

Nuclear Head: Desenvolupament d'un videojoc clàssic

Autor: David Marqueño Martínez

Tutor: Gustau Marcos Ballester

Professor: Joan Arnedo Moreno

Grau d'Enginyeria Informàtica

Videojocs

09/10/2022

Copyright



Aquesta obra està subjecta a una llicència de Reconeixement-NoComercial-SenseObraDerivada

[3.0 Espanya de Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/)

FITXA DEL TREBALL FINAL

Títol del treball:	<i>Nuclear Head: Desenvolupament d'un videojoc clàssic</i>
Nom de l'autor:	<i>David Marqueño Martínez</i>
Nom del col·laborador/a docent:	<i>Gustau Marcos Ballester</i>
Nom del PRA:	<i>Joan Arnedo Moreno</i>
Data de lliurament (mm/aaaa):	<i>10/2022</i>
Titulació o programa:	<i>Grau d'Enginyeria Informàtica</i>
Àrea del Treball Final:	<i>Videojocs</i>
Idioma del treball:	<i>Català</i>
Paraules clau	<i>Game Boy, 8 bits, plataformes</i>
Resum del Treball (màxim 250 paraules): <i>Amb la finalitat, context d'aplicació, metodologia, resultats i conclusions del treball</i>	
<p>L'objectiu d'aquest TFG és desenvolupar un videojoc per una plataforma clàssica de 8 bits, com és la Nintendo Game Boy, utilitzant recursos i eines actuals, però amb la limitació tècnica que proporciona el mateix maquinari de 1989 (CPU limitada, ús de memòria, paleta de 4 colors, etc.). Ha de ser totalment funcional en la plataforma original.</p> <p>El <u>videojoc</u>, anomenat <i>Nuclear Head</i>, és del gènere d'aventura i plataformes, on el protagonista a d'avançar de manera horitzontal, amb les habilitats de saltar per superar obstacles i la de glopejar amb el seu cap, però no pot fer servir les dues coses a la vegada. El/La jugador/a haurà de superar el nivell triant quina habilitat és la necessària en cada moment.</p> <p>Repositori: https://github.com/dmarquenoUOC/nuclearhead</p> <p>Última versió del videojoc: https://github.com/dmarquenoUOC/nuclearhead/blob/main/bin/NUCLEARHEAD.gb</p> <p>Vídeo de Presentació: https://youtu.be/XcOhfnL8xw4</p> <p>Vídeo explicació jugable: https://youtu.be/9q45HJBG0C4</p>	
Abstract (in English, 250 words or less):	
<p>The aim of the TFG is to develop a 8 bits videogame for a clàssic plataforma as Nintendo Game Boy, using current resources and tools, but with the technical limitation provided by the hardware of 1989 (limited CPU, memory usage, 4 colors palette, etc.). It must be fully functional on its own original platform.</p> <p>The videogame, called Nuclear Head, is from the genre of adventures and platforms, where the protagonist has to move horizontally with the abilities to jump over obstacles and the ability to headbutt, but cannot use both at the same time. The player will have to overcome the level by</p>	

choosing which skill is needed at each moment.

Repository: <https://github.com/dmarquenoUOC/nuclearhead>

Latest version of the game:

<https://github.com/dmarquenoUOC/nuclearhead/blob/main/bin/NUCLEARHEAD.gb>

Presentation video: <https://youtu.be/XcOhfnL8xw4>

Playable explanation vídeo: <https://youtu.be/9q45HJBG0C4>

Cita

“Un videojoc es interesant quan pots divertir-te simplement mirant com juga un altre persona”

[1]

Satoru Iwata

Agraïments

Voldria donar les gràcies a tots els meus amics i familiars que sempre m'han animat durant cada any que he cursat el grau d'enginyeria informàtica, i en especial, a la meva parella Araceli que sense el seu suport mai hauria tornat per finalitzar-ho, després de quatre anys sense matricular-me. T'estimo.

També voldria agrair a la UOC pel seu model de docència, gràcies al qual m'ha donat l'oportunitat de poder estudiar un grau universitari compaginant amb la feina. I a tots els tutors, professors i companys amb els quals he compartit aquests anys.

Gràcies a tots.

Abstract

L'objectiu d'aquest TFG és desenvolupar un videojoc per una plataforma clàssica de 8 bits, com és la Nintendo Game Boy, utilitzant recursos i eines actuals, però amb la limitació tècnica que proporciona el mateix maquinari de 1989 (CPU limitada, ús de memòria, paleta de 4 colors, etc.). Ha de ser totalment funcional en la plataforma original.

El videojoc, anomenat **Nuclear Head**, és del gènere d'aventura i plataformes, on el protagonista a d'avançar de manera horitzontal, amb les habilitats de saltar per superar obstacles i la de glopejar amb el seu cap, però no pot fer servir les dues coses a la vegada. El/La jugador/a haurà de superar el nivell triant quina habilitat és la necessària en cada moment.

Paraules clau: *Game Boy, 8 bits, optimització*

The aim of the TFG is to develop a 8 bits videogame for a clàssic plataforma as Nintendo Game Boy, using current resources and tools, but with the technical limitation provided by the hardware of 1989 (limited CPU, memory usage, 4 colors palette, etc.). It must be fully functional on its own original platform.

The videogame, called Nuclear Head, is from the genre of adventures and platforms, where the protagonist has to move horizontally with the abilities to jump over obstacles and the ability to headbutt, but cannot use both at the same time. The player will have to overcome the level by choosing which skill is needed at each moment.

Keywords: *Game Boy, 8-bits, optimization*

Índex

1. Introducció	12
1.1. Introducció/Prefaci	12
1.2. Descripció/Definició	13
1.3. Objectius generals	15
1.3.1 Objectius principals	15
1.3.2 Objectius secundaris	15
1.4. Metodologia i procés de treball	16
1.5. Planificació	17
1.5.1 Planificació Inicial	17
1.5.2 Principals canvis en la planificació	18
1.5.3 Planificació Final	19
1.6. Pressupost	20
1.6.1 Canvis sobre el pressupost estimat	20
1.7. Estructura de la resta del document	21
2. Anàlisi de mercat	22
2.1. Públic objectiu	22
2.2. Estat del Art	24
2.2.1 Nintendo Game Boy	24
2.2.1.1 La revolució d'un nou sector	24
2.2.1.2 Característiques tècniques	25
2.2.1.3 Versions	26
2.2.1.4 Situació Actual	27
2.2.2 Homebrew	28
2.2.2.1 ¿Que es el homebrew?	28
2.2.2.2 Origen del homebrew	28
2.2.2.3 Exemples de Homebrew per a Game Boy	29
3. Proposta	30
3.1. Definició del producte	30
3.1.1 Descripció del videojoc	30
3.1.2 Mecàniques de joc	30
3.1.3 Personatges i elements de l'entorn	31

3.1.4	Trama del videojoc	31
3.1.5	Mockups	32
3.1.5.1	Diagrama d'estats	32
3.1.5.2	Pantalles	32
3.1.5.3	Exemple de situació.	32
3.2.	Model de Negoci i Estratègia de màrqueting	33
4.	Disseny	34
4.1.	Arquitectura general de l'aplicació	34
4.2.	Requisits tècnics de l'entorn de desenvolupament	35
4.3.	Inventari de les eines emprades	35
4.3.1	ZGB Engine	35
4.3.2	Visual Studio Code	35
4.3.3	GameBoy Tile Designer	36
4.3.4	GameBoy Map Builder	37
4.3.5	BGB	37
4.3.6	Emulicius	38
4.3.7	Microsoft Paint	38
4.3.8	OpenMPT	38
4.3.9	Flashcard per a GameBoy	38
4.4.	Inventari d'assets i recursos al joc	39
4.4.1	Tilesets dels mapes	39
4.4.1.1	Menú	39
4.4.1.2	Nivell inicial	40
4.4.1.3	Hud	40
4.4.2	Tilesets dels sprites	41
4.4.2.1	Personatge en estat normal	41
4.4.2.2	Personatge en estat nuclear	42
4.4.2.3	Element del entorn: roca	43
4.4.2.4	Element del entorn: Clau	43
4.4.2.5	Enemic: Mico	44
4.4.2.6	Enemic: Porc Senglar	44
4.4.2.7	Efectes: bala/coco del mico	45
4.4.2.8	Efectes: Herba	45
4.4.2.9	Efectes: cops	46

4.4.2.10	Efectes: Partícules del personatge al morir	46
4.4.2.11	Característiques dels sprites en Game Boy	46
4.4.3	Imatges	47
4.4.4	Música i so	47
4.5.	Esquema d'arquitectura del joc/components	48
4.5.1	Llistat de components de Nuclear Head	48
4.6.	Disseny de nivells	50
4.6.1	Elements implementats	50
4.6.2	Elements no implementats	50
5.	Implementació	51
5.1.	Requisits d'instal·lació	51
6.	Demostració	52
6.1.	Instruccions d'ús	52
6.2.	Tests	52
6.1.1	Proves unitàries	52
6.1.2	Proves d'usuari	54
6.1.3	Proves de rendiment	54
6.3.	Guia d'usuari	55
7.	Conclusions i línies de futur	58
7.1.	Conclusions generals	58
7.2.	Reflexió sobre els objectius	58
7.3.	Anàlisi de la planificació	59
7.4.	Línies de futur	60

Figures i taules

Índex de figures

Figura 1 Joi Ito from Inbamura, Japan - Spacewar running on PDP-1	12
Figura 2 Animació de la porta en Resident Evil PSX	12
Figura 3 Imatge de Super Mario Land per a Game Boy.....	14
Figura 4 Imatge d'una pantalla de Kid Dracula per a Game Boy	14
Figura 5 Exemple de colors d'una Game Boy	15
Figura 6 Planificació inicial del projecte	17
Figura 7 Canvis planificació	18
Figura 8 Planificació Final	19
Figura 9 Pressupost estimat	20
Figura 10 The Messenger, videojocs indie desenvolupat per Sabotage Studio	22
Figura 11 Ninja Gaiden videojoc de Tecmo	22
Figura 12 Tendència de preus dels videojocs de Game Boy https://www.pricecharting.com/	23
Figura 13 Ball, primer model de Game & Watch.....	24
Figura 14 - Versions de Game Boy	27
Figura 15 Microordinador Altair 8800	28
Figura 16 Cartutxos de The Shapeshifter 2	29
Figura 17 Imatge del videojoc Tobu Tobu Girl.	29
Figura 18 Exemple GBTD	36
Figura 19 Exemple export GBTD	36
Figura 20 Exemple GameBoy Map Builder	37
Figura 21 Exemple emulador bgb. Sprites en memòria ram	37
Figura 22 Programa OpenMPT	38
Figura 23 Flashcard per a Game Boy	38
Figura 24 Tileset Menú principal	39
Figura 25 Pantalla Menú principal.....	39
Figura 26 Tileset Stage0	40
Figura 27 Tilemap Stage0.....	40
Figura 28 Bubble Bobble 2 Game Boy.....	40
Figura 29 Sprites del Hud	40
Figura 30 Hud de Nuclear Head.....	40
Figura 31 Animació inactiu personatge normal	41
Figura 32 Animació caminar personatge normal.....	41
Figura 33 Animació de salt personatge normal.....	41
Figura 34 Animació de cop personatge normal.....	41
Figura 35 Personatge de Kid Dracula	42
Figura 36 Animació inactiu personatge nuclear	42
Figura 37 Animació caminar personatge Nuclear	42
Figura 38 Animació de cop	43
Figura 39 Animació de barrera nuclear	43

Figura 40 Sprite de element d'entorn roca	43
Figura 41 Sprite de la clau	43
Figura 42 Animació enemic mico inactiu	44
Figura 43 Animació enemic mico agressiu	44
Figura 44 Animació enemic senglar inactiu	44
Figura 45 Animació enemic senglar envestir	45
Figura 46 Sprite projectil	45
Figura 47 Sprite Herba	45
Figura 48 Sprite per a cops	46
Figura 49 Sprites de partícules	46
Figura 50 Diferencia disseny original personatge	46
Figura 51 Logo de la UOC	47
Figura 52 Pantalla Game Over	47
Figura 53 Pantalla continuarà	47
Figura 54 Pantalla fí demo	47
Figura 55 Diagrama partida Nuclear Head	49
Figura 56 Tilemap Stage0	50
Figura 57 Emulador bgb	51
Figura 58 Botons Game Boy	52
Figura 59 Guia Nuclear Head 01	55
Figura 60 Guia Nuclear Head 02	55
Figura 61 Guia Nuclear Head 03	55
Figura 62 Guia Nuclear Head 04	56
Figura 63 Guia Nuclear Head 05	¡Error! Marcador no definido.
Figura 64 Guia Nuclear Head 06	56

1. Introducció

1.1. Introducció/Prefaci

Un dels primers videojocs de la història va ser l'anomenat *Spacewar* de *Steve Russell*. Amb una primera versió que data de 1962, el joc consistia en un enfrontament de dues naus entre dos jugadors/es utilitzant uns commutadors de palanca. Paraules del mateix *Russell*, va crear el joc per a dos jugadors/es perquè en aquell moment no disposava de la capacitat de computació suficient per a programar un oponent digne.[2]



Figura 1 Joi Ito from Inbamura, Japan - Spacewar running on PDP-1

L'any 1996 va sortir el videojoc *Resident Evil* de *Shinji Mikami* per a *PlayStation*, videoconsola que utilitzava el format CD-ROM com a dispositiu d'emmagatzematge. En aquest joc, a l'accedir a una nova habitació, es visualitza sempre una porta obrint-se lentament. Aquesta animació, que inicialment podríem pensar que es va introduir per augmentar l'ambientació de tensió¹ cap al/la jugador/a, realment es va introduir com a transició a causa de la limitació tècnica del maquinari per carregar de forma ràpida el nou escenari.



Figura 2 Animació de la porta en Resident Evil PSX

¹ El videojoc *Resident Evil* es un joc de gènere terror on presentava situacions de tensió i ensurts cap al/la jugador/a

Si comparem els videojocs de *Spacewar* i *Resident Evil* podem trobar moltes diferències, no oblidem que els separen trenta-quatre anys d'evolució en la indústria i són de gèneres totalment diferents, però també podem trobar similituds, com per exemple, que els seus autors es van adaptar, de forma enginyosa, a les limitacions pròpies del maquinari de la seva època per poder-los desenvolupar. És amb aquest exemple que volia introduir uns dels propòsits d'aquest TFG, **desenvolupar un videojoc tenint en compte les limitacions pròpies d'un maquinari.**

I el maquinari escollit per a desenvolupar el videojoc d'aquest projecte, és la Nintendo Game Boy. Videoconsola que em van regalar l'any 1992 quan tenia vuit anys i que guardo un especial record perquè va ser la primera que vaig tenir.

1.2. Descripció/Definició

Com s'ha explicat en la introducció, durant el desenvolupament d'un videojoc sempre s'ha de tenir en compte les limitacions tècniques del maquinari on es vol executar, però és evident que a mesura que avança la tecnologia, els recursos són cada vegada més grans i qüestions com l'optimització per guanyar eficiència, ús de memòria, consum d'energia, etc., no són tan rellevants com abans, en disposar de suficients recursos tècnics pel maquinari on es vol desenvolupar.

Tot i que és cert que una optimització del programari es pot traduir en un augment de cost innecessari, amb aquest projecte es vol demostrar que es poden continuar desenvolupant bons videojocs amb aquesta manera de programar i que aquest aprenentatge pot ser molt beneficiós per als desenvolupaments en eines actuals.

El TFG consisteix a desenvolupar un videojoc per a la videoconsola Nintendo Game Boy que sigui totalment funcional en el maquinari original, això vol dir que s'haurà de respectar les característiques pròpies del maquinari.

Es partirà totalment de zero. Com a autor del projecte, no tinc cap experiència en la creació de videojocs i els coneixements de programació que tinc són els adquirits durant el grau d'enginyeria, això implica que una fase molt important serà de recerca i autoformació de com desenvolupar un videojoc actualment per a Game Boy. La CPU d'aquest maquinari és un xip similar al Z80, per tant, el llenguatge de programació que s'utilitzava era l'assemblador, però en l'actualitat, gràcies a l'evolució del programari existeixen diverses llibreries i eines, com GBDK o ZGB que permeten programar en altres llenguatges més moderns com C. Tenint en compte la durada del semestre i la feina a realitzar, s'utilitzaran aquestes noves eines per arribar a l'objectiu.

El videojoc a desenvolupar, Nuclear Head, és del gènere aventures i plataformes que va ser un dels gèneres predominants de l'època en la Game Boy, com per exemple Super Mario Land.



Figura 3 Imatge de Super Mario Land per a Game Boy

La història tindrà com a protagonista a un nen que, sense saber com, ha patit un accident amb un artefacte que li ha donat certs poders, i sense tenir temps d'esbrinar quelcom ha passat, es veu amb la necessitat de fugir. Amb aquesta premissa, començarà el videojoc on el protagonista haurà d'avançar per les diferents pantalles fins a arribar al final de la seva aventura.

Les mecàniques de joc seran les habituals i bàsiques en videojocs d'aquest gènere, el personatge es podrà moure de manera horitzontal, podrà saltar i atacar als enemics que vagin apareixent, però el punt distintiu que es vol implementar en Nuclear Head és que, a diferència d'altres jocs, no es podrà saltar i atacar a l'hora. La característica principal és que el cap del personatge es podrà fer més gran, gràcies al poder que ha adquirit, i amb el cap gran podrà atacar als enemics o destrossar obstacles de la pantalla, però amb un inconvenient, i és que el pes del cap no li permetrà saltar. El/La jugador/a podrà alternar entre fer gran el cap i atacar o mantenir el cap normal i saltar. Haurà d'utilitzar aquestes dues mecàniques per escollir la millor forma d'avançar pel lloc.



Figura 4 Imatge d'una pantalla de Kid Dracula per a Game Boy

L'estil visual del joc estarà limitat per la paleta de colors de la mateixa Game Boy original on només pot reproduir 4 colors a la vegada.

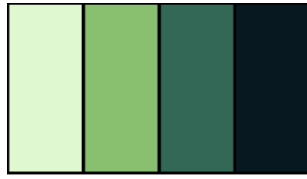


Figura 5 Exemple de colors d'una Game Boy

Al final del projecte, com a mínim es vol haver implementat el primer nivell complet del joc i tenir un rom del videojoc en format .gb que pugui ser executada en un emulador i que també sigui totalment funcional en la plataforma original. Actualment, existeixen dispositius flash cards on es poden transportar els teus roms i poder-les executar directament en la Game Boy.

1.3. Objectius generals

Llistat i descripció dels objectius del TF, ordenats per rellevància.

1.3.1 Objectius principals

Objectius de l'aplicació/producte/servei:

- Desenvolupament d'un videojoc totalment funcional en la plataforma Game Boy
- Crear i dissenyar els diferents elements del videojoc.
- Desenvolupar el primer nivell complet del videojoc.

Objectius per al client/usuari:

- Gaudir d'un videojoc clàssic
- Poder jugar al videojoc en la seva Game Boy

Objectius personals de l'autor del TF:

- Experiència i aprenentatge en la gestió d'un projecte.
- Aprenentatge en programació amb limitacions d'un maquinari.
- Adquirir coneixement sobre el desenvolupament de videojocs en Game Boy.
- Enriquiment personal en programació.

1.3.2 Objectius secundaris

Objectius addicionals que enriqueixen el TF.

- Desenvolupament de tots els nivells previstos per al videojoc
- Disseny i implementació de so i música originals sense recórrer a creacions lliures.

1.4. Metodologia i procés de treball

Una de les opcions que es podrien escollir seria programar el videojoc directament amb llenguatge ensamblador, que és com els estudis professionals de l'època desenvolupaven els videojocs per a Game Boy, però s'ha de tenir en compte dos factors molt importants en aquest projecte. El primer seria el temps establert per completar el TFG i el segon seria la nul·la experiència de l'autor del projecte en el desenvolupament de videojocs.

Partint dels dos factors explicats, l'estratègia que es durà a terme és la d'utilitzar kits de desenvolupament que existeixen en l'actualitat, com per exemple GBDK o ZGB, que contenen llibreries, eines i compiladors que permeten programar el videojoc directament en llenguatge C.

Es farà un videojoc totalment nou, on la programació es realitzarà directament des de zero així com els principals aspectes gràfics del joc, però no es descarta la utilització d'elements creats per tercers, com podria el so, la música o gràfics secundaris, per tal d'arribar als objectius marcats.

Tenint en compte que és un projecte desenvolupat per una sola persona es treballarà mitjançant una metodologia en cascada, enfocant-se en un objectiu en cada moment, seguint la planificació detallada en l'apartat 1.5 Planificació.

Finalment, per dur a terme el projecte es farà ús de diferents llibres, revistes i material de la xarxa que pugui ajudar a obtenir el coneixement necessari per a la seva implementació.

1.5. Planificació

La planificació estarà dividida en quatre fases, una per a cada PAC a desenvolupar, considerant sempre els següents punts:

- Redacció dels apartats de la memòria necessaris per superar la PAC
- Revisió i correcció dels apartats anteriors
- Revisió final i entrega de les PACS al final de la fase.
- A partir de la fase dos s'iniciarà amb el desenvolupament del projecte.
- Es considerarà una dedicació aproximada de dues hores en dies laborables i cinc hores en festius.

1.5.1 Planificació Inicial

A continuació detallem el Diagrama de Gantt inicial realitzat amb l'eina Tom's Planner. S'ha de considerar que correspon a la primera planificació del projecte, per tant, és possible que durant el seu desenvolupament se n'ajustin dates o s'afegeixin tasques.

PAC 1 - Pla de projecte	28-09-22	09-10-22	12.0
Conceptualització del videojoc a realitzar	28-09-22	30-09-22	3.0
Memòria: Fitxa de treball i Abstract	01-10-22	02-10-22	2.0
Memòria: Apartat 1 Introducció	03-10-22	06-10-22	4.0
Memòria: Altres apartats	07-10-22	08-10-22	2.0
Revisió i entrega Memòria PAC1	09-10-22	09-10-22	1.0
PAC 2 - Estat del art i primera versió del projecte	10-10-22	13-11-22	35.0
Memòria: Apartat 2 Anàlisi de mercat	10-10-22	14-10-22	5.0
Memòria: Apartat 3 Proposta	15-10-22	19-10-22	5.0
Memòria: Revisió del feedback del tutor	20-10-22	21-10-22	2.0
Memòria: Correccions apartats anteriors	22-10-22	24-10-22	3.0
Alta i creació del repositori GitHub	25-10-22	25-10-22	1.0
Documentació ús GitHub	26-10-22	27-10-22	2.0
Instal·lacions programari del desenvolupament	28-10-22	28-10-22	1.0
Desenvolupament estructura bàsica del joc	29-10-22	01-11-22	4.0
Disseny i desenvolupament dels menús del joc	02-11-22	05-11-22	4.0
Disseny i desenvolupament de personatges	06-11-22	10-11-22	5.0
Elaboració vídeo explicatiu 1	11-11-22	11-11-22	1.0
Revisió i entrega Memòria PAC2	12-11-22	13-11-22	2.0
PAC 3 - Implementació de versió jugable	14-11-22	18-12-22	35.0
Disseny i desenvolupament de escenaris i object...	14-11-22	17-11-22	4.0
Desenvolupament físiques i IA	18-11-22	22-11-22	5.0
Desenvolupament versió demo jugable	23-11-22	27-11-22	5.0
Proves versió jugable	28-11-22	04-12-22	7.0
Memòria: Revisió del feedback del tutor	05-12-22	06-12-22	2.0
Memòria: Correccions apartats anteriors	07-12-22	09-12-22	3.0
Memòria: Apartat 4 Disseny	10-12-22	16-12-22	7.0
Elaboració vídeo explicatiu 2	17-12-22	17-12-22	1.0
Revisió i entrega Memòria PAC3	18-12-22	18-12-22	1.0
PAC 4 - Memòria i productes finals	19-12-22	15-01-23	28.0
Desenvolupament versió final	19-12-22	22-12-22	4.0
Proves finals i elaboració versió Gold	23-12-22	29-12-22	7.0
Memòria: Revisió del feedback del tutor	30-12-22	30-12-22	1.0
Memòria: Correccions apartats anteriors	31-12-22	01-01-23	2.0
Memòria: Apartats 5, 6 i 7	02-01-23	05-01-23	4.0
Memòria: Revisió i correcció final	06-01-23	06-01-23	1.0
Elaboració del tràiler del joc	07-01-23	08-01-23	2.0
Elaboració presentació de defensa	09-01-23	10-01-23	2.0
Elaboració autoavaluació final	11-01-23	11-01-23	1.0
Revisió i publicació projecte final	12-01-23	15-01-23	4.0
PAC 5 - Defensa virtual - Tribunal de TF	25-01-23	01-02-23	8.0
Defensa del projecte	25-01-23	01-02-23	8.0

Figura 6 Planificació inicial del projecte

1.5.2 Principals canvis en la planificació

Durant el transcurs del projecte, per diferents motius, tant personals com de càrrega de treball, la planificació inicial s'ha vist afectada directament i s'han hagut de replanificar tasques o directament s'han canviat. A continuació s'expliquen els principals canvis realitzats així com una mostra de pla planificació actual:

- En la planificació inicial es desglossava el desenvolupament de cada part del projecte en diferents aspectes del videojoc, menús, personatges, físiques, IA. Una de les primeres afectacions és que no s'ha pogut mantindre la idea inicial i en les diferents jornades planificades per desenvolupar s'ha anat desenvolupant segons la necessitat de cada moment. Per aquest motiu s'ha modificat i generalitzat la part de desenvolupament.
- Un altre aspecte important és que a l'inici de la PAC3 es va prendre la decisió de canviar d'arquitectura i utilitzar l'engine ZGB, això va provocar la necessitat de jornades de formació i transició de la feina feta fins ara.
- Els altres punts s'han respectat segons la planificació inicial, però la versió del videojoc que inicialment es tenia prevista s'ha vist retallada per poder complir amb el compromís de dates.
- Festius de Nadal. Un error en la planificació va ser considerar com a dies productius les festes de Nada i la realitat es que no va ser així.
- No es va tindre en compte que calia la validació prèvia del tutor abans de realitzar la entrega final del projecte.

Activity	Inicio	Final	Dias
PAC1 - Pla de projecte	28-09-22	09-10-22	12.0
Conceptualització del videojoc a realitzar	28-09-22	30-09-22	3.0
Memòria: Fitxa de treball i Abstract	01-10-22	02-10-22	2.0
Memòria: Apartat 1 Introducció	03-10-22	06-10-22	4.0
Memòria: Altres apartats	07-10-22	08-10-22	2.0
Revisió i entrega Memòria PAC1	09-10-22	09-10-22	1.0
PAC2 - Estat del art i primera versió del projecte	10-10-22	13-11-22	48.0
Memòria: Apartat 2 Anàlisi de mercat	10-10-22	14-10-22	5.0
Memòria: Apartat 3 Proposta	15-10-22	19-10-22	5.0
Memòria: Revisió del feedback del tutor	20-10-22	21-10-22	2.0
Memòria: Correccions apartats anteriors	22-10-22	24-10-22	3.0
Alta i creació del repositori GitHub	25-10-22	25-10-22	1.0
Documentació ús GitHub	26-10-22	27-10-22	2.0
Instal·lacions programari del desenvolupament	28-10-22	28-10-22	1.0
Desenvolupament del videojoc	29-10-22	10-11-22	13.0
Desenvolupament estructura bàsica del joc	29-10-22	01-11-22	4.0
Disseny i desenvolupament dels menús del joc	02-11-22	05-11-22	4.0
Disseny i desenvolupament de personatges	06-11-22	10-11-22	5.0
Elaboració video explicatiu 1	11-11-22	11-11-22	1.0
Revisió i entrega Memòria PAC2	12-11-22	13-11-22	2.0

PAC3 - Implementació de versió jugable	14-11-22	18-12-22	49.0
Migració a Engine ZGB	14-11-22	16-11-22	3.0
Desenvolupament del videojoc	17-11-22	27-11-22	11.0
Disseny i desenvolupament de escenaris i objectes	14-11-22	17-11-22	4.0
Desenvolupament físiques i IA	18-11-22	22-11-22	5.0
Desenvolupament versió demo jugable	23-11-22	27-11-22	5.0
Proves versió jugable	28-11-22	04-12-22	7.0
Memòria: Revisió del feedback del tutor	05-12-22	06-12-22	2.0
Memòria: Correccions apartats anteriors	07-12-22	09-12-22	3.0
Memòria: Apartat 4 Disseny	10-12-22	16-12-22	7.0
Elaboració video explicatiu 2	17-12-22	17-12-22	1.0
Revisió i entrega Memòria PAC3	18-12-22	18-12-22	1.0
PAC4 - Memòria i productes finals	19-12-22	15-01-23	27.0
Memòria: Apartats 5, 6 i 7	19-12-22	24-12-22	6.0
Memòria: Correccions apartats anteriors	26-12-22	27-12-22	2.0
Desenvolupament del videojoc	28-12-22	31-12-22	4.0
Proves finals i elaboració versió Gold	02-01-23	05-01-23	4.0
Memòria: Revisió del feedback del tutor	30-12-22	30-12-22	1.0
Memòria: Revisió i correcció final	06-01-23	06-01-23	1.0
Revisió i entrega per aprovació del Tutor	07-01-23	09-01-23	3.0
Elaboració del trailer del joc	10-01-23	10-01-23	1.0
Elaboració presentació de defensa	11-01-23	13-01-23	3.0
Elaboració autoavaluació final	14-01-23	14-01-23	1.0
Publicació projecte final	15-01-23	15-01-23	1.0
PAC5 - Defensa virtual - Tribunal de TF	25-01-23	01-02-23	8.0
Defensa del projecte	25-01-23	01-02-23	8.0

Figura 7 Canvis planificació

1.5.3 Planificació Final

Amb els diferents canvis descrits en l'apartat anterior, finalment la planificació del projecte ha quedat de la següent manera:

Activity	Inicio	Final	Dias
PAC 1 - Pla de projecte	28-09-22	09-10-22	12.0
Conceptualització del videojoc a realitzar	28-09-22	30-09-22	3.0
Memòria: Fitxa de treball i Abstract	01-10-22	02-10-22	2.0
Memòria: Apartat 1 Introducció	03-10-22	06-10-22	4.0
Memòria: Altres apartats	07-10-22	08-10-22	2.0
Revisió i entrega Memòria PAC1	09-10-22	09-10-22	1.0
PAC 2 - Estat del art i primera versió del projecte	10-10-22	13-11-22	35.0
Memòria: Apartat 2 Anàlisi de mercat	10-10-22	14-10-22	5.0
Memòria: Apartat 3 Proposta	15-10-22	19-10-22	5.0
Memòria: Revisió del feedback del tutor	20-10-22	21-10-22	2.0
Memòria: Correccions apartats anteriors	22-10-22	24-10-22	3.0
Alta i creació del repositori GitHub	25-10-22	25-10-22	1.0
Documentació ús GitHub	26-10-22	27-10-22	2.0
Instal·lacions programari del desenvolupament	28-10-22	28-10-22	1.0
Desenvolupament del videojoc	29-10-22	10-11-22	13.0
Elaboració vídeo explicatiu 1	11-11-22	11-11-22	1.0
Revisió i entrega Memòria PAC2	12-11-22	13-11-22	2.0
PAC 3 - Implementació de versió jugable	14-11-22	18-12-22	35.0
Migració a Engine ZGB	14-11-22	16-11-22	3.0
Desenvolupament del videojoc	17-11-22	27-11-22	11.0
Proves versió jugable	28-11-22	04-12-22	7.0
Memòria: Revisió del feedback del tutor	05-12-22	06-12-22	2.0
Memòria: Correccions apartats anteriors	07-12-22	09-12-22	3.0
Memòria: Apartat 4 Disseny	10-12-22	16-12-22	7.0
Elaboració vídeo explicatiu 2	17-12-22	17-12-22	1.0
Revisió i entrega Memòria PAC3	18-12-22	18-12-22	1.0
PAC 4 - Memòria i productes finals	19-12-22	15-01-23	26.0
Memòria: Apartats 5, 6 i 7	19-12-22	24-12-22	6.0
Memòria: Correccions apartats anteriors	26-12-22	27-12-22	2.0
Desenvolupament del videojoc	28-12-22	31-12-22	4.0
Proves finals i elaboració versió Gold	02-01-23	05-01-23	4.0
Memòria: Revisió i correcció final	06-01-23	06-01-23	1.0
Revisió i entrega per aprovació del Tutor	07-01-23	09-01-23	3.0
Elaboració del tràiler del joc	10-01-23	10-01-23	1.0
Elaboració presentació de defensa	11-01-23	13-01-23	3.0
Elaboració autoavaluació final	14-01-23	14-01-23	1.0
Publicació projecte final	15-01-23	15-01-23	1.0
PAC 5 - Defensa virtual - Tribunal de TF	25-01-23	01-02-23	8.0
Defensa del projecte	25-01-23	01-02-23	8.0

Figura 8 Planificació Final

1.6. Pressupost

A continuació es fa una estimació pressupostària del que seria el cost total del projecte, tenint en compte diversos aspectes com el programari, maquinari, hores de treball de l'autor, material addicional, etc.

Pressupost del projecte - Estimació inicial				
Concepte	Descripció	Preu	Unitats	Total
Programari				
GitHub	Repositori de Codi	0 €	1	0 €
GBDK	Kit de desenvolupament	0 €	1	0 €
Visual Studio Code	Entorn de programació	0 €	1	0 €
Game Boy Tile Designer	Programa edició de gràfics per a Game Boy	0 €	1	0 €
Game Boy Map Builder	Programa edició de mapes per a Game Boy	0 €	1	0 €
BGB	Emulador de Game Boy	0 €	1	0 €
Programa d'edició	Programa d'edició de vídeos	0 €	1	0 €
OBS	Programa capturadora de vídeo	0 €	1	0 €
Maquinari				
PC	Ordinador complet (Torre, monitor perifèrics per executar el projecte)	900 €	1	900 €
Game Boy original		100 €	1	100 €
Flashcard Game Boy		100 €	1	100 €
Recursos humans				
Tècnic informàtic	Dedicació de l'autor del projecte	20 €	350 (hores)	7.000 €
Inmobles				
Espai de treball	Lloguer del espai físic on desenvolupar	600 €	3 (mesos)	1.800 €
Despeses en serveis	Factures Llum e internet	100 €	3 (mesos)	300 €
Altres				
Llibres de recerca	Material diversos per realitzar el projecte	50 €	2	100 €
TOTAL				10.300 €

Figura 9 Pressupost estimat

1.6.1 Canvis sobre el pressupost estimat

Durant el projecte es va tindre la necessitat d'adquirir una web cam que no s'havia contemplat en el pressupost inicial, però que no ha tingut impacte econòmic global i, per tant no s'han tingut pèrdues en el projecte. La Flashcard que s'havia estimat en 100€ es va adquirir finalment per 30€ deixant marge suficient per la web cam que s'ha obtingut per 20€.

1.7. Estructura de la resta del document

Aquesta memòria esta composta pels següents capítols addicionals a la introducció i en aquest apartat es fa un breu resum de cada un d'ells:

- **Capítol 2: Anàlisis de mercat.** En aquest apartat es realitzarà un estudi de mercat sobre a quin públic objectiu anirà enfocat el videojoc. Es farà un breu repàs a la historia de la Game Boy, així com una explicació de les seves característiques tècniques. També es farà una introducció al que és el homebrew en el món de la programació de videojocs clàssics.
- **Capítol 3: Proposta.** En aquest apartat es farà la descripció del videojoc, explicant amb detall la trama, personatges o les mecàniques de joc, el model de negoci i l'estratègia de màrqueting escollida.
- **Capítol 4: Disseny.** Aquest capítol detallarà la documentació més tècnica del projecte, com les eines utilitzades, l'entorn de desenvolupament, el llenguatge de programació o l'aspecte gràfic final que tindrà el videojoc.
- **Capítol 5: Implementació.** En aquest capítol s'especificarà les diferents instruccions necessàries per a la correcta execució del videojoc.
- **Capítol 6: Demostració.** En aquest apartat s'explicarà les instruccions del joc així com a algunes mostres dels prototips desenvolupats durant el procés i les diferents proves realitzades.
- **Capítol 7: Conclusions i línies de futur.** Finalment, en l'últim capítol es farà de com ha sigut l'elaboració del projecte i quines conclusions finals s'han tret.

2. Anàlisi de mercat

2.1. Públic objectiu

Nuclear Head és un videojoc que es vol desenvolupar per la videoconsola Nintendo Game Boy, dispositiu que es va llençar l'any 1989 i que es va deixar de fabricar l'any 2003 [3], sent l'últim videojoc distribuït en Europa, Pokemon groc l'any 2000 [4]. Podríem dir que el públic objectiu haurien de ser els/les jugadors/es que van créixer i gaudir de la videoconsola en aquells anys, perquè els hi recordarà molt a aquella època, però no necessàriament ha de ser així.

Actualment, els videojocs independents estan gaudint d'un gran moment de forma, on alguns dels principals exponents han estat desenvolupats en una estètica píxel 2D que recorda als clàssics dels anys 80 o 90. Per posar un exemple, The Messenger, videojoc de l'estudi *Sabotage Studio*, clarament inspirat en el videojoc de *Tecmo*, Ninja Gaiden, desenvolupat per la Nintendo Entertainment System l'any 1988.



Figura 10 The Messenger, videojocs indie desenvolupat per Sabotage Studio



Figura 11 Ninja Gaiden videojoc de Tecmo

A més, l'interès pels videojocs anomenats "retro" ha augmentat en els últims anys, fet que podem observar si visualitzem la tendència del preu de segona mà en la venda de productes de Game Boy, plataforma en la qual s'ha desenvolupat Nuclear Head, que ha duplicat el valor especialment en l'últim any. [5]

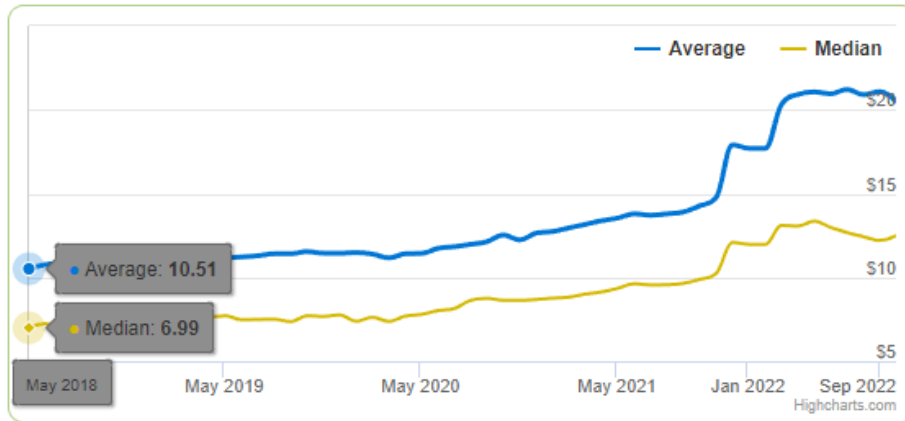


Figura 12 Tendència de preus dels videojocs de Game Boy <https://www.pricecharting.com/>

El perfil de persones que acostumen a comprar videojocs de segona mà són principalment col·leccionistes, però també hi trobem jugadors/es joves que han crescut conjuntament amb el videojoc independent actual, i que arran d'això, volen descobrir els grans videojocs originals en els quals es basen els seus videojocs favorits.

Es pot determinar llavors, que Nuclear Head tindrà principalment dos tipus de perfils de jugadors/es com a públic objectiu:

- Jugadors/es veterans que busquin jugar a un joc que els recordi a la seva infantesa.
- Jugadors/es joves aficionats al videojoc independent actual amb estètica 2D.

2.2. Estat del Art

2.2.1 Nintendo Game Boy

Nuclear Head és un videojoc que es vol desenvolupar per a la videoconsola Nintendo Game Boy, per tant, primerament cal explicar la història d'aquest maquinari, com va néixer, la seva trajectòria en el mercat i la seva situació avui en dia. Aprofitarem també per detallar quines són les seves característiques tècniques principals.

2.2.1.1 La revolució d'un nou sector

Per explicar la història de Game Boy és important començar prèviament amb la seva predecessora, la Game & Watch, la primera videoconsola portàtil que va fabricar Nintendo.

A finals de 1977, el director del departament de desenvolupament i investigació de Nintendo, Gunpei Yokoi, tornava d'un viatge de negocis en el shinkansen ²i va observar un empleat d'oficina jugant amb una calculadora, aquella visió li va fer sorgir una idea al cap "Existirà una forma de permetre als adults matar el temps de forma discreta?". Doncs d'aquesta idea, i després de diversos mesos d'investigació i desenvolupament, l'any 1980 es va crear el que seria una autèntica revolució que obriria el camí per un nou sector en el món de l'entreteniment, l'anomenada Game & Watch, la primera videoconsola portàtil de la història [6].



Figura 13 Ball, primer model de Game & Watch

Des del naixement de Ball, el primer model de Game & Watch, es va trigar poc a veure com la competència omplia el mercat amb clons, còpies o variants del dispositiu, provocant una abundant oferta en el mercat, però Nintendo una empresa que es caracteritza sempre per innovar, havia de fer un pas més enllà.

² Shinkansen: Red d'alta velocitat japonès.

La Game Boy es va començar a desenvolupar cap al 1984, com a projecte oficial per substituir la Game & Watch, però la realitat és que mai van deixar d'investigar per millorar el concepte original i, per tant, no deixa de ser la culminació de les investigacions que es van iniciar finals dels anys setanta. No va ser fins al 1988, després de superar (com passa amb qualsevol projecte) diferents obstacles per acabar de definir els components i arquitectura final, que no es va enllestir el concepte definitiu i es va aprovar el projecte què coneixement avui en dia [7].

Finalment, Game Boy seria llençada el 21 d'abril de 1989 al Japó, però no seria fins al gener de 1991 que va arribar a Espanya.

2.2.1.2 Característiques tècniques

Com s'ha explicat anteriorment, l'objectiu d'aquest projecte és desenvolupar un videojoc que sigui totalment funcional en la Game Boy, per tant, s'haurà de desenvolupar tenint en compte les característiques tècniques del maquinari i les seves limitacions. A continuació s'explica quines són i algunes de les decisions que l'equip de disseny va prendre [3,8]:

CPU	Sharp LR35902 de 8 bits a 4.19 MHz
RAM	8 kB interns de SRAM
VRAM	8 kB interns
ROM	256 bytes en la propia CPU
	Cartutxos PROM amb una capacitat de 256 kbit, 512 kbit, 1 Mbit, 2 Mbit, 4 Mbit i 8 Mbit.
So	4 canals. 2 generats per ondes de pols, 1 canal de mostres PCM de 4-bits
Pantalla	STN LCD reflectant amb una relació d'aspecte de 10:9 i una resolució de 160x144 píxel
	2 bits, 4 tons monocroms a la vegada 40 sprites simultanis a la vegada, en blocs 8x8 o 8x16
Dimensions i pes	148 x 90 x 32 mm i 220g de pes
Consum Energia	4 piles AA (fins a 30h d'autonomia)

Figura 12 Característiques tècniques de Game Boy

Durant la fase d'investigació van sortir dos bàndols diferenciats. Per una banda, tenim al director del departament Gunpei Yokoi que reivindicava la idea que la Game Boy fos una prolongació de Game & Watch, poc costosa de produir i que tingués una vida comercial reduïda, i per l'altre, tenim a Satoru Okada, vicedirector del mateix departament, que bàsicament volia que fos una *Famicom*³ portàtil, amb la mateixa arquitectura i CPU, fabricada per Ricoh. D'aquest enfrontament, finalment es va crear un dispositiu entremig, però més a prop del concepte d'Okada, tot i que no es va poder utilitzar la CPU de Ricoh, perquè en aquell moment el fabricant estava involucrat en un altre projecte de la

³ Famicom: Videoconsola de sobretaula de 8bits de Nintendo, coneguda en Europa com a Nintendo Entertainment System.

mateixa Nintendo, la que seria la seva exitosa videoconsola de 16 bits *Super Famicom*⁴. Finalment, és quan van optar per treballar amb Sharp per dissenyar una CPU de 8 bits semblant a la de Ricoh. Una altra decisió tècnica important va ser la d'utilitzar una pantalla monocroma, fabricada també per Sharp, quan en aquella època ja existien pantalles LCD de color. El mateix Yokoi explica en la seva autobiografia: "En el nostre entorn ens preguntaven molt sovint; perquè tornar al blanc i negre?" La resposta era clara, Game Boy havia de funcionar a piles per poder-la transportar d'un lloc a un altre i no tenia sentit un producte com aquest si no permetia una durada mínima de deu o vint hores, quan en aquella època una pantalla de color donava una autonomia d'hora i mitja. Aquesta decisió de disseny es va convertir en la més diferencial de totes i segurament el fet que va donar l'èxit que finalment va tindre la Game Boy enfront de les seves competidores.

2.2.1.3 Versions

Tot i que Nuclear Head es desenvoluparà pel model de Game Boy original, aquesta no va ser l'única videoconsola de la família Game Boy. Nintendo va acabar desenvolupant diversos models des de 1989 fins al 2005 amb Game Boy micro, totes retrocompatibles cap endavant, és a dir que un joc de Game Boy original funcionava correctament en una Game Boy Micro, però no a la inversa, ja que cada versió millorava una mica més les característiques tècniques de l'anterior. Però pel cas que ens ocupa, podem dir que Nuclear Head serà funcional en totes les versions de la Família Game Boy.

- **Game Boy** – 1989. La videoconsola clàssica, anomenada amigablement "Game Boy Fat". Tothom la recorda perquè en Europa es va comercialitzar amb el videojoc Tetris, pac que va gaudir de molta popularitat.
- **Game Boy Bros** – 1994. També anomenades "Game Boy Play it Loud". Són bàsicament Game Boy clàssiques (els canvis tècnics eren insignificants) però amb carcasses de colors.
- **Game Boy Pocket** – 1996. Model tècnicament idèntic que la versió original però més reduït. Es va mantenir la mateixa grandària de la pantalla, però va guanyar en nitidesa i menor consum. Fet que va aportar una major autonomia tot i passar de quatre piles AA a dos.



⁴ Super Famicom: Videoconsola de 16 bits de Nintendo, coneguda en Europa per Super Nintendo.

- **Game Boy Light** – 1998. Aquest model que consistia en una Game Boy pocket amb una pantalla retroil·luminada només es va comercialitzar al Japó. Els usuaris occidentals no la vam poder gaudir.
- **Game Boy Color** – 1998. Per primer cop tenim una Game Boy amb pantalla de colors, encara que no fos retroil·luminada. Aquest model encara mantenia una arquitectura de 8 bits, però va augmentar les prestacions tècniques.
- **Game Boy Advance** – 2001. Dotze anys després del llançament de la versió original, ara si que arriba la primera gran evolució en el maquinari, amb una CPU de 32 bits.
- **Game Boy Advance SP** – 2003. Aquesta versió inclouria com a novetat, il·luminació frontal i s'apuntava a la moda dels telèfons mòbils plegables.
- **Game Boy Micro** – 2005. Finalment, l'última videoconsola de la família Game Boy, es tractava d'una Game Boy advance, molt reduïda en grandària i una pantalla a color totalment retroil·luminada.



Figura 14 - Versions de Game Boy

2.2.1.4 Situació Actual

La marca Game Boy va quedar discontinuada el maig de 2010 i des de llavors no es comercialitza cap videoconsola, si es vol comprar algun d'aquests productes l'única manera és mitjançant el mercat de segona mà. I que passa amb els seus videojocs? Doncs, tampoc es desenvolupa cap videojoc de manera oficial, i com passa amb el maquinari, cal anar al mercat de segona mà per comprar productes originals, encara que en aquest cas, també es poden comprar versions digitals en una algunes plataformes més modernes.

Així i tot, gràcies a la comunitat de jugadors **actualment es continuen desenvolupant videojocs no oficials per a Game Boy**, i altres plataformes clàssiques, aquest tipus de moviment s'anomena Homebrew i en el següent apartat de la memòria s'explicarà amb detall.

2.2.2 Homebrew

2.2.2.1 ¿Que es el homebrew?

S'anomena *homebrew* a les aplicacions que han estat desenvolupades per aficionats o professionals de manera no oficial sobre maquinari oficial de qualsevol època i es caracteritza per ser programari lliure.

El *homebrew* més utilitzat correspon al desenvolupament de programari per a videoconsoles clàssiques, com és el cas d'aquest projecte que té com a objectiu el desenvolupament d'un joc totalment funcional per a Game Boy, però també es pot s'utilitza per a modificar programari ja existent, com per exemple portar el conegut videojoc DOOM a múltiples plataformes, l'última coneguda sobre l'aplicació bloc de notes de Windows creat per l'usuari Samperson. Veure el vídeo <https://www.youtube.com/watch?v=a3VoEyaqMoc&t=2s> per a comprovar-ho.

2.2.2.2 Origen del homebrew

L'origen del *homebrew* neix de la necessitat de les persones, que començaven a adquirir els seus primers ordinadors personals als anys setanta mitjançant revistes on es comercialitzaven per fascicles, de compartir experiències, comunicar-se i aprendre dels altres usuaris. Recordem que en aquella època no existia Internet, i d'aquesta necessitat va sorgir un "moviment de garatge" per a reunir els usuaris, sent la que va despuntar més la *Homebrew Computer Club* que se celebrava en Silicon Valley. Primera reunió que es va celebrar el març de 1975 precisament en el garatge d'un dels seus fundadors, Gordon French, on l'ordinador estrella va ser l'Altair 8800.



Figura 15 Microordinador Altair 8800

La reunió va tindre tant d'èxit que es van continuar celebrant reunions formals en el Laboratori Nacional d'Acceleradors de la Universitat de Stanford, en aquestes reunions es van arribar a congregar diferents personalitats que es convertirien en referents de la indústria com Steve Jobs o Bill Gates entre d'altres.

Durant els anys, aquest esperit que va néixer en un garatge ha continuat viu i gràcies a Internet ha crescut i evolucionant a molta velocitat, fins a incloure maquinaris com la Game Boy. En el següent apartat explicarem alguns exemples.

2.2.2.3 Exemples de Homebrew per a Game Boy

- Greenboy Games.** Greenboy games no és un videojoc, si no un estudi de desenvolupament comprés per una sola persona, Dana Puch, nascuda a Barcelona, que té com afició (no és programadora de professió) programar videojocs per a consoles portàtils, principalment Game Boy, totalment funcionals adaptant-se a les limitacions del maquinari. Les seves creacions no es limiten només al programari, sinó que també crea la caixa i les instruccions com si fos un videojoc llençat als anys noranta. El seu últim videojoc s'anomena **The Shapeshifter 2** per a Game Boy, una aventura gràfica, gènere poc habitual en aquesta videoconsola, que té la peculiaritat i la novetat, que funciona amb dos cartutxos on el jugador haurà d'anar intercanviant-los en funció de les decisions preses [12]. Actualment, existeix un Kickstarter per al seu finançament [13].



Figura 16 Cartutxos de The Shapeshifter 2

- Tobu Tobu Girl.** Desenvolupat per l'estudi Tangram Games, l'any 2017 per a Game Boy, mitjançant l'eina GBDK, és a dir mitjançant el llenguatge C i no amb assemblador. El videojoc és totalment lliure i el seu codi es pot descarregar en el següent enllaç de Github <https://github.com/SimonLarsen/tobutobugirl>. Es tracta d'un plataformes vertical, on la protagonista haurà de saltar diferents obstacles per atrapar el seu gat abans de marxar volant, destaca principalment la seva fluïdesa i els grans sprites que mostra [14].



Figura 17 Imatge del videojoc Tobu Tobu Girl.

3. Proposta

3.1. Definició del producte

3.1.1 Descripció del videojoc

Nuclear Head és un videojoc de plataformes i acció 2D, amb petites pinzellades de puzzle, de desplaçament horitzontal, on el jugador es posarà en la pell d'un nen que es veu implicat en un accident nuclear que li proporcionarà l'habilitat de fer créixer el seu cap, donant-li una força sobre humana. Sense saber com, es trobarà amb la necessitat de fugir per buscar respostes i haurà de fer ús de les seves noves habilitats per arribar al final de l'aventura.

3.1.2 Mecàniques de joc

- **Nuclear Mode.** L'habilitat principal del personatge és fer créixer el seu cap amb energia nuclear, aquesta forma s'anomena Nuclear Mode. La energia nuclear és temporal i està representada per una barra que s'anirà consumint fins a esgotar-se mentre es mantingui aquesta modalitat. En aquest estat el personatge podrà realitzar les següents accions:
 - **Atacar.** Aquesta forma dotarà al personatge de la força necessària per poder atacar a diferents enemics o trencar obstacles que es pugui trobar pel camí. Existeixen enemics vulnerables i elements que no es poden trencar.
 - **Escut.** Amb l'energia nuclear el personatge podrà crear un escut que li pot protegir d'alguns atacs d'enemics, sempre que es tingui energia nuclear.
- **Normal Mode.** El mode normal és la forma per defecte del personatge amb el cap normal. En aquest estat no podrà atacar, però, en canvi podrà saltar per superar obstacles o precipicis. La barra d'energia nuclear es restableix quan s'està en aquest mode.
- **Moviment.** El protagonista es podrà moure de manera horitzontal cap a l'esquerra o cap a la dreta, però també podrà saltar plataformes per accedir a zones verticals. Del desenvolupament del nivell es farà de manera tradicional cap a la dreta.
- **Punts de vida.** El protagonista podrà suportar certs cops dels enemics, representats amb un cor. Cada cop que pateixi se li restarà un cor i quan es quedi sense finalitzar la partida. Caure per un precipici es mort instantània. El nombre de cops que pot suportar el personatge s'ajustarà segons la dificultat.
- **Finalitzar el nivell.** Per a superar el nivell s'ha d'arribar al final de la pantalla dins d'un temps límit. Si el comptador de temps arriba a zero, s'acabarà la partida.

3.1.3 Personatges i elements de l'entorn

- **Personatge principal.** El personatge principal és un nen del qual no coneixem el nom, es troba de sobte perdut amb l'habilitat de fer créixer el seu cap i no li queda més remei que avançar per trobar respostes. Com a tret característic porta una gorra girada.
- **Enemies:** Durant el videojoc el protagonista es trobarà diferents enemics, principalment animals del bosc, que seran hostils. Alguns d'ells seran impossibles d'eliminar i caldrà saltar-los per poder avançar.
- **Elements del escenari:** El protagonista es pot trobar amb diferents objectes a l'escenari, com per exemple pedres o barrancs, que haurà d'evitar, per poder avançar utilitzant les seves habilitats. Alguns elements de l'escenari es podran destruir en mode nuclear però altres no.
- **Objectes:** Es podran trobar diferents objectes durant el nivell que ajudaran al protagonista, com per exemple benes que faran recuperar la vida que hagi perdut, càpsules nuclears que poden allargar la barra d'energia temporalment o notes perdudes que es trobaran durant el camí que explicaran al jugador el rerefons de la història i pistes de com avançar.
- **Col·leccionables:** El videojoc també inclourà objectes col·leccionables amagats en els diferents nivells, que no afecten ni són imprescindibles per avançar i superar el videojoc, però que proporciona un element d'exploració per al jugador i la necessitat de trobar tots els objectes per poder completar la fase al 100%.

3.1.4 Trama del videojoc

La història és un element secundari en un videojoc com Nuclear Head, però és important per donar context al jugador i desenvolupar un producte el més semblant possible als videojocs de Game Boy dels anys noranta, on es podia trobar una breu història en el manual d'instruccions.

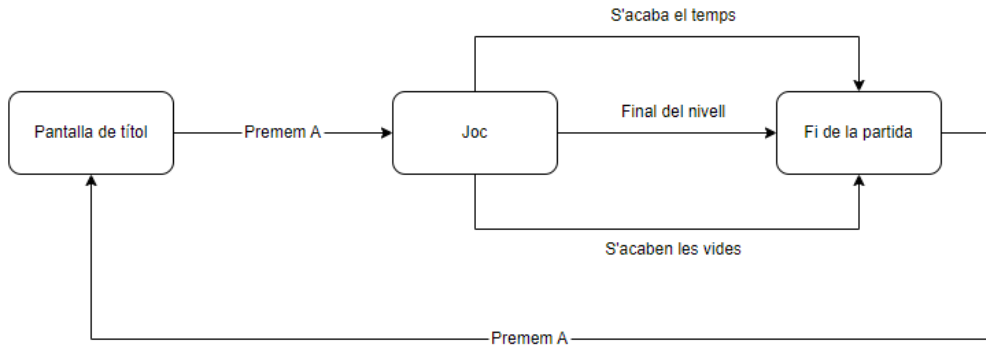
Un nen normal i corrent, viu feliçment en el seu poble natal. Un dia, en tornar de l'escola, es troba un paquet a la porta de casa seva amb un nom gravat, "Dionisius", i de sobte es comença a il·luminar fortament i fa perdre el coneixement al nen, aquest fet canviaria totalment la seva vida i destí. Hores més tard el nen es desperta, però es troba molt desorientat, l'últim que recorda és que es trobava a la porta de casa seva, però ara, es troba sol en mig d'un bosc i amb un paper a la mà amb el missatge "Camina cap a l'est". Sense saber res més té el sentiment que per tornar a casa i descobrir que ha passat ha de fer cas al paper i aventurar-se dintre del bosc.

Darrere d'aquest rerefons, existeix el pla malvat d'una gran corporació que busca generar l'arma perfecta, però és una història que s'anirà descobrint al llarg dels diferents nivells del videojoc.

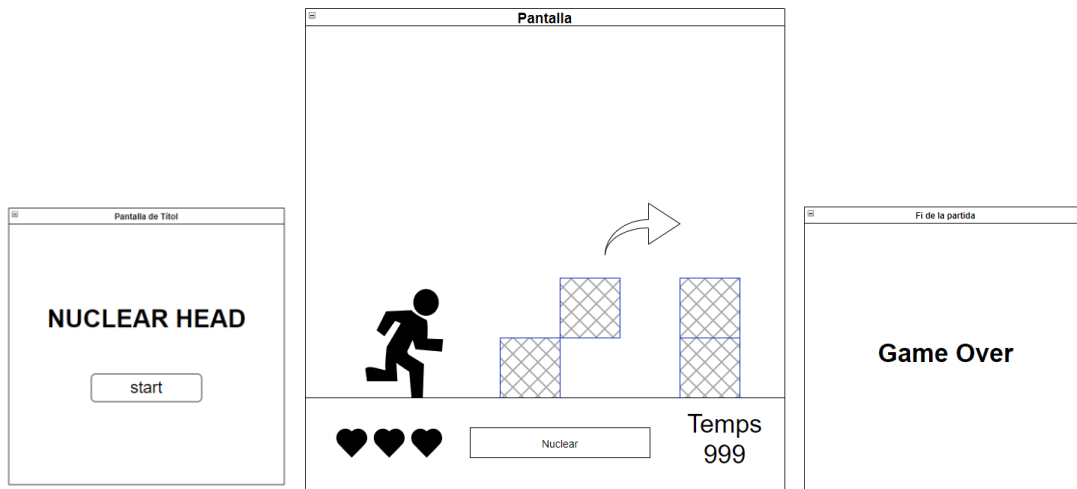
3.1.5 Mockups

A continuació es representen conceptes volen ser implementades en el producte final:

3.1.5.1 Diagrama d'estats



3.1.5.2 Pantalles



3.1.5.3 Exemple de situació.

El personatge es troba una pedra que no li deixa continuar i amb el mode nuclear no la pot trencar per ser d'un tipus invulnerable, però sí que la pot saltar en mode normal perquè l'altura és assumible. Més endavant, es troba dues pedres apilades que per altura amb mode normal ja no es poden saltar, però en aquest cas una de les pedres no és invulnerable, passariem a mode nuclear per glopejar i trencar la primera pedra, quedant només la segona pedra a una altura que sí que es podria saltar en mode normal.

3.2. Model de Negoci i Estratègia de màrqueting

Aquest videojoc no té ànim de lucre i no existeix cap finalitat per monetitzar-hi, ja que es tracta d'un projecte totalment personal sota el marc de projecte de final de grau. El codi font del programa així com a tots els seus elements quedaran disponibles per a tota la comunitat en el repositori públic de Github i es podrà veure l'evolució durant el transcurs del projecte. Es contempla dintre de les exigències del TFG generar un tràiler del videojoc en l'etapa final.

4. Disseny

4.1. Arquitectura general de l'aplicació

La CPU de la Game Boy és de 8 bits amb una arquitectura semblant al Z80, això vol dir que els videojocs es programaven amb llenguatge ensamblador, però tenint en compte la durada del TFG i la complexitat del llenguatge no és una opció vàlida per al desenvolupament d'aquest projecte.

Existeix un kit de desenvolupament anomenat GBDK que inclou llibreries i un compilador que permet programar videojocs per a Game Boy en llenguatge C. És un programari gratuït per a desenvolupaments no comercials, on la major part del codi està sota llicència GPL i les biblioteques d'execució haurien d'estar sota llicència LGPL. El GBDK va ser creat per Pascal Felber, Lars Malmberg, John Fuge, David Galloway, Michael Hope, Sandeep Dutta i Daniel Rammelt. Va deixar d'actualitzar-se l'any 2002 després del llançament de GBDK-v2.96a [15]. Al llarg dels anys, la gent s'ha queixat de tots els problemes de GBDK causats per una versió molt antiga de SDCC, per aquest motiu l'any 2020 la comunitat d'homebrew de Game Boy va crear una actualització de les llibreries anomenada GBDK-2020 [16].

Nuclear Head es va iniciar utilitzant les llibreries GBDK-2020, però finalment es va migrar tota la feina a ZGB, un engine que utilitza GBDK 2020 com a base, però l'amplia per a oferir funcionalitats comunes per escriure jocs, com ara: un bucle principal, l'aparició de sprites, cicle de vida dels sprites, animacions de sprites, gestió de col·lisions, incorporar fàcilment actius al joc, música, efectes. Aquest Engine va ser creat per l'usuari Zal0, nascut a Barcelona, i que és un dels més actius dintre de l'homebrew de Game Boy.

La decisió d'utilitzar l'engine ZGB es va prendre a conseqüència del poc avanç produït durant les primeres setmanes que podia posar en perill tot el projecte. Va ser una decisió arriscada perquè implicava aprendre en poc temps com fer servir el motor i les seves característiques, però puc afirmar que va ser la decisió correcta i que les diferents funcionalitats que aporta m'han servit per poder avançar molt més ràpidament.

4.2. Requisits tècnics de l'entorn de desenvolupament

Per a desenvolupar un videojoc per a Game Boy, una vídeo consola de 1989, no es requereix un maquinari massa modern tot hi així a continuació es descriu uns requisits mínims recomanables per poder treballar-hi còmodament:

- SO: Linux 64 bits / Windows XP o superior 32 bits o 64 bits
- Processador: Core 2 Duo o superior
- RAM: 4Gb
- Tarjeta Gràfica: Compatible amb DX10 o superior, OpenGL
- Disc Dur: 250mb d'espai lliure

El PC utilitzat per desenvolupar aquest projecte tenia les següents característiques:

- SO: Windows 10 Pro de 64 bits
- Processador: Intel(R)Core i5-4670 3.40Ghz
- RAM: 20Gb
- Targeta Gràfica: Nvidia Geforce 970 GTX
- Disc Dur: 128Gb SSD

4.3. Inventari de les eines emprades

Durant el desenvolupament del joc s'han fet servir una sèrie d'eines que es llisten a continuació:

4.3.1 ZGB Engine

Motor gràfic creat per Zal0 que es basa en GBDK-2020 per poder desenvolupar videojocs de Game Boy en llenguatge C. Incorpora moltes funcionalitats per facilitar la implementació, així com ho farien els motors Unity o Unreal Engine.

4.3.2 Visual Studio Code

L'IDE escollit per implementar tot el codi del videojoc, desenvolupat en llenguatge C. Suporta diferents extensions com per exemple el control de versions amb Git o poder debugar mitjançant Emulicius, un emulador per a Game Boy que explicarem a continuació. [17]

4.3.3 GameBoy Tile Designer

Programa per a dissenyar els diferents sprites del videojoc. Està preparat específicament per a Game Boy on permet crear sprites de 8x8, 8x16 o 32x32 píxels i establir la paleta de colors específica. Proporciona també les eines bàsiques d'un editor gràfic de llapis, farciment, desplaçament i rotació.[18]

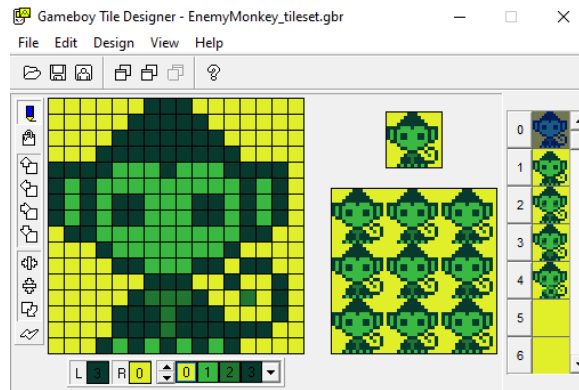


Figura 18 Exemple GBTD

La característica específica més importat és que permet exportar el disseny en diferents formats d'implementació segons on estiguis desenvolupant el teu videojoc, assemblador, C incloent un vector amb els valors del sprite en format hexadecimal.

```

/*
TITLE_TILESET.C

Tile Source File.

Info:
Form           : All tiles as one un.
Format         : Gameboy 4 color.
Compression    : None.
Counter        : None.
Tile size      : 8 x 8
Tiles          : 0 to 47

Palette colors : None.
SGB Palette    : None.
CGB Palette    : None.

Convert to metatiles : No.

This file was generated by GBTD v2.2
*/

/* Start of tile array. */
unsigned char title_tileset[] =
{
    0x00,0x00,0x00,0x00,0x00,0x00,0x00,0x00,
    0x00,0x00,0x00,0x00,0x00,0x00,0x00,0x00,
    0x00,0x00,0x3C,0x3C,0x66,0x66,0x66,0x66,
    0x66,0x66,0x66,0x66,0x3C,0x3C,0x00,0x00,
    0x00,0x00,0x18,0x18,0x38,0x38,0x18,0x18,
    0x18,0x18,0x18,0x18,0x3C,0x3C,0x00,0x00,
    0x00,0x00,0x3C,0x3C,0x66,0x66,0x06,0x06,
    0x3C,0x3C,0x60,0x60,0x7E,0x7E,0x00,0x00,

```

Figura 19 Exemple export GBTD

4.3.4 GameBoy Map Builder

Programa amb el qual es pot dissenyar mapes i nivells utilitzant els diferents sprites creats amb l'eina GameBoy Tile Designer. Suporta mapes de 1024x1024 sprites de 8x8, es a dir que la grandària es força gran. També té la característica de poder exportar la informació del mapa en format codi.

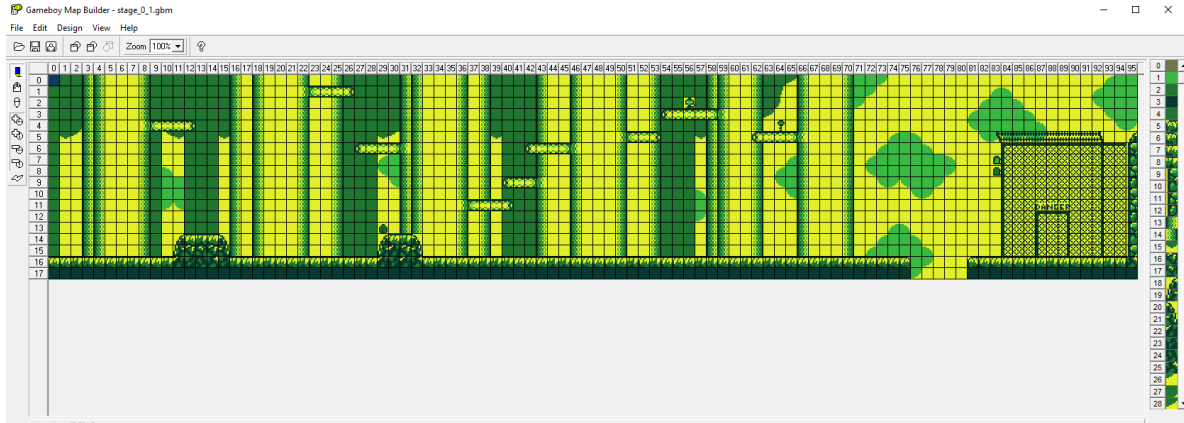


Figura 20 Exemple GameBoy Map Builder

4.3.5 BGB

Emulador que permet executar roms de Game Boy en un PC i que es caracteritza principalment per la seva alta precisió d'emulació, si el rom funciona en aquest emulador, és altament probable que també funcioni en el maquinari original. Aquest emulador incorpora diverses funcionalitats que permeten analitzar i observar amb detall el rom que s'està executant, com en quina posició de la memòria estan ubicats els sprites carregats en aquell moment.

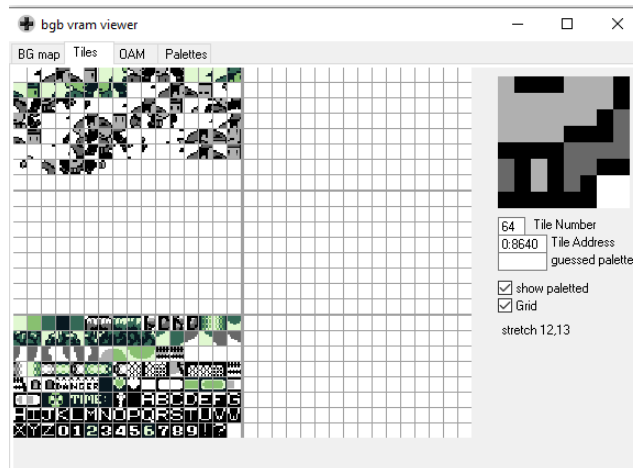


Figura 21 Exemple emulador bgb. Sprites en memòria ram

4.3.6 Emulicius

Es un emulador que com bgb permet executar roms de Game Boy. En aquest projecte s'ha utilitzat principalment per que es pot configurar fàcilment amb Visual Studio Code per poder debugar el vídeo joc en execució afegint punts d'interrupció en el codi. Ha sigut una eina essencial per poder corregir diferents errors d'implementació.

4.3.7 Microsoft Paint

Programa de dibuix de Microsoft incorporat a Windows, tot i ser molt bàsic i conegut per tots ha sigut molt necessari en el projecte precisament per la seva simplicitat a l'hora de dissenyar gràfics que només continguin els 4 colors màxims que suporta una Game Boy.

4.3.8 OpenMPT

Es un programa d'àudio de codi obert que s'utilitza per crea música i sons. L'enginye ZGB suporta el format d'àudio que genera aquest programa per incorporar la música i efectes sonors en un videojoc de Game Boy. No s'ha utilitzat el programa per generar música original per al videojoc degut a la manca de temps per fer-ho sinó per reproduir i escollir la música de tercers que es volia incorporar.

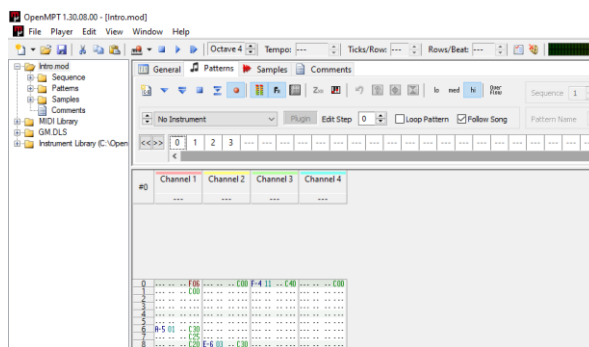


Figura 22 Programa OpenMPT

4.3.9 Flashcard per a GameBoy

No es un programa, sinó un cartutx de game boy que incorpora una targeta micro SD per desar les teves roms, i un petit programa incorporat que carrega la rom seleccionada en la memòria flash de la targeta per poder ser executada per una Game Boy original.



Figura 23 Flashcard per a Game Boy

4.4. Inventari d'assets i recursos al joc

A continuació es llisten tots els assets utilitzats en el videojoc així com una breu descripció de cada ún d'ells.

4.4.1 Tilesets dels mapes

4.4.1.1 Menú

L'Engine ZGB te eines per poder incorporar una imatge com a fons, amb l'única condició de que ha de ser de quatre colors. Aquesta característica l'he utilitzat per les pantalles prèvies que veurem mes endavant, però per al menú he volgut dissenyar-la mitjançant sprites.

El tileset de la pantalla del menú consta dels següents 106 sprites de 8x8 píxels, tots originals creats específicament per aquest videojoc:

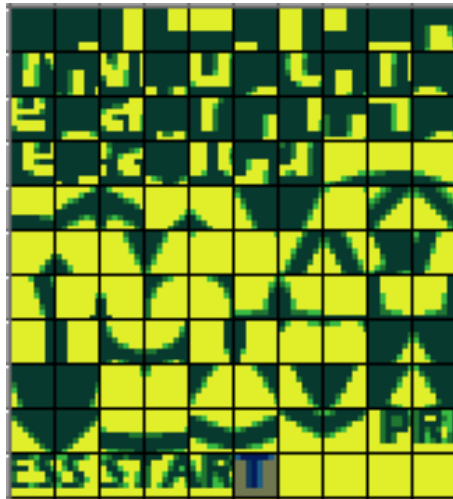


Figura 24 Tileset Menú principal

Amb els sprites es construeix aquesta pantalla inspirada en els cartells de perill per zona nuclear.

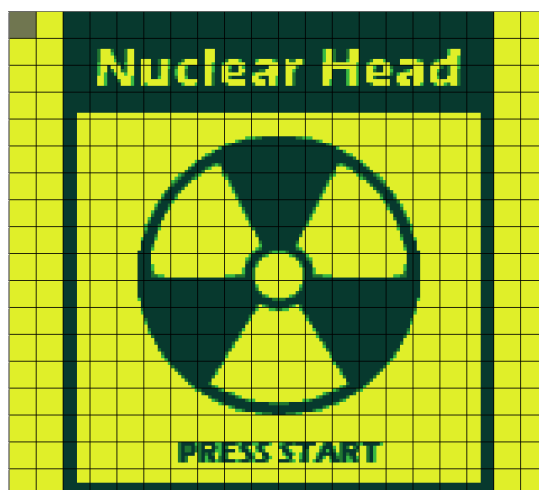


Figura 25 Pantalla Menú principal

4.4.1.2 *Nivell inicial*

Per al nivell inicial de Nuclear Head s'ha creat un tileset format per 62 Sprites de 8x8 pixels.

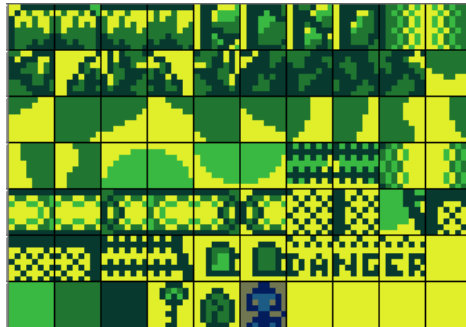


Figura 26 Tileset Stage0

Amb aquests sprites s'ha construït el següent nivell:

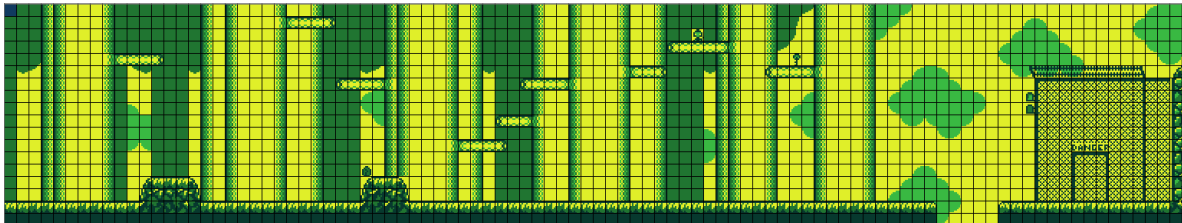


Figura 27 Tilemap Stage0

Tot i que tots els sprites s'han creat de zero, aquest nivell està clarament inspirat en un nivell del videojoc de Game Boy Bubble Bobble 2. Volia representar un bosc i em va agradar molt com utilitzava sprites foscos per donar profunditat al bosc.



Figura 28 Bubble Bobble 2 Game Boy

4.4.1.3 *Hud*

Com cada videojoc, s'han creat sprites per al hud⁵ per tal de representar la vida, la barra d'energia nuclear així com el temps disponible del nivell:



Figura 29 Sprites del Hud



Figura 30 Hud de Nuclear Head

⁵ Hud són les sigles de "Head-Up Display", es tracta de la informació que es mostra en tot moment en un videojoc, com el nombre de vides, punts, salut, etc.

4.4.2 Tilesets dels sprites

4.4.2.1 Personatge en estat normal

El tileset del personatge principal consta de 8 sprites de 32x32 píxels per representar tots els estats del personatge:

- Inactiu: Animació de quan el personatge no es mou, alterna els següents dos sprites on la diferència es l'altura del cap. Es vol donar la sensació de un petit moviment estàtic.

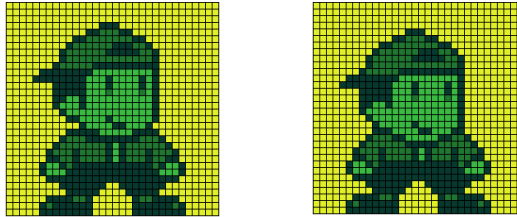


Figura 31 Animació inactiu personatge normal

- Caminar: L'animació del personatge caminant es realitza mitjançant quatre sprites, on el segon es repeteix en la seqüència.

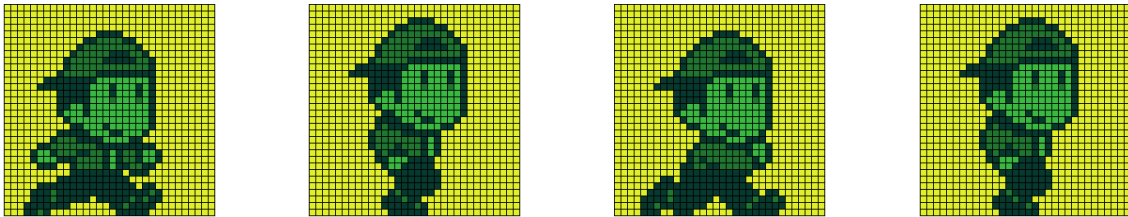


Figura 32 Animació caminar personatge normal

- Saltar: L'animació de salt consta de dos sprites, un per al personatge en ascens i un altre per al personatge en descens.

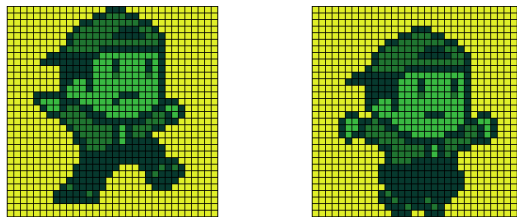


Figura 33 Animació de salt personatge normal

- Cop: Sprite de quan el personatge rep un cop. S'ha reaprofitat la de salt però canviant els ulls i la boca.

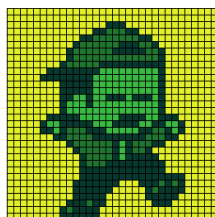


Figura 34 Animació de cop personatge normal

Els dissenys són totalment originals, però l'estructura del personatge està inspirat en l'sprite del personatge del videojoc Kid Dràcula de Game Boy. Sí que volia que el personatge de Nuclear Head portés una gorra cap enrere com a signe distintiu i per simplificar el seu disseny.



Figura 35 Personatge de Kid Dracula

4.4.2 Personatge en estat nuclear

El personatge en estat nuclear s'ha creat sobre el disseny del personatge normal, també amb 8 sprites de 32x32 pixels, però amb la diferència del cap, que s'ha fet més gran, i les animacions pròpies de cadascun, aquest personatge en comptes de saltar, colpeja.

- Inactiu: El personatge inactiu es mostra amb els següents dos sprites alternats, que intenten representar la llum nuclear que emana del cap.

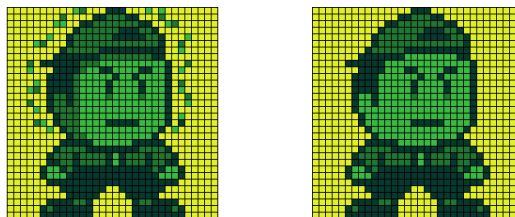


Figura 36 Animació inactiu personatge nuclear

- Caminar: Igual que el personatge normal, l'animació de caminar és una seqüència de quatre sprites.

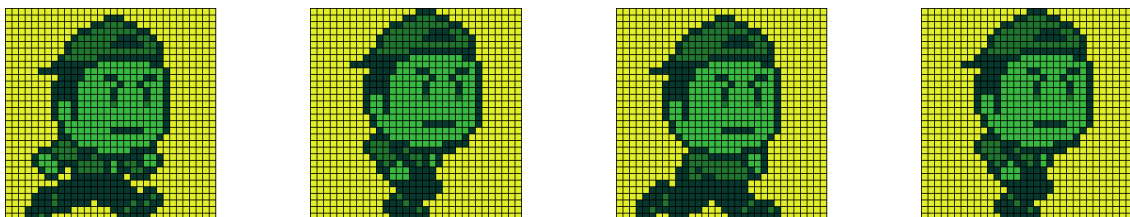


Figura 37 Animació caminar personatge Nuclear

- Cop: Animació del personatge quan dona un cop, és la característica pròpia en aquest estat en comptes de saltar.

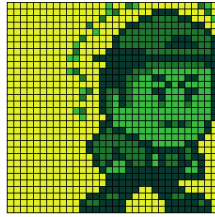


Figura 38 Animació de cop

- Barrera: L'animació de barrera no està implementada de moment. S'ha dissenyat pensant en una forma de fer rebotar els projectils enemics. Els dos sprites són iguals, però el segon se li han afegit ombres per fer sensació de llum.

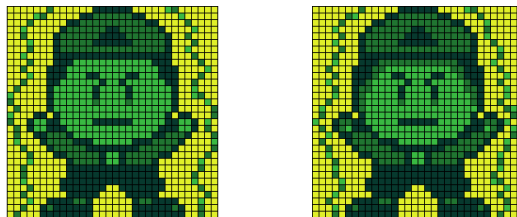


Figura 39 Animació de barrera nuclear

4.4.2.3 Element del entorn: roca

La roca és un element de l'entorn que s'ha introduït per bloquejar el pas del personatge i que l'única manera de poder superar-la és trencar-la. El disseny està inspirat en imatges d'internet, però s'ha creat des de zero per al videojoc. Consta de quatre sprites de 32x32 pixels, el primer és la seva forma inicial i tres sprites per fer l'animació de trencar-se.

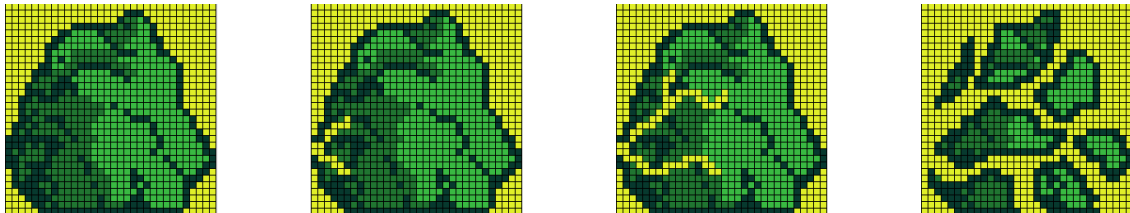


Figura 40 Sprite de element d'entorn roca

4.4.2.4 Element del entorn: Clau

La clau és un element que serveix per donar pas al següent nivell del videojoc. En aquest cas només ha calgut utilitzar un únic sprite de 8x8 pixels.

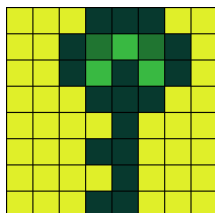


Figura 41 Sprite de la clau

4.4.2.5 *Enemy: Mico*

El mico és el primer enemic dissenyat per a Nuclear Head, s'han utilitzat en total cinc sprites 16x16 pixels. Per al disseny m'he inspirat en altres sprites de micos de la xarxa per agafar les idees principals, però en general és totalment original.

- Inactiu: Aquest estat consta d'una animació de dos sprites que simula un moviment del cap. S'ha dissenyat amb els ulls tancats i és un estat que adapta quan el personatge principal es troba a més de 20 sprites de distància.

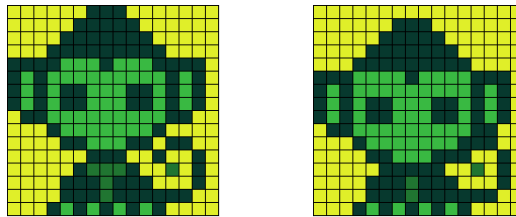


Figura 42 Animació enemic mico inactiu

- Agresiu: L'animació del mico agressiu, que s'ha realitzat amb tres sprites, s'inicia quan el personatge és a menys de 20 sprites per començar a llençar cocos.

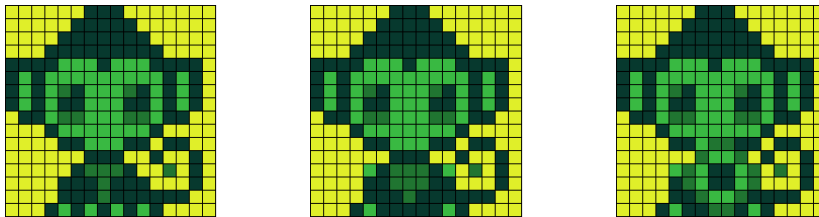


Figura 43 Animació enemic mico agressiu

4.4.2.6 *Enemy: Porc Senglar*

El porc senglar es el segon enemic dissenyat per a Nuclear Head, i s'han utilitzat quatre sprites de 16x16 pixels. El disseny es una revisió de diversos dissenys d'altres sprites de la xarxa, adaptant-lo a les necessitats del projecte.

- Inactiu: Animació del Senglar esperant que el personatge s'apropi. Consta de dues animacions simulant moure una pota.

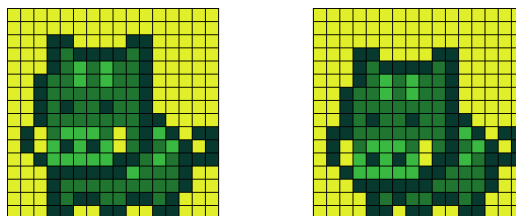


Figura 44 Animació enemic senglar inactiu

- Envestir: Animació del Senglar per envestir al personatge. Consta també de dues animacions que simulen la carrera de l'animal.

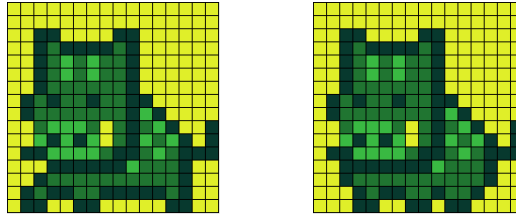


Figura 45 Animació enemic senglar envestir

4.4.2.7 Efectes: bala/coco del mico

L' sprite de bala o coco, és un projectil que llença l'enemic mico. No es descarta reutilitzar aquest sprite per a diferents projectils que puguin llençar altres enemics.

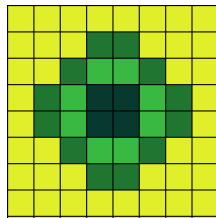


Figura 46 Sprite projectil

4.4.2.8 Efectes: Herba

L'sprite de l'herba és un únic sprite de 8x8 píxels que s'ha creat per un únic propòsit. Quan es va dissenyar l'enemic del senglar, aquest començava a córrer per damunt del precipici, necessitava una forma per informar al sprite del senglar que es s'havia d'aturar en aquell punt. La solució va ser crear un sprite addicional d'herba i d'aquesta manera va ser més facil controlar quan es havia d'aturar el senglar.

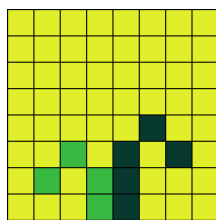


Figura 47 Sprite Herba

4.4.2.9 Efectes: cops

Aquest sprite s'ha creat per mostrar un efecte quan es dona o es rep un cop. El disseny no és original i s'ha reutilitzat part del sprite de cop del videojoc homebrew per a Game Boy Super Princess 2092 [19], videojoc creat per la mateixa persona que ha creat l'engine ZGB.

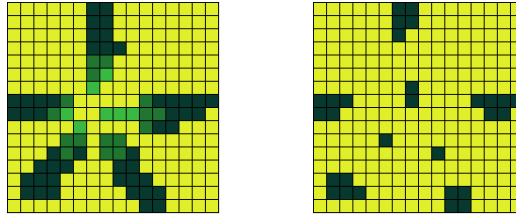


Figura 48 Sprite per a cops

4.4.2.10 Efectes: Partícules del personatge al morir

Sprite que es mostra quan mor el personatge principal, amb l'objectiu de transmetre la sensació d'escampar el personatge, com acostuma a fer un personatge icònic com es Mega Man. Igual que l'sprite de cop, no és original i s'ha reaprofitat del videojoc homebrew per a Game Boy Super Princess 2092.

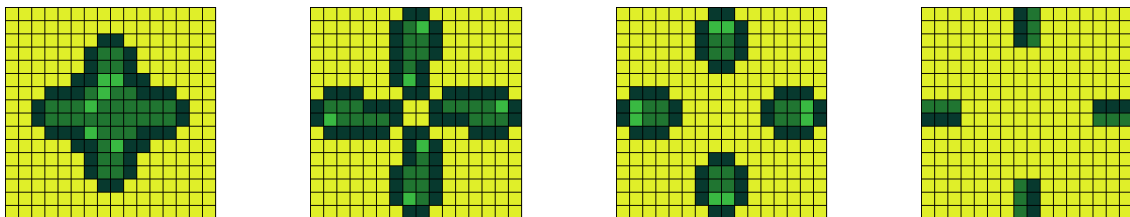


Figura 49 Sprites de partícules

4.4.2.11 Característiques dels sprites en Game Boy

Tots els sprites del videojoc estan dissenyats amb quatre colors, a conseqüència de les limitacions del maquinari, però cal dir que realment no serien quatre sinó tres. El primer color, el més clar de tots, és transparent per a la Game Boy. Aquest és un dels motius de disseny que ha provocat que la cara del personatge s'hagi pintat amb un dels altres tres colors, perquè inicialment es va deixar amb el primer color més clar, però es transparentava tot el background de l'escenari.

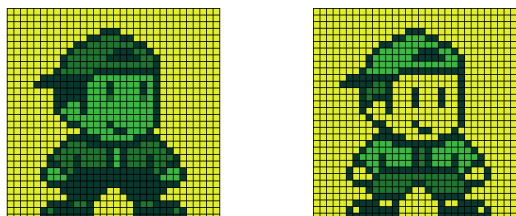


Figura 50 Diferencia disseny original personatge

4.4.3 Imatges

Com hem explicat en el punt 4.4.1.1 l'engine ZGB suporta la carrega d'imatges però amb el requisit de que només han de tindre quatre colors. En aquest videojoc s'han utilitzat les següents imatges per representar pantalles inicials o finals, totes elles a excepció del logo de la UOC son originals i creats específicament amb una mida de 160x160 pixels que el propi motor escala a la resolució de la Game Boy.



Figura 51 Logo de la UOC



Figura 52 Pantalla Game Over

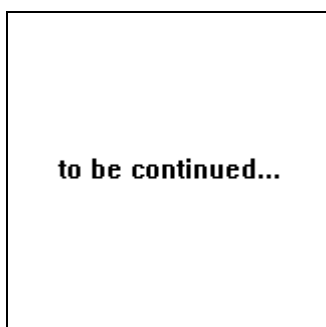


Figura 53 Pantalla continuarà

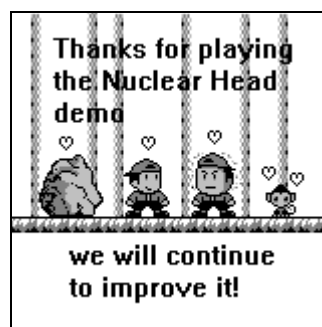


Figura 54 Pantalla fi demo

4.4.4 Música i so

En aquest projecte no s'ha creat música original. Total la música i efectes de so del videojoc s'han reaprofitat d'altres projectes de la comunitat i d'accés lliure a Git. En aquest apartat es detallaran tots els arxius sonors utilitzats i la seva procedència.

Tipus	Descripció / on sona	Procedència original
▪ So FX	▪ Saltar	▪ Joc SushiNights [20]
▪ So FX	▪ Agafar objecte	▪ Joc SushiNights [20]
▪ So FX	▪ Donar un cop	▪ Joc Super-Princess-2092 [19]
▪ So FX	▪ Rebre un cop	▪ Joc Super-Princess-2092 [19]
▪ So FX	▪ Personatge mor	▪ Joc Super-Princess-2092 [19]
▪ Música	▪ Pantalla introductòria	▪ Joc Temple of Velcro [21]
▪ Música	▪ Nivell 1 – personatge normal	▪ Joc SushiNights [20]
▪ Música	▪ Nivell 1 – personatge nuclear	▪ Joc Super-Princess-2092 [19]
▪ Música	▪ Pantalla Game Over	▪ Joc Super-Princess-2092 [19]
▪ Música	▪ Pantalla fi de la demo	▪ Joc Temple of Velcro [21]

4.5. Esquema d'arquitectura del joc/components

4.5.1 Llistat de components de Nuclear Head

- ZGBMain : Component amb la lògica del Engine ZGB. És el main del programa on també es defineixen les pantalles i sprites del videojoc. Aquest component només s'ha modificat per incloure la definició dels següents components que si contenen codi original de Nuclear Head.
- StateEngine: Component amb la lògica de la pantalla de la UOC, carrega i mostra la imatge.
- StateMenu: Component amb la lògica de la pantalla del Menú, carrega el tileset i conté el codi per inicial el joc cap a la pantalla de història.
- StateStory: Component amb la lògica de la pantalla de història. Carrega els sprites del text amb una seqüència de scroll vertical.
- StateGame: Aquest component és on es presenta la lògica principal del videojoc, és a dir el codi que cridarà la resta de components de Nuclear Head.
- StateGameOver: Component que conté la lògica de la pantalla de Game Over.
- StateWillContinue: Component que conté la lògica de la pantalla de continuarà.
- StateEnd: Component que conté la lògica de la pantalla de final de demo.
- SpritePlayer: Component amb tota la lògica del personatge principal.
- SpritePlayerNuclear: Component amb tota la lògica del personatge principal en estat nuclear.
- SpritePlayerParticle: Component amb la lògica dels sprites de partícules del jugador quan mor.
- SpriteStone: Component amb la lògica del element roca del escenari.
- SpriteMonkey: Component amb la lògica de l'enemic Mico.
- SpriteKey: Component amb la lògica de l'objecte clau.
- SpriteHit: Component amb la lògica dels sprites de cops.
- SpriteCocoBullet: Component amb la lògica dels sprites dels projectils.
- SpriteWildPig: Component amb la lògica de l'enemic Senglar
- SpriteGrass: Component amb la lògica del component herba de l'escenari.
- Sounds: Component que conté tots els sons FX del videojoc que després seran cridats en cada moment.

En el següent diagrama d'estat es mostra la seqüència bàsica del joc:

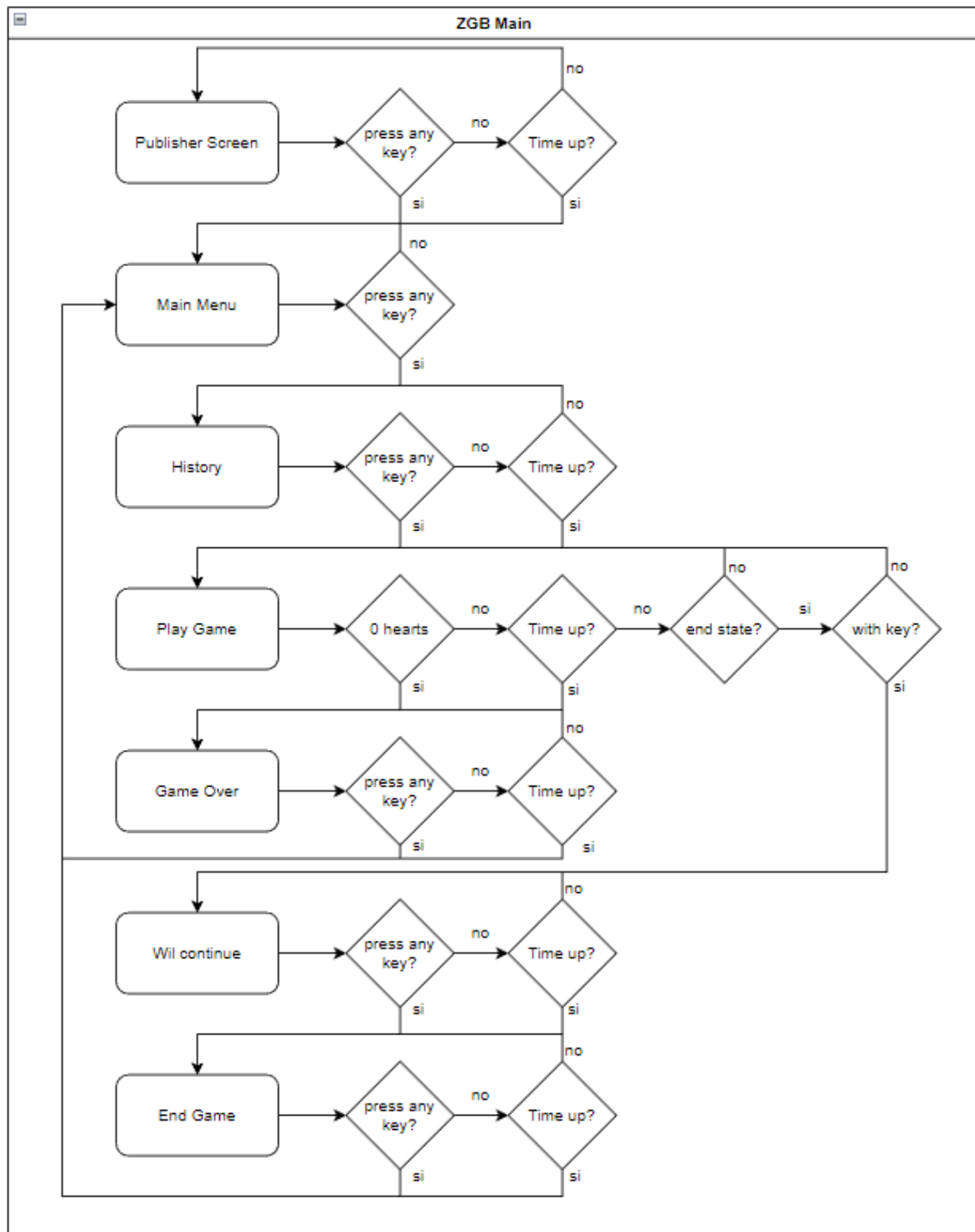


Figura 55 Diagrama partida Nuclear Head

4.6. Disseny de nivells

En aquest apartat s'explicarà el disseny del nivell de Nuclear Head que es pot jugar en aquest projecte. Es dividirà la secció entre elements implementats i elements pendents d'implementar.

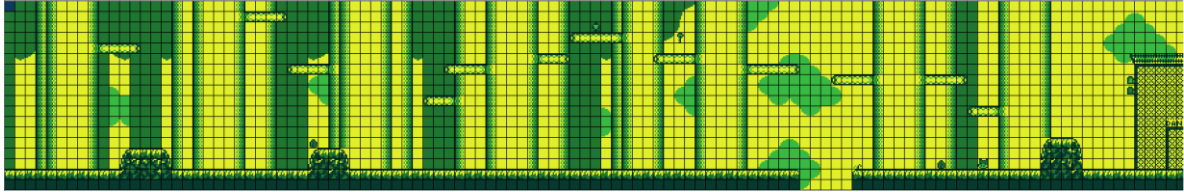


Figura 56 Tilemap Stage0

4.6.1 Elements implementats

- Al començar el nivell, el jugador es trobarà una zona de terreny elevada. Aquest element s'ha introduït per **ensenyar al jugador que és necessari saltar** per poder avançar.
- Una mica més endavant tornem a trobar una zona de terreny elevada, però que a sobre hi ha una roca. Si el jugador intenta saltar, veurà que no pot, en aquest cas, **és necessari glopejar la roca per trencar-la i continuar el nivell.**
- A continuació et trobaràs un enemic del nivell, un mico que llença projectils.
 - Si el jugador vol avançar en mode normal, veurà que rep un cop i se li restarà un cor de vida. **En mode normal et poden fer mal.**
 - Si el jugador vol avançar en modo nuclear, veurà que els projectils no li resten vida. **En mode nuclear no et poden fer mal.**
- S'ha implementat un segon enemic, el senglar, que persegueix al jugador.
- S'ha implementat una barra de temps en **el mode nuclear, no és un mode infinit.** El jugador ha d'aprendre que no pot ser immortal tot el temps, ha de seleccionar el moment per se immortal perquè hi ha un temps d'espera per poder tornar a transformar-se.
- El jugador es trobarà amb un precipici, si cau s'acaba la partida.
- No es podrà avançar el nivell si no s'agafa la clau. Quan s'agafa la clau apareix en el hud del joc per indicar que s'ha agafat un objecte clau.

4.6.2 Elements no implementats

- Si s'arriba a la porta de final del nivell sense la clau, es vol introduir un so que indiqui que falta algun element per continuar.
- Es vol ampliar la pantalla per afegir més enemics i situacions per al jugador.

5. Implementació

5.1. Requisits d'instal·lació

Nuclear Head no requereix d'una instal·lació per poder jugar, s'ha generat una rom que es pot executar en qualsevol emulador de Game Boy o en el propi maquinari original mitjançant targetes flash específiques. A continuació s'explicarà els passos a seguir:

- **Descàrrega de la rom:** La rom de Nuclear Head es pot descarregar de la següent ruta de GitHub, <https://github.com/dmarquenoUOC/nuclearhead/tree/main/bin>, fitxer NucelarHead_gold.gb.
- **Emulador de Game Boy:** Qualsevol emulador de Game Boy hauria d'executar la rom de Nuclear Head, però recomanem utilitzar l'emulador BGB, <https://bgb.bircd.org/>, un dels mes utilitzats per la comunitat per la seva semblança amb el maquinari original. L'emulador no requereix d'instal·lació, un cop descarregat s'ha de seguir els següents passos:
 - Executar el fitxer bgb.exe
 - S'obrirà una finestra com la següent:

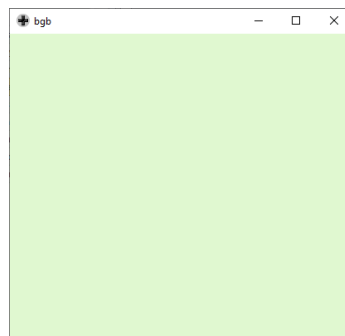


Figura 57 Emulador bgb

- Botó dret sobre el fons
 - Seleccionar l'opció Load ROM
 - Seleccionar la rom de NuclearHead_gold.gb
 - Y començarà el videojoc.
- **Jugar en la pròpia Game Boy :** Es necessari una targeta flash, com per exemple les que fabrica la empresa krikzz, <https://krikzz.com/our-products/cartridges/edgbx3.html>. La pròpia targeta incorpora el software necessari per copiar la nostra rom dintre del chip rom de la targeta perquè la Game Boy l'executi com si fos un videojoc natiu.

6. Demostració

6.1. Instruccions d'ús

Nuclear Head és un videojoc amb un control senzill fruit del maquinari original Game Boy. Disposava d'una creueta de control de quatre direccions, dos botons d'acció A i B, més dos botons de menú select i start.



Figura 58 Botons Game Boy

Els controls implementats per a Nuclear Head serien els següents:

- Dreta: Mou el personatge cap a la dreta.
- Esquerra: Mou el personatge cap a l'esquerra.
- A: Botó d'acció, salta en mode normal o colpeja en mode nuclear.
- B: Botó de transformació, transforma el personatge en mode nuclear.
- Start: Només s'utilitza per avançar pàgines dels menús però no té implementació jugable.
- Select: No té implementació jugable.
- A dalt: No té implementació jugable.
- A baix: No té implementació jugable.

6.2. Tests

Durant el desenvolupament s'han dut a terme diferents proves per comprovar i validar el correcte funcionament de Nuclear Head i entregar un producte amb la màxima qualitat esperada.

6.1.1 Proves unitàries

Proves realitzades durant el desenvolupament del videojoc per corregir diferents errors de codi i de disseny. Per poder depurar el videojoc s'ha utilitzat un plugin de Visual Studio Code que permet debugar un videojoc de gameboy amb l'emulador emulicius, utilitzant punts de ruptura en el codi que

detenien el videojoc i així poder veure el camí de codi recorregut o els valors de les diferents variables en el moment de la ruptura.

Una altra tècnica feta servir, que ha sigut molt útil, és la de pintar per pantalla els diferents valors de les variables que volia controlar. Per fer-ho s'ha implementat una part del codi que imprimia les variables en el hud del videojoc i d'aquesta manera a mesura que el personatge es movia podíem observar en temps real el valor de la variable.

Exemples de correccions que s'han realitzat gràcies a aquestes tècniques:

- Falls de memòria. El problema més important trobat en el desenvolupament va ser com gestionar la memòria limitada de la Game Boy, que únicament permet carregar en memòria 256 tiles⁶, de 8x8 pixels:
 - La transformació del personatge de mode normal a mode nuclear. El personatge principal ocupava uns 96 tiles i el personatge en mode nuclear uns 108 tiles, això vol dir que si teníem els dos personatges carregats en memòria a la vegada ens limitava poder mostrar més elements a la pantalla. La solució que s'ha aplicat per una banda va ser ajustar els dos sprites als mateixos tiles, que van ser 104, d'aquesta manera podíem utilitzar el mateix espai de la memòria per als dos personatges. Sempre que es transformava el videojoc carregava els tiles del personatge en el mateix espai de memòria.
 - Control de bucles. L'estructura de Nuclear Head no deixa de ser d'un bucle infinit d'execució del codi, per tant ens vam trobar que molts elements gràfics del videojoc es carregaven constantment en memòria saturant la mateixa i trencant l'execució.

- Acceleració al saltar. Ens van trobar diversos errors a l'hora d'implementar la mecànica de salt del personatge que feien que el personatge volés o travessés el terra sortint de la pantalla. En aquest cas la solució va consistir en ajustar correctament les variables de l'acceleració de salt i va ser molt important monitorar en cada moment el valor d'aquestes.

⁶ S'anomena Tile a la textura utilitzada en un videojoc i el tileset és el conjunt de textures. En Game Boy la grandària d'un tile sempre és de 8x8 pixels.

6.1.2 Proves d'usuari

Les proves d'usuari són proves on es presenta el programa a l'usuari final que l'utilitzarà i es provenen totes les funcionalitats del mateix per tal de demostrar que funciona correctament i compleix amb els requisits que havien descrit.

En el nostre cas, en ser un desenvolupament d'un videojoc com a treball de final de grau, s'han considerat com a usuaris diversos amics al que se'ls hi ha proporcionat una versió beta del videojoc per poder-lo provar i obtenir el seu feedback.

A continuació es llisten alguns dels comentaris de millora rebuts i una explicació de si es tenia detectat el problema i si s'ha pogut millorar:

- Usuari: Al pressionar el botó de transformació no sempre es transforma, s'ha d'insistir una mica
 - Resposta: La incidència la tenia detectada, però no he sabut per què succeeix. Quan es depura el videojoc funciona a la primera i no és reproducible.
- Usuari: A vegades el personatge rep tres cops i no mor, es reinicien els cors.
 - Resposta: Incidència no detectada i corregida. Si el personatge es transformava, se sumaven vides extra.
- Usuari: El personatge triga a caure quan arriba a la cantonada de la plataforma.
 - Resposta: La incidència la tenia detectada i és a causa dels píxels pintats amb color transparent, realment per al sistema existeix cantonada i per això triga el personatge a caure. No s'ha corregit per falta de temps.
- Usuari: En obtenir la clau, es queda un requadre en blanc.
 - Resposta: Incidència coneguda i corregida. L'sprite que indica la posició de l'enemic ha de tindre el mateix color de fons.

6.1.3 Proves de rendiment

S'ha realitzat proves de rendiment amb l'objectiu de comprovar l'estabilitat del videojoc principalment en la gestió dels sprites en memòria. Totes les proves consistien a repetir durant els 300 segons de durada màxima del nivell les següents situacions:

- Transformar-se de forma normal a nuclear i viceversa diverses vegades seguides.
- Fer aparèixer la roca diverses vegades un cop trencada.
- Fer aparèixer el mico diverses vegades un cop eliminat.
- Saltar amb el personatge constantment.

6.3. Guia d'usuari

A continuació s'ha redactat els passos que s'han de seguir per completar el nivell presentat en Nuclear Head:

1. Un cop es tingui el control del personatge ens hem de moure cap a la dreta.
2. El primer obstacle es pot saltar amb el botó "A".

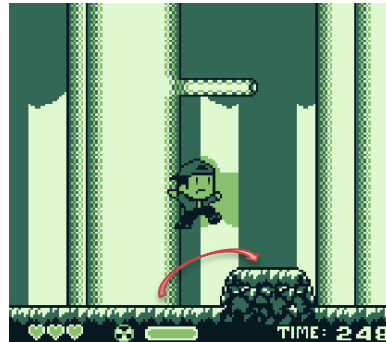


Figura 59 Guia Nuclear Head 01

3. Per a superar l'obstacle de la Roca, és necessari prèviament transformar-se en mode Nuclear amb el botó "B" i seguidament prémer el botó "A" a prop de la pedra per trencar-la. Un cop trencada, en mode normal es pot saltar l'obstacle.

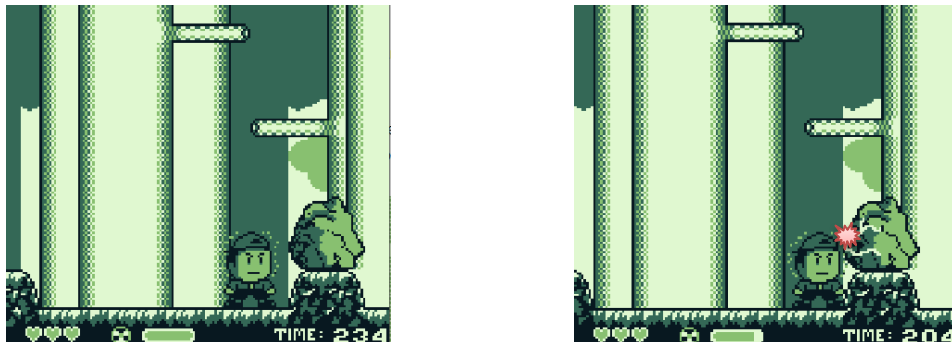


Figura 60 Guia Nuclear Head 02

4. Els cocos del mico no et fan mal si es passa en mode Nuclear.

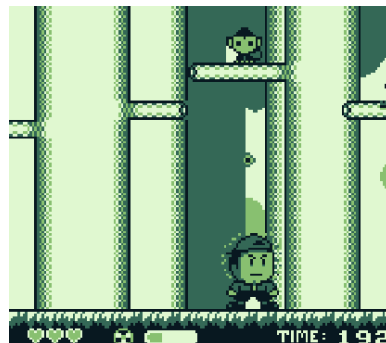


Figura 61 Guia Nuclear Head 03

5. S'ha de saltar el precipici per continuar

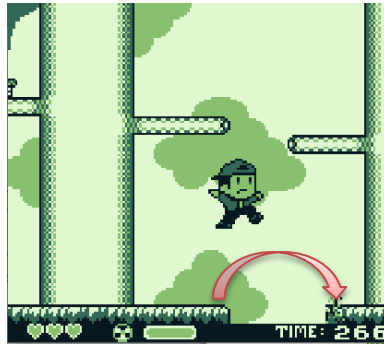


Figura 62 Guia Nuclear Head 04

6. A l'altra banda del precipici, ens tornarem a trobar una roca que em de trencar, de la mateixa manera que el punt 3. Però un cop trencada ens trobarem amb un petit Senglar.

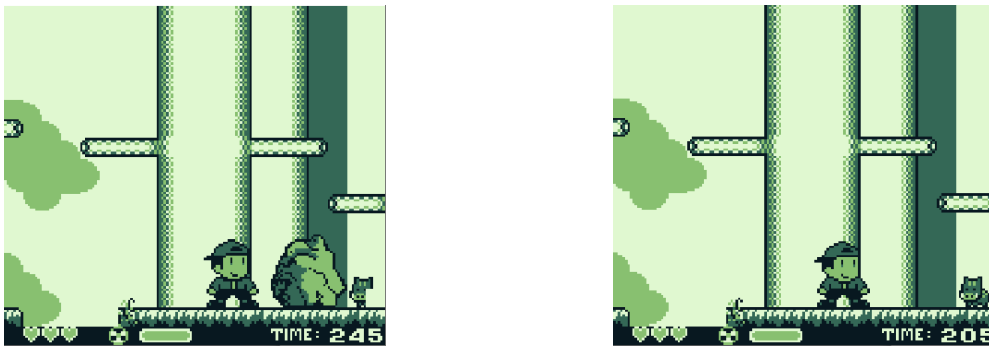


Figura 63 Guia Nuclear Head 05

7. Si fem un pas endavant, i ens apropem, el senglar investirà cap a nosaltres. Es pot intentar saltar, però es molt just. Es recomana transformar-se en mode Nuclear i avançar.

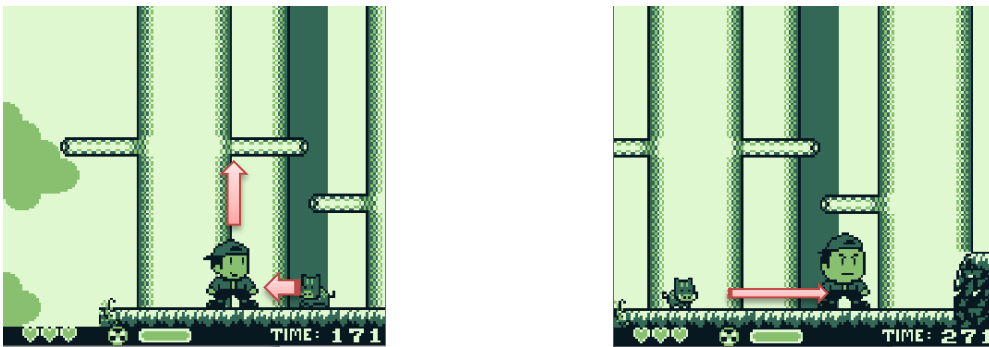


Figura 64 Guia Nuclear Head 06

8. Arribem a la porta final, però necessitem una clau per poder finalitzar el nivell. Hem de retrocedir però saltant per les branques fins arribar a la clau:

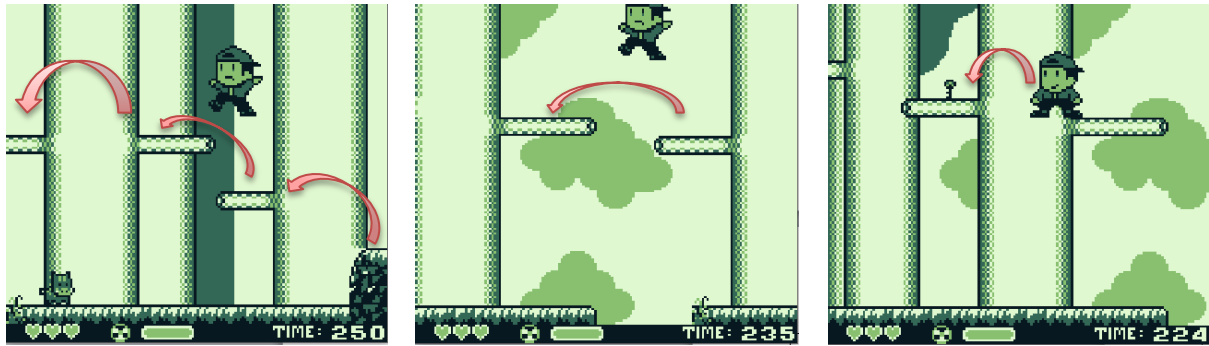
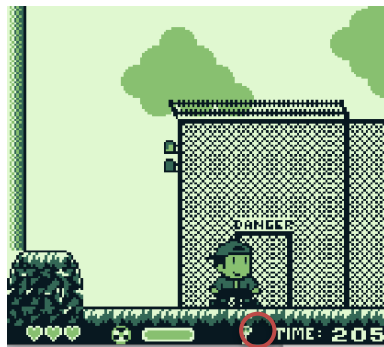


Figura 65 Guia Nuclear Head 07

9. Un cop tenim la clau, si ens apropem a la porta superarem el nivell



7. Conclusions i línies de futur

7.1. Conclusions generals

Per motius personals portava més de tres anys sense poder-me matricular a la UOC i aquest període d'inactivitat em feia sempre dubtar si finalitzar el grau, cada semestre que passava era pitjor i ho feia més complicat, però finalment em vaig decidir gracies precisament a que un dels temes que es podien escollir era desenvolupar un videojoc. Aquesta opció i els ànims de la meua parella em van donar la empenta necessària per afrontar aquest repte. Repte que finalment s'ha transformat en una experiència molt enriquidora que m'ha donat la oportunitat de demostrar tots els coneixements que havia adquirit durant els anys que vaig cursar el Grau, professionalment no em dedico a la programació, i d'aprenentatge de moltes situacions que he viscut durant el transcurs del projecte.

Segurament la lliçó més important que m'emporto amb mi és la dificultat de realitzar l'estimació i complir amb la planificació d'un projecte, tema que profunditzarem més endavant, però que m'ha fet reflexionar que si un projecte de tres mesos pot patir tantes variacions, imaginem-nos un projecte professional de diversos anys.

Un altre punt important que he après ha sigut descobrir la gran comunitat que existeix sobre la programació i desenvolupament de videojocs en plataformes clàssiques, precisament aquí en Catalunya tenim molta gent dedicada, un exemple seria el motor gràfic que finalment he utilitzat per implementar el meu videojoc creat per un noi de Barcelona.

Finalment, voldria tancar les conclusions del projecte comentant que els videojocs són la meua principal afició, és un món que estimo molt per totes les experiències que he tingut la sort de gaudir en moments molt complicats de la meua vida i per aquest motiu, desenvolupar el meu propi videojoc en la primera plataforma on vaig gaudir d'aquesta afició, a més d'un repte personal i d'aprenentatge, ha sigut un somni complert des de petit.

7.2. Reflexió sobre els objectius

Un cop finalitzat el projecte, es pot afirmar que els objectius principals s'han assolit parcialment perquè no s'han introduït tots els elements i característiques que es tenien previstos, com per exemple, els objectes col·leccionables o l'habilitat de barrera del personatge en mode nuclear. Així i tot, s'ha aconseguit desenvolupar un primer nivell que és totalment funcional en qualsevol dels models de Game Boy i que als usuaris que hi juguin els hi recordarà als videojocs dels anys noranta.

Respecte als objectius personals estic totalment satisfet amb l'experiència i l'aprenentatge adquirit en el desenvolupament d'un projecte de principi a fi, i més concretament en la d'un videojoc fet per

videoconsola clàssica com és Game Boy. Personalment, també m'ha tornat a encendre l'espurna de la programació, que tenia totalment apagada i m'ha fet recordar que és un exercici que gaudeixo molt.

Finalment, dels objectius secundaris que s'havien marcat no s'ha pogut realitzar cap d'ells, he de concloure que no eren gens realistes per un projecte de final de grau. Desenvolupar part d'un primer nivell ja ha suposat molta feina com per pensar a desenvolupar més d'un nivell, i respecte a crear i dissenyar música i efectes sonors propis, crec que no hi seria capaç de fer-ho ni amb tot el temps del món, és un art que requereix un talent propi que no tinc. Valoro encara més aquells videojocs que han estat fets íntegrament per una sola persona, perquè amb les quantitats d'aspectes que s'han de dominar ho veig com una proesa molt gran.

7.3. Anàlisi de la planificació

Tal com s'ha comentat en les conclusions generals, la planificació ha sigut la lliçó mes important que segurament he après en el desenvolupament d'aquet projecte. Durant les primers setmanes es va seguir amb la planificació sense variacions, respectant els dies i les hores previstes de treball, però tot es va complicar quan es va arribar a l'inici del desenvolupament del videojoc.

Inicialment, s'havia planificat quan realitzar cadascuna de les parts bàsiques del videojoc, personatges, escenaris, objectes, etc. de forma individual, però la realitat va ser que mesura que s'anava dissenyant i programant cada part es van trobar diferents dificultats que van derivar en la necessitat d'anar canviant d'element per no bloquejar tot el desenvolupament i aprofitar el poc temps del projecte. Segurament en un projecte de moltes persones, cadascú s'ha de centrar en tasques concretes, però quan el projecte l'ha de desenvolupar una única persona crec que no és productiu seguir una pauta de desenvolupament massa estricta, considero que va ser molt important canviar d'elements a desenvolupar quan em bloquejava en un en concret per refrescar la ment. Un altre moment crític del desenvolupament va ser quan es va decidir migrar tot el projecte al motor gràfic ZGB, decisió arriscada però que al final ha sigut clau per poder finalitzar el mateix. No es va perdre la feina feta, però si es va necessitar d'hores extres per aprendre a utilitzar el nou motor.

Finalment, voldria destacar la importància que tenen unes dates tan significatives com les festes de Nadal, dies molts familiars, que no es van contemplar en la planificació inicial. És important tenir present en una planificació de quins són els festius que hi ha en el calendari del projecte o en el cas d'un desenvolupament de llarga durada, les vacances. El descans i la conciliació familiar és clau perquè els projectes tirin endavant i és un aspecte rellevant que no sempre es té en compte.

Lamentablement, tots aquests imprevistos han fet que el resultat final no sigui el desitjable inicialment, però m'han aportat molt d'aprenentatge i experiència.

7.4. Línies de futur

Com he comentat anteriorment realitzar Nuclear Head ha sigut un somni per mi i tinc la intenció de millorar-lo i finalitzar-ho completament. Algunes de les millores que vull implementar a futur són les següents:

- **Més nivells de Joc:** En aquest projecte s'ha desenvolupat un primer nivell de Nuclear Head, però la meua intenció es realitzar un joc complet que com a mínim tingui 7 nivells de Joc.
- **Enemics de final de Fase:** Tot videojoc té enemics finals al finalitzar certes fases, es un aspecte que en cap moment he contemplat realitzar en aquest projecte perquè era conscient de la seva dificultat però que m'agradaria implementar en un futur.
- **Habilitats del personatge:** M'agradaria poder implementar l'habilitat de barrera en el mode nuclear del personatge i treure la invencibilitat. Inicialment, no vaig pensar que el personatge fos intocable en aquest estat sinó que produís una barrera per bloquejar projectils i cops d'enemics.
- **Música i so:** Tota la música i só del videojoc son de tercers, m'agradaria en un futur que Nuclear Head tingui música i efectes totalment originals.
- **Format físic:** Aquesta es una il·lusió molt personal, però m'agradaria un cop tindre el joc en una versió definitiva investigar sobre gravació del videojoc en un cartutx original i crear la seva caixa e instruccions. Tota això sense intenció de comercialitzar res, sinó fer quatre versions per regalar als amics amb qui somiava de petit realitzar aquest somni.
- **Segona part a color:** He acabat tan motivat aquest projecte, i amb la comunitat de desenvolupament de videojocs clàssics, que m'agradaria molt continuar programant videojocs de forma casual, i perquè no, desenvolupar una segona part de Nuclear head en versió per a Game Boy color.

Bibliografia

- [1] Satoru Iwata. **Ask Iwata**. Hobonichi editor. Barcelona: Editorial Planeta. 2021
- [2] Steven L. Kent. **La Gran Historia de los Video-Juegos**. Barcelona: Ediciones B.S.A. 2016
- [3] Wikipedia. **Game Boy**. [En línia] https://es.wikipedia.org/wiki/Game_Boy
- [4] Jarm. **Los últimos juegos de Game Boy**. Youtube. [En línia] <https://www.youtube.com/watch?v=c6BmR0a9goY&t=205s>
- [5] Price Charting. **PAL GameBoy Prices & PAL Game Boy Value Guide**. [En línia] <https://www.pricecharting.com/console/pal-gameboy>
- [6] Gorges, Florent. **La Historia de Nintendo volumen 2: 1980-1991 Game & Watch, un invento sorprendente**. Sevilla: Ediciones Herores de Papel. 2016
- [7] Gorges, Florent. **La Historia de Nintendo volumen 4: La increíble historia de la Game Boy**. Sevilla: Ediciones Herores de Papel. 2021
- [8] Nintendo.es. **Dades tècniques**. [En línia] <https://www.nintendo.es/Atencion-al-cliente/Game-Boy-Pocket-Color/Informacion-del-producto/Datos-tecnicos/Datos-tecnicos-619585.html>
- [9] 3DJuegos. **¿Están Game Boy, Mega Drive y Spectrum más vivos que nunca? El homebrew es el nuevo retro**. [En línia] <https://www.3djuegos.com/varios/noticias/estan-game-boy-mega-drive-y-spectrum-mas-vivos-que-nunca-el-homebrew-es-el-nuevo-retro-211030-2615>
- [10] Velasco,JJ. Hipertextual. **Historia de la Tecnología: Homebrew Computer Club**. [En línia] <https://hipertextual.com/2012/06/homebrew-computer-club>
- [11] Wikipedia. **Game Boy**. [En línia] <https://es.wikipedia.org/wiki/Homebrew>
- [12] Dana Puch. **GreenBoy Games**. [En línia] <https://greenboygames.com/>
- [13] Dana Puch. Kikstarter. **'THE SHAPESHIFTER 2' - The saga continues!! - Cartridge Game**. [En línia] https://www.kickstarter.com/projects/danapuch/the-shapeshifter-2-the-saga-continues-cartridge-game?ref=user_menu
- [14] Tangram Games. **Tobu Tobu Girl**. [En línia] <https://tangramgames.dk/tobutobugirl/>
- [15] Pascal Felber. **GameBoy Developers Kit (GBDK)**. [En línia] <https://gbdk.sourceforge.net/>
- [16] Zal0. **GBDK-2020**. [En línia] <https://github.com/gbdk-2020>
- [17] Microsoft. **Visual Studio Code**. [En línia] <https://visualstudio.microsoft.com/es/downloads/>
- [18] H.Mulder. **GameBoy Tile Designer**. [En línia] <http://www.devrs.com/gb/hmgd/gbtd.html>
- [19] Zal0. **Super Princess 2092** [En línia] <https://github.com/Zal0/Super-Princess-2092-Exodus>
- [20] Zal0. **SushiNights** [En línia] <https://github.com/Zal0/SushiNights>
- [21] InfectedBytes. **Temple Of Velcro** [En línia] <https://github.com/InfectedBytes/TempleOfVelcro>

Annexos

Annex A: Glossari

- *Assets*: Representació d'un objecte
- *Background*: Fons de l'escenari
- *Bits*: Dígit d'unitat mínima d'informació, 0 o 1
- *C*: Llenguatge de programació
- *CD-ROM*: Compact Disc Ready Only Memory, disc compacte per llegir informació digital.
- *CPU*: Central Processing Unit, unitat de processament central.
- *Debug*: Terme utilitzar per depurar errors de codi.
- *FlashCards*: Dispositiu d'emmagatzematge
- *GBDK*: Game Boy Development Kit
- *GPL*: General Public License, llicència de programari lliure.
- *LCD*: Liquid Crystal display, pantalla de cristall líquid
- *LGPL*: Lesser General Public License, llicència de programari lliure reduït.
- *PAC*: Prova d'avaluació continua.
- *PCM*: Phase Change Memory, memòria de canvi de fase.
- *Plugin*: Complement extra d'un programa.
- *PSX*: Acrònim de PlayStation
- *RAM*: Random Access Memory, memòria d'emmagatzematge d'accés aleatori.
- *ROM*: Read Only Memory, memòria de només lectura.
- *Sprite*: Imatges que representen un objecte
- *SRAM*: Static Random Access Memory, memòria estàtica d'emmagatzematge d'accés aleatori.
- *TFG*: Treball Final de Grau
- *VRAM*: Video Random Access Memory, memòria d'emmagatzematge d'accés aleatori específica per a gràfics.
- *Z80*: Zilog Z80, microprocessador de 8 bits

Annex B: Lliurables del projecte

- Memòria del projecte (Aquest document)
- Projecte Nuclear Head: <https://github.com/dmarquenoUOC/nuclearhead>