada que descriuen l'estat del joc contextual més un conjunt de nodes que representen l'habilitat anterior. Aquesta implementació realitza una aproximació de modelatge de jugador sense model (bottom-up), fent el mapeig de les dades de joc a les accions mitjançant la classificació. Utilitza les accions de joc per generar comportaments modelats individualment mitjançant l'entrenament de tècniques d'aprenentatge automàtic.

2.3 Anàlisi de jocs amb dificultat adaptativa

En la gran majoria de videojocs de l'última dècada ha estat incorporat un sistema d'ajust dinàmic de la dificultat per a millorar l'experiència del jugador en una gran varietat de gèneres i estils de joc, canviant diferents atributs del joc segons el gènere. Analitzarem una varietat de jocs populars de diferents gèneres i com la **dificultat adaptativa ha estat aplicada en aquests**, analitzant els diferents aspectes de la dificultat adaptativa en aquests jocs.

2.3.1 Jocs de plataformes

En una gran varietat de jocs de plataformes ha estat aplicat l'ajust dinàmic de dificultat. Un d'aquests jocs és el popular **Crash Bandicoot (Naughty Dog, 1996)**, un joc el qual és conegut per la seva gran dificultat en els seus nivells, considerat inclús injust pels inexplicables pics de dificultat. Tot i això, aquest aplicava un sistema d'ajust dinàmic de dificultat on si un jugador moria massa vegades en un mateix nivell, el joc eliminava alguns enemics, canviava lleugerament els punts de control, reduïa la velocitat d'alguns obstacles, i augmentava la quantitat de potenciadors i vides extremes que es podien aconseguir en el nivell. Aquest sistema va ser aplicat també en les dues següents entregues de la saga. Un altre joc conegut de plataformes el qual va aplicar dificultat adaptativa és **Mega Man Zero (Capcom, 2002)**, sent el sistema aplicat en tota la saga de jocs de Mega Man Zero. En aquest cas, si aconseguim rangs alts en les baralles contra els bosses obtenim millors i diferents elements, però per anivellar-ho els enemics que trobem al final de cada zona són més difícils de vèncer, fent que el boss

tingui patrons d'atac especials i moviments únics, però si aconseguim vèncer-los podrem obtenir aquests atacs d'alt rang.

Com podem veure, l'ajust dinàmic de dificultat s'intenta aplicar amb transicions suaus en els dos videojocs, perquè el jugador no sigui conscient, podent veure aquesta suau transició sobretot en el **Crash Bandicoot (Naughty Dog, 1996)**, on les ajudes es van donant a poc a poc al jugador. També podem veure una bona relació entre el desafiament i la recompensa en el sistema aplicat a **Mega Man Zero (Capcom, 2002)**, fent que el jugador no s'avorreixi oferint-li una experiència més difícil, però també millors recompenses, aconseguint que el jugador se sentí recompensat pel seu esforç. En els dos casos podem veure una bona distribució de recursos al jugador i un bon impacte general en la experiència de joc gràcies als sistemes d'ajust dinàmic de dificultat.

2.3.2 Jocs de carreres

L'ajust de dificultat dinàmic ha estat aplicat també en jocs de carreres, especialment en els jocs de carreres més desenfrenats com és el cas de la saga **Mario Kart (Nintendo, 1993)** i altres jocs del mateix estil on apareixen diferents objectes i potenciadors en els circuits. En la gran majoria de jocs d'aquest estil les possibilitats d'obtenir un objecte o potenciador augmenten o disminueixen segons la posició en la qual estiguem, per tant, si ens trobem en les últimes posicions tindrem més probabilitats d'obtenir els millors objectes i potenciadors, i en cas contrari en tindrem menys probabilitats d'obtenir-los. A més, en la saga de jocs **Mario Kart (Nintendo, 1993)** es fa ús de **Rubber Band AI**, un sistema el qual altera el comportament dels personatges controlats per la intel·ligència artificial a les carreres, ajustant el comportament d'aquests perquè s'ajustin al nivell del jugador. Com podem veure en aquest cas l'ajust dinàmic de dificultat afecte a la distribució de recursos als jugadors i al comportament de la intel·ligència artificial, generant un efecte positiu a la experiència per a no fer les carreres frustrants als jugadors de baix nivell i donar-los possibilitats de guanyar, i dificultant les carreres als jugadors més experimentats a causa de la repartició de recursos, aconseguint que aquestes carreres no es facin avorrides. Òbviament en jocs de caràcter més competitiu i no tan àrcade, aquest sistema seria injust i és per això que en jocs de carreres més competitius no s'aplica aquest ajust dinàmic de dificultat. Tot i això, **Mario Kart (Nintendo, 1993)** ha estat un joc on s'han fet varies competicions de caràcter seriós, però al ser un sistema que ha estat aplicat des dels inicis de la saga, s'ha respectat i s'ha jugat de forma competitiva tenint en compte el sistema.

2.3.3 Jocs de tirs (FPS)

Igual que els anteriors gèneres esmentats, els jocs de tirs, o més coneguts com a first person shooters (FPS) en anglès, també han tingut implementats sistemes d'ajust dinàmic de dificultat al llarg de la història. Tenim l'exemple de **Half-Life 2 (Valve, 2004)**, on segons el nivell de destresa del jugador, el joc farà que apareguin menys recursos a les zones, com poden ser farmacioles o munició, generant un clima més tens i intranquil. D'igual manera **Resident Evil 4 (Capcom, 2005)**, varia la quantitat i qualitat de recursos que el jugador pot obtenir segons les seves habilitats. Però, en aquest cas, també ajusta l'agressivitat dels enemics, la quantitat d'aquests i l'efectivitat de les nostres bales segons el nivell d'habilitat del jugador. Fent una experiència més difícil i entretinguda per als jugadors experimentats, i una més assequible i menys frustrant per als jugadors poc experimentats, aconseguint que els jugadors es mantinguin en el canal de flux de M.Csikszentmihalyi [7]. L'esmentat joc **Resident Evil 4 (Capcom, 2005)**, és un dels principals exemples a tractar quan es parla de dificultat adaptativa, ja que va marcar un precedent pels següents jocs de les següents generacions en la manera d'aplicar la dificultat adaptativa, gràcies al bon funcionament del sistema. En aquests dos jocs la dificultat adaptativa va tenir un bon impacte general en els jugadors, afectant la distribució de recursos de manera afectiva i amb sotilesa, assolint transicions suaus perquè el jugador no s'adonés dels ajustaments però millorant l'engagement. En el cas del segon joc esmentat, podem veure com la dificultat adaptativa afectava addicionalment els enemics i a les bales del jugador, alterant l'agressivitat i la quantitat d'aquests en el cas dels enemics, i afectant les estadístiques en termes de l'efectivitat de les bales contra els enemics, requerint més trets per a vèncer-los. Aquestes mesures van estar realitzades de forma eficient, obtenint un major engagement per als jugadors.

2.3.4 Jocs d'acció i aventura

El gran gènere de jocs d'acció i aventura també ha tingut diversos casos d'ajustament dinàmic de dificultat. Un cas poc sabut de dificultat adaptativa és el cas del joc **The Legend of Zelda: Breath of the Wild** (Nintendo, 2017), on la dificultat adaptativa era aplicada en les trobades contra enemics. Si derrotem moltes vegades a un tipus de criatura en concret, el joc se les apanya perquè, a mesura que avancem, ens apareguin per enfrontar-nos varietats més poderoses d'aquell tipus de criatura per a equilibrar la balança. Per tant, quant millor se'ns doni lluitar contra un tipus de criatura, més difícil serà després lluitar contra aquest tipus. Un cas curiós i creatiu de dificultat adaptativa el podem veure a **Metal Gear Solid V: The Phantom Pain** (Kojima Productions, 2015), en aquest la intel·ligència artificial aprèn de les nostres estratègies i estil de joc, sobretot si abusem de les mateixes estratègies. Per tant ens força a posar-nos creatius en les nostres estratègies per a acabar amb els oponents. D'aquesta forma analitza la nostra manera de jugar i s'adapta a aquesta per a crear una experiència més entretinguda i alimentant la nostra creativitat. En els dos casos les transicions es fan de forma suau i aconsegueixen una gran variació en els desafiaments, afectant en un cas a la generació dels enemics i en l'altre a la intel·ligència artificial, però els dos tenint el mateix objectiu el qual és crear una experiència més entretinguda per al jugador. Obtenint un impacte positiu en el videojoc.

Capítol 3

Identificació d'oportunitats

Com hem pogut observar en l'estudi preliminar en termes de previsió del nivell del jugador i anàlisi de les variables, **la dificultat adaptativa ha avançat significativament** i poques millores tècniques que no siguin mètodes de predicció més precisos o un anàlisi de variables més optimitzat poden ser aportats. Tot i això, el projecte no es centra a millorar els aspectes tècnics dels sistemes d'ajust dinàmic de dificultat, sinó en **aplicar la dificultat adaptativa ja estudiada a la generació de contingut** per a millorar la varietat i creativitat en el gameplay del jugador i d'aquesta manera millorar l'experiència de joc. Per tant, en aquesta secció ens centrarem en identificar les característiques i limitadors dels sistemes existents en quant a com afecten la varietat i la creativitat del gameplay del jugador i les possibles millores que es poden aportar a aquests sistemes.

3.1 Característiques i limitadors dels sistemes existents

Tots els sistemes de dificultat adaptativa tenen varies característiques, utilitzant enfocaments diferents i afectant variables diferents, però amb objectius semblants en la gran majoria de casos. En quant a limitadors no ens centrarem tant en limitacions tècniques, com són els enfocaments emprats per a les prediccions o els mecanismes d'anàlisi de dades, ja que no és l'objectiu del projecte, sinó, en les **limitacions que tenen aquests sistemes per a millorar l'experiència del joc**, en quant a com afecten aquests al gameplay i quins aspectes d'aquest els sistemes actuals no poden resoldre.

3.1.1 Característiques dels sistemes existents

Com podem veure a la taula 2 de forma concisa, tots els sistemes existents d'ajust dinàmic de dificultat tenen **característiques semblants**, tot i utilitzar procediments diferents. Com hem pogut veure anteriorment, tots els sistemes fan un anàlisi de les diferents variables i dades del joc per aconseguir fer posteriorment una predicció gràcies a l'anàlisi d'aquestes. Òbviament, depenent del joc i del sistema emprat, les variables i dades a analitzar són diferents. Aquesta anàlisi de dades és una part fonamental dels sistemes d'ajust de dificultat, ja que permet identificar patrons i tendències que poden afectar l'experiència del jugador. La gran majoria de jocs, per a poder aconseguir dades del jugador només començar la partida, és recomanat fer un tutorial interactiu al principi, per a poder tenir unes poques dades a analitzar i poder aplicar el sistema de dificultat adaptativa des del principi [4]. A més de l'anàlisi de dades, molts sistemes també incorporen algorismes d'aprenentatge automàtic per millorar la seva capacitat predictiva i adaptativa amb el temps com és el cas del sistema proposat per Hagelback i Johansson [16]. **De la mateixa manera que tots els sistemes fan anàlisi de les dades del jugador, tots els sistemes ajusten la dificultat de manera dinàmica i en temps real** [9]. Això significa que els canvis en el joc es poden aplicar de forma immediata durant la partida, basant-se en l'avaluació continuada del rendiment i les accions del jugador. On normalment s'apliquen els canvis entre nivells o si no és el cas d'un joc per nivells es seleccionen diferents etapes per a aplicar aquests canvis, ja siguin condicions o moments del videojoc. Aquesta adaptabilitat en temps real és clau per proporcionar una experiència de joc fluida i coherent, ja que permet respondre de manera immediata als canvis en les habilitats del jugador.

Com hem pogut veure en l'estudi preliminar, tots els sistemes d'ajust dinàmic de dificultat **disposen d'un mètode de predicció** per a poder actuar en conseqüència dels resultats. Aquest mètode és indispensable per a poder aplicar els canvis adients al joc. Alguns mètodes són més ràpids i donen millors resultats que altres, però també són més costós i complexos d'integrar en gran varietat de jocs. Com és el cas del mètode proposat per Stein et al. [21] on s'utilitzen uns auriculars Emotiv EPOC per a obtenir senyals d'electroencefalografia del cervell, sent un mètode que actualment no és aplicable en

casos de jocs reals, ja que els jugadors no disposen dels auriculars Emotiv EPOC ni la resta d'estrís necessaris per a poder aplicar l'EEG. Fora dels aspectes tècnics dels sistemes, l'objectiu d'aquests sistemes és millorar l'experiència del jugador, intentant mantenir al jugador en el canal de flux del joc [8]. Per a aconseguir aquest objectiu, en l'ajustament de dificultat a part d'ajustar el nivell del joc a l'habilitat del jugador, hi ha una sèrie d'aspectes per aconseguir una millor aplicació d'aquest sistema, i millorar l'experiència del jugador. Un d'aquests aspectes, com hem pogut veure en alguns jocs, s'incorporen elements de recompensa i desafiament per mantenir l'interès del jugador al llarg del temps i fer sentir premiat l'esforç del jugador. Addicionalment, en tots els jocs el sistema és aplicat amb **transicions suaus** perquè el jugador no se n'adoni, i no trencar la immersió. En altres casos més treballats, com és el de **Metal Gear Solid V: The Phantom Pain (Kojima Productions, 2015)**, es fa un ajustament intel·ligent i es varien els desafiaments per aconseguir crear una experiència més entretinguda i enriquidora per al jugador. Gràcies a aspectes com aquests, l'experiència del jugador millora de manera significativa. En conjunt, aquestes característiques contribueixen a crear una experiència de joc dinàmica i adaptativa que pot adaptar-se de manera eficaç als estils de joc i les preferències dels jugadors.

Taula 2. Característiques dels sistemes de DDA i la presència d'aquestes en els sistemes

Característica	Presència
Anàlisi de Dades	Tots els sistemes
Tutorial Inicial	Alguns sistemes
Algoritmes d'Aprenentatge Automàtic	Alguns sistemes
Ajustament Dinàmic en Temps Real	Tots els sistemes
Aplicació de Canvis entre Nivells	Tots els sistemes (quan el joc es divideix en nivells o etapes)
Mètode de Predicció	Tots els sistemes
Canvis en Temps Real i Continuats	Tots els sistemes
Objectiu de Millorar l'Experiència	Tots els sistemes
Elements de Recompensa i Desafiament	Alguns sistemes
Transicions Suaus en la Dificultat	Tots els sistemes
Ajustament Intel·ligent	Alguns sistemes
Mantenir la Coherència i l'Equilibri	Tots els sistemes
Adaptabilitat als Estils de Joc	Tots els sistemes

3.1.2 Limitadors dels sistemes existents

Els sistemes existents d'ajust dinàmic de dificultat en els videojocs s'enfronten a diferents limitadors que poden afectar a l'eficàcia i la capacitat d'oferir una experiència de joc optimitzada. Un dels limitadors és **la complexitat i diversitat dels estils de joc i preferències dels jugadors**. Al ser cada jugador únic i tenir estils de joc diferents i preferències específiques, és difícil crear un sistema d'ajust de dificultat que s'adapti de forma perfecta a les necessitats de tots els jugadors. A més, els sistemes existents tenen problemes per adaptar-se a **canvis sobtats** en l'habilitat del jugador, com una millora ràpida de les habilitats, cosa que pot fer avorrida l'experiència del jugador. Tot i això, molts jocs solucionen aquest problema oferint un selector de dificultat disponible en el transcurs del joc, i no només al principi, permetent als jugadors triar el nivell de dificultat que millor s'ajusti a les seves habilitats i preferències. Com ja hem comentat anteriorment en les característiques del sistema, un altre limitador dels sistemes existents és la dificultat per preveure i adaptar-se a les preferències i estils de joc dels nous jugadors. Els **nous jugadors poden tenir grans dificultats per transmetre les seves preferències** o estil de joc

al sistema. Com que el sistema no posseeix dades d'aquests jugadors, aquest no es pot ajustar de manera adequada a les habilitats i preferències d'aquests jugadors. Això pot provocar que els nous jugadors es trobin amb situacions massa difícils o massa fàcils, reduint la seva satisfacció i augmentant la probabilitat d'abandonar el joc. Per tractar aquest problema, alguns sistemes obtenen dades d'altres jocs similars o ofereixen un **tutorial interactiu** al principi del joc per a poder operar amb algunes dades des del principi [4].

El següent limitador pot arribar a no ser considerat un limitador en si, però considero que és un problema presentat per la gran majoria de jocs amb sistemes de dificultat adaptativa. Aquest és el fet que la gran majoria d'aplicacions dels sistemes d'ajust dinàmic de dificultat tenen la tendència a **centrar-se exclusivament a modificar la dificultat del joc** sense tenir en compte altres aspectes rellevants de l'experiència. Normalment, únicament es centren a ajustar el nombre d'enemics, la seva agressivitat, canvis d'estadístiques o la disponibilitat dels recursos. Tot i que aquestes mesures solen funcionar per augmentar o disminuir el repte del joc, no sempre donen una experiència de joc **enriquidora i satisfactòria**. Això és perquè l'aplicació de la majoria de sistemes no incorpora elements que requereixin creativitat o adaptabilitat per part del jugador, elements que forcin al jugador a no utilitzar la mateixa estratègia o les mateixes mecàniques. Això pot conduir a una experiència de joc menys enriquidora i immersiva, ja que els jugadors poden sentir-se simplement superats pels desafiaments tècnics en lloc de ser desafiats a pensar estratègicament o buscar solucions innovadores. Per superar aquest limitador, és necessari que els desenvolupadors **considerin no només la dificultat pura** del joc, sinó també altres factors com la varietat d'objectius i desafiaments, la diversitat de situacions de joc i la capacitat del jugador per prendre decisions significatives. En pocs casos aquests elements si han estat incorporats, com és el cas de l'esmentat **Metal Gear Solid V: The Phantom Pain (Kojima Productions, 2015)**, on, a través de la IA dels enemics, la qual aprenia de les estratègies del jugador, forçava al jugador a innovar.

3.2 Possibles millores

Sent conscients de les limitacions en els sistemes existents, es poden explorar noves vies i estratègies per a millorar l'experiència de joc i adaptar-la de manera més efectiva a les necessitats i habilitats dels jugadors. Una possible millora és la implementació de sistemes d'ajust dinàmic de dificultat basats en l'aprenentatge per reforç en els videojocs, com l'estudi de Hagelback i Johansson [16]. Aquests sistemes poden aprendre contínuament del comportament del jugador i ajustar la dificultat de manera més sofisticada que altres sistemes, i també de manera més personalitzada per a donar una millor experiència al jugador. Com hem pogut veure en l'estudi realitzat per Stein et al. [21], es poden millorar els sistemes actuals si s'utilitza feedback biològic, com utilitzar els senyals d'electroencefalografia del cervell. Això permetria calcular quan el jugador està entretingut, avorrit o frustrat de manera exacta, i poder actuar en conseqüència. Però, per a això es necessitarien diverses eines de les quals els usuaris no disposen actualment. Tot i això, si s'incorporessin aquestes eines i es comercialitzessin, es podria aplicar i d'aquesta manera aconseguir una aplicació més precisa de la dificultat adaptativa. Una altra proposta de millora seria la implementació del modelatge profund del comportament del jugador (DPBM) proposat per Pfau et al. [22]. On, es realitza una aproximació de modelatge de jugador, fent un mapeig de les dades de joc a les accions, i utilitzant l'aprenentatge automàtic per aconseguir finalment capturar la complexitat del comportament del jugador, permetent així una adaptació més precisa i personalitzada de la dificultat del joc en temps real. **Aquestes possibles millores tècniques són degudes al fet que la gran majoria de jocs comercials no apliquen noves tècniques de dificultat adaptativa, utilitzant la majoria sistemes heurístics senzills amb les dades estudiades, o el sistema Hamlet.** Tot i que aquests enfocaments són efectius fins a cert punt, es podrien provar enfocaments més elaborats, els quals hem pogut veure a l'estudi preliminar, que podrien arribar a donar millors resultats en l'adaptació de la dificultat del joc.

Fins ara, les millores en els sistemes actuals que hem tractat han estat de caràcter purament tècnic, proposant diferents sistemes de dificultat adaptativa que han estat estudiats per a millorar la capacitat

de resposta i precisió dels canvis de dificultat en el joc segons les habilitats i preferències del jugador. A part de les millores tècniques en els sistemes de dificultat adaptativa, és important considerar també **la forma en què aquesta dificultat s'aplica** i es presenta al jugador. Com hem vist en els limitadors, la gran majoria dels sistemes actuals es limiten a ajustar la pròpia dificultat del joc, ajustant diversos paràmetres, sense incorporar elements que requereixin la creativitat per part del jugador, fet que aconseguiria un major entreteniment per part d'aquest a l'estimular més el cervell del jugador i mantenir-lo més centrat i immers en el joc. Per superar aquesta limitació, **s'hauria d'expandir la gamma d'elements que s'ajusten dinàmicament en resposta al rendiment i preferències del jugador**. Com és el cas de **Metal Gear Solid V: The Phantom Pain (Kojima Productions, 2015)**, joc del qual ja hem parlat anteriorment, utilitzen la intel·ligència artificial dels enemics per aconseguir aquest propòsit, fent que aprengui de les estratègies del jugador per a contrarestar-les i forçar al jugador a variar en les estratègies per a superar diferents situacions. D'aquesta manera aconsegueix millorar l'experiència de joc, requerint la creativitat del jugador per a superar els nivells. Un altre element a ajustar dinàmicament per a millorar l'experiència és el cas de la solució proposada en el projecte, afectant la generació de contingut del nivell. Això vol dir afectar aspectes com la variació d'enemics, plataformes, i altres aspectes de la generació de contingut del nivell, tot depenent del gènere de joc i dels aspectes de generació que es poden arribar a variar segons el joc. D'aquesta manera aconseguirem que el jugador hagi d'utilitzar varies mecàniques i estratègies per a superar el nivell, requerint la **creativitat del jugador**. Per tant, analitzariem el comportament del jugador i aplicariem els canvis a la generació del mateix nivell, segons les diferents variables analitzades.

Capítol 4

Proposta teòrica

Com he mencionat en les possibles millores, per aconseguir que el jugador **hagi d'utilitzar totes les mecàniques disponibles** en el joc i aconseguir d'aquesta manera es gaudeixi d'una millor experiència, s'ha d'expandir la gamma d'elements que s'ajusten de forma dinàmica en resposta al rendiment i preferències del jugador, al ser analitzat amb l'algoritme d'ajust dinàmic de dificultat. Per a això, com el mateix nom del treball indica, es proposa **aplicar la dificultat adaptativa a la generació de continguts dels nivells**. Per tant, aquest enfocament consisteix a modificar aspectes com **la varietat i quantitat d'enemics, o la varietat i quantitat d'objectes**, adaptant-se constantment segons els anàlisis realitzats al jugador. D'aquesta manera, es pretén adaptar la dificultat a les habilitats del jugador, com la resta de sistemes, però enriqueixent l'experiència de joc al promoure l'ús de totes les mecàniques, requerint que el jugador faci servir la seva creativitat i capacitat d'adaptació.

4.1 Descripció del plantejament del joc

En aquest apartat presentem el disseny del joc que servirà com a prototip per implementar i provar el sistema de dificultat adaptativa proposat. El joc està inspirat en el conegut videojoc **The Binding of Isaac (Edmund McMillen, 2011)**, reconegut per la seva jugabilitat dinàmica i desafiaments constants. Hem creat una experiència en 2D on el jugador es desplaçarà per diferents rondes contra onades d'enemics en una mateixa sala, enfrontant-se a una varietat d'enemics i utilitzant diverses habilitats per sobreviure. Aquest entorn ens proporciona una base simple, però eficaç per incorporar el sistema d'ajust dinàmic de dificultat proposat i com aquest afecta en la jugabilitat.

4.1.1 Dinàmica del joc

El joc proposat és una experiència en **dues dimensions (2D)** amb vista superior, comptant amb **10 nivells diferents**, tots ells ambientats en una mateixa sala. En cada escenari d'aquests nivells, hi haurà una varietat de diferents enemics als quals el jugador s'enfrontarà, així com objectes que poden proporcionar ajudes diverses al jugador. Aquesta estructura per nivells ofereix una **plataforma ideal per a integrar el sistema** de dificultat adaptativa. L'ajustament es realitzarà en la generació del següent nivell, permetent-nos dividir clarament quan aplicar els canvis en la dificultat. A més, aquest sistema també s'aplicarà si el jugador ha de repetir un nivell, assegurant una adaptació contínua i precisa de la dificultat del joc segons el rendiment i les necessitats del jugador. Això garanteix una experiència de joc fluida i ajustada, captant l'atenció del jugador i proporcionant un desafiament adequat a cada etapa del joc.

4.1.2 Mecàniques del jugador

El jugador tindrà un **màxim de tres vides** i com podem veure a la taula 3, el jugador també disposarà de **diferents mecàniques** per a poder fer front als diversos enemics de cada nivell. Primerament, podrà **moure's en totes les direccions** que disposa un terreny 2D amb vista superior, disposant de moviments verticals, horitzontals i diagonals. Per moure's, com la gran majoria de jocs d'ordinador, utilitzarà les tecles W, A, S i D del teclat per desplaçar-se cap amunt, cap a l'esquerra, cap avall i cap a la dreta respectivament, on pressionar una tecla de direcció vertical i una d'horitzontal a l'hora, permetrà moure's en diagonal. A més el jugador podrà **apuntar** cap a la direcció desitjada fent ús del ratolí, per a posteriorment poder **disparar un projectil** amb el clic esquerre del ratolí en aquella direcció. Una de les habilitats més importants serà el **dash**, el qual li permetrà moure's a gran velocitat durant un curt període de temps i al mateix temps, el farà invulnerable a qualsevol atac enemic. Això li proporcionarà al jugador una eina valuosa per esquivar els enemics. El dash podrà ser realitzat pressionant la tecla

Shift i dirigint-lo amb les tecles de moviment cap a la direcció desitjada. A més del dash, el jugador també podrà utilitzar un **tir carregat**. Aquest tir li permetrà disparar un projectil més potent, el qual infligirà més dany als enemics. Però, a canvi, el jugador haurà de romandre quiet durant un temps mentre carrega aquest atac, fent-lo més vulnerable als enemics. El tir carregat es dispararà amb el clic dret i d'igual manera que el projectil bàsic, el projectil carregat serà llençat en la direcció que estigui apuntant el jugador fent ús del ratolí.

Taula 3. Mecàniques del jugador

Mecànica	Ús	Breu descripció
Moviment	Tecles W, A, S, D	Moviment en les direccions cardinals i diagonals.
Apuntar	Ratolí	Direcció de dispar del jugador.
Tir bàsic	Clic esquerre	Disparar un projectil bàsic.
Dash	Tecla Shift i tecles de moviment	Moviment ràpid i invulnerabilitat temporal
Tir carregat	Clic dret	Dispar d'un projectil més potent

4.1.3 Enemics i objectes del joc

Com podem veure a la taula 4 i a la taula 5, el joc presentarà una **varietat d'enemics** amb diferents característiques i objectes que proporcionaran diferents ajudes al jugador segons l'objecte. Els enemics, tot i tenir mecàniques senzilles i un comportament simple al únicament seguir al jugador, ofereixen reptes diferents. Seguidament, explicarem els diferents enemics i objectes que es poden trobar al joc. Comencem amb els enemics: **el Fantasma** es distingeix per la seva alta velocitat, mentre que **el Monstre de Foc** és invulnerable fins que el jugador l'atravessa amb un dash, moment en què es torna vulnerable durant uns segons. **L'Ull Errant**, per la seva banda, és l'enemic més lent, però el que té més vida. Respecte a les seves debilitats, el Fantasma es pot derrotar fàcilment amb el tret bàsic del jugador, mentre que el Monstre de Foc requereix un enfocament estratègic per aprofitar els moments de vulnerabilitat després de l'ús del dash. L'Ull Errant, per la seva lentitud i quantitat de salut, es neutralitza de manera més efectiva amb el tret carregat del jugador. Pel que fa als objectes, **la Poció de Vida** restaura completament la salut del jugador, **la Poció de Velocitat de Trets** augmenta la freqüència de foc del tir bàsic del jugador durant un curt període de temps i **la Bandera de Reducció de Cooldowns** redueix els temps d'espera per a tornar a utilitzar les habilitats especials com el dash o el tir carregat durant uns quants segons. Aquesta combinació d'enemics i objectes ofereix al jugador una experiència de joc completa i estratègica, on haurà de triar sàviament com utilitzar els seus recursos per superar els reptes que se li presenten en cada nivell.

Taula 4. Enemics del joc

Enemic	Descripció	Debilitat
Fantasma	L'enemic més ràpid amb la vida més baixa.	Es pot matar fàcilment amb el tret bàsic.
Ull errant	L'enemic més lent però amb més vida.	És millor usar el tret carregat per maximitzar el dany.
Monstre de foc	Moderadament ràpid i invulnerable.	Esdevé vulnerable després de ser travessat amb el dash.

Taula 5. Objectes del joc

Objecte	Descripció	Efecte
Poció de vida	Recupera la vida del jugador.	Restaura la salut completa del jugador.
Poció de velocitat de trets	Augmenta la velocitat de dispar del jugador.	Permet disparar projectils bàsics més ràpidament.
Bandera de reducció de cooldowns	Redueix el temps de reutilització de les habilitats del jugador.	Permet utilitzar el dash i el tret carregat més sovint.

4.2 Algorisme de dificultat adaptativa aplicada a la generació de contingut

Per al prototip hem dissenyat un algorisme de dificultat adaptativa que s'aplica directament a la generació de continguts del joc, com ara la variació en el nombre i tipus d'enemics, així com la disponibilitat d'objectes en cada nivell i els tipus d'objectes. Aquest enfocament ens permet personalitzar els nivells de manera que s'adaptin millor a les habilitats i necessitats de cada jugador. A continuació, desglossarem els diferents atributs de l'algorisme i com serà aplicat.

4.2.1 Enfocament de dificultat adaptativa utilitzat en el prototip

Per a aplicar l'ajust de dificultat adaptativa en el joc, he optat per fer ús de **heurístiques** com un dels enfocaments proposats per Stein et al. [21] en el seu estudi. Aquest enfocament es basa en l'anàlisi i l'aplicació de regles simples per ajustar la dificultat del joc segons el rendiment del jugador. Per tant, segons si el jugador compleix una regla o un altre a través del seu rendiment, es pren una decisió. La decisió d'utilitzar heurístiques i no altres enfocaments predictius més elaborats com els mètodes probabilístics [3], ve determinada pel fet que **el nostre joc és un prototip molt curt**, d'uns 6 minuts de durada, amb només 10 nivells. En aquest context l'ús de models predictius més avançats no seria pràctic ni eficient. **Els models més avançats necessiten una major quantitat de dades** per a ser entrenats i funcionar de manera efectiva [4], i el joc, en la seva forma de prototip, no proporciona suficients dades per a una anàlisi robusta i una predicció precisa. A més, l'objectiu principal del nostre prototip no és el desenvolupament d'un algorisme predictiu de dificultat adaptativa complex, sinó **l'aplicació** de l'ajust dinàmic en la generació de continguts dels nivells, per tant, aprofitem la simplicitat i eficàcia de l'enfocament basat en heurístiques per centrar més temps i esforços en la implementació i l'ajust de la generació de continguts dinàmics. Mitjançant l'ús d'heurístiques, podem ajustar **ràpidament la dificultat del joc** en resposta a l'experiència del jugador, sense la necessitat de processos computacionals complexos. S'ha de dir, que tot i utilitzar heurístiques per aquest prototip, no hauria d'haver-hi **cap problema a utilitzar altres enfocaments** per aconseguir aplicar la dificultat adaptativa a la generació de contingut en altres jocs o prototips més llargs i complexos.

4.2.2 Variables a avaluar en el prototip

Com és explicat en l'estudi preliminar, utilitzem una metodologia molt semblant per al cas del prototip. Primerament, hem **definit les variables a avaluar** per a saber el rendiment del jugador. Les variables que hem utilitzat són **la quantitat de morts, el nombre de cops rebuts i el temps necessari per completar cada nivell**. Aquestes variables seran utilitzades per ajustar la dificultat: si el jugador mor sovint, rep molts cops o triga molt temps a superar un nivell, el sistema interpretarà que la dificultat és massa alta i, per tant, ajustarà els nivells futurs per fer-los més fàcils, o en cas que repeteixi el nivell en morir, ajustarà el mateix nivell. Inversament, si el jugador es mou ràpidament a través dels nivells sense morts i pocs danys, això suggerirà que la dificultat es pot augmentar per mantenir el desafiament. A més de les variables relacionades amb el rendiment general del jugador, també analitzem l'ús de les mecàniques, com **la quantitat de dashes i el nombre de tirs carregats**. Aquestes dues variables ens ajuden a determinar si el jugador està utilitzant o no, les habilitats disponibles. Per exemple, si el jugador

rarament fa servir el dash o el tret carregat, el sistema pot introduir ajustos que facin necessària l'ús d'aquestes mecàniques per superar els desafiaments, així fomentem una experiència de joc més completa i variada. Això ens permet no només adaptar la dificultat general del joc sinó també assegurar-nos que el jugador aprofiti totes les eines disponibles, millorant així la seva experiència global.

4.2.3 Recol·lecció i avaluació de les dades en el prototip

En el desenvolupament del nostre prototip, hem aplicat una metodologia similar a la descrita en l'estudi preliminar de Gabriel K. Sepulveda, Felipe Besoain i Nicolas A. Barriga [4] per a la recol·lecció i l'anàlisi de dades. Aquesta metodologia és essencial per implementar l'algorisme de dificultat adaptativa i garantir que el joc s'ajusti dinàmicament a les habilitats del jugador.

Per a la recol·lecció de dades, **el sistema actualitza de manera contínua els valors clau segons les condicions que es compleixen durant el joc**. Les variables amb seguiment **desencadenat** per esdeveniments són les morts, els cops rebuts, els dashes utilitzats i els tirs carregats. Aquestes variables s'actualitzen en el moment en què es produeix l'esdeveniment corresponent (per exemple, cada cop que el jugador rep un cop, mor, utilitza un dash o dispara un tir carregat). Respecte a la variable de seguiment **permanent**, només el temps total que el jugador triga a completar cada nivell es manté actualitzat constantment en el bucle del joc.

En l'anàlisi de les dades, **hem utilitzat els meus propis resultats com a jugador model**, deixant un **marge de rendiment**. A partir d'aquests resultats, hem calculat dos heurístics per nivell, un amb els meus bons resultats i l'altre amb els resultats pitjors pel marge de rendiment, combinat amb **pesos assignats a les variables clau**, com podem veure a la figura 7: les morts han estat valorades en un 0.6, els cops rebuts en un 0.3 i el temps ha estat dividit per 10 perquè representes ser semblant a una nota i valorat en un 0.1. Aquests heurístics calculats s'han utilitzat com a **llindars** per determinar si el rendiment del jugador justifica un canvi de dificultat. Aquest heurístic **es calcula per a cada jugador**, basant-se en les seves pròpies estadístiques acumulades durant la partida, que inclouen els resultats de tots els nivells jugats fins al moment. Si el jugador obté resultats millors que els meus, l'heurístic resultant serà menor, indicant una adaptació cap a una dificultat més elevada. Per contra, si els resultats són pitjors que els meus amb el marge de rendiment, l'heurístic serà major, suggerint una reducció de la dificultat del joc. I per últim, si els resultats estan entre els meus resultats òptims i els pitjors amb el marge de rendiment, la dificultat es mantindrà en el nivell actual, assegurant una experiència de joc coherent i desafiadora per al jugador.

$$\text{Heuristic} = \text{Morts} * 0.6 + \text{Cops} * 0.3 + (\text{Temps}/10) * 0.1$$

Figura 7. Càlcul de l'heurístic

Per a les variables específiques, com la quantitat de "dashes" utilitzats i els trets carregats, hem optat per una comparació directa amb els meus resultats com a jugador model. **Hem establert un sol llindar** per a cada una d'aquestes variables per cada nivell del joc. Això vol dir que si el jugador utilitza els "dashes" o els trets carregats en una freqüència que s'ajusta o supera els meus valors de referència, considerem que està fent un ús adequat d'aquestes mecàniques. Aquest enfocament ens permet avaluar amb precisió si el jugador està utilitzant les habilitats disponibles o no, i actuar en conseqüència.

4.2.4 Aplicació del sistema en la generació de contingut

Per aplicar el sistema en la generació de contingut, hem optat per **crear diverses variacions de cada nivell**, concretament **12 variacions**, que corresponen als tres nivells de dificultat amb quatre subcategories per a cada nivell **basades en l'ús del dash, del tir carregat o de tots dos**. Les subcategories són les següents: la primera categoria representa els jugadors que utilitzen la quantitat desitjada o més de les dues mecàniques; la segona categoria inclou els jugadors que utilitzen poc el dash; la tercera categoria està formada pels jugadors que utilitzen poc el tir carregat; i la quarta categoria

abasta els jugadors que utilitzen poc les dues mecàniques. Així, cada variació del nivell s'ajusta en funció de l'estil de joc del jugador en relació amb aquestes dues mecàniques clau.

A partir d'aquí, en cada variació, modifiquem aspectes com **el tipus d'enemic, la seva quantitat i els objectes disponibles**, ajustant-los segons el valor de cada variable. Si el jugador ha utilitzat poc el dash, augmentarem la presència de monstres de foc per fomentar-ne l'ús; si ha utilitzat poc el tir carregat, incrementarem la quantitat d'ulls errants per incentivar-ne l'ús. Aquests canvis en la dificultat també afecten **la disposició dels enemics i la distribució dels objectes**, modificant la quantitat d'enemics, la seva distribució i la variació en els tipus d'objectes. Això implica que, en funció del nivell de dificultat, s'ajusta la quantitat d'enemics que apareixen, com estan disposats en l'escenari i quins tipus d'enemics s'inclouen. A més, la distribució dels objectes també es veu afectada, prioritzant la poció de vida en els nivells més fàcils al donar gran ajuda al jugador, on apareixerà amb més freqüència, mentre que en els nivells més difícils es donarà més importància als altres objectes, ja que no donen tanta ajuda. Aquests canvis s'intenten aplicar de manera suau per mantenir la fluïdesa de la jugabilitat i intentar assegurar uns canvis inperceptibles per al jugador, com altres sistemes de DDA.

Capítol 5

Desenvolupament del prototip i de les proves d'usuari

En aquesta secció, abordarem el desenvolupament integral del nostre prototip de joc, des de les seves fonamentades bases fins a la seva forma final. Explorarem els **processos de creació**, tant des d'una perspectiva de codi com visual i sonora, destacant com s'han implementat i integrat els recursos necessaris per a cada aspecte. A més, **examinarem en profunditat l'ajustament dinàmic de la dificultat**, descrivint com s'ha aplicat a la generació de contingut i com s'ha ajustat per proporcionar una experiència de joc immersiva i adaptable. Finalment, **analitzarem l'aspecte final del prototip**, considerant com tots els elements s'uneixen per oferir una experiència de joc cohesionada i satisfactòria, abans de passar a explicar com hem realitzat les proves d'usuari per avaluar l'experiència de joc. **Com a apunt, els dos prototips es poden trobar a l'apèndix per a ser consultats si es desitja de més informació.**

5.1 Desenvolupament del joc

En aquesta secció, ens centrarem exclusivament en el **desenvolupament del prototip** del nostre joc, posant l'accent en les mecàniques de joc, la creació dels nivells i la implementació dels recursos visuals i sonors. Aprofundirem en el procés de creació dels nivells, discutint les seves diverses característiques i reptes. A més, examinarem com s'han creat i integrat els recursos visuals i sonors per a enriquir l'experiència del jugador. Amb una anàlisi detallada d'aquests aspectes clau del desenvolupament, serem capaços de comprendre millor l'elaboració del nostre prototip. Com he comentat anteriorment, **el prototip sense sistema de dificultat adaptativa es pot consultar a l'apèndix**, tenint un enllaç al GitHub on es troba el prototip.

5.1.1 Recursos visuals i sonors

El desenvolupament del prototip va començar amb la recerca i selecció de **recursos visuals i sonors**, essencials per establir l'estètica i l'ambientació del joc, mantenint un estil coherent en conjunt amb estil Pixel Art. Per a la sala on es desenvolupa tot el joc, vam buscar un paquet d'assets que inclogués textures per als sòls, parets i altres elements decoratius, proporcionant una base visual coherent. Utilitzant el paquet anomenat "2D Pixel Dungeon Asset Pack by Pixel_Poem". Els personatges, tant el jugador com els enemics, necessitaven sprites que reflectissin clarament les diferències entre ells, mantenint la coherència en el món del joc, decidint utilitzar un estil de monstres i fantasia fosca. Com veiem a la figura 7, per al jugador, vam triar un sprite que representava una calavera, la qual, al acabar en forma de punta a la part inferior, facilita la visibilitat dels projectils disparats des de la punta final de la calavera, semblant la proa d'una nau, ajudant al jugador a apuntar amb precisió. Pel que fa als enemics, vam escollir representacions gràfiques que incloïen un fantasma (figura 8), un ull errant gegant (figura 9) i un monstre de foc (figura 10). Aquesta elecció permet que cada personatge tingui una aparença única i distintiva, mentre manté la coherència amb la temàtica general de fantasia fosca del joc. Com veiem a la figura 14, per als projectils, vam utilitzar un sprite únic que canviava de color gràcies a un script, diferenciant el tir estàndard del tir carregat. Per als objectes com la poció de vida (figura 11), la poció de velocitat de trets (figura 12) i la bandera de reducció de cooldowns (figura 13), vam utilitzar sprites del mateix paquet d'assets que la sala per garantir una coherència visual. **Tots aquests recursos visuals es poden consultar a l'apèndix del treball.**



Figura 8. Sprite del jugador



Figura 9. Sprite Fantasma



Figura 10. Sprite UII errant



Figura 11. Sprite Monstre de foc



Figura 12. Sprite Poció de vida



Figura 13. Sprite Poció de velocitat de trets



Figura 14. Sprite Bandera de reducció de cooldowns



Figura 15. Sprite del projectil

Acabant amb els recursos visuals, per a les icones de la interfície d'usuari, vam optar per icones que complementessin l'estètica general del joc i facilitessin la comprensió de les funcionalitats per als jugadors. Per al logo del menú del joc, com el podem veure a la figura 15, vam utilitzar una pàgina web especialitzada per a la creació de logotips, assegurant-nos que el disseny s'ajustés al tema del joc. Respecte a les icones de la interfície del jugador, vam seleccionar-los amb cura per garantir la coherència visual. L'Icona del dash (figura 16), per exemple, va ser representat com una silueta negra en forma de corredor, ressaltant la funcionalitat de moviment ràpid. D'altra banda, l'Icona del projectil carregat (figura 17) es va dissenyar com una representació clara d'un projectil, facilitant la identificació de la mecànica per als jugadors. **De igual manera que els anteriors, aquests recursos es poden consultar a l'apèndix del treball.**



Figura 16. Logo del joc



Figura 17. Icona de dash



Figura 18. Icona de tir carregat

Pel que fa a l'àmbit sonor, vam seleccionar un paquet de sons en 8 bits que complementava l'estètica retro del joc. El paquet en qüestió s'anomena "ATOM SPLITTER AUDIO - Games and 8-Bit Kit Volume 1". Aquests sons els vam utilitzar com efectes per a diferents accions del joc com els tirs de projectils, els impactes de projectils, les habilitats com el dash i el tir carregat, la mort dels enemics i del jugador, entre d'altres. La música de fons es va triar per crear una atmosfera adequada que mantingués l'atenció del jugador sense ser massa intrusiva. En qüestió vam utilitzar dues cançons diferents en bucle, una per al menú i l'altre per al joc. Per al menú vam utilitzar una cançó anomenada "Aboard A Aurora (Game Menu Pulse) de whvle", i per al joc "8 Bit Dungeon de Kevin MacLeod". A més, la música del joc s'accelerava temporalment al recollir un power-up, augmentant la sensació d'emoció i dinamisme durant el joc. **Com en els recursos visuals, els recursos sonors es poden consultar a l'apèndix del treball.**

5.1.2 Mecàniques del joc

Per al desenvolupament de les mecàniques del joc, vam començar pel cor del **control del personatge**, implementant el script “Player.cs” en Unity. Aquest script gestiona totes les **funcions bàsiques del jugador**, incloent-hi el moviment, els atacs i les habilitats especials. El **moviment del jugador** es controla mitjançant les tecles de direcció, permetent que el personatge es mogui de manera fluida per l'escenari. El script també inclou la **funcionalitat per a l'ús del dash**, una habilitat que permet al jugador moure's ràpidament en una direcció durant un curt període, amb un temps de recàrrega per equilibrar el seu ús. A més, es **poden disparar projectils normals i carregats**, amb diferents comportaments i temps de recàrrega, oferint una varietat d'opcions d'atac. L'estat del jugador, com la seva salut i la invulnerabilitat temporal després de rebre dany, també es gestiona en aquest script. Vam integrar **mecanismes que interactuen amb diferents objectes**, com la poció de vida que restaura completament la salut del jugador, i altres objectes que modifiquen temporalment les capacitats del jugador, com la velocitat de tir o la reducció del temps de recàrrega de les habilitats. Per millorar la jugabilitat, es proporciona retroalimentació visual i sonora, com el canvi de color del sprite del jugador durant el dash i l'emissió d'una estela, així com sons específics per a cada acció. La interfície d'usuari s'actualitza en temps real per mostrar la salut actual del jugador i l'estat de recàrrega de les habilitats. Finalment, vam **integrar el script al jugador** amb l'inspector de Unity i la resta de components que necessita el jugador i la gran majoria d'objectes del joc, com el “RigidBody2D” i el “CapsuleCollider2D”. Cada una d'aquestes mecàniques va ser provada un cop era integrada i retocada perquè funcionés de manera correcta. Tot això permet crear una experiència de joc rica i interactiva, amb una resposta visual i sonora que manté l'atenció del jugador i millora la immersió en el joc.

Per al desenvolupament dels enemics en el joc, vam crear diversos scripts, entre els quals es troben “Ghost.cs”, “EyeBall.cs” i “FireMonster.cs”. Aquests gestionen **el comportament dels enemics** en el joc. Tots tres segueixen el jugador, utilitzant la mateixa lògica de moviment, però difereixen en aspectes com la velocitat, la vida màxima i la resposta als danys. El Fantasma es mou ràpidament cap al jugador i és danyat tant per projectils normals com per projectils carregats, amb un mecanisme de retroalimentació visual que fa parpellejar el sprite en vermell en rebre danys. L'Ull errant, tot i tenir una velocitat més lenta, és molt més resistent, però segueix el mateix patró de reacció als impactes. El Monstre de foc, a més de moure's ràpidament, presenta una mecànica especial de vulnerabilitat: **només pot ser danyat quan el jugador fa dash contra ell**, canviant el seu color a cian per indicar que és vulnerable. En tots els casos, si la vida dels enemics arriba a zero, es destrueixen i es reproduceix un efecte sonor de derrota. Aquests scripts també registren els enemics en el sistema del joc i actualitzen la seva vida, afegint així una capa de coherència en el comportament i les interaccions dins del joc. Per a integrar-los vam utilitzar l'inspector de Unity, integrant-los en cada enemic i **creant un “PreFab” per a cada un dels enemics**.

Finalment, respecte a les mecàniques d'atac, **es van desenvolupar els scripts per als projectils**, “DefaultProjectile.cs” i “ChargedProjectile.cs”, que són crucials per al sistema de combat del joc. El “DefaultProjectile.cs” gestiona **el comportament del projectil normal**. Aquest projectil es mou a gran velocitat **cap a la direcció del cursor del ratolí** en el moment de disparar. La seva vida útil és molt curta, destruint-se automàticament al cap de 0,3 segons o al xocar amb qualsevol objecte. Per aconseguir això, es calcula la direcció des de la posició del jugador cap a la del cursor, i s'aplica una velocitat constant al llarg d'aquesta direcció. A més, el sprite del projectil es rota per alinear-se amb la trajectòria de vol, donant un aspecte més realista. D'altra banda, el “ChargedProjectile.cs” **gestiona els projectils carregats**, que són més poderosos i tenen una vida útil lleugerament més llarga, destruint-se després de 0,5 segons. Aquests projectils es diferencien visualment pel seu color verd, canviant en el moment de la creació. La seva mecànica de moviment és similar a la dels projectils normals, però ofereixen un major impacte en els enemics. De la mateixa manera que els enemics, vam integrar cada script al projectil corresponent, **creant un “PreFab”** d'aquest el qual es generarà a partir del jugador.

5.1.3 Gestió d'escenes i interfície d'usuari

Finalment, en la **gestió d'escenes i la interfície d'usuari** del joc, hem implementat el script "SceneManagerScript.cs" per controlar la transició entre nivells i el seguiment dels enemics. Aquest script, dissenyat com un singleton per assegurar que només hi hagi una instància activa, **maneja la comptabilització dels enemics** en cada nivell a través dels mètodes "RegisterEnemy()" i "EnemyKilled()". Quan tots els enemics han estat derrotats, el joc crida el mètode "LoadNextLevel()" per carregar el següent nivell, mantenint el flux del joc sense interrupcions. També permet reiniciar el joc amb "ResetGame()" i retornar al menú principal amb "ReturnToMenu()", **guardant l'estat del jugador**, incloent-hi les vides i les estadístiques com els danys rebuts i el temps jugat. El "SceneManagerScript.cs" **actualitza la interfície d'usuari** per mostrar el nivell actual i els enemics restants mitjançant el mètode "UpdateLevelIndicator()". A més, **guarda les estadístiques del jugador en un fitxer de text** quan es torna al menú, proporcionant un registre detallat del rendiment del jugador. Finalment per a integrar a l'escena el script creem un objecte vuit a cada escena del joc i afegim el script a l'objecte. Amb aquest sistema, garantim una transició suau entre nivells i una experiència de joc coherent i organitzada.

En el nostre joc, la gestió de l'àudio i la interfície d'usuari estan dissenyades per oferir una experiència immersiva i informativa. Els scripts "AudioManager.cs", "BackgroundMusic.cs", i "LevelIndicator.cs" són part integrant del sistema que **proporciona resposta auditiva i visual al jugador**. L'script "AudioManager.cs", com a singleton, controla tots els efectes de so, des dels sons de dash i tir fins als sons de dany i derrota, **proporcionant resposta auditiva immediata** a les accions del jugador. Aquesta gestió inclou la funció "PlaySound", que permet reproduir qualsevol so especificat amb un volum definit, i fins i tot parar-lo després d'un cert temps, mantenint així una atmosfera sonora coherent. D'altra banda, "BackgroundMusic.cs" maneja la música de fons, **assegurant una reproducció contínua** que s'ajusta al volum desitjat. Aquesta música de fons pot accelerar-se per augmentar la tensió durant moments crítics del joc, gràcies a la funció de modificació de la velocitat, i pot tornar a la velocitat original per mantenir la sensació d'equilibri. Pel que fa a la interfície d'usuari, "LevelIndicator.cs" utilitza "TextMeshPro" per mostrar el nivell actual a la pantalla, **actualitzant-se automàticament segons el progrés del jugador**. Aquesta informació és essencial per mantenir el jugador informat sobre el seu avanç, integrant-se fluidament amb altres elements del "GameUI".

5.1.4 Creació dels nivells

Per a la creació dels nivells, vam adoptar una estratègia progressiva i sistemàtica, començant per la **creació d'una sala base** que establiria els fonaments visuals i de jugabilitat per a tots els nivells. A partir d'aquí, cada escena representava un nou nivell, amb un augment gradual de la complexitat i la dificultat. Vam desenvolupar un total de **10 nivells**, cadascun representant una nova etapa del joc i introduint nous reptes per als jugadors. Utilitzant els prefabs dels enemics i objectes, teníem la flexibilitat de **distribuir-los de manera coherent** i estratègica en cada nivell, assegurant-nos que els jugadors experimentessin una progressió natural de la dificultat. Això ens va permetre mantenir l'equilibri entre la jugabilitat i la complexitat, oferint una experiència de joc coherent i atractiva. A la figura 18 podem veure un exemple de nivell, més concretament el nivell 7.



Figura 19. Nivell 7 del prototip sense dificultat adaptativa

5.2 Integració del sistema de dificultat adaptativa en la generació

D'igual forma a l'anterior prototip, **el prototip amb dificultat adaptativa es pot consultar també a l'apèndix** per a ser provat i examinat, tenint un enllaç a GitHub, on es troba el prototip penjat. Dit això, el script "DDAscript.cs" **és el cor de la lògica adaptativa del joc**. Primerament, és important destacar que el prototip original del joc va ser clonat per integrar-hi el sistema de dificultat adaptativa. Això va implicar la creació de **12 escenes per a cada nivell**, cadascuna amb un **nom específic** que incloïa sufixos indicant la dificultat i el rendiment del jugador. Aquest rendiment es basa principalment en el **nombre de vegades que el jugador utilitza les mecàniques** especials del joc, concretament el dash i el tir carregat, i és representat per quatre sufixos secundaris que indiquen si el jugador ha utilitzat aquestes mecàniques o no. A partir d'aquestes bases, el "DDAscript.cs" **calcula dinàmicament la pròxima escena** a carregar en funció del rendiment del jugador i els criteris de dificultat establerts. La funció "CalculateHeuristic()" **calcula un índex de dificultat** per a cada nivell basant-se en les variables de rendiment del jugador, concretament, el nombre de morts, els impactes rebuts i el temps invertit, amb el pes corresponent de cada una com hem explicat a la proposta teòrica. Aquesta fórmula proporciona una ponderació equilibrada entre aquests factors, essencial per a la personalització del nivell.

Els mètodes "DetermineNextSceneOnLive()" i "DetermineNextSceneOnDeath()" són cridats per **determinar la pròxima escena a carregar**, depenent de si el jugador ha completat el nivell amb èxit o ha mort. Aquests mètodes actualitzen les mètriques del jugador i calculen el nivell de dificultat per a la pròxima escena, incloent-hi els sufixos que indiquen la qualificació de dificultat i el rendiment del jugador. Els mètodes auxiliars com "UpdatePlayerMetrics()", "GetLevelNumber()", "GetLevelKey()", "GetHeuristicSuffix()" i "GetPerformanceSuffix()" **completen la funcionalitat del script**, permetent l'actualització de les mètriques del jugador, l'extracció del número de nivell de l'escena actual i la determinació dels sufixos adaptatius per a la pròxima escena. Finalment, la funció "Thresholds()" **defineix els llindars per a cada nivell** basant-se en el rendiment esperat del jugador. Aquests llindars s'utilitzen per calcular els índexs de dificultat òptims per a cada nivell, assegurant una progressió de dificultat equilibrada i desafiadora al llarg del joc.

En quant al script "SceneManagerScript.cs" **ha estat actualitzat per a integrar el sistema de dificultat adaptativa (DDA)** al joc. Abans, aquest script gestionava principalment la càrrega de les escenes i el control dels enemics. Ara, amb l'aplicació del DDA, els canvis principals radiquen en la forma en què es decideix quina escena carregar a continuació. En lloc de carregar la següent escena de forma estàtica, ara **es crida al DDAscript** per determinar la següent escena basant-se en el rendiment del jugador i els criteris de dificultat establerts. A la figura 19 podem veure un exemple de nivell al que se li ha aplicat la dificultat adaptativa, del mateix nivell 7 com abans però en dificultat fàcil i per a un jugador que no utilitza gaire les mecàniques de dash i tir carregat, per a poder veure la diferència entre ells. Podem veure com hi ha menys enemics i més objectes que a la figura 18, però també més Ulls errants per a forçar al jugador a utilitzar la mecànica de tir carregat.



Figura 20. Nivell 7 del prototip amb DDA en dificultat fàcil i forçant a utilitzar les mecàniques

5.3. Desenvolupament de les proves d'usuari

Per al desenvolupament de les proves d'usuari, s'ha creat un procés estructurat per a recollir **dades subjectives i objectives** sobre l'experiència dels jugadors amb els dos prototips del joc, **un amb sistema de dificultat adaptativa (DDA) i un altre sense**. Inicialment, es va crear un **document PDF informatiu destinat als participants, el qual es pot consultar a l'apèndix juntament amb el formulari**. Aquest document, elaborat amb cura, informa els participants sobre la naturalesa anònima de les seves respostes i detalla clarament les tasques que han de completar durant les proves, detallant el pas per pas del que ha de fer l'usuari. S'han inclòs explicacions detallades de les regles del joc, les mecàniques dels enemics i objectes, per a garantir que els participants tinguin una comprensió completa del que esperar durant les proves. Cada prototip **s'ha presentat als participants en una seqüència específica** explicada a les instruccions. Primer, es va demanar als participants que juguessin el prototip sense DDA per experimentar la dificultat original dissenyada pel joc. Després, van experimentar el prototip amb DDA, que ajusta dinàmicament la dificultat segons el seu rendiment. Aquest enfocament seqüencial permet als participants **comparar directament les dues versions** del joc i avaluar com el sistema de dificultat adaptativa afecta la seva experiència de joc. Per a mantenir l'experiment rigorós i que les dades fossin verdaderes, no es va explicar en cap moment a cap participant l'objectiu del experiment.

Una vegada completada la sessió de joc amb els dos prototips, els participants van ser **redirigits a un formulari creat amb Google Forms** per recopilar les seves respostes. Abans de començar el formulari, s'ha inclòs un missatge de reconeixement i agraïment als participants per la seva participació, juntament amb una reiteració de la confidencialitat de les seves respostes. El formulari consta de diverses preguntes dissenyades per avaluar diversos aspectes de l'experiència del jugador amb els prototips, recollint d'aquesta manera les dades subjectives de l'usuari. Les preguntes són les següents:

- 1. Freqüència de jugar a videojocs:** Una escala de 1 a 5 per a indicar quanta freqüència juguen a videojocs en general, per a conèixer el nivell de l'usuari.
- 2. Percepció de la dificultat del prototip 1:** Una escala de 1 a 5 per a indicar la dificultat percebuda del prototip sense DDA.
- 3. Percepció de la dificultat del prototip 2:** Una escala de 1 a 5 per a indicar la dificultat percebuda del prototip amb DDA.
- 4. Equilibri en la dificultat:** Elecció entre el prototip 1 o 2 sobre quin ha semblat més equilibrat en termes de dificultat.
- 5. Nivells de frustració:** Elecció entre cap, els dos, el prototip 1 o el prototip 2 sobre en quin es van sentir més frustrats.
- 6. Divertiment:** Elecció entre el prototip 1 o 2 sobre quin els va semblar més divertit de jugar.
- 7. Satisfacció en completar nivells:** Elecció entre el prototip 1 o 2 sobre amb quin es van sentir més satisfets en completar un nivell.
- 8. Progressió de dificultat justa:** Elecció entre el prototip 1 o 2 sobre en quin van percebre una progressió de dificultat més justa.
- 9. Coherència en la dificultat dels nivells:** Elecció entre el prototip 1 o 2 sobre en quin van trobar els nivells més coherents en termes de dificultat.
- 10. Adaptació de la dificultat a les habilitats:** Elecció entre el prototip 1 o 2 sobre en quin van percebre que la dificultat va ser més adient a les seves habilitats.
- 11. Preferència general:** Elecció entre el prototip 1 o 2 sobre quin preferirien en general.

Finalment, els participants han estat instruïts a **penjar dos fitxers de text amb les estadístiques finals** del seu rendiment a cada prototip en el formulari. Aquests fitxers es **generen automàticament al finalitzar el joc o sortir del joc**, contenen informació com el nombre de morts, impactes rebuts, dashes utilitzats, tirs carregats realitzats i el nivell màxim aconseguit, aconseguint d'aquesta manera unes dades objectives de la experiència del jugador. Aquesta informació és essencial per a l'anàlisi posterior dels resultats de les proves d'usuari. Aquest enfocament detallat i sistemàtic en les proves d'usuari permetrà **recollir dades valuoses** per analitzar i veure els resultats de la proposta del projecte.

Capítol 6

Resultats i anàlisi

En aquesta secció, **presentarem i analitzarem els resultats obtinguts** de les proves d'usuari realitzades amb els dos prototips del nostre joc: un amb el sistema de dificultat adaptativa (DDA) i l'altre sense aquest sistema. Els participants van jugar a tots dos prototips i van respondre un qüestionari per avaluar la seva experiència en termes de dificultat percebuda, diversió, frustració i satisfacció. A més, vam recollir dades de rendiment dels jugadors per comparar objectivament com el sistema influïa en el seu rendiment global. Aquesta anàlisi ens permetrà entendre millor l'impacte del DDA en l'experiència de joc i determinar si realment proporciona una experiència més equilibrada i satisfactòria. A més, investigarem si el DDA proposat ajuda a evitar que els jugadors deixin de banda certes mecàniques del joc, comprovant si compleix l'objectiu del projecte.

6.1 Resultats i anàlisi del formulari

En aquesta secció, presentarem i analitzarem **els resultats obtinguts del formulari** que van completar els participants després de jugar amb els dos prototips del nostre joc: un amb el sistema de dificultat adaptativa proposat i l'altre sense aquest sistema. L'objectiu del formulari era **recollir dades subjectives** sobre l'experiència de joc de cada participant, avaluant aspectes com la percepció de la dificultat, la diversió, la frustració i la satisfacció en completar els nivells. Aquesta informació ens permetrà entendre com els jugadors **perceben l'impacte de la dificultat adaptativa** en la seva experiència de joc i si aquesta els proporciona una experiència més equilibrada i satisfactòria. A continuació, examinarem detalladament les respostes a cada pregunta del formulari i discutirem les implicacions d'aquests resultats en el context del nostre estudi.

6.1.1 Sondeig dels usuaris i percepció de dificultat

Per a les nostres proves hem aconseguit **13 participants**, un nombre limitat que pot afectar la robustesa estadística dels resultats. Tot i això, aquestes dades inicials són suficients per a proporcionar una anàlisi significativa del sistema de dificultat adaptativa proposat. Els participants, **tots joves**, presenten una **varietat en la seva freqüència de joc**, com es mostra a la Figura 20: 8 d'ells juguen molt sovint (valoració de 5 en una escala d'1 a 5), 2 juguen amb una freqüència lleugerament inferior (4), 2 tenen una experiència moderada (3), i un participant gairebé no juga (1). Per tant, veiem com la gran majoria dels participants jugan amb bastant freqüència a videojocs, el qual es un aspecte a tenir en compte per a l'anàlisi de les pròximes respostes. Aquest sondeig ens permet entendre millor el tipus d'usuaris que han participat en les proves.

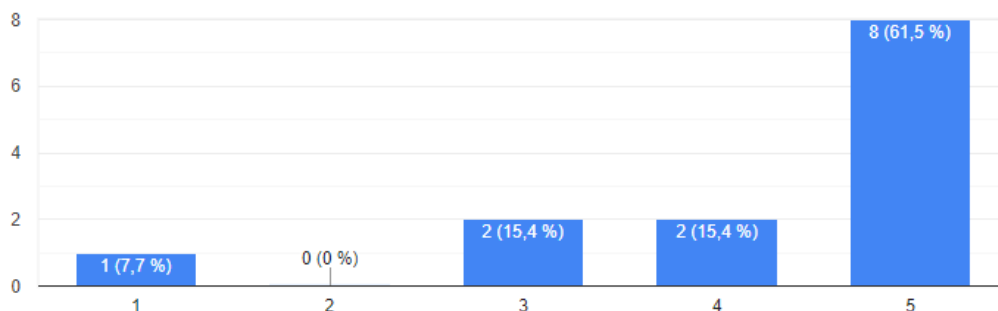


Figura 21. Freqüència jugant a videojocs dels usuaris

Analitzant els resultats de la percepció de dificultat, es pot observar una notable diferència en la percepció de la dificultat entre els dos prototips. En el cas del **prototip 1 sense DDA** (figura 21), la

majoria dels participants el van trobar **molt o moderadament difícil**, com es reflecteix en les respostes predominantment al voltant dels nivells 3 i 4 de l'escala de dificultat. Aquesta percepció suggereix una experiència menys adaptable i més desafiadora per als jugadors. En canvi, amb el **prototip 2 que incorpora DDA** (figura 22), la distribució de les respostes va mostrar una tendència **cap a nivells de dificultat més baixos**, especialment concentrant-se en el nivell 2. Això reflecteix la capacitat del sistema de DDA per ajustar dinàmicament la dificultat del joc segons el rendiment del jugador, proporcionant **una experiència potencialment menys frustrant i més adaptada a les habilitats dels jugadors**. A més, considerant el sondeig inicial, on es va observar que la majoria dels participants juguen molt sovint a videojocs, els resultats de la figura 21 indiquen que, tot i així, el nivell normal de dificultat del prototip és elevat. Així doncs, aquesta observació, juntament amb la percepció de dificultat del prototip amb DDA (figura 22), suggereix que la dificultat adaptativa ha reduït la dificultat del prototip en comptes d'incrementar-la.

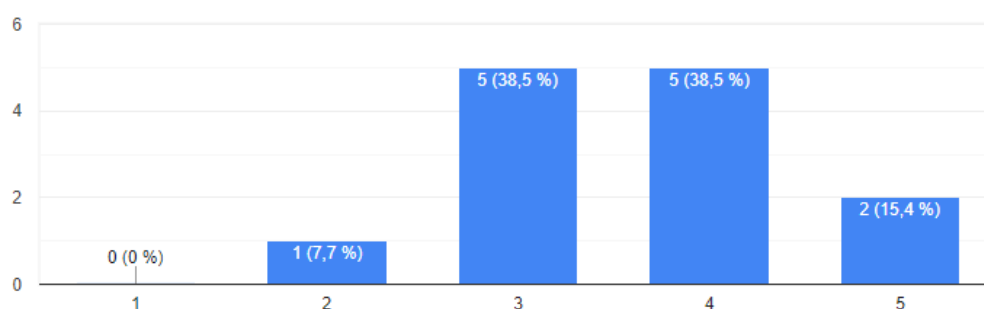


Figura 22. Percepció de dificultat del prototip sense DDA

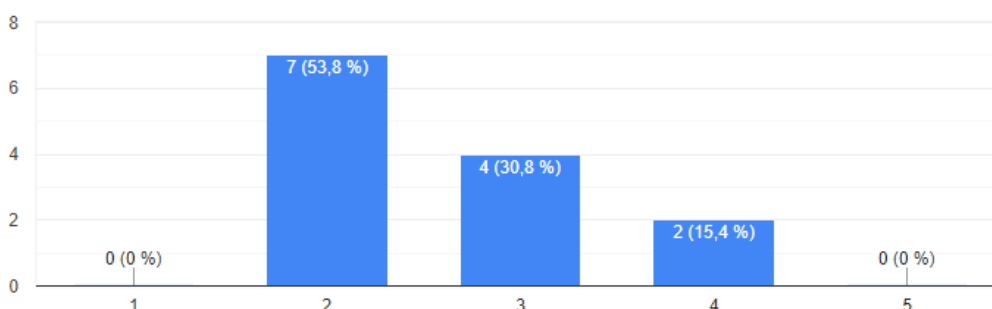


Figura 23. Percepció de dificultat del prototip amb el DDA proposat

6.1.2 Equilibri, progressió i coherència de la dificultat

Analitzant els resultats de les preguntes sobre l'equilibri, la progressió i la coherència de la dificultat dels dos prototips, es poden extreure diverses conclusions interessants sobre l'impacte del sistema de dificultat adaptativa (DDA). A les figures 23, 24 i 25, que comparen respectivament l'equilibri, la progressió i la coherència de la dificultat, el 69.2%, 76.9% i 69.2% dels participants van preferir el **prototip 2** (amb DDA), mentre que el 30.8%, 23.1% i 30.8% van optar pel **prototip 1** (sense DDA). Això indica que la majoria perceben el prototip amb el DDA proposat com més equilibrat, coherent i amb una progressió més justa en termes de dificultat. El DDA ajusta la dificultat segons el rendiment del jugador, oferint una experiència més adaptada a les seves habilitats, cosa que **potencia el confort dels jugadors** i millora la percepció d'equilibri, coherència i progressió justa en la dificultat del joc. En contrast, els que van preferir el **prototip 1** poden estar valorant **un repte més constant** i trobar que els ajustaments ràpids del DDA podrien haver generat **transicions brusques** entre els nivells de dificultat, passant tant d'un nivell molt difícil a un més fàcil com al revés, **afectant la progressió, la coherència i l'equilibri del joc**. Això pot ser degut a haver realitzat un sistema de DDA que s'ajusta molt ràpidament a les respostes dels jugadors, podent arribar a ser **precipitat**. Això implica que, en el cas de resultats no esperats, ja siguin massa bons o massa dolents, el sistema de DDA actua immediatament per adaptar la dificultat del joc. Potser hauria estat beneficiós proporcionar un **cert marge de tolerància major** al

proporcionat en el prototip per als resultats que estan fora dels paràmetres esperats, permetent una adaptació més gradual. Això podria **millorar** la coherència, la progressió i l'equilibri de la dificultat percebut pels jugadors, especialment per aquells que preferirien una progressió de dificultat més gradual i no tan immediata. Tanmateix, **els resultats globalment positius** del prototip amb DDA indiquen una millora en termes de satisfacció i adaptabilitat de la dificultat, encara que es podria afinar el sistema per gestionar millor els extrems de rendiment dels jugadors.

Llegenda: Prototip 1: Blau, Prototip 2: Vermell

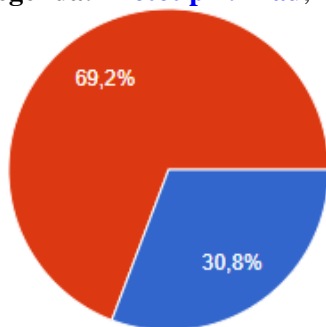


Figura 24. Comparació d'equilibri en la dificultat

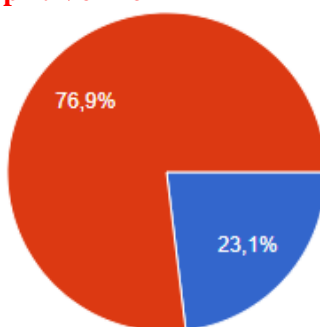


Figura 25. Comparació de progressió en la dificultat

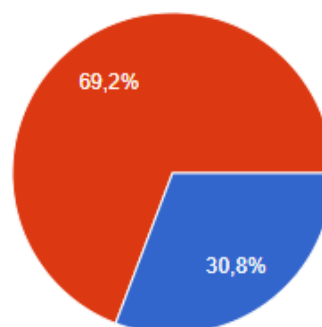


Figura 26. Comparació de coherència en la dificultat

6.1.3 Diversió, frustració i satisfacció del prototip

Analitzant els resultats de les preguntes sobre la diversió, la frustració i la satisfacció al completar un nivell dels dos prototips de joc, es poden observar **tendències interessants**. A la figura 26, que compara la diversió de jugar, el 69.2% dels participants van trobar que el **prototip 2** (amb DDA) va ser més divertit, mentre que només el 30.8% va preferir el **prototip 1** (sense DDA). Aquesta diferència suggereix que el DDA al ajustar la dificultat del prototip, la varietat d'enemics i objectes el va fer **més entretingut per als jugadors**, potser proporcionant reptes adaptats i emocionants sense arribar a ser frustrants. En contrast, els participants que van votar el prototip sense DDA és probable que el votessin al preferir una **dificultat constant i desafiadora**, la qual no adaptes en qualsevol moment el repte, perquè ja de per si el repte en dificultat normal és difícil.

Pel que fa a la frustració, la majoria dels participants (61.5%) van indicar que van sentir més frustració amb el **prototip 1**. Això és comprensible, ja que sense l'ajustament adaptatiu del DDA, els jugadors podrien haver **trobat els nivells més desafiants**, el que pot conduir a situacions on la dificultat supera les seves **capacitats o paciència**. Interessantment, un 30.8% dels participants van indicar que **cap dels dos prototips** els va frustrar especialment, la qual cosa podria significar que aquests jugadors van trobar l'experiència globalment equilibrada i manejable, independentment del sistema utilitzat. Sorprenentment, **ningú va sentir frustració** amb el **prototip 2**, la qual cosa subratlla l'efectivitat del DDA en mantenir la dificultat en un nivell acceptable per a la majoria dels jugadors. Només un 7.7% dels participants, el que equival a un participant, va considerar que **els dos prototips** eren igualment frustrants, el que pot indicar que per a algun jugador, l'experiència general del joc, independentment del DDA, va tenir elements que van generar frustració.

Pel que fa a la satisfacció en completar un nivell, la figura 27 mostra que el 53.8% dels participants van expressar una major satisfacció amb el **prototip 1**, mentre que el 46.2% va preferir el **prototip 2**. Aquesta divisió més equilibrada suggereix que malgrat els avantatges del DDA en termes de divertiment i reducció de la frustració, el repte constant del **prototip 1** podria haver proporcionat **una sensació de major èxit i satisfacció en completar nivells difícils**. El **prototip 2**, tot i ser percebut com més divertit, pot haver ofert nivells més fàcils de superar, la qual cosa podria haver disminuït la sensació de satisfacció derivada de superar reptes significatius. En conclusió, els resultats indiquen que el sistema de DDA té un impacte positiu en el divertiment i la reducció de la frustració, però pot **necessitar ajustaments per equilibrar millor la dificultat i la satisfacció dels jugadors en superar nivells**

difícils. Això pot ser degut al mateix que en el cas anterior, ja que el sistema deixa poc marge en valors esperats, ajustant pot ser de forma precipitada la dificultat del prototip.

Llegenda:

Prototip 1: Blau, Prototip 2: Vermell, Cap dels dos prototips: Verd, Els dos prototips: Groc

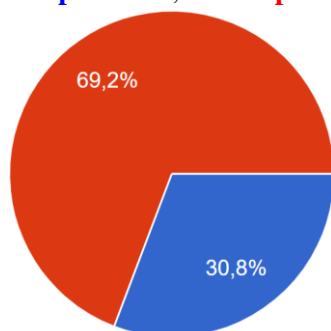


Figura 27. Comparació de la diversió del prototip

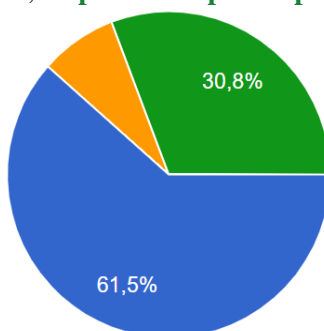


Figura 28. Comparació de la frustració del prototip

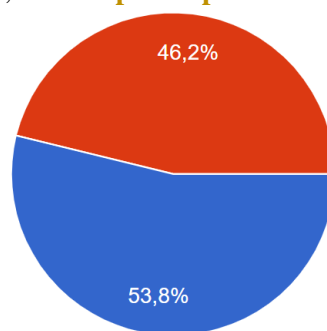


Figura 29. Comparació de la satisfacció del prototip

6.1.4 Adaptabilitat i preferència del sistema

Analitzant els resultats de les figures 29 i 30, que respectivament aborden la percepció de l'adequació de la dificultat a les habilitats dels jugadors i la seva preferència general entre els dos prototips, es poden extreure conclusions significatives sobre l'impacte del sistema de dificultat adaptativa proposat. En la figura 29, un aclaparador 76.9% dels participants va percebre que el **prototip 2**, amb el sistema de DDA, tenia una dificultat més adient a les seves habilitats en comparació amb només el 23.1% que va preferir el **prototip 1**. Això suggereix que el sistema de DDA **va ser efectiu a l'hora de calibrar la dificultat** del joc segons el rendiment individual dels jugadors, proporcionant així una experiència de joc més **equilibrada i ajustada** a les seves capacitats. Aquesta adaptabilitat podria haver evitat que els jugadors se sentissin sobrecarregats o, al contrari, desinteressats, permetent que la dificultat fos consistent amb **el seu nivell d'habilitat**. D'altra banda, en la figura 30, el 84.6% dels participants va preferir el **prototip 2** en general, una diferència notable respecte al 15.4% que va optar pel **prototip 1**. Aquesta preferència aclaparadora pel **prototip 2** indica que, el DDA ha influït positivament en l'experiència de joc per a la gran majoria de jugadors. Els jugadors probablement van valorar la capacitat del DDA per proporcionar desafiaments que eren ni massa fàcils ni massa difícils, **mantenint un nivell òptim de compromís i motivació durant el joc**. En conclusió, el sistema DDA proposat sembla **haver millorat significativament l'experiència** de la majoria dels jugadors, fent que el joc fos més accessible i adequat a les seves habilitats, alhora que manté el compromís i la satisfacció generals. Tot i així **hi ha aspectes a millorar** com ja s'ha comentat abans, ampliant els marges o altres possibles solucions per a millorar aspectes com la satisfacció.

Llegenda: Prototip 1: Blau, Prototip 2: Vermell

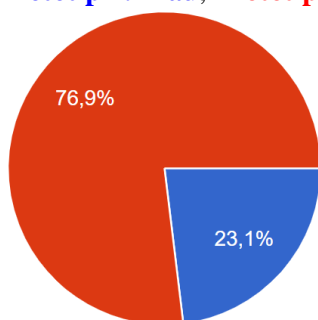


Figura 30. Dificultat més adequada a les habilitats de l'usuari

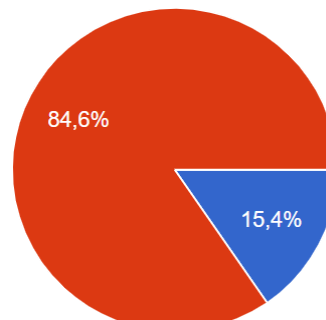


Figura 31. Preferència general de prototip per l'usuari

6.2 Resultats i anàlisis de les estadístiques

En aquesta secció, examinarem les dades quantitatives obtingudes durant les proves dels dos prototips de joc: el primer sense el sistema de dificultat adaptativa proposat i el segon amb aquest sistema implementat. L'anàlisi de les estadístiques recollides, com la quantitat de morts, el nombre de cops, la utilització de dashes i els tirs carregats, ens proporcionarà **una visió objectiva de l'eficàcia del DDA** proposat. A través d'aquestes dades, podrem avaluar com el DDA ha influït en la dificultat general del joc i en l'estil de joc dels participants. A més, aquestes dades ens permetran comprendre si el sistema ha promogut l'ús d'habilitats específiques per part dels jugadors, oferint una perspectiva clara sobre la seva capacitat d'adaptació i sobre l'impacte en l'experiència de joc.

6.2.1 Anàlisi de la dificultat

L'anàlisi de les dades sobre la dificultat del joc revela diferències notables entre els dos prototips en termes de morts i cops rebuts. Com podem veure a la taula 7, en el prototip sense DDA, els jugadors van experimentar un total de 116 morts (mitjana de 8.92 per jugador) i van rebre 449 cops (mitjana de 35.54 per jugador). Per contra, en el prototip amb DDA, els jugadors van morir només 40 vegades (mitjana de 3.07 per jugador) i van rebre 197 cops (mitjana de 15.15 per jugador). Aquestes dades indiquen que el sistema DDA **ha reduït significativament la dificultat del joc**, ajustant-se millor a les habilitats dels jugadors i oferint una experiència menys frustrant. Això es reflecteix en els resultats del qüestionari, on la majoria dels participants van percebre el prototip amb DDA com més adequat a les seves capacitats, més divertit i menys frustrant. A partir d'aquestes dades, podem inferir que en la gran majoria de jugadors **el sistema DDA ha tendit a reduir la dificultat del joc** en lloc d'augmentar-la, donant suport als jugadors quan ho necessitaven i evitant un excés de dificultat. Aquesta adaptació sembla haver **estat ben rebuda**, ja que, tot i la reducció en la dificultat percebuda, el joc ha mantingut el seu atractiu i ha ofert una experiència menys frustrant, fent que els jugadors se sentissin més còmodes i motivats a continuar jugant.

Taula 6. Comparació de cops rebuts i morts entre els dos prototips

Prototips	Total de morts	Mitja de morts	Total de cops	Mitja de cops
Prototip sense DDA	116	8.92	449	35.54
Prototip amb DDA	40	3.07	197	15.15

6.2.2 Anàlisi de l'ús de les mecàniques

L'anàlisi de l'ús de mecàniques de joc entre els dos prototips revela com el sistema de dificultat adaptativa (DDA) influeix en el comportament dels jugadors respecte a l'ús d'habilitats com el dash i el tir carregat. Com podem veure a la taula 8, en el prototip sense DDA, la mitjana de dashes per escena és de 3.18, i la de tirs carregats és de 0.96. Aquestes xifres suggereixen que, sense la intervenció del DDA, **els jugadors tendeixen a no recórrer tant a aquestes mecàniques**, possiblement perquè poden superar els reptes utilitzant estratègies més bàsiques. En canvi, en el prototip amb DDA, la mitjana de dashes augmenta a 3.91, i la de tirs carregats a 1.24 per escena. **Aquest increment es pot atribuir al fet que el DDA adapta la generació de nivells i el tipus d'enemics segons el rendiment del jugador**, incentivant així l'ús de les mecàniques com a part d'estratègies més eficients. El DDA proposat no només ajusta la dificultat, sinó que també **promou una experiència de joc més rica i variada**, motivant els jugadors que inicialment no utilitzaven aquestes habilitats a integrar-les en el seu repertori. Això proporciona una experiència de joc més dinàmica i fomenta un estil de joc més diversificat i complet.

Taula 7. Comparació de l'ús de mecàniques entre els dos prototips

Prototips	Mitjana de dashes per escena	Mitjana de tirs carregats per escena
Prototip sense DDA	3.18	0.96
Prototip amb DDA	3.91	1.24

Capítol 7

Conclusions

Segons els resultats obtinguts i l'anàlisi d'aquests, el sistema de dificultat adaptativa (DDA) aplicada a la generació de contingut dels nivells ha demostrat tenir bons resultats. El DDA proposat **ha aconseguit adaptar amb èxit la dificultat del prototip** a les capacitats dels usuaris, **reduint significativament la frustració i millorant l'experiència global de joc**. Això s'ha traduït en una interacció més engrescadora i menys estressant per als jugadors, ja que el sistema ajusta dinàmicament els reptes en funció del rendiment i les habilitats individuals. A més, el DDA **ha estat efectiu en incentivar l'ús de les mecàniques** de joc entre aquells jugadors que inicialment no en feien un ús òptim, resolent d'aquesta manera el problema inicial identificat en el projecte on molts jugadors adopten estratègies còmodes, ignorant certes mecàniques del joc.

Tot i els èxits del sistema de dificultat adaptativa proposat (DDA) en la reducció de la frustració i la promoció de l'ús de les mecàniques del joc, és important reconèixer que encara **hi ha àrees de millora** significatives en termes de satisfacció del jugador, progressió justa de la dificultat, coherència i equilibri. El feedback dels usuaris revela que per a alguns jugadors, l'adaptació del DDA ha estat percebuda com massa brusca, podent haver estat una actuació **precipitada en alguns casos**, mancant en l'esperada transició suau entre els nivells de dificultat, sent una característica de la qual disposen tots els sistemes de DDA. Aquest aspecte és crític, ja que una adaptació precipitada pot comprometre la percepció de coherència i equilibri de la dificultat del joc, dues característiques fonamentals en els sistemes de DDA, afectant doncs la progressió justa de la dificultat. Això suggereix que **caldrà explorar mètodes per ajustar el sistema** per aconseguir transicions més suaus i coherents, amb l'objectiu de millorar l'experiència global dels jugadors i mantenir-los engrescats al llarg del joc, millorant també la satisfacció de l'usuari al completar un nivell. Per millorar això, probablement hauríem de desenvolupar **un sistema més permissiu i gradual** que el que s'ha implementat en el prototip actual. Aquest enfocament podria permetre una adaptació més suau i progressiva de la dificultat del joc, minimitzant els canvis bruscos que podrien afectar la percepció de coherència i equilibri pels jugadors.

Relacionant els resultats amb les característiques, hem aconseguit implementar un sistema de dificultat adaptativa (DDA) **amb les característiques necessàries per millorar l'experiència de joc**. Hem dut a terme una anàlisi de dades exhaustiu, implementat ajustaments en temps real per nivells, utilitzat un mètode de predicció efectiu i introduït canvis continuats en resposta al rendiment del jugador. Tot això ha estat orientat a adaptar la dificultat del joc segons les capacitats dels jugadors i incentivant l'ús de les mecàniques de joc. Malgrat els èxits, és evident que hi ha aspectes a millorar, com les transicions més suaus entre nivells de dificultat i el manteniment de la coherència i equilibri de la dificultat percebut pels jugadors, que ja hem mencionat abans. Aquestes característiques han contribuït a obtenir **bons resultats amb el sistema de DDA proposat**, resolent el problema de molts jugadors que abandonen mecàniques de joc, **incentivant-ne l'ús i millorant la percepció global de dificultat**. Incentivar l'ús de mecàniques ha estat una millora important, ja que hem demostrat que el sistema de DDA proposat pot abordar més que simplement ajustar la dificultat, incorporant elements que enriqueixen l'experiència de joc en general, incorporant la millora que havíem comentat a possibles millores.

En resum, el sistema de dificultat adaptativa (DDA) proposat i desenvolupat en aquest projecte **ha demostrat ser efectiu en ajustar la dificultat del prototip i en promoure l'ús diversificat de les mecàniques de joc**, aconseguint una experiència de joc més engrescadora i menys frustrant als jugadors, com ho reflecteixen els resultats obtinguts durant les proves. Tot i que s'han identificat àrees de millora, els resultats són prometedors i obren la porta a futures optimitzacions.

Capítol 8

Treball futur

Per avançar en el desenvolupament del sistema de dificultat adaptativa (DDA), proposem diverses línies de treball futur que podrien millorar i refinar el sistema proposat en aquest projecte. En primer lloc, seria essencial **crear un prototip de joc més gran i prolongat**, amb una durada de diverses hores, per proporcionar una avaluació més completa i precisa de la seva efectivitat. Un prototip ampliat permetria no només avaluar millor l'ajustament de la dificultat, sinó també observar l'impacte del DDA en l'experiència de joc a llarg termini.

Un altre aspecte crític seria **dur a terme proves amb un grup més divers i ampli de jugadors**. Seria beneficiós incloure usuaris amb diferents nivells d'experiència en videojocs per obtenir una visió més àmplia i comprensiva de com el sistema de DDA afecta diversos tipus de jugadors. Això ajudaria a identificar qualsevol discrepància en la percepció de la dificultat i les transicions, i a ajustar el sistema per ser més inclusiu i adaptatiu per a tots els jugadors.

A més, tal com s'ha destacat en les conclusions, hi ha una necessitat clara de **desenvolupar un sistema de DDA més gradual i permissiu** en l'aplicació de les transicions de dificultat. Aquest sistema hauria de permetre una adaptació més suau entre diferents nivells de dificultat, assegurant que els canvis es percebin de manera més natural i menys brusca per als jugadors. Aquest enfocament ajudaria a mantenir la coherència i l'equilibri en la percepció de la dificultat del joc.

També, en un prototip més gran i complex, seria possible incorporar **una major varietat de mecàniques i elements de joc** per a provar el sistema DDA amb més profunditat. Amb un millor disseny de nivells, el joc podria oferir una gamma més àmplia de situacions i desafiaments que permetrien ajustar la dificultat de manera més precisa i gradual.

Finalment, l'expansió del prototip proporcionaria l'oportunitat **d'explorar enfocaments més elaborats per a la predicció i adaptació de la dificultat**. Aquests podrien incloure mètodes probabilístics [3] o tècniques d'aprenentatge per reforç [16], que podrien oferir ajustaments més precisos en resposta al comportament i rendiment del jugador.

En síntesi, els passos futurs per millorar el sistema de dificultat adaptativa (DDA) proposat inclouen la creació d'un prototip de joc més llarg i complex, l'ampliació de les proves d'usuaris amb un grup més divers, i el desenvolupament d'un sistema de transicions més graduals i coherents en la dificultat. A més, explorar nous enfocaments per a la predicció de la dificultat i integrar una major varietat de mecàniques i elements de joc seran clau per a oferir una millor experiència. **Aquestes millores ens permetran refinar encara més el sistema** i garantir una experiència de joc òptima i satisfactòria per a tots els jugadors.

Bibliografia

1. Brenlla, F. J. (2020, November 9). La dificultad en los videojuegos: Evolución, variación e importancia. *Meristation*. Recuperat de https://as.com/meristation/2020/11/09/reportajes/1604907622_249520.html
2. Bechdolt, J. (2021). *Difficulty in video games*. San Jose State University. Recuperat de <https://scholarworks.sjsu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1029&context=art108>
3. Xue, S., Wu, M., Kolen, J., Aghdaie, N., & Zaman, K. A. (2017). Dynamic Difficulty Adjustment for Maximized Engagement in Digital Games. *Proceedings of the 26th International Conference on World Wide Web Companion - WWW '17 Companion*. Recuperat de <https://doi.org/10.1145/3041021.3054170>
4. *Exploring dynamic difficulty adjustment in videogames*. (2019, November 1). IEEE Conference Publication | IEEE Xplore. Recuperat de https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8988068?casa_token=J6wzwIwKxRcAAAAA:75pUJJPfA7wGdZ2WMHD8A1DikS9f9yBU2PT332cpq9mmNs-0vM_492eZODYD2VmgV-YAaGr
5. Constant, T., & Levieux, G. (2019). Dynamic difficulty adjustment impact on players' confidence. *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. Recuperat de <https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/3290605.3300693>
6. Aponte, M.-V., Levieux, G., & Natkin, S. (2011). Difficulty in videogames: An experimental validation of a formal definition. *Proceedings of the 8th International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology*. Recuperat de <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/2071423.2071484>
7. Csikszentmihalyi, M. (1990). Flow: The Psychology of Optimal Experience. *Design Issues*, 8(1), 80. Recuperat de <https://doi.org/10.2307/1511458>
8. Koster, R. (2013). Theory of Fun for Game Design. In *Google Books*. "O'Reilly Media, Inc." Recuperat de https://books.google.es/books?hl=ca&lr=&id=3TAKAgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT3&dq=A+theory+of+fun+for+game+design&ots=EMX4huC8NX&sig=-GBYUaUsItHIUhNRF0bF-hIHiboQ&redir_esc=y#v=onepage&q=A%20theory%20of%20fun%20for%20game%20design&f=false
9. Zohaib, M. (2018). Dynamic Difficulty Adjustment (DDA) in Computer Games: A Review. *Advances in Human-Computer Interaction*, 2018, 1–12. Recuperat de <https://doi.org/10.1155/2018/5681652>
10. Aponte, M.-V., Levieux, G., & Natkin, S. (2011). Measuring the level of difficulty in single player video games. *Entertainment Computing*, 2(4), 205–213. Recuperat de <https://doi.org/10.1016/j.entcom.2011.04.001>
11. Ögüt, S., & Bostan, B. (2009). Game challenges and difficulty levels: lessons learned From RPGs. *International Simulation and Gaming*. Recuperat de https://www.academia.edu/795475/Game_challenges_and_difficulty_levels_lessons_learned_Fro_m_RPGs

12. Aponte, M.-V., Levieux, G., & Natkin, S. (2011). Difficulty in videogames: An experimental validation of a formal definition. *Proceedings of the 8th International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology*. Recuperat de <https://doi.org/10.1145/2071423.2071484>
13. Hunicke, R., & Chapman, V. (2004). AI for dynamic difficulty adjustment in games. *ResearchGate*. Recuperat de https://www.researchgate.net/publication/228889029_AI_for_dynamic_difficulty_adjustment_in_games
14. Spronck, P., Ponsen, M., Sprinkhuizen-Kuyper, I., & Postma, E. (2006). Adaptive game AI with dynamic scripting. *Machine Learning*, 63(3), 217–248. Recuperat de <https://doi.org/10.1007/s10994-006-6205-6>
15. Pedersen, C., Togelius, J., & Yannakakis, G. N. (2009). Modeling player experience in Super Mario Bros. *2009 IEEE Symposium on Computational Intelligence and Games*, 132–139. Recuperat de https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/5286482?casa_token=Ne0Szbm45KcAAAAA:4f2133W4Qvn279S9aP0sHwOvsICbJR-nFNdp_mbk3f7h0aPBDORwPyKIHGnK-vLGH_WD9szc
16. Hagelback, J., & Johansson, S. J. (2009). Measuring player experience on runtime dynamic difficulty scaling in an RTS game. *2009 IEEE Symposium on Computational Intelligence and Games*, 46–52. Recuperat de https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/5286494?casa_token=BfmKy74IOpAAAAA:aJIVc-fYjWI08D8tcEcZDEFO2HMmWuloAKKm69SUHplcn6Rlmq3KkH5s1BB3KKnmnQICcZ5I
17. Li, X., He, S., Dong, Y., Liu, Q., Liu, X., Fu, Y., Shi, Z., & Huang, W. (2010). To create DDA by the approach of ANN from UCT-created data. *2010 International Conference on Computer Application and System Modeling (ICCASM 2010)*, 8, V8-475-V8-478. Recuperat de https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/5620008?casa_token=8YtkIB_OSIQAAAAA:hFaxI_r0RqIcP2f_te7y8Ug_B6UXQT_-mDsarkQ6jUxy42hU4TfcJd4HipE1XzQvBkEeqAjym
18. Ebrahimi, A., & Akbarzadeh-T, M.-R. (2014). Dynamic difficulty adjustment in games by using an interactive self-organizing architecture. *2014 Iranian Conference on Intelligent Systems (ICIS)*, 1–6. Recuperat de <https://ieeexplore.ieee.org/document/6802557>
19. Francillette, Y., Tremblay, H., Bouchard, B., Lescieux, S., Rozon, M., & Linard, J. (2023). Automated difficulty assessment model for platformer games: A comprehensive approach. *2023 IEEE Gaming, Entertainment, and Media Conference (GEM)*, 1–6. Recuperat de https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10389911?casa_token=RBLv5Bye5xcAAAAA:Zli5fDWuucfCuUwT9Ve3Hn1lVuo8muTJ8gCtY4nCO96aSRNOT6R-DuDnyY8bKUKUGbegJUG1
20. Sutoyo, R., Winata, D., Oliviani, K., & Supriyadi, D. M. (2015). Dynamic difficulty adjustment in tower defence. *Procedia Computer Science*, 59, 435–444. Recuperat de <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.07.563>
21. Stein, A., Yotam, Y., Puzis, R., Shani, G., & Taieb-Maimon, M. (2018). EEG-triggered dynamic difficulty adjustment for multiplayer games. *Entertainment Computing*, 25, 14–25. Recuperat de <https://doi.org/10.1016/j.entcom.2017.11.003>
22. Pfau, J., Liapis, A., Volkmar, G., Yannakakis, G. N., & Malaka, R. (2020). Dungeons & replicants: Automated game balancing via deep player behavior modeling. *2020 IEEE Conference on Games (CoG)*, 431–438. Recuperat de <https://ieeexplore.ieee.org/document/9231958>

Apèndix

1. Prototips del projecte

· Enllaç de GitHub al **prototip sense DDA**: <https://github.com/Polo2411/Prototip-sense-DDA.git>

· Enllaç de GitHub al **prototip amb DDA**: <https://github.com/Polo2411/Prototip-amb-DDA.git>

2. Recursos utilitzats en els prototips

· Sprite del jugador: <https://www.istockphoto.com/es/vector/cr%C3%A1neo-p%C3%ADxeles-gm1486571549-512280147>

· Paquet d'assets utilitzat en el mapa i els objectes: <https://pixel-poem.itch.io/dungeon-assetpuck>

· Sprite del fantasma: <https://dyru.itch.io/pixel-ghost-template>

· Sprite de l'Ull errant: <https://www.vecteezy.com/vector-art/22023656-single-eyeball-in-pixel-art-style>

· Sprite del Monstre de foc: <https://stock.adobe.com/es/images/vector-pixel-art-monster-fire/174268404>

· Icona Dash: <https://www.svgviewer.dev/s/46274/sprint>

· Icona Tir carregat: <https://www.svgviewer.dev/s/46320/striking-splinter>

· Pack de musica utilitzat en els efectes de so: <https://woolyss.com/chipmusic-samples.php>

· Cançó utilitzada com a cançó de fons del joc: https://www.youtube.com/watch?v=BLoHAZr4_mQ

· Logo del joc: <https://www.brandcrowd.com/maker/logo/b93bbeb7-8c38-45de-8d41-3ac643d01e1d/draft/6f>

· Cançó utilitzada com a cançó del menú: <https://pixabay.com/music/search/menu/>

· Sprite del projectil: <https://outlastlife.com/pixel-laser-beam-k.html>

3. Probes d'usuari

· PDF amb les Instruccions entregades als participants:
https://drive.google.com/file/d/1fiB0qgxpEJqlp_FZoAlfIDb1FLZCUAyR/view?usp=sharing

· Formulari proves d'usuari:
https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSe2UgzkCvKmKLhhP5tpo-PDaEj9oHgHPqy_RUwoPxTGv3MOOw/viewform?usp=sf_link