



UNIVERSITAT DE
BARCELONA

Treball final de grau
GRAU D'ENGINYERIA
INFORMÀTICA

Facultat de Matemàtiques
Universitat de Barcelona

Geopieces: Joc seriòs per
l'aprenentatge de la geometria.
Part 2D

Autor: David Rausell Seibert

Director: Dr. Anna Puig

Realitzat a: Departament de Matemàtiques i Informàtica

Barcelona, 30 de juny de 2016

Abstract

Learning by doing. Many studies claim that the best way of teaching is by making the students interact with what they want to learn. Accordingly, this Bachelor's Degree Final Project aims to provide teachers with an aiding tool, specifically in the field of geometry teaching during the last years of primary school. Thus, the main goal is to design and create a game using Unity with a series of geometry learning activities allowing students in primary and first years of secondary school to progress in an entertaining and engaging way, having them overcome several challenges.

Each student will have their own user and the game will be flexible enough to enable the teacher to analyze their evolution and to identify their difficulties. The teacher will also be able to customize the game, choosing which skills to train, and adding new activities and new 2D and 3D shapes among other geometric concepts.

Thus, the game will consist of a series of campaigns that the students will have to finish in order to obtain complex 3D objects from simpler three-dimensional shapes. To gain them, it will be necessary to get first some 2D shapes through a series of level-adjusted missions, chosen according to the student's acquired competences and which, in practice, will become ever more complex. Once this is accomplished, the game enters a second phase in which these flat shapes must be combined to get, through unfoldings, basic 3D objects. The performance speed and the mistakes made will be taken into account in order to achieve the campaign goals.

With this in mind, it has been necessary to split the project into two separate End of Bachelor Degree Projects, developed and coordinated by two students (D. Rausell and S. Cebrián) who worked as a team in the integration phase of the different parts of the game, and individually in the parts related to the 2D game and the unfolding game (2D-3D), respectively. The final project, therefore, has been divided in three sections:

- Common game parts (designed and developed by D. Rausell and S. Cebrián¹): game design, specification of the game campaigns and their attributes, working mechanics, design of user interaction, menu management and data persistence for users and campaigns.
- 2D game (designed and developed by D. Rausell). This section is devoted to the competences of identification of 2D shapes and their properties, such as symmetries, angles, perimeters and areas. Each player has a competence level which will increase as the game progresses and missions get accomplished, taking also into account the degree of accuracy and the completion time.
- 2D-3D game and polyhedron unfolding (designed and developed by S. Cebrián). This section deals mainly with spatial intelligence and different polyhedron nets. It also deals with the identification of 3D objects and their relationship to 2D shapes. The player must present a valid net for a given

¹the parts of this document that both BDFP have in common have been painted blue

elemental polyhedron and is rewarded according to the completion time and the amount of mistakes made.

Resum

Aprendre fent. Són molts els estudis que afirmen que la millor manera d'ensenyar és fent que l'estudiant interactuï amb allò que vol aprendre. En aquest sentit, aquest TFG pretén donar una eina al professorat d'ajut en la docència, concretament en l'àmbit de l'aprenentatge de geometria durant el Cicle Superior de Primària. Així, l'objectiu principal és dissenyar i construir un joc amb Unity amb una sèrie d'activitats didàctiques de geometria que permetin als alumnes de primària i primers cursos de secundària aprendre la geometria d'una manera entretinguda, havent de superar diferents reptes.

Cada alumne tindrà el seu usuari i el joc serà prou flexible perquè el professor pugui analitzar l'evolució de l'estudiant i detectar en quins punts l'alumne té més dificultats. El joc serà modelable pel professor, de forma que podrà escollir les competències a treballar i afegir noves activitats, incorporant noves figures 2D i 3D a estudiar, entre altres conceptes geomètrics.

Així, el joc consistirà en un seguit de campanyes que hauran de completar els alumnes per tal d'aconseguir objectes 3D complexos a partir d'unes figures tridimensionals més simples. Per aconseguir aquests objectes, serà necessari aconseguir abans objectes 2D a través d'una sèrie de missions ajustades al nivell de competències adquirides per l'alumne i que amb la pràctica seran cada vegada més complexos. Un cop fet això, s'entrarà en una segona part on s'hauran d'unir aquestes figures planes per aconseguir, mitjançant desplegaments, figures bàsiques de tres dimensions. La velocitat d'execució i els errors comesos seran factors a tenir molt en compte per tal d'assolir els objectius de la campanya.

Amb aquesta fita en ment, ha estat necessari separar el projecte en dos Treballs de Fi de Grau, coordinats i desenvolupats conjuntament per dos estudiants (D. Rausell i S. Cebrián), que han realitzat una part comuna d'integració de les diferents parts del joc i una part individual específica de la part del joc 2D i dels desplegaments en el pla, respectivament. Així, el projecte global s'ha dividit, en tres grans blocs:

- Parts comunes del joc (dissenyades i desenvolupades per D. Rausell i S. Cebrián ²): disseny del joc, especificació de les campanyes i els seus atributs, mecàniques de funcionament, disseny de la interacció amb el jugador, gestió de menús i persistència de dades d'usuaris i campanyes.
- Joc de figures 2D (dissenyat i desenvolupat per D. Rausell). En aquesta part es treballen les competències d'identificació de figures 2D i de les seves propietats, com són la simetria, els angles, els perímetres i les àrees. Cada jugador té un nivell de competències que anirà augmentant a mesura que

²s'han pintat de blau les parts de la memòria comunes als dos treballs

avanci el joc i es vagin complint les missions, tenint en compte també amb quin grau d'encert les completa i el temps que utilitza per resoldre-les.

- Joc 2D-3D i desplegaments de poliedres: (dissenyat i desenvolupat per S. Cebrián). En aquesta part es treballa principalment la intel·ligència espacial i els desplegaments plans de poliedres. També s'hi treballa la identificació de figures 3D i la seva relació amb les figures 2D. El jugador ha de presentar un desplegament al pla vàlid d'un poliedre elemental donat i rep recompenses segons el temps invertit i els errors comesos.

Agraïments

Vull agrair a Anna Puig per la seva dedicació, el seu suport incondicional i la seva predisposició sempre per ajudar. Per la seva forma sempre constructiva d'exigir i per la seva comprensió en els moments més complicats. Ha estat realment un plaer treballar amb ella.

Vull agrair al Sergi Cebrián, company de treball i amic, per haver estat sempre disposat a col·laborar, per la seva feina i pel seu suport.

Vull agrair també al Sergi Muria pels seus consells i a tots els que han dedicat el seu temps per provar el joc i omplir tests o enquestes.

Finalment, vull agrair a la meva família i amics, i sobretot a la meva parella, per haver-me ajudat a seguir i a no decaure i haver-me suportat en els moments de més estrès.

Índex

1	Introducció	1
1.1	Àmbit del projecte	2
1.2	Motivació	2
1.3	Objectius generals	3
1.4	Objectius específics	3
1.5	Planificació temporal	5
1.6	Estructura de la memòria	5
2	Antecedents	6
2.1	Teoria docent: Model de Van Hiele	6
2.2	Teoria de les intel·ligències múltiples	7
2.3	Aplicacions digitals i videojocs relacionats	9
3	Anàlisi i disseny del videojoc	11
3.1	Idea inicial del joc	11
3.1.1	El joc 2D: Primera visió	12
3.2	Disseny: Game Design Canvas	12
3.3	Setup del joc 2D	13
3.3.1	Objectius d'aprenentatge en el joc 2D	13
3.3.1.1	Identificació de figures	13
3.3.1.2	Simetria	14
3.3.1.3	Angles	15
3.3.1.4	Àrea i perímetre	15
3.3.2	Usuaris objectiu i tipus de jugadors	16
3.4	Game Design	16
3.4.1	Campanya i missions: una primera visió	16
3.4.2	Escenes i storyboard	17
3.4.3	Nivells de dificultat en el joc 2D	18
3.5	Requeriments addicionals	19
4	Desenvolupament	21
4.1	Justificació de la tecnologia utilitzada	21
4.2	Arquitectura del sistema	22

4.2.1	Arquitectura MVC	22
4.2.2	Components del joc	22
4.2.2.1	Campanyes i competències	22
4.2.2.2	Missions	23
4.2.2.3	Objectius	24
4.2.2.4	Models: escenaris, figures 2D	25
4.2.2.5	Nivell de dificultat i punts d'experiència	26
4.2.2.6	Premis al acabar missió	29
4.2.2.7	Botiga	30
4.2.3	Persistència de dades amb JSONs i servidor extern	30
4.2.4	Disseny artístic	31
4.3	Diagrama de classes	32
4.4	Classes i entitats importants	32
4.4.1	Controladors del joc	33
4.4.1.1	GameController	33
4.4.1.2	Controlador de la missió.	34
4.4.1.3	Controlador de la HUD	35
4.4.2	Inventory i InventoryItem	36
4.4.3	User	36
4.4.4	Campaign	37
4.4.5	NoDestroy	38
4.4.6	Enumeradors	38
5	Resultats i simulacions	40
5.1	Planificació final	40
5.2	Resultats tècnics del joc	40
5.3	Resultats visuals del joc	41
5.4	Test del grau de reforç de les competències	42
5.5	Test de jugabilitat	44
6	Valoració econòmica	48
6.1	Anàlisi del temps de realització del projecte	48
6.2	Valoració econòmica	48
7	Conclusions	50
7.1	Treball futur	51

A Manual tècnic

A.1 Instal·lació: requeriments mínims i passos a seguir

A.2 Manual del desenvolupador

B Manual d'usuari

B.1 Manual del professor

B.2 Manual de l'estudiant: Aprèn a jugar

C Test de competències

Índex de figures

1	Planificació diagrama de Gantt d'en D. Rausell	5
2	Van Hiele theory	7
3	Theory of Multiple Intelligences	8
4	GeoPieces 2D: Game Design Canvas	13
5	Exemple tipus de simetria treballades	15
6	Exemple tipus d'angles	15
7	Relacions entre escenes.	17
8	Exemples diferents mides i rotacions	19
9	Diagrama de classes.	32
10	Controladors joc 2D.	33
11	Màquina d'estats joc 2D.	34
12	Missió 2D en joc.	36
13	Instància de la classe Inventory	37
14	Planning real diagrama de Gantt vs previsió (D. Rausell)	40
15	Pantalla de selecció de campanya. Els dos edificis inferiors de color taronja són clicables, mentre que el jugador ha completat la campanya de la font, que ja no és clicable i apareix al poblat amb textura i animació.	41
16	Exemple menú campanya d'una campanya iniciada.	41
17	Captures de pantalla d'alguns exemples d'objectius per cada competència i diferents situacions de joc.	42
18	Test d'usabilitat: preguntes genèriques GeoPieces	45
19	Test d'usabilitat: preguntes concretes de la part 2D de GeoPieces	46
20	Pantalla de configuració prèvia a GeoPieces.	
21	Pantalla de sign up i log in.	
22	Menú principal.	
23	Select Campaign.	
24	Menú de campanya	
25	Món 2D	
26	Món desplegaments	
27	Pregunta 1 Test de Competències	
28	Pregunta 2 Test de Competències	
29	Pregunta 3 Test de Competències	

30	Pregunta 4 Test de Competències	
31	Pregunta 5 Test de Competències	
32	Pregunta 6 Test de Competències	

Índex de taules

1	Relació experiència vs nivell	27
2	Nombre de figures per temps donat per nivells	28
3	Premis per nivell	29
4	Test de competències abans de jugar a GeoPieces	43
5	Test de competències després de jugar a GeoPieces	43
6	Temps usat en el projecte (en hores i setmanes) per D. Rausell	48
7	Cost per tasca i hores de D. Rausell	49
8	Pressupost del projecte	49

1 Introducció

L'educació és la base per a què un país funcioni. No és estrany veure a Espanya al final de les llistes de la Unió Europea en abandonament escolar i qualitat educativa. Segons l'estudi de la UNESCO "Educación para todos" de l'any 2012 [1], un de cada tres joves van deixar els estudis a Espanya abans d'acabar l'educació secundària enfront de l'1 de cada 5 de la mitjana europea. Tot i que als darrers anys ha anat disminuint aquest percentatge, segons l'Oficina d'Estadística de la Unió Europea (Eurostat), l'any 2015 l'abandonament escolar a Espanya encara es situava a gairebé el doble de la mitjana europea (21,9% estatal front l'11,1% europeu) convertint-se en el líder de la Unió Europea en aquest aspecte.

Per altra banda, l'informe PISA de 2012 [2] situava l'Estat Espanyol a la cua dels 34 països de l'Organització per a la Cooperació i Desenvolupament Econòmic (OCDE) en el que respecta a matemàtiques, lectura i ciència, significativament per sota de la mitjana de l'OCDE. A més, l'informe destaca una important dificultat en l'assimilació de conceptes relacionats amb la geometria, què és el tema que ens ocupa. Si s'analitzen les 4 subàrees avaluades ("quantitat", "incertesa i dades", "canvi i relacions" i "espai i forma"), els resultats són clarament inferiors en el que respecta a les dues últimes. La persistència d'aquests resultats en el transcurs dels anys, deixa patent la importància estratègica de millora en l'ensenyança de la geometria (especialment als blocs curriculars que fan referència a espai, forma i mesura). Aquests resultats fan referència a competències de 4t d'ESO, fet que evidencia la necessitat de millorar l'educació en primària i principis de secundària, moment en el qual s'imparteixen els fonaments bàsics per després comprendre conceptes més avançats.

Tot i que les raons d'aquest fracàs escolar són moltes i diverses, una de les causes és aquest sistema rígid on el professor és l'agent actiu, parlant i escrivint a la pissarra, mentre que l'alumne es converteix en agent passiu, escoltant i com a molt, prenent apunts. Tot i que pot ser relativament assequible detectar l'origen del problema, és complicat trobar una solució transversal i, a més, fàcilment aplicable en l'àmbit econòmic i logístic.

Diferents anàlisis proposen incorporar a l'aula activitats geomètriques competencialment més riques, experimentals i constructives associades, a ser possible, a àmbits de la vida quotidiana. Generalment, aquestes activitats segueixen les següents etapes d'aprenentatge:

1. Experimentació: comparar, mesurar, assajar, sentir, percebre.
2. Descobriment: de relacions i patrons singulars.
3. Conceptualització: integració de l'experiència en primera persona o col·lectivament.
4. Abstracció: de la propietat deduïda.

En aquest projecte ens centrarem en les etapes d'experimentació, descobriment i abstracció, deixant la conceptualització per ser treballada per l'alumne amb l'ajuda del professor.

Estudis recents evidencien un increment de la motivació i rendiment si s'utilitzen experiències virtuals a l'aula. La virtualització obre la porta a nombroses possibilitats per l'aprenentatge en les etapes d'experimentació i descobriment permetent, per exemple, realitzar simulacions, treballar amb laboratoris virtuals, personalitzar l'experiència segons el perfil de l'estudiant o gamificar l'aprenentatge fomentant la col·laboració, la competència entre equips o usant videojocs.

1.1 Àmbit del projecte

Aquest projecte sorgeix de la necessitat a les aules de treballar amb més profunditat activitats experimentals i/o manipulatives per a reforçar aprenentatge de la geometria, a través dels anomenats jocs seriosos. Els jocs seriosos -o *serious games*- són aquells jocs que tenen una finalitat afegida al simple fet de divertir-se o entretenir-se. El creixement d'aquests jocs seriosos com a eines d'aprenentatge són una realitat i el seu àmbit d'aplicació en el món de l'educació és immens.

En concret, el projecte consisteix en crear un joc per a ordinador i/o tablet perquè els alumnes de Cicle Superior de Primària i Cicle Inicial de Secundària exercitin i millorin les seves competències en geometria. Així doncs, es treballaran les competències d'identificació de figures, angles, simetries, perímetres i àrees, a més d'exercitar la seva capacitat d'abstracció per construir els desplegable de figures 3D.

Per la realització d'aquest videojoc s'utilitzarà el motor de joc Unity [15] i es programarà amb el llenguatge orientat a objectes C#. Tot i que el desenvolupament d'aquest videojoc implica la utilització de conceptes que s'han après a moltes assignatures de les cursades durant el grau en Enginyeria Informàtica, les més útils per la realització del projecte són les que citem a continuació:

- Programació II: Iniciació a la programació orientada a objectes i a l'arquitectura de software MVC (Model, Vista, Controlador).
- Factors humans i computació: Usabilitat i experiència d'usuari. Ús de storyboards.
- Software distribuït: Sistema de comunicació amb servidors a través de JSONs.
- Gràfics i visualització de dades: Objectes i transformacions geomètriques en mons 3D, càmeres i shaders.
- Enginyeria del Software: Gestió de projectes grans i ús de Unity com a motor de videojoc i Blender per modelar objectes 3D.

1.2 Motivació

Les possibilitats que donen les evolucions tecnològiques en forma de tablets o ordinadors i la baixada dels preus d'aquests aparells, cada vegada més accessibles a més

població, han permès als videojocs situar-se com una alternativa real als sistemes d'aprenentatge tradicionals integrats en les aules.

Aquest projecte pretén unir les noves possibilitats tecnològiques amb la necessitat d'un canvi en el model educatiu. El projecte també aspira que el software donat no sigui necessàriament utilitzat en hores lectives, desdibuixant així la idea d'una separació tan rígida entre món escolar i món familiar. A l'escola no només s'aprèn i a casa no només s'educa. Trencar amb aquesta dualitat no és només necessari, sinó cada vegada més indispensable.

La motivació principal, doncs, és poder ajudar a potenciar aquest tipus d'aprenentatge, utilitzant algorismes perquè el joc s'adapti al màxim al nivell de l'alumne en qüestió. En aquest aspecte, és fonamental donar al professor una eina metodològica fàcil d'utilitzar, modificar i a la vegada proporcionar una experiència divertida, usable i motivadora pels estudiants perquè l'aprenentatge de geometria sigui molt més vivencial i enriquidor.

1.3 Objectius generals

L'objectiu principal del projecte és dissenyar i desenvolupar un videojoc que s'adapti al nivell i la progressió de l'alumne per ajudar-lo a aprendre competències relacionades amb l'àmbit de la geometria. Així mateix, es pretén dissenyar un joc prou flexible i modulable per tal que sigui una eina modificable pel professor d'una manera intuïtiva i ràpida de forma que pugui definir nous reptes per als alumnes, analitzar la progressió dels estudiants i reforçar conceptes geomètrics a vegades difícils d'assimilar.

1.4 Objectius específics

L'objectiu general descrit a la secció anterior es pot descompondre en diferents objectius específics. Aquests objectius específics es detallen a continuació:

1. Disseny de joc seriós escalable, divertit, motivador, addictiu i visualment atractiu:
 - (a) Disseny del storyboard del joc. Disseny pantalla a pantalla de les escenes principals del joc, explicant el flux del mateix i com interactuen unes escenes amb les altres.
 - (b) Disseny dels escenaris. Disseny d'interfícies fàcils de navegar.
 - (c) Disseny dels components del joc. Models de figures 2D i 3D, textures i sprites.
 - (d) Disseny de les mecàniques i dinàmiques del joc. Disseny del funcionament de cadascuna de les escenes.
 - (e) Disseny de la interacció del joc amb el jugador. Disseny d'interfícies fàcilment navegables amb pantalla tàctil o ratolí.

- (f) Disseny de la monitorització del joc. Disseny de sistemes de monitorització de les accions dels usuaris.
2. Disseny i desenvolupament del joc 2D
 - (a) Disseny d'itineraris adaptatius segons les competències adquirides pel jugador. El joc s'ha de poder adaptar al nivell acadèmic de l'alumne.
 - (b) Disseny d'itineraris adaptatius segons les directrius definides a la campanya. El joc s'ha d'adaptar a la campanya en curs.
 - (c) Desenvolupament del joc 2D. Desenvolupament de la dinàmica del joc 2D a partir del disseny.
 3. Disseny i implementació del joc 2D-3D de desplegaments de figures en el pla
 - (a) Disseny d'interfície ajustable a l'objectiu actual de la campanya.
 - (b) Disseny i desenvolupament d'un sistema d'animació dels plegaments per ajudar a la visualització de resultats
 - (c) Desenvolupament del joc de desplegament. Desenvolupament de la dinàmica del joc a partir del disseny.
 4. Disseny integrat en un joc de construcció d'objectes 3D: Joc consistent en contruir figures 3D complexes a partir dels poliedres elementals aconseguits al joc 2D-3D.
 5. Disseny i desenvolupament de la tecnologia que permeti la creació de noves campanyes:
 - (a) Disseny i desenvolupament de campanyes que permeti escollir les competències a reforçar per l'alumne
 - (b) Disseny i desenvolupament de campanyes creades per defecte
 - (c) Disseny i desenvolupament de sistemes per afegir noves campanyes personalitzades pel professor
 6. Desenvolupament d'un sistema de connexió amb servidor extern per:
 - (a) Gestió d'usuaris. Donar un software que permeti gestionar els usuaris creats i guardar els seus avenços.
 - (b) Gestió de campanyes. Donar un software que permeti gestionar les campanyes creades i les noves campanyes.

Aquests objectius s'han dividit de la següent manera entre els dos alumnes encarregats de dur a terme aquest projecte en dos TFGs separats:

- Objectius comuns: apartats 1, 4, 5 i 6.
- Objectius D. Rausell: apartat 2.
- Objectius S. Cebrián: apartat 3.

1.5 Planificació temporal

Per a la planificació temporal s'ha utilitzat un diagrama de Gantt (figura 1). En aquest diagrama de Gantt la unitat de temps és mitja setmana. Com el temps estimat de projecte és de 20 setmanes en el diagrama es mostren fins a 40 unitats de temps. Cada unitat de temps és, doncs, mitja setmana o unes 7.5 hores. Els temps d'inici del projecte va ser mitjans de febrer tot i que abans ja es van tenir les primeres reunions per enfocar el Treball de Fi de Grau.

S'ha separat la planificació en 5 parts: formació, disseny/anàlisi, desenvolupament, testing i documentació.

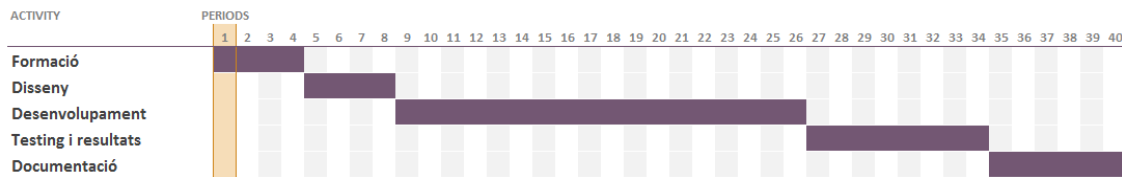


Figura 1: Planificació diagrama de Gantt d'en D. Rausell

1.6 Estructura de la memòria

La memòria d'aquest treball de fi de grau està estructurada de la manera següent. Al capítol 2 es detallaran els treballs relacionats al projecte dut a terme, fent especial èmfasi a la teoria docent que hi ha al darrere i fent referència a la teoria d'intel·ligències múltiples proposat per H. Gardner [5]. Al capítol 3 es fa una petita introducció al joc i s'utilitza el Game Design Canvas per realitzar el disseny del joc. Al capítol 4 es justifica la tecnologia i es detalla l'arquitectura del joc, els components del mateix i algunes de les classes més importants. Al capítol 5 es parla dels resultats del joc, tant en l'àmbit visual i tècnic, com a partir d'un test de competències i d'usabilitat fet a diferents persones. Al capítol 6 s'explica l'abast econòmic del projecte, tenint en compte que ha estat fet per dos dissenyadors. Finalment, al capítol 7 es detallen les conclusions i es dona peu a possibles treballs futurs relacionats.

En els apèndixs A, B i C es descriuen els manuals tècnics, manuals d'usuari i el test de competències, respectivament.

Cal destacar que s'han marcat en color blau els títols de les seccions i els texts comuns amb el projecte que s'ha desenvolupat en paral·lel per obtenir el joc final [3].

2 Antecedents

2.1 Teoria docent: Model de Van Hiele

El model de Raonament Matemàtic de Van Hiele és una teoria d'ensenyament i aprenentatge de la geometria, dissenyat pel matrimoni holandès Van Hiele [4], amb origen el 1957. La idea bàsica d'aquest model és el fet que l'aprenentatge de la geometria es construeix passant per nivells de pensament, que es resumeixen a continuació de forma breu i es detallen en un posterior esquema (figura 2):

- Nivell 0: Visualització. Els estudiants perceben figures geomètriques globalment, com objectes físics. Les descripcions d'aquests objectes es basen en característiques visuals o tàctils. No es reconeixen explícitament propietats matemàtiques. És el nivell típic d'alumnes d'educació infantil i primers cursos de primària. Aquest nivell fa referència a la competència d'identificació de figures, com veurem més endavant.
- Nivell 1: Anàlisi. Els alumnes perceben les figures geomètriques com conjunts de propietats i elements matemàtics, sense fer encara relacions lògiques entre ells. Poden realitzar raonaments empírics i generalitzar aquestes propietats. És típic en alumnes de finals de Primària o principis de Secundària. Aquest nivell seria en el que es focalitza aquest projecte.
- Nivell 2. Deduccions informals. Els estudiants entenen les relacions de dependència lògica entre propietats matemàtiques i comencen a tenir capacitat de raonament abstracte, tot i que encara de forma informal. Típic dels últims cursos de Secundària obligatòria i, en menor mesura, de Batxillerats humanístics.
- Nivell 3. Deduccions formals. Els estudiants són capaços de realitzar raonaments lògics i deductius en contextos de matemàtica formal. Típic en alumnes de Batxillerat Científics i principis de cursos universitaris.
- Nivell 4. Rigor. Els alumnes són capaços de raonar correctament en diferents sistemes axiomàtics. Propi de matemàtics avançats.

La idea d'aquest model és que per arribar al nivell n s'ha d'haver passat i superat el nivell $n - 1$ i el fet que el que és complicat en un nivell, és gairebé explícit en el següent. Per avançar d'un nivell al següent, el model explicita que a cada nivell es pot procedir de la següent forma:

- Fase 1: Informació. Davant un nou tema, el professor planteja activitats per fer una presa de contacte entre estudiant i tema tractat.
- Fase 2: Orientació dirigida. Els estudiants comencen a explorar el tema mitjançant activitats tancades que els guiaran en l'aprenentatge dels continguts bàsics del tema. El professor ha de comprovar que els estudiants arriben als resultats previstos.

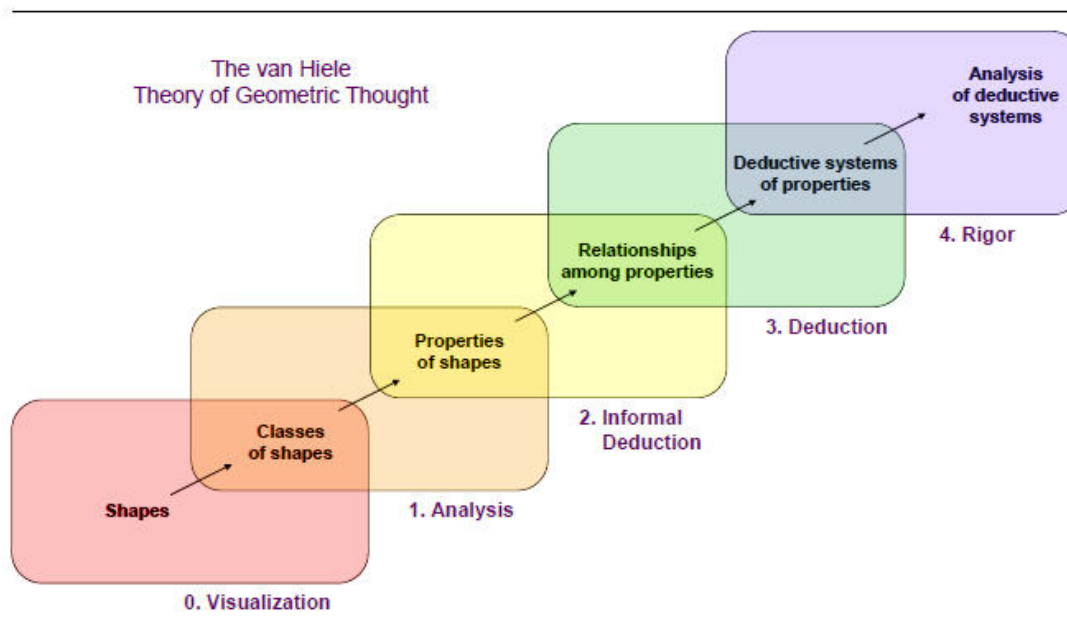


Figura 2: Van Hiele theory

- Fase 3: Explicació. S'expliquen els resultats obtinguts i les operacions realitzades, es justifiquen les afirmacions realitzades, es debaten amb el professor o altres estudiants.
- Fase 4: Orientació lliure. Els estudiants resolen activitats on han de posar en joc els nous coneixements i formes de raonament en situacions més creatives i obertes.
- Fase 5: Integració. La finalitat d'aquesta fase no és aprendre nous conceptes, sinó la integració de tot allò après.

Aquest projecte pretén estar dins del model de Hiele. En aquest sentit, s'ha posat èmfasi en les fases més pràctiques d'aquest model (sobretot en les fases 1, 2, tot i que també en la fase 4 i parcialment en la fase 5).

2.2 Teoria de les intel·ligències múltiples

La teoria de les intel·ligències múltiples és un model de la intel·ligència proposat per primera vegada per Howard Gardner al seu *Frames of Mind: The Theory of Multiple Intelligences* [5]. En aquest llibre, Gardner articula diferents criteris per jutjar quins comportaments poden ser considerats "intel·ligències", com ara la seva rellevància a la història evolutiva o potencial d'afectació per lesions cerebrals. Gardner acaba definint les següents 8 (figura 3):

- Intel·ligència musical: Composició, interpretació, valoració de música i sons...
- Intel·ligència lingüística: Lectura, escriptura, parla...

- Intel·ligència lògica-matemàtica: Resolució de problemes, cerca de relacions i causalitats entre fenòmens, predicció...
- Intel·ligència espacial: Visió tridimensional del món, pensament visual...
- Intel·ligència corporal-cinestèsica: ús del mateix cos per activitats o solució de problemes, sensacions somàtiques (pressió, dolor, etc.)...
- Intel·ligència interpersonal: Comprensió en vers a altres persones, capacitat d'entendre'ls i treballar amb ells...
- Intel·ligència intrapersonal: Comprensió en vers a un mateix, anàlisi de la situació pròpia, de forces i debilitats...
- Intel·ligència naturalista: Classificació, distinció i utilització d'elements naturals.



Figura 3: Theory of Multiple Intelligences

Tot i la rebuda força crítica d'aquesta teoria, deguda principalment a la manca de proves empíriques; és un model que serveix, des de la valoració subjectiva, per millorar l'ensenyament a alumnes. Segons Gardner, el sistema d'educació vigent

es centra, majoritàriament, en les intel·ligències lingüística i lògica-matemàtica, ignorant quasi per complet la resta.

Aquest projecte vol tractar la intel·ligència espacial, en el joc 2D identificant diferents figures i, principalment al joc 2D-3D, on l'alumne ha de visualitzar el plegament i desplegament de diferents figures al seu cap.

2.3 Aplicacions digitals i videojocs relacionats

En aquest apartat, es veuen diferents aplicacions i videojocs amb relació a aquest projecte. S'han classificat segons la plataforma on es poden jugar o fer servir:

- Aplicacions per mòbils i tablets:
 - DragonBox Algebra/DragonBox2 [6]: Joc mòbil per l'aprenentatge d'àlgebra. Hi ha una versió per a usuaris de 5+ anys i una per usuaris més grans que 12. Joc de pagament. Enfocat al joc individual.
 - DragonBox Elemens [7]: Joc mòbil per l'aprenentatge de propietats de figures geomètriques amb el mateix esperit que DragonBox Algebra. Joc de pagament. Enfocat al joc individual.
 - MathToons Geometry Pro [8]: Aplicació de tests de matemàtiques. Gratuïta. Ús individual.
- Java Applets en línia:
 - Java-Applets zur Mathematik [9]: Una col·lecció d'aplicacions java, en alemany, en línia per tots els temes, des de l'aritmètica fins a la trigonometria. Ús per classes o individual.
 - WisWeb applets [10]: Col·lecció d'applets de java i html5 de *Freudenthal Instituut* per l'aprenentatge de matemàtiques. Molt centrat en geometria.
- Aplicacions Flash en línia:
 - Math Playground [11]: Una col·lecció d'una gran quantitat de jocs Flash per a nens per a moltes branques de matemàtiques. Joc individual i gratuït.

També, com a aplicació d'ordinador per l'aprenentatge de matemàtiques, s'ha de destacar GeoGebra [12]. Aquesta es fa servir en molts instituts i consisteix, bàsicament, en un processador geomètric i algebraic.

En general, de les aplicacions digitals vistes, les utilitzades a l'aula solen estar enfocades directament a activitats d'aprenentatge sense ser pròpiament jocs. Les que s'han llistat que sí que són jocs, però, no són fàcilment traslladables a l'aula per manca d'adaptabilitat a les competències de cada alumne en cada moment ni disposen d'eines de seguiment pel professor. En aquest projecte es pretén cobrir

aquestes mancances amb el disseny d'un joc seriós que ja internament tingui en compte les competències, pugui adaptar-se a diferents nivells de dificultat i que sigui prou flexible per a suportar possibles ampliacions d'activitats d'aprenentatge.

3 Anàlisi i disseny del videojoc

3.1 Idea inicial del joc

Com ja s'ha explicat, l'objectiu principal del joc és el d'aprendre geometria d'una manera adaptativa i divertida. Es parteix de la base que cada nen o nena té el seu procés d'aprenentatge i per tant, el joc s'ha d'adaptar a la progressió de l'alumne. El joc es desenvolupa amb la idea de ser usat en plataformes tàctils, com tablets. Tot i així, també podrà ser utilitzats amb un cursor sigui via ratolí o touchpad. L'idioma de tot el joc és l'anglès.

El joc portarà a l'alumne a un univers 3D, on es demanarà reconstruir un poblat amb diferents monuments i estructures. Per tant, serà necessari reconstruir un o diversos objectes per cadascun dels monuments. Per aconseguir-los, però, serà necessari viatjar a un món 2D i completar allà un conjunt de reptes i missions per aconseguir figures planes. Una vegada fet això, el pas al 3D tampoc serà immediat. Noves missions apareixeran al camí dels jugadors, que hauran d'aconseguir ajuntar de forma correcta les figures 2D per tal de crear objectes tridimensionals.

Amb aquesta idea en ment, i no perdent de vista mai què és un videojoc d'aprenentatge, existeixen dos modes de joc:

- Mode individual o autònom: on hi han unes campanyes predefinides que l'alumne pot triar i realitzar en un entorn acadèmic o domèstic. Els seus progressos són guardats i les seves competències millorades en conseqüència.
- Mode classe: El professor pot crear rooms amb un codi d'accés. Els alumnes, a classe, poden connectar-se a aquestes sales, on el professor ha creat prèviament una sèrie de campanyes a realitzar.

En tots dos casos, es pretén tenir en compte el progrés de l'alumne. Així, el professor podrà utilitzar aquest videojoc per posar reptes geomètrics als alumnes. Aquests reptes seran tant d'identificar de relacions i característiques de figures 2D com de treball de la capacitat d'abstracció mitjançant desplegaments de figures 3D. La idea genèrica és que un estudiant que realitza les missions ràpidament i sense errors o que ha practicat a casa, ha de resoldre cada vegada panells més complexes que el que té un procés d'aprenentatge més lent o té menys pràctica.

Tot i que per motius logístics no s'ha completat el segon mode de joc amb la connexió a un servidor on el professor pot configurar la seva classe (“mode classe”), ja que requeria un altre treball final de grau [13] que s'estava desenvolupant en paral·lel, sí que hem seguit la idea de joc adaptat al nivell d'aprenentatge de l'alumne i d'una programació escalable per poder, en un futur treball, realitzar la connexió amb el servidor.

Per donar-li un sentit als reptes que es van proposant a l'alumne, el videojoc té com a objectiu completar campanyes. Envers el concepte “Campanya” es mou tot el joc. La idea és que una campanya tingui una figura objectiu tridimensional (el

monument), composta de figures 3D simples (cubs, tetraedres, etc). Per a aconseguir completar una campanya amb èxit és necessari aconseguir totes les figures 2D i 3D necessàries per, en ajuntar-les, aconseguir la figura tridimensional objectiu de la campanya. Així, si una campanya té com a figura objectiu una casa simple (un cub amb una piràmide a sobre), serà necessari aconseguir 7 quadrats (els 6 del cub i 1 de la piràmide) i 4 triangles (de la piràmide) i després aconseguir els desplegaments per aconseguir el cub i la piràmide.

3.1.1 El joc 2D: Primera visió

Per aconseguir objectes bidimensionals, serà necessari entrar en la part 2D. La idea del joc 2D és una graella on apareguin diferents polígons i figures d'on s'han de seleccionar els que convingui, segons un objectiu de missió. La manera com es faci (més o menys errors) i la velocitat amb què es realitzi l'activitat seran tinguts en compte a l'hora de monitoritzar el progrés del nen i ajudar-lo en el seu aprenentatge.

3.2 Disseny: Game Design Canvas

Dissenyar jocs entretinguts, divertits i que a més suposin un repte pel jugador és força complicat. I més quan s'ha d'intentar que el joc vagi més enllà d'oferir pur entreteniment, com és el cas. És per això que el disseny del joc és una tasca crucial en el desenvolupament del mateix. Per aquest motiu, d'ara endavant i fins al final del capítol es parlarà del disseny del joc ajudant-nos de l'anomenat Game Design Canvas (GDC) [14].

El Game Design Canvas és un conjunt d'eines i processos que fan el disseny d'un joc més ràpid i més previsible. El resultat és un Canvas estructurat fàcil de compartir, entendre i modificar durant el procés de desenvolupament.

El GDC està dividit en tres seccions:

- Setup: Defineix la intenció del joc i el tipus de jugadors a qui va dirigit.
- Game Design: Defineix les interaccions, mecàniques i feedback de l'experiència.
- Consideracions: Defineix consideracions que tindran impacte sobre el disseny, desenvolupament i marketing del joc.

A continuació es mostra el Game Design Canvas de la part 2D d'aquest joc (figura 4). En les següents seccions es desenvolupa cadascuna de les tres parts del GDC. Així, a la secció 3.3 parlarem sobre el setup del joc, a la secció 3.4 parlarem sobre el disseny del joc i a l'apartat 3.5 parlarem sobre d'altres consideracions que s'hagin de fer del joc.

<p>INTENTION</p> <p>Concepte: Aprendre Geometria.</p> <p>Fluxe: Joc organitzat en campanyes. A cada campanya s'han de superar reptes. Els reptes consisteixen en un jugador interactuant amb un panell de figures 2D que s'han de seleccionar o no segons l'objectiu marcat</p> <p>Objectius: Identificació de figures, diferents simetries, identificar angles i àrees i perímetres.</p>	<p>PLAYERS</p> <p>Edat: Alumnes 9-12 anys. Professor indiferent</p> <p>Tipus: últim cicle d'Educació Primària</p> <p>Opció multijugador: No</p>	<p>EXPERIENCE</p> <p>Gènere: Educatiu</p> <p>Estètica: Reptes i descobriments</p> <p>Objectius: Els alumnes aprenen i experimenten en primera persona la interacció amb objectes 2D.</p>	<p>INTERACTION</p> <p>Dispositius d'entrada: ScreenTouch o teclat i ratolí</p> <p>Controls: botons, selecció/deselecció objectes 2D (en pantalla de món 3D, permet panning).</p>	<p>FEEDBACK</p> <p>Al clicar sobre figures 2D aquestes s'il·luminen per mostrar que han estat marcades</p> <p>Scoring: Es dona exp al acabar missió amb èxit.</p> <p>Premis: Es dona figures 2D i monedes al acabar missió amb èxit.</p>
<p>ROI</p> <p>Jugador: Aprendre geometria de forma divertida</p> <p>Developer: Impulsar aquest tipus d'aprenentatge al món educatiu</p>	<p>LEVEL OF EFFORT</p> <p>Aprende a jugar: Fàcil</p> <p>Aprende a dominar: Fàcil.</p> <p>Temps desenvolupament i budget: mitjà-alt</p>	<p>CHANNELS</p> <p>Canals de venda: Ús educatiu.</p> <p>Xarxes socials: actualment, no.</p> <p>Comunitat interessada: Comunitat educativa.</p>	<p>PLATFORMS</p> <p>Devices: PC</p> <p>Sistem Operativo: Windows.</p> <p>Altres opcions: Encara no, però podria ser utilitzat en tablets i plataformes online d'educació.</p>	<p>POSITIONING</p> <p>Productes comparables: jocs que utilitzen el poder visual i emocional de l'aprenentatge front l'educació teòrica i repetitiva, usant mecàniques senzilles i divertides.</p> <p>Activitat competitiva: El joc és immersiu i usa tant escenaris 3D com 2D.</p>

Figura 4: GeoPieces 2D: Game Design Canvas

3.3 Setup del joc 2D

A continuació explicarem la intenció del joc centrant-nos en els objectius 2D i els tipus de jugadors o usuaris (part blava de figura 4).

3.3.1 Objectius d'aprenentatge en el joc 2D

Pel que fa a la part 2D del joc, els objectius d'aprenentatge del joc són: la identificació de figures, tipus de simetria, angles i àrea i perímetre.

3.3.1.1 Identificació de figures

És la principal competència del joc. Correspon al nivell 0 del Model de Van Hiele, on els alumnes perceben objectes físics globalment, sense reconèixer exactament les propietats. Aquí s'estudia tot el que està relacionat amb la identificació de polígons, agrupats en tres grups, segons el seu nombre de costats:

- Triangles. Són els polígons de tres costats. Dins d'aquest grup, trobem:
 - Equilàters: costats d'igual longitud o, equivalentment, d'angles iguals.
 - Rectangles: amb un angle recte o, equivalentment, un angle de 90 graus. Tot i que podria caure dins de la competència "Angles", s'ha considerat que és prou important per tenir representació en "Identificació de figures".
 - Isòsceles: com a mínim, tenen dos angles iguals, o equivalentment, dos costats d'igual longitud.
 - Escalens: cap angle igual o, equivalentment, cap costat d'igual longitud.
- Quadrilàters: Són els polígons de quatre costats. Dins d'aquest grup, es troben:

- Quadrats: costats d'igual longitud i angles iguals.
 - Rectangles: paral·lelograms amb tots els seus angles formant 90 graus.
 - Rombes: paral·lelograms amb angles iguals dos a dos o, equivalentment, amb costats d'igual longitud.
 - Trapezis: amb dos costats oposats paral·lels i els altres dos costats oposats no paral·lels.
- Pentàgons: Són els polígons de quatre costats. Dins d'aquest grup, es consideren:
 - Pentàgon regular: costats d'igual longitud i angles iguals.

És important remarcar aquí que s'han utilitzat les definicions més inclusives dels polígons anteriors. Això inclou les següents reflexions:

- Un triangle equilàter és, al seu torn, un triangle isòsceles.
- Un triangle rectangle és, si té tots els angles diferents, un triangle escalè.
- Un triangle rectangle és, si té dos angles iguals, un triangle isòsceles.
- Un quadrat és, al seu torn, un rectangle.
- Un quadrat és, al seu torn, un rombe.

3.3.1.2 Simetria

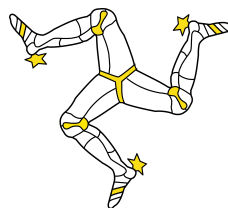
La simetria és una característica de formes geomètriques, sistemes, equacions i altres objectes materials o entitats abstractes, relacionades entre si per la seva invariància sota certes transformacions, moviments o intercanvis. Aquesta competència estudia dos tipus de simetria:

- Simetria reflectiva (figura 5a). Al pla, direm que una figura té simetria reflectiva si existeix una línia que separa la figura en dos parts que són mirall l'una de l'altre. És la simetria estàndard i la primera que s'ensenya, sent la de característiques més identificables (només és necessari poder doblegar un full pel lloc correcte per saber si té o no simetria reflectiva).
- Simetria rotacional (figura 5b). Al pla, direm que una figura té simetria rotacional si existeix un punt, o centre de rotació, des del qual la figura pugui fer una rotació aconseguint la mateixa forma abans de completar la volta sencera.

Els objectius d'aquesta competència seran, doncs, d'identificar figures segons tinguin simetria específica demanada, qualsevol dels dos tipus o que no tinguin cap dels dos.



(a) Exemple de simetria reflectiva



(b) Exemple de simetria rotacional

Figura 5: Exemple tipus de simetria treballades

3.3.1.3 Angles

L'angle és la part del pla compresa entre dos semirectes que tenen el mateix punt d'origen o vèrtex. Generalment els angles es mesuren amb graus o radians. Un angle pot ser de diferents tipus. A continuació en detallem els utilitzats:

- Angle recte (figura 6a). En geometria del pla, direm que un angle és recte si les dues semirectes que formen l'angle es tallen de forma perpendicular o, equivalentment, que formen un angle de 90 graus.
- Angle agut (figura 6b). En geometria del pla, direm que un angle és agut si les dues semirectes formen una obertura menor a l'angle recte, és a dir, que formen un angle estrictament més petit de 90 graus.
- Angle obtús (figura 6c). En geometria del pla, direm que un angle és obtús si les dues semirectes formen una obertura major a l'angle recte, és a dir, que formen un angle estrictament més gran de 90 graus i menor de 180.

La manera d'estudiar aquests angles serà també a través de figures 2D. Els objectius seran trobar figures que continguin algun angle recte, agut o obtús.



(a) Angle recte



(b) Angle agut



(c) Angle obtús

Figura 6: Exemple tipus d'angles

3.3.1.4 Àrea i perímetre

Definim el perímetre i l'àrea de la manera següent:

- El perímetre és la suma de les longituds de tots els costats d'una figura geomètrica.
- L'àrea és la mesura de superfície d'una figura geomètrica.

Aquests dos conceptes tenen en comú el fet de ser quantitativus i no qualitativus com els anteriors i és per això que s'engloben en una sola competència. Aquesta competència haurà de ser tractada en molts casos de forma diferent a les altres per aquest motiu.

Per estudiar aquests dos conceptes s'utilitzen figures 2D especials, que tenen referències en forma de punts col·locats en quadrícula, per tal de facilitar el mesurament. En aquest tipus de competència s'haurà d'escollir entre 2, 3 o 4 figures segons els objectius que es demanin, que poden ser:

- Trobar figures amb màxim / mínim perímetre.
- Trobar figures amb màxima / mínima àrea.

És important remarcar que no sempre l'objectiu a marcar és únic. Per exemple, en el cas de què l'objectiu sigui trobar la figura amb àrea màxima pot passar que hi hagi dos figures (diferents o iguals) amb la mateixa àrea i que a més sigui màxima respecte a les altres. En aquest cas la resposta correcte serà marcar ambdues figures 2D.

3.3.2 Usuaris objectiu i tipus de jugadors

Aquest joc està pensat per a què hi juguin alumnes de Cicle Superior de Primària. Tot i així, la idea és que serveixi d'eina també als professors. Així, hi ha dos tipus d'usuaris:

- Alumnes: Juguen amb el joc per millorar les seves competències geomètriques. Edat: 9 a 12 anys.
- Professors: Preparen el joc per ajudar als alumnes a aprendre geometria. Escullen competències a aprendre i sistema adaptatiu al nen o no, com veurem més endavant. Edat indiferent.

3.4 Game Design

En aquest apartat s'explicaran els diferents escenaris i les mecàniques del joc amb la definició d'una màquina d'estats. També s'explicarà com augmentar el nivell de dificultat de les missions (part groga de la figura 4).

A continuació es dona una primera visió de les diferents escenes del joc, els menús i els mons bidimensionals i tridimensionals que hi ha, així com les relacions entre ells.

3.4.1 Campanya i missions: una primera visió

Com hem dit abans, tot el joc gira al voltant del concepte campanya. Una campanya és el conjunt de missions i reptes que s'han de superar per aconseguir una figura tridimensional més complexa (un monument).

Les missions d'una campanya es generen dinàmicament, en funció dels coneixements que hagi adquirit l'alumne i també segons el tipus de campanya, com s'explica en detall a l'apartat 4. Tenint en compte aquests dos factors, s'escull un tipus de competència, un objectiu relacionat amb la competència i un grid adequat per aquest objectiu. En completar el grid amb èxit, s'aconsegueixen diferent tipus de premis: experiència en aquella competència, figures 2D i monedes, que poden servir per comprar altres figures necessàries per completar la campanya o objectes de customització.

3.4.2 Escenes i storyboard

A continuació (figura 7) es mostra el flux del joc complet que estarà compartit tant per la part 2D i la part 2D-3D. És important remarcar que menys el “Log In - Menú Principal”, totes les altres escenes donen l'opció també d'anar enrere. El flux indicat en la figura és bidireccional, és a dir, el jugador sempre pot anar cap enrere en les accions triades.



Figura 7: Relacions entre escenes.

Explicació de les escenes:

- Log In. És la primera escena del joc. Dóna la possibilitat d'accedir al joc en el cas que ja es tingui un usuari creat i també dona la possibilitat de crear un nou usuari. Tot i que es posa per donar realisme al joc, no es fa gestió de contrasenyes.
- Menú principal. És la primera escena un cop el jugador ha entrat en el joc. Des d'aquí es pot anar a tres llocs diferents mitjançant els seus respectius botons: selecció de campanyes, estadístiques i selector d'avatar. Hem deixat com a botó no clicable l'opció de jugar en el “mode classe”. També dóna la possibilitat de sortir de l'aplicació.
- Selecció de campanyes. Aquí el jugador arriba a un escenari de models 3D representant els objectius de cadascuna de les campanyes. Mentre la campanya no hagi estat completada, fent clic sobre el model 3D s'accedirà al menú de campanya corresponent.

- Estadístiques: Aquí es poden veure totes les estadístiques de l'usuari on es detallen els diners acumulats, informació detallada per competències (experiència, nivell, partides jugades, partides completades amb èxit i partides no iniciades després de veure objectiu) i la relació entre campanyes iniciades i campanyes acabades.
- Selecció d'avatar: És una escena poc rellevant en la dinàmica del joc, però és un component de joc apreciat pels tipus de jugadors a qui va adreçat. És extra i només pretén donar més incentius al jugador, podent comprar avatars diferents i equipar de forma personalitzada a l'avatar del jugador, seleccionant un avatar d'entre els que s'han comprat.
- Menú de campanya: En aquesta pantalla es poden iniciar missions per aconseguir figures 2D (Joc 2D) o missions per, a partir de les figures 2D aconseguides, construir figures 3D simples necessàries per completar el monument objectiu, o campanya. A més d'aquestes dues funcionalitats, també permet comprar figures sempre que es tinguin els diners necessaris en un format de botiga. L'última opció que permet és accedir a la informació corresponent a la campanya en curs.
- Joc 2D: és el lloc on s'accedeix al polsar sobre un objecte 2D en la pantalla de menú de campanya. Aquí el jugador haurà de seleccionar unes figures objectius sobre una graella 2D amb un temps determinat. Si ho aconsegueix, tindrà un premi (major o menor segons com de bé l'hagi realitzat) tant a nivell de monedes com d'experiència.
- Joc desplegaments: és al lloc on s'accedeix al polsar sobre un objecte 3D en la pantalla de menú de campanya. Aquí el jugador haurà d'aconseguir fer el desplegament d'una figura 3D. Si ho aconsegueix, tindrà un premi econòmic. Aquest joc és el que ocupa la part central del treball de fi de grau del S. Cebrián, [3].
- Informació de la campanya: En aquesta pantalla es podrà consultar tota la informació de la campanya en qüestió. Veient el nom de la campanya, els percentatges d'importància de cada competència en el cas que la campanya sigui per pesos o les competències que entren en joc, en el cas que els pesos no influeixin. També es pot veure el percentatge de missió completada fins al moment, que no és més que el nombre de figures aconseguides (ja siguin 2D o 3D) dividit entre el nombre total de figures que s'han d'aconseguir en acabar la campanya.

3.4.3 Nivells de dificultat en el joc 2D

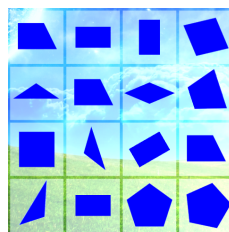
De les quatre competències citades, cada alumne tindrà una experiència, a la qual s'associarà un nivell. A mesura que l'usuari vagi practicant anirà aconseguint més experiència i conseqüentment pujant de nivell.

Com és lògic, la dificultat augmenta a mesura que el nivell és més alt. Aquesta complexitat es veu reflexada en diferents punts:

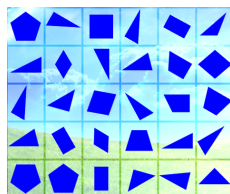
- Mida de la graella (figura 8). Com més alt sigui el nivell en la competència tractada, la graella tindrà més cel·les i per tant, el jugador haurà de buscar entre més figures.
- Rotació de figures (figura 8). La posició de les figures canviarà respecte la seva posició estàndard, fet que dificulta visualment trobar les figures de la missió. Com més alt sigui el nivell, més rotacions diferents s'aplicaran.
- Temps. Cada vegada que el nivell augmenti, el jugador disposarà de menys temps (respecte el nombre d'objectes a clicar) per a completar la missió.
- Bombes. Les bombes són trampes que ens podem trobar al joc 2D. La idea és que al clicar sobre una figura plana no objectiu, aquesta pot contenir una bomba. Si és el cas, es perd la missió automàticament. Com més alt és el nivell, més possibilitats hi ha que un objecte no objectiu contingui una bomba.



(a) Graella petita, sense rotacions.



(b) Graella mitjana, amb alguna rotació.



(c) Graella gran, amb moltes rotacions.

Figura 8: Exemples diferents mides i rotacions

3.5 Requeriments addicionals

A continuació es mostren els requeriments tecnològics i addicionala al joc (part grisa de la figura 4:

- Plataforma. El joc es podrà jugar finalment al PC, tot i també estar previst per ser utilitzat en plataformes tablet.
- Sistema operatiu. El sistema operatiu on es fa el testeig del joc és Windows. El joc funcionarà sempre que la versió de Windows estigui entre Windows 7 fins a windows 10. En plataformes tablet, s'utilitzarà exclusivament Android.

- Comunitat interessada. La comunitat més interessada en aquest aplicatiu és l'educativa.
- Dificultat per aprendre a jugar. La dificultat d'aprenentatge del joc és mitja-baixa.
- Temps de desenvolupament previst. El temps de desenvolupament previst és de uns 4-5 mesos a mitja jornada.
- Resolució de pantalla. Com una de les plataformes objectius és tablet, s'ha optat per una resolució 16:10, la més comú entre elles.

4 Desenvolupament

4.1 Justificació de la tecnologia utilitzada

Un cop decidit que es vol desenvolupar un joc d'ordinador s'ha d'escollir un motor, i donades les característiques d'aquest projecte, ha de ser un motor capaç de tractar 3D i gratuït. Això deixa les següents opcions principals:

- Unity3D: Unity és un motor de videojocs multiplataforma desenvolupat per Unity Technologies. La versió Unity personal és gratuïta. Permet desenvolupament per a Windows, OS X, Linux, Xbox 360, PlayStation 3, Playstation Vita, Wii, Wii U, iPad, iPhone, Android i Windows Phone. [15]
- CryEngine: CryEngine és un motor de videojocs creat per l'empresa CryTek per a us propi. La cinquena i última iteració, però, va canviar el model de negoci a *Pay what you want*. Permet desenvolupament per a Windows, Linux, Xbox360/One, Wii, WiiU i PlayStation3/4. [16]
- Unreal Engine 4: UE4 és la quarta iteració del motor de videojocs creat per Epic Games i la primera amb llicència gratuïta. Permet desenvolupament per Windows, Linux, OS X, Xbox One, PlayStation 4, HTML5, iOS i Android. [17]

Tots ells tenen avantatges i desavantatges, però, finalment es va optar per Unity3D peles següents motius:

- Experiència prèvia. Els programadors ja havien fet servir aquest entorn a l'assignatura d'Enginyeria del Software de tercer any d'Enginyeria Informàtica. En aquesta assignatura, vaig dedicar-me més a la part de disseny i, per tant, vaig treballar més amb Blender que Unity, tot i que també vaig utilitzar aquest motor de jocs.
- Integració *Cross-Platform*. Unity3D permet portar un projecte a diferents plataformes amb molt baixa dificultat.
- Facilitat de canvi de mecàniques 2D a 3D. Donat que el projecte involucra parts purament 2D i d'altres a mitges, la flexibilitat de Unity ha estat un factor important a l'hora de decidir.
- El tractament de geometria vectorial que ofereix Unity3D és idoni pels requeriments del Joc és idoni pels requeriments del Joc 2D-3D.
- Documentació. Unity3D disposa d'un web amb exemples de totes les classes i funcions que han creat, i com es programa amb *c#*, es pot trobar documentació externa al MSDN de Microsoft. A més disposa d'una comunitat molt activa en fòrums amb una col·lecció enorme de dubtes ja resoltos.

Tot i les dificultats que presenta el treball en equip per Unity per les tasques d'integració, en ser un equip de només dues persones, es va optar per la creació de dos projectes en paral·lel i per una quedada setmanal per integrar-los.

4.2 Arquitectura del sistema

4.2.1 Arquitectura MVC

Per aquest projecte hem seguit el patró d'arquitectura Model Vista Controlador (MVC), freqüentment utilitzat en sistemes on es requereix una interfície d'usuari. Aquest patró sorgeix de la necessitat de crear software més robust, potenciant la facilitat de manteniment, reutilització del codi i separació de conceptes.

Així, es fonamenta en la separació del codi en tres capes:

- Model: Capa de dades. Té mecanismes per accedir a informació externa i actualitzar els seus valors. És el cas de les classes de campanya, usuaris, missions, etc.
- Vista: Capa visual. Conté el codi que ens permet veure la visualització de les capes d'usuari. En són exemples les classes que controlen la HUD.
- Controladors: És el cervell. Gestiona la comunicació entre la vista i el model de dades. En són exemples el controlador del joc 2D i 3D, el controlador de les missions, etc.

A continuació s'exploren les principals components del joc, detallant-ne tant la part dels model com la part del seu control, per a facilitar-ne la lectura.

4.2.2 Components del joc

En la part de dades, es representen les components del joc: els escenaris i figures 3D, campanyes, missions, botiga, etc.

4.2.2.1 Campanyes i competències

Tot el joc gira al voltant de la figura de les campanyes. Com ja hem comentat abans, la campanya sempre té com a objectiu una figura 3D. Per aconseguir aquesta figura 3D, s'han d'aconseguir abans figures 2D i amb aquestes, construir figures 3D simples que, ajuntades, formen la figura tridimensional objectiu.

Un dels objectius principals del projecte és fer un joc que s'adapti al nivell del nen i, a més, el màxim modificable pel professor possible. Per aquest motiu, les campanyes permeten dos modes de joc configurables:

- Mode lliure. El professor només selecciona les competències a treballar (poden ser totes). A partir d'aquí, a cada competència seleccionada el sistema li

assigna un valor (o pes) segons el seu nivell en aquella competència, de manera que les competències de nivell més baix tinguin una probabilitat més alta per sortir. En concret, el valor que se li assigna a cada competència és 2^{max-n} on max és el màxim dels nivells de les competències donades i n és el nivell de la competència a qui se li assigna el pes. Aquest pes és transformat en un percentatge sobre el total de pesos assignats, que defineix la probabilitat de sortir de cada competència. Aquests pesos es calculen cada vegada que s'inicia una nova missió, fet que fa possible que si l'usuari, durant el transcurs de la campanya, millora en alguna competència, això es tingui en compte al donar nous objectius de missió.

- Mode per pesos. El professor escull les competències a reforçar assignant pesos a cada una. Si una competència té pes 0, aquella competència no serà tractada durant el transcurs de la campanya.

Recordem que les quatre competències són: “Identificació de figures”, “Simetries”, “Angles” i “Perímetre i àrea”.

4.2.2.2 Missions

Per obtenir les figures 2D necessàries, serà necessari superar amb èxit una missió 2D (o comprar la figura si tens suficients monedes, com s'explica a la secció “Botiga”). Aquestes missions consisteixen en:

- Una graella $n \times m$, on cada posició és ocupada per una figura plana de color blau seleccionable o no (en seleccionar-la, canvia a color groc).
- Una sèrie d'objectius, representats per tres estrelles:
 - Objectiu 1: Figures a seleccionar, ja sigui per tipus (p.e. triangle equilàter) o per característica (p.e. figura simètrica).
 - Objectiu 2: Completar la missió amb la meitat del temps donat inicialment.
 - Objectiu 3: Completar la missió sense fer cap error.

La missió serà completada amb èxit si el primer objectiu es compleix. Aconseguir els altres dóna més experiència i diners, com veurem més endavant.

- Un timer decreixent, que indica el temps restant per completar amb èxit missió.

Una missió 2D es pot completar amb èxit, obtenint així recompensa, o no. Una missió acaba quan passa una de les situacions següents:

- Es completa la missió amb èxit.
- S'acaba el temps. Es comprova si al finalitzar el temps els objectes clicats eren els correctes (missió completada amb èxit) o no (missió fallida).

- Es clica sobre un objecte no objectiu que conté una bomba. Automàticament es dona la missió per fallida.

4.2.2.3 Objectius

La pregunta natural que sorgeix ara és com s'assigna un objectiu a una missió. És un procés complex. S'han de tenir en compte diversos factors:

- La competència a tractar. És el primer pas. A partir de la configuració de la missió i del nivell de l'usuari en els diferents camps, s'escull una competència.
- Els objectius vistos fins al moment per l'usuari. L'usuari té un conjunt de paràmetres que ens permeten saber quines figures ha vist i quines no i també els objectius completats amb èxit. Mai es demanarà trobar trapezidis si abans no ha identificat un quadrat, per exemple.
- El tipus de premi objectiu. Recordem que una missió sempre es crea com a resposta de la petició de l'usuari d'obtenir un tipus de figura. El tipus de figura que es vol aconseguir influeix en l'objectiu de la missió.

La forma d'escollir un objectiu, tot i que té trets comuns, varia segons la competència:

- Competència d'identificació de figures. És el més complex de tots. El procés és el següent:
 1. Es mira quina és la figura 2D per la qual es crida la missió: triangle, quadrat o pentàgon. Si és per alguna de les dues primeres es passa al pas 2. Si la figura objectiu és un pentàgon, s'assigna a l'atzar un dels objectius següents: trobar tots els pentàgons regulars, trobar tots els pentàgons irregulars o trobar tots els pentàgons (regulars i irregulars).
 2. El sistema escull un número de l'1 al 10 a l'atzar. Si surt de l'1 al 5, anem a pas 3. En cas contrari anem al pas 4.
 3. Entrem en mode descobriment. L'usuari guarda per triangles i quadrilàters una llista del tipus d'objectes vists. A més, hi ha dues taules genèriques (una per triangles i una per quadrilàters) ordenades on es pot consultar l'ordre dels objectius. Així, es recorre aquesta taula genèrica i es veu quin és el següent objectiu a realitzar i l'assignarem com a objectiu de la missió. Si la missió és completada amb èxit, aquest objectiu s'afegeix a la llista corresponent de l'usuari com a objectiu vist.
 4. Entrem en mode repàs. S'agafa la llista d'objectius vists de l'usuari (la de triangles o quadrilàters, segons el tipus de figura 2D que ha cridat a la missió) i s'assigna a l'atzar un dels objectius a la missió.

L'ordre dels objectius és el mateix que el vist a l'apartat 3.3.1:

- Triangles: equilàter, rectangles, isòceles i escalens.

- Quadrilàters: quadrats, rectangles, rombes, trapezis.
 - Pentàgons: pentàgon regular.
- Competència de simetria i competència d'angles. El funcionament és similar a l'anterior però en la creació de l'objectiu de la missió no es té en compte de quin tipus de figura 2D prové (sí es té en compte a l'hora d'intentar que com a mínim una de les figures clicables durant la missió sigui d'aquest tipus).
 1. El sistema escull un número de l'1 al 10 a l'atzar. Si surt de l'1 al 5, anem a pas 2. En cas contrari anem al pas 3.
 2. Entrem en mode descobriment. L'usuari guarda tant per la competència d'angles com per la competència de simetria unes taules dels tipus d'objectius vists de cada competència. A més, existeixen dues taules genèriques (una per competència) ordenades on es pot consultar l'ordre dels objectius en cada competència. Així, recorrem la taula corresponent i agafem el primer objectiu no vist i l'assignem com a objectiu de la missió. Si completem la missió amb èxit, s'afegeix com a missió vista per l'usuari.
 3. Entrem en mode repàs. S'agafa de la llista d'objectius vists (la de la competència escaient) i s'assigna a l'atzar un dels objectius a la missió.

L'ordre dels objectius és el mateix que el vist a l'apartat 3.3.1:

- Competència simetria: simetria reflectiva, simetria rotacional, qualsevol tipus de simetria i figures no simètriques.
 - Competència angles: figures regulars, figures amb angle recte, figures amb angle agut, figures amb angle obtús.
- Competència de perímetres i àrees. Aquesta competència escull sempre a l'atzar entre els 4 possibles objectius: trobar figures amb màxim / mínim perímetre i trobar figures amb màxim / mínim àrea. L'objectiu s'assigna a la missió.

4.2.2.4 Models: escenaris, figures 2D

Una vegada s'ha escollit un objectiu de missió, s'ha de preparar la graella 3D d'acord amb aquest objectiu. El primer que es fa és escollir, segons l'objectiu, quines figures són correctes i quines no ho són i guardar-les en dues llistes separades.

Per fer aquest primer pas, totes les figures tenen adjuntat un script que les defineix, el *figureProperties*. Aquest script diu quin tipus genèric de figura és (triangle, quadrat o pentàgon), quin tipus específic (triangle isòsceles, per exemple) i una sèrie de booleans que la defineixen, com els booleans *reflectionSymmetry*, *rotationalSymmetry*, *regular*, *rightAngle*, *obtuseAngle*, etc. Amb aquesta informació, un mètode s'encarrega d'afegir a la llista de figures correctes i incorrectes segons l'objectiu.

Fet això, es procedeix a crear la graella amb les figures 2D utilitzant la mida assignada a la missió. Sigui $dimx \times dimz$ les dimensions de la graella, es calcula la posició on s'ha d'ubicar les figures en el pla $y = 1$ de la manera següent:

```

for (int i=0; i<n; i++){
    for (int j=0; i<m; j++){
        Vector3 position = new Vector3(-(((float)dimx - 1) / 2) +
                                        i, 1f, -(((float)dimz - 1) / 2) + j);
        addFigure(position);
    }
}

```

A més, la figura que s'afegeix a la graella té una probabilitat del 30% de ser correcta, sempre complint-se el fet que hi hagi una figura correcta com a mínim a la graella i , sempre que sigui possible, que aquesta figura correcta sigui del tipus del *reward* de la missió (és a dir, el tipus de la figura clicada per entrar al joc 2D).

És aquí on, depenent del nivell, s'assignen més o menys rotacions i bombes a les figures afegides.

4.2.2.5 Nivell de dificultat i punts d'experiència

El problema de l'adaptació del joc als nivells de competència adquirits per l'alumne és un problema de molt gran abast. Es poden tenir en compte diferents fets com l'estil d'aprenentatge del nen, la història de missions fallides o amb èxit, els temps mitjans, etc. També es podria tenir en compte les experiències d'altres jugadors, per tal d'aconsellar quina missió escollir com a següent.

En l'adaptació s'han de considerar diferents aspectes:

- El perfil i l'estat del jugador, donat per la seva història, les seves dades i eventualment, per la seva similitud amb altres. Aquí s'ha decidit modelar el progrés de l'estudiant amb els punts d'experiència, que són una manera resumida d'explicar el perfil d'un usuari.
- El nivell de les missions. Existeixen molts factors que poden fer més difícils les missions. Hi ha alguns que poden inclús ser subjectius a la percepció dels jugadors (en cas de que el jugador tingui dislèxia o daltonisme, per exemple). Aquí s'ha decidit basar la dificultat de la missió en quatre aspectes citats amb anterioritat i explicats en detall més endavant: mida de la graella, rotació de les figures, temps i bombes. Tot hi haver escollit aquestes, són factors fàcilment ampliables.
- Com s'estableix la relació entre el nivell d'experiència i el nivell de les missions. Aquí torna a haver-hi un gran ventall de possibilitats. Pot anar des d'una funció que associa a una experiència donada un nivell o es podrien realitzar un conjunt d'algoritmes de data mining que tinguessin en compte l'experiència previa d'altres jugadors. En aquesta versió, s'ha escollit per correspondència entre l'experiència i els nivells de dificultat, tot i estar encapsulat per possibles futurs canvis.

Relacionar el nivell d'experiència amb el nivell de dificultat d'un joc és un problema comú. Existeixen diferents patrons que s'acostumen a seguir. Un n'és el fet

que cada vegada sigui més difícil pujar de nivell o, dit d'un altra manera, que per pujar de nivell el jugador hagi de fer més missions. Hem volgut ser fidels a aquest patró.

Tot i així, encara hi ha moltes maneres per decidir quan es canvia de nivell. En la majoria de jocs la fórmula que relaciona el nivell i l'experiència és polinòmica (com, per exemple, el Diablo [19]). Hi ha d'altres que segueixen funcions semblants a exponencials (el Runescape[18], per exemple). El problema d'aquest tipus de funcions és que generalment no són pràctiques quan hi ha molts nivells, ja que creixen massa ràpid.

En el cas que ens ocupa hem decidit tenir 5 nivells de dificultat. Tot i que podríem haver utilitzat més nivells, com la dificultat de les missions es veu reflectida en paràmetres com la mida de la graella, la rotació de les figures i la probabilitat de bombes, les diferències entre nivells propers serien irrisòries. Amb aquesta idea, s'escull que hi hagi 5 nivells de forma arbitrària.

Amb pocs nivells de dificultat, com és el cas, sí que té sentit utilitzar funcions properes a les exponencials.

La taula següent mostra els valors de punts d'experiència necessaris per canviar de nivell. A més, mostra el nombre de missions mitjanes realitzades de manera òptima que s'han de completar per passar d'un nivell a un altre. Aquests valors s'han anat ajustant a base d'etapes de testeig amb diferents usuaris:

Nivell	Experiència	Nº Promig Missions
0	0 a 29	1-2
1	30 a 99	3-4
2	100 a 399	6-8
3	400 a 1999	12-16
4	1200 o major	-

Taula 1: Relació experiència vs nivell

Si es dibuixés en una gràfica la funció que dóna l'experiència segons el nivell, es veuria una gràfica molt similar a l'exponencial. Tot i així, això no permet dir que per pujar d'un nivell al següent el temps necessari és exponencial, ja que és important adonar-se que l'experiència guanyada en una missió depèn també del nivell d'aquesta missió.

Però, com s'adapta concretament un canvi de nivell en la dificultat de la missió? Com ja s'ha comentat a la secció 3.4.3, el nivell que ha adquirit l'alumne en una competència influeix en la complexitat de les missions. La dificultat augmenta en diferents aspectes. A continuació es detalla com s'ha dissenyat internament l'adaptació a:

- Mida. Com més nivell es tingui en una competència, més gran és la graella de figures objectius. La graella pot ser d'un mínim de 2×2 fins a un màxim de 6×6 . Com hi ha 5 nivells (del 0 al 4), la mida de la graella $n \times m$ es calcula

així:

$$n = \text{nivell} + 1 + r_1; \quad m = \text{nivell} + 1 + r_2$$

on r_1 i r_2 són 0 o 1 de forma aleatòria. Hi ha una excepció en aquesta fórmula quan $\text{nivell} = 0$. En aquest cas, tenim:

$$n = 2 + r_1; \quad m = 2 + r_2$$

També es tracta de forma diferent la competència “Perímetre i àrea”. Aquesta competència és significativament diferent a les competències anteriors, planteja activitats més costoses i per tant, té un funcionament diferent en relació a les altres. Aquí s’ha fixat un màxim de 5 figures en una quadrícula $1 \times m$ on $m = (\text{nivell} + 1)$ si $\text{nivell} \in [1, 2, 3, 4]$ i $m = 2$ si $\text{nivell} = 0$.

- Rotació de figures. A mesura que el nivell augmenta, comencem a trobar les figures en altres posicions. Com més alt és el nivell, més alta és la probabilitat que una figura aparegui amb algun tipus de rotació. Aquest fet es pot veure a dos nivells:
 - La figura és fixe, no es mou. Rotada inicialment una certa quantitat de graus.
 - La figura es manté en constant rotació. En el cas de la competència “Perímetre i àrea” mai existeix aquest tipus de rotació.
- Temps. Tot i que el temps donat per completar la missió augmenta a mesura que el nivell és més alt, no augmenta amb la mateixa proporció que el nombre de figures existents. La taula següent (taula 2) mostra la relació entre el temps i el nombre de figures per cada nivell.

Nivell	Temps en segons	Nº de figures promig	Nº de figures / segons
0	10	4	0.4
1	10	4	0.4
2	13	9	0.69
3	18	16	0.88
4	25	25	1

Taula 2: Nombre de figures per temps donat per nivells

- Bombes. A mesura que augmenta el nivell és més fàcil trobar-nos amb figures no objectiu que contenen bombes. Cada vegada que es fa clic sobre una figura es comprova que aquesta figura no tingui bomba. Si en té, aquesta esclata i es dona la missió per perduda. La utilització de bombes no només augmenta el nivell de dificultat sinó que també dona un factor d’aleatorietat al joc amb elements sorpresa.

4.2.2.6 Premis al acabar missió

Sempre que s'acaba amb èxit una missió es dona un seguit de premis. Hi ha tres tipus de premis:

- Monedes: El nombre de monedes, g , que es donen depèn de dos factors:
 - El nivell de la missió, $level$. Per cada competència, c , s'ha creat un valor fix g_c associat, seguint la taula següent (taula 3):

Nivell $level$	Premi g_c
0	15
1	20
2	30
3	40
4	50

Taula 3: Premis per nivell

- El nombre d'estrelles aconseguides, s . Com s'ha dit amb anterioritat (veure secció 4.2.2.2), per completar correctament la missió s'ha d'aconseguir com a mínim una de les tres estrelles possibles. Aquest valor s servirà de multiplicador.

Així, el nombre de monedes donades per a cada competència c , donat un nivell, serà el producte $g_c \times s$.

- Experiència: L'experiència calculada depèn de diferents factors. El càlcul no és tan rígid com en el cas anterior. En lloc d'una funció discreta, com abans, aquí el reward *-experience-* depèn de més variables, tractades a més de forma contínua. En són exemples el temps total emprat respecte al total, el nombre d'intents realitzats i el nivell de la missió.

A continuació es mostren els passos per calcular-ho en pseudocodi:

```
int fixExp = (int)(level / 2.0) + 1;
int experience = fixExp * (level + 1) * 4;
experience += (int)(fixExp * time);
experience -= (experience * 0.1) * attempts * (4-level);
experience *= 1.5;
if (experience < 0) = fixExp;
```

on $level$ és el nivell de l'alumne en la competència de la missió, $time$ és el temps sobrant al acabar la missió i $attempts$ és el nombre d'intents realitzats. Es considera un intent cada cop que l'usuari fa clic per comprovar si el resultat és correcte i no ho és. El valor d'1.5 ha servit per acabar d'ajustar l'experiència després de diverses proves de testing.

- Figures: És el nombre de figures 2D objectius. Cal remarcar que només es dona un tipus de figura (triangle, quadrat o pentàgon), la que ha estat seleccionada per iniciar la missió. El nombre de figures donades depèn del nombre de figures necessàries per acabar la missió, entre d'altres factors. Com més figures es necessitin d'un tipus per completar la missió, més figures es donaran. De la mateixa manera, si es requereixen poques figures 2D, seran més difícils d'aconseguir.

S'ha de tenir en compte que el nombre de figures donades només afecta la dinàmica del joc i no directament al procés d'aprenentatge del nen. Si se'n donen poques, les campanyes duren més, però el procés d'aprenentatge és el mateix. Així, ajustar bé aquest paràmetre pot permetre que el joc no es faci ni massa pesat, ni massa fàcil.

La fórmula utilitzada per calcular el nombre de figures que es dona de premi és la que es mostra a continuació:

```
numFigures = Math.floor(0.08 * campaignObj + 0.5 * level);
```

on *campaignObj* és el nombre objectiu d'aquest tipus de figura que s'ha d'aconseguir a la campanya, i *level* és el nivell que té l'usuari en el tipus de missió objectiu.

En cas que la missió no sigui completada amb èxit, no es dona cap dels tres premis citats i es dona l'opció a l'usuari de tornar a fer una missió amb el mateix objectiu.

4.2.2.7 Botiga

Amb les monedes aconseguides en les missions 2D o 2D-3D es pot:

- Comprar figures objectius de la campanya (2D i 3D). Com millor ho faci l'alumne en les missions, més diners tindrà i abans podrà acabar la missió. El preu que s'estableix per cada ítem (figura 2D o 3D) depèn només del nombre d'ítems a aconseguir. Com més ítems s'hagin d'aconseguir, més econòmic serà comprar-ne un.
- Comprar avatars. És una opció auxiliar, que va a part de l'aprenentatge de la geometria. És una forma d'incentivar els alumnes per aconseguir més monedes. Així, amb els diners obtinguts, es podrà comprar i equipar una sèrie d'avatars 2D que es troben a l'escena "Selecció d'avatar" (vegis secció 3.4.2).

4.2.3 Persistència de dades amb JSONs i servidor extern

El treball està fet de manera que la gestió d'usuaris i campanyes es realitza a partir de la lectura i escriptura de JSONs en fitxers de text. Això ho hem fet així per tal de facilitar la connexió amb el servidor una vegada estigui llest (vegis secció ??). El

servidor només haurà de llegir i escriure sobre aquests fitxers per tal que la connexió sigui completa.

La impossibilitat de disposar del servidor ha fet que el professor no tingui l'opció de crear i modificar campanyes d'una manera simple. Tot i així, s'ha desenvolupat el codi per tal que el professor podria modificar el fitxer de text per tal d'aconseguir aquesta utilitat.

4.2.4 Disseny artístic

Més enllà de tota la part de programació, el joc també conté una sèrie de components visuals i auditives que val la pena comentar:

- **Textures i sprites.** Han estat necessaris l'edició o creació de més de 40 sprites i textures diferents, agrupats en:
 - Figures 2D: S'ha creat com a mínim una figura 2D per cada objectiu d'identificació, de color blanc i fons transparent, que durant el joc modifiquem (canviem de color).
 - Figures 3D: S'ha creat una imatge de totes les possibles figures 3D objectius, siguin figures tridimensionals simples o siguin figures tridimensionals més complexes (objectius finals de campanya). Ambdues s'usen en el menú de campanya.
 - Avatar: S'han descarregat png dels 8 possibles avatars des de Google, tenint en compte el Copyright.
 - Backgrounds i Skybox: Igual que l'Avatar, han estat descarregats tenint en compte els criteris de Copyright.
- **Prefabs.** És comú a Unity la creació de *GameObjects* a la mateixa escena, afegint components i modificant-los com convingui. Tot i així, és habitual trobar-te amb la situació de crear components que després requereixen ser referenciades des del codi, utilitzades en altres escenes, etc. En lloc d'haver de fer còpies, es pot guardar el *GameObject* en una estructura anomenada Prefab, per després instanciar còpies d'aquest objecte prefabricat.

S'han creat Prefabs per les figures 2D, la imatge de background, les càmeres, estructura d'inventari i campanyes, bombes, semàfors o fins i tot la HUD, entre d'altres.
- **Models 3D.** S'ha creat un model 3D per a cada Campanya. Tot i que la primera idea era dissenyar-los utilitzant Blender, finalment s'ha optat per fer els models directament des de Unity.
- **Fonts.** S'han utilitzat diferents fons en tot el joc. Totes les fonts han estat extretes de la pàgina web www.1001fonts.com, d'on només s'han utilitzat algunes d'ús lliure. S'ha utilitzat una font digital especial pel timer del joc 2D, extreta del mateix lloc web [20].

- **So.** S'ha posat so en tot el joc 2D. El so es controla des de la classe noDestroy (apartat 4.4.5), ja que aquesta classe està present en totes les escenes del joc. Com els aparells electrònics actuals tots donen opció d'apujar o abaixar el volum, no s'ha donat l'opció de fer-ho mitjançant l'aplicació en si. La música s'ha extret de www.bensounds.com, on es comparteix gratuïtament [21].

4.3 Diagrama de classes

A continuació es mostra un petit sketch del diagrama de classes. Com el nombre de mètodes i atributs és molt gran en algunes classes, s'ha decidit fer un diagrama de classes resumit, amb les relacions entre classes i els atributs més importants.

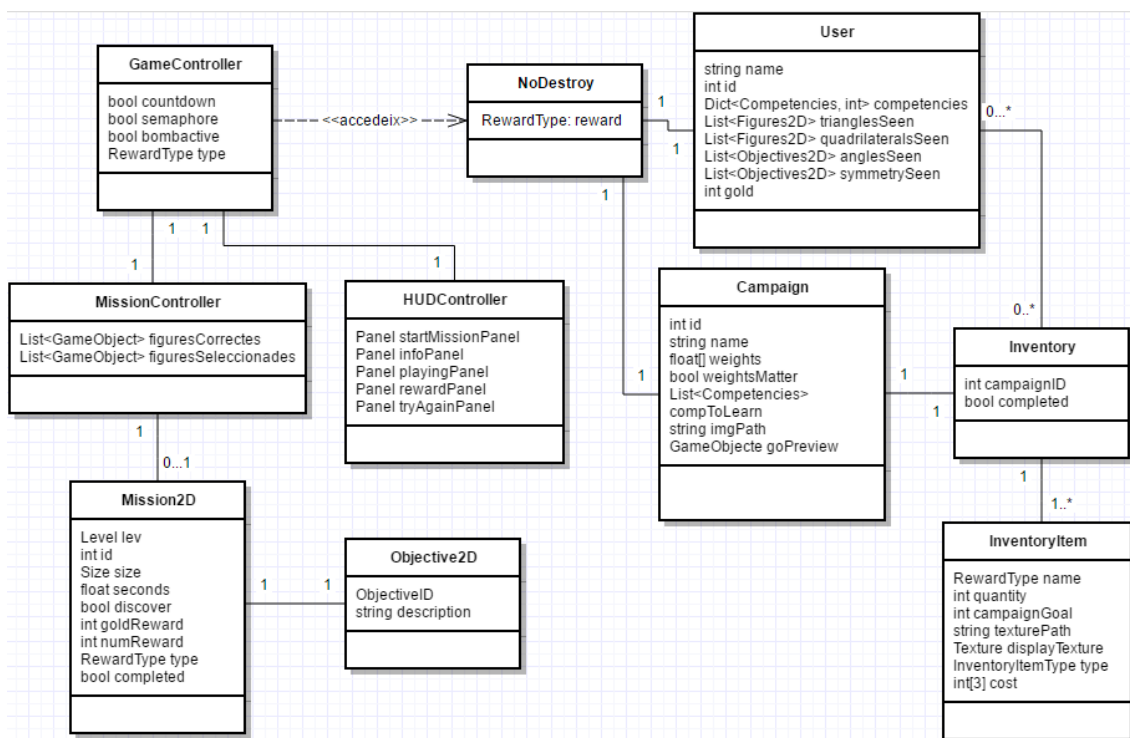


Figura 9: Diagrama de classes.

En el següent apartat (secció 4.4) es desglossen algunes de les classes més importants.

4.4 Classes i entitats importants

Tot i que en tot el joc hi ha una gran quantitat de classes, cal descriure amb més detall les que fan referència als controladors del joc, i les classes User, Inventory i InventoryItem, Campaign i NoDestroy. Al final, es cita també el script d'enumeradors Enum.

4.4.1 Controladors del joc

En el món 2D tenim un controlador principal, anomenat GameController. Aquesta classe gestiona tot el funcionament del joc 2D. És el primer que s'executa al entrar a l'escena del joc bidimensional. Té, al seu torn, dos controladors, el HUDController i el MissionController (controlador de la HUD i de la missió en si), als quals delega totes les tasques més costoses. La figura 10 mostra un resum de com es connecten els controladors i quina funcionalitat bàsica té cadascun.

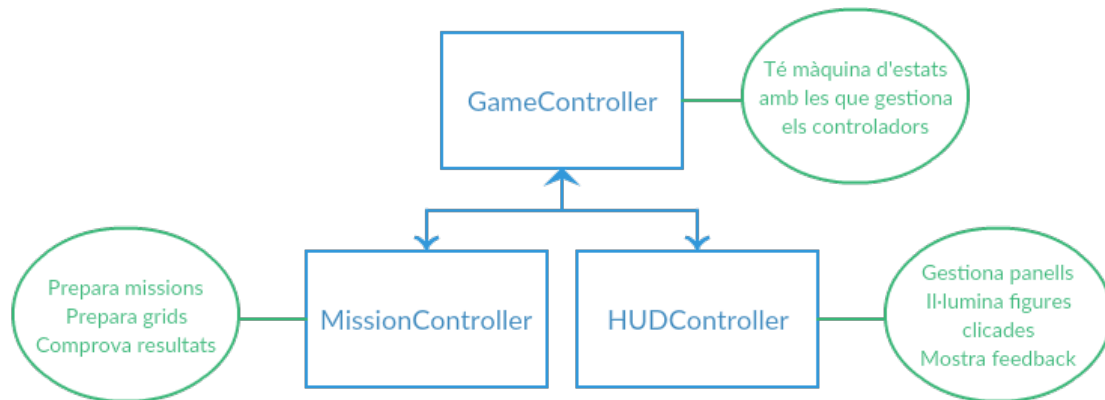


Figura 10: Controladors joc 2D.

4.4.1.1 GameController

El GameController té definit un estat a base d'un conjunt de flags, que determinen l'estat del joc (figura 11)

Al seu mètode *update()* gestiona cadascun dels estats. N'hi ha cinc:

- Compte enrere abans de començar la missió. És l'estat d'abans de crear la graella de figures 2D, on es mostren els objectius de la campanya a tres nivells, representats per tres estrelles, i es fa un compte enrere per tal que l'usuari es prepari per jugar. El compte enrere permet prémer el botó d'informació, per poder llegir la definició de l'objectiu que es demana a la missió en cas que es vulgui.
- Missió en curs: és el període durant el qual la missió és visible i es permet la selecció i deselecció de figures 2D. Aquest estat acaba quan s'acaba el temps màxim donat, es prem el botó per veure el resultat ("Check Result") o es clica sobre una figura incorrecte que per atzar té una trampa (en forma de bomba) amagada.
- Semàfor: és l'estat al qual s'arriba al prémer el botó per comprovar el resultat ("Check Result") o quan s'acaba el temps. Es mostra un semàfor verd per cada figura seleccionada correctament, un groc per cada figura no seleccionada que és figura objectiu i un vermell per cada figura seleccionada de forma incorrecte segons l'objectiu de la missió. Si tots els semàfors són de color verd,

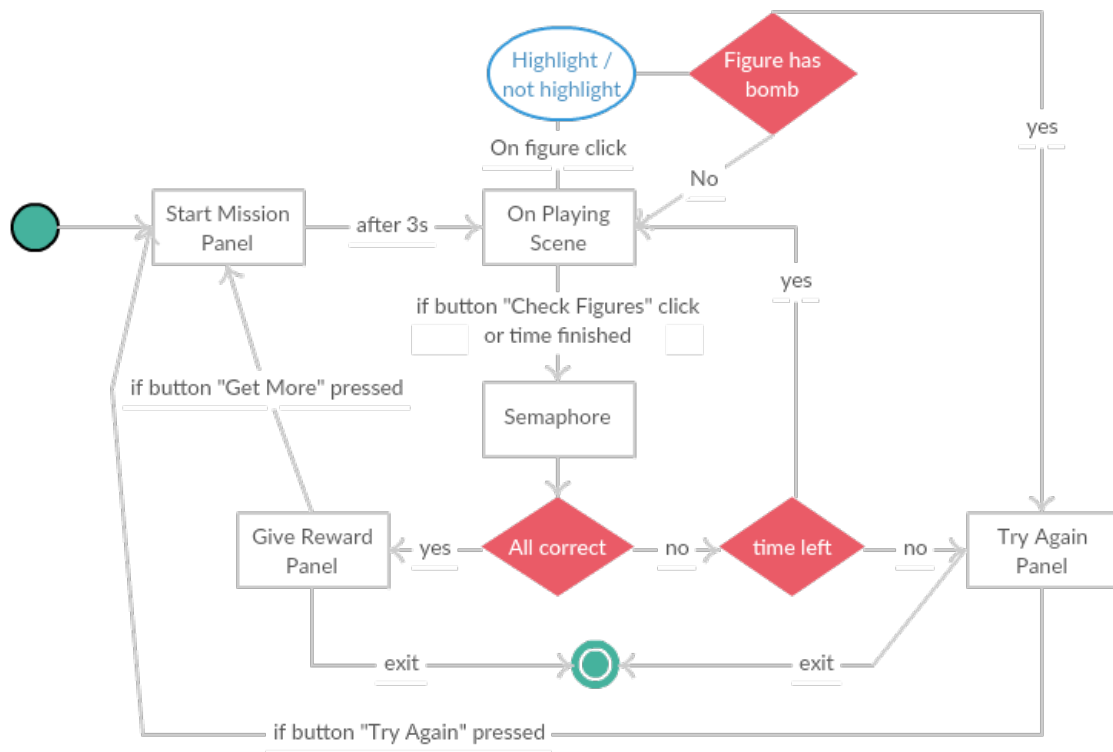


Figura 11: Màquina d'estats joc 2D.

vol dir que la missió ha acabat amb èxit i es va a la pantalla de “Reward”. Si hi ha cap error i encara queda temps per acabar la missió, el GameController torna l'estat de missió en curs. Si hi ha errors i s'ha acabat el temps, es va a la pantalla de “Try Again”, on l'usuari pot tornar a repetir la missió amb el mateix objectiu.

- Bomba activa: s'entra en aquest estat quan l'usuari clica sobre una figura objectiu incorrecte que per atzar, a més, té associada una bomba. Es veu una animació de l'explosió de la bomba i s'envia a l'usuari a la pantalla de “Try Again”.
- Missió finalitzada. Engloba la pantalla de “Reward” i la de “Try Again”. És quan el joc està aturat, esperant a la decisió de l'alumne.

4.4.1.2 Controlador de la missió.

És la classe a la qual delega el GameController la major part de la seva responsabilitat. Té tres funcions principals:

- Crear nova missió: a partir de l'usuari, el tipus de campanya i el tipus de premi que s'ha de tornar, escull un objectiu de missió i prepara variables com el temps i el mida de la graella.

- Crear nou grid a partir de missió: Selecciona una a una les figures que apareixeran al grid. Sempre hi ha una figura seleccionable correcta i les altres s'escullen amb una probabilitat del 30% de ser correctes. Escull també les rotacions de les figures i les figures que porten bombes.
- Comprovar figures correctes: comprova segons l'objectiu de la missió una per una quines són correctes o no i les pinta de diferents colors segons hagin estat seleccionadas o no per l'usuari.

4.4.1.3 Controlador de la HUD

Aquest controlador gestiona un seguit de panells per tal d'anar donant feedback a l'usuari que vol iniciar la missió. Aquests panells van apareixent i desapareixent dinàmicament, segons les accions que vagi duent a terme l'usuari.

- Panell “Start Mission”: És el panell previ a l'inici de la missió. Bàsicament cita els objectius per tal que l'usuari els sàpiga abans de començar a jugar i així no perdre temps una vegada començat el joc.
- Pantalla “On Playing”: A la figura 12 podem veure la visió general d'una missió 2D en curs. Podem veure les següents parts:
 - Quadrícula 2D amb figures seleccionables. És la part d'interacció amb l'usuari. En la imatge, la figura groga ha estat seleccionada.
 - Timer. A dalt, un comptador de temps decreixent indica el temps restant.
 - Objectius separats en estrelles. Les estrelles negres són estrelles perdudes. Les grogues són les obtingudes fins al moment.
 - Botó de comprovar resultat (“Check Result”). Al ser clicat, apareix el semàfor.
 - Semàfor. Indica el resultat de la partida en el moment de prémer el botó de comprovar resultat (si al ser clicat no s'han marcat totes les figures correctes, es perd l'estrella de “No errors”)
- Panell “Give Reward”: És el panell que es veu una vegada s'ha completat amb èxit. Permet veure els premis obtinguts, el temps gastat i les estrelles aconseguides. Permet també realitzar una nova missió per aconseguir més figures, prement el botó “Get More”.
- Panell “Try Again”: És el panell que es veu quan la missió no ha estat completada amb èxit, ja sigui per no haver escollit correctament els objectes objectius o per haver clicat sobre un objecte que conté una bomba.

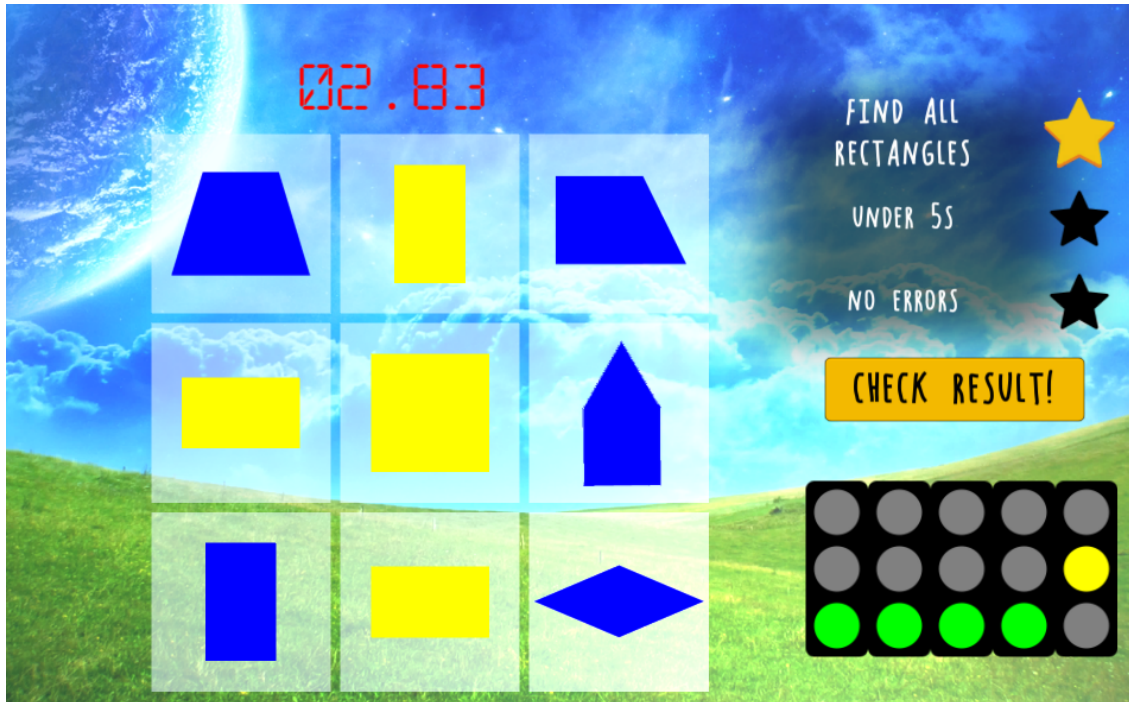


Figura 12: Missió 2D en joc.

4.4.2 Inventory i InventoryItem

La classe `Inventory` és la que indica el progrés d'una campanya. Consta d'un identificador que sempre ha de coincidir amb el de la campanya a la qual fa referència, un booleà que indica si l'inventari està complet (s'usa per veure si la campanya està finalitzada) i finalment una llista de `InventoryItems`.

Un `InventoryItem` és una classe que representa un tipus de figura 2D o 3D (triangle, quadrat, pentàgon, però també tetraedre, prisme triangular, piràmide, etc). No només referencia el tipus de figura sinó que també dóna informació de quina quantitat d'aquesta figura és necessària per completar la campanya amb èxit, la quantitat que tenim fins al moment, el path relatiu de la seva textura i, en el cas de ser un tipus de figura 3D, un atribut "cost" que ens indica quantes figures 2D són necessàries per crear-la. A tall d'exemple mostrem a continuació un inventari (figura 13) vist des del Inspector de Unity.

4.4.3 User

La classe `User` guarda tota la informació relacionada amb l'usuari. Per un cantó guarda atributs que fan referència al nom, identificador de l'usuari o a paràmetres de configuració, com l'avatar. També tindrà una llista d'inventaris que representarà el progrés de l'usuari en cada campanya. En començar una nova campanya, s'afegeix l'inventari de la campanya a la llista d'inventaris de l'usuari, que s'anirà actualitzant a mesura que vagi acabant missions. També guarda les monedes que s'aconsegueixen al acabar una missió (2D i 3D) i que poden ser utilitzades per comprar figures

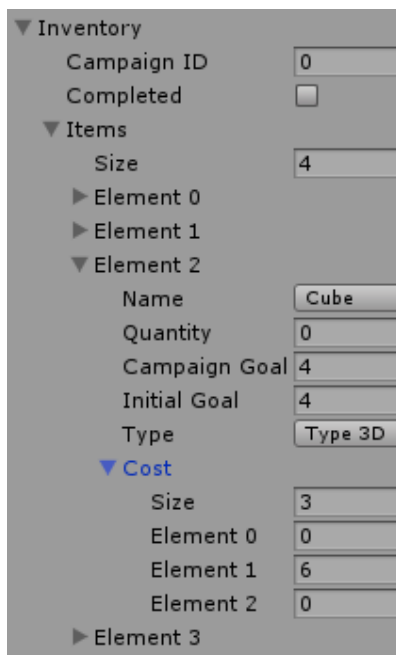


Figura 13: Instància de la classe Inventory

objectius de la campanya o icones de personalització. A més d'aquests atributs, els més interessants són els que defineixen l'usuari des d'un punt de vista acadèmic. Aquí l'usuari tindrà:

- Un diccionari que té per índex el tipus de competència (recordem que es guarda en l'enumerador Competencies, i són "Identificació", "Simetria", "Anglès" i "Àrea i Perímetre") i per valor l'experiència adquirida d'aquella competència. En completar amb èxit una missió 2D, i com s'ha explicat amb anterioritat, es donarà una experiència de la competència treballada. Aquesta experiència es traduirà en un nivell i el nivell posarà més o menys dificultats a les missions, com ja s'ha explicat a l'apartat 4.2.2.5.
- Diferents llistes de figures i objectius vistos. Aquestes llistes permetran gestionar quina missió pot fer cada usuari. La idea de fons és que els objectius de les missions no són de la mateixa dificultat i tenen, en molts casos, un cert ordre (per exemple, no demanarem trobar rectangles si no ha aconseguit acabar amb èxit com a mínim una missió de trobar quadrats o no demanarem trobar figures amb simetria rotacional, si no ha vist el que és la simetria axial). Així, aquestes llistes serviran per gestionar el fet que no faci missions no adequades per les coses que s'ha vist o après.

4.4.4 Campaign

La classe Campaign guarda tota la informació relacionada amb la campanya. Per un cantó té una sèrie d'atributs que fan referència al nom de la campanya i al seu id, a un model 3D que serà la figura objectiu i una imatge que representarà la

figura tridimensional en dues dimensions. A més d'aquests atributs, es consideren els següents elements:

- Inventari. Aquest inventari descriurà la missió en termes d'objectius a aconseguir per completar-la. L'inventari tindrà una llista de `InventoryItems`, que tindran quantitat igual a 0. En iniciar una campanya, si l'usuari té un inventari amb id igual al id de la campanya, no es farà res. Si no té aquest id, s'afegirà aquest inventari a la llista d'inventaris de l'usuari, fent una còpia. Aquest inventari no es modifica en cap moment.
- Tipus de campanya. La campanya té una variable booleana (`weightMatter`) que indica el tipus de campanya o, dit d'un altra manera, com s'escolliran les missions a fer durant aquella campanya. Per complementar aquest atribut es creen dos atributs més, un atribut per cadascun dels valors del booleà. Aquests atributs s'expliquen a continuació amb els dos tipus de mode de joc:
 - Pel mode lliure (`weightMatter = false`) s'afegeix a una llista que guarda les competències a tractar.
 - Pel mode amb pesos (`weightMatter = true`) s'afegeix una llista de quatre floats que indica el pes que se li dóna a cada competència (primera posició el pes que se li dóna a identificació, segona a simetria, tercera a angles i quarta a perímetres i àrees).

Cal recordar que tot i que es pretenia que existís un servidor extern (vegis secció 4.2.3) per facilitar la feina al professor a l'hora de crear campanyes, això no ha estat possible i la manera de crear campanyes és, actualment, a través de la modificació d'un arxiu de text.

4.4.5 **NoDestroy**

Aquesta classe és una classe interna i auxiliar, però té importància cabdal en el funcionament del joc. S'encarrega de permanència de dades entre els salts d'escena. Així, aquesta classe guarda l'usuari que ha accedit al joc, mostrant sempre que sigui necessari els diners actuals i l'avatar escollit, i guarda la campanya que s'està cursant, sempre que se n'estigui realitzant alguna. Aquest fet permet consultar des de qualsevol escena els atributs de l'usuari i de la campanya actual, sempre que existeixin. També s'encarrega de guardar en cada moment l'objectiu actual de l'usuari perquè ho llegeixin els controladors de cada joc.

Aquesta classe també és l'encarregada de controlar la música mentre l'aplicació estigui oberta.

4.4.6 **Enumeradors**

Per tal de fer més senzill, entenedor i robust el codi, s'ha decidit crear un script *Enums* amb una sèrie d'enumeradors que serveixen d'identificador d'alguns con-

ceptes i serveixen de claus per diccionaris o per indicar certes característiques de missions o figures. En són exemples:

- Competencies: Identification, Symmetry, Angles, AreaPerimeter.
- Figures2D: Square, Rectangle, Rhombus, Trapezium, EquilateralTriangle...
- NumOfEdges: Three, Four, Five, NoInt.
- ObjectivesID: findAllSquares, findAllRectangles, findAllRhombus...
- RewardType: Square, Triangle, Pentagon, TriangularPrism, PentagonalPrism...
- Size: VerySmall, Small, Medium, Big, VeryBig.
- Level: VeryEasy, Easy, Medium, Difficult, VeryDifficult.

5 Resultats i simulacions

En aquest capítol es mostren els resultats finals del joc, tant a nivell gràfic com tècnic. També es mostren els resultats d'un test d'usabilitat i d'un test de competències dissenyats específicament per aquest projecte.

5.1 Planificació final

A la figura 1 s'ha vist la planificació inicial del projecte en termes de formació, disseny, desenvolupament, testing i documentació. A continuació (figura 14) mostrem com s'ha transformat aquella previsió a la pràctica. Recordem que una unitat de temps correspon aproximadament a mitja setmana.

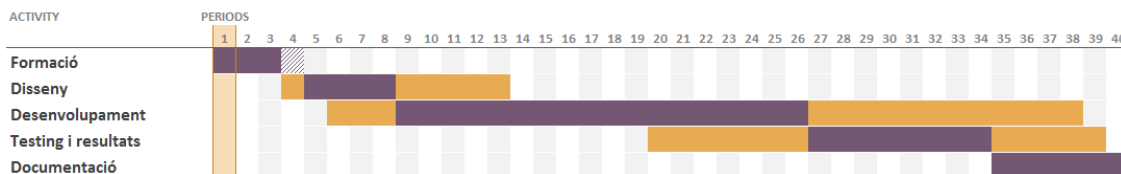


Figura 14: Planning real diagrama de Gantt vs previsió (D. Rausell)

En color lila s'indica la previsió inicial. En taronja veiem el temps que s'ha afegit a aquesta previsió inicial. Tot i que s'ha seguit l'estructura prevista, sí que hi ha canvis. Potser el més significatiu és el fet que ara les tasques es superposin unes amb altres. El temps de testing, per exemple, ha suposat després un altre període de desenvolupament. La metodologia utilitzada ha estat finalment gairebé cíclica, repetint fases de disseny, desenvolupament i testing a diferents etapes. Finalment s'han produït canvis en el desenvolupament fins 1 setmana abans de l'entrega.

El temps de formació previst i el temps de documentació s'han mantingut pràcticament inalterables.

5.2 Resultats tècnics del joc

A continuació es mostren algunes característiques tècniques del joc:

- El joc funciona en sistema operatiu Windows. S'ha testejat en Windows 10.
- El joc ocupa gairebé 160MB i consta d'un executable (16MB), una carpeta on es guarden diferents dades (140MB) i un README.
- El joc està preparat per veure's en pantalles de dimensió 16 : 10. En la release, existeixen les següents opcions vàlides de resolució: 1260x768 és la recomanada, mentre que 640x400, 320x200 també mantenen el *aspect ratio* de 16 : 10. Es demana no utilitzar l'opció 1260x600, ja que s'han detectat errors durant el testing.
- Les targetes gràfiques on ha estat testejat el joc són de gamma baixa-mitja.

5.3 Resultats visuals del joc

En aquest apartat es vol mostrar els resultats finals obtinguts a GeoPieces, posant rellevància en la part visual del joc.

Com es pretenia, s'ha aconseguit dissenyar un joc centrat en la construcció d'edificis, englobats en el concepte campanya. A més, s'ha acabat donant un objectiu encara més ampli al joc, fent possible la construcció d'un poblat a mesura que es van aconseguint els seus edificis. La figura 15 es mostra un exemple de l'escena 3D de selecció de campanyes.

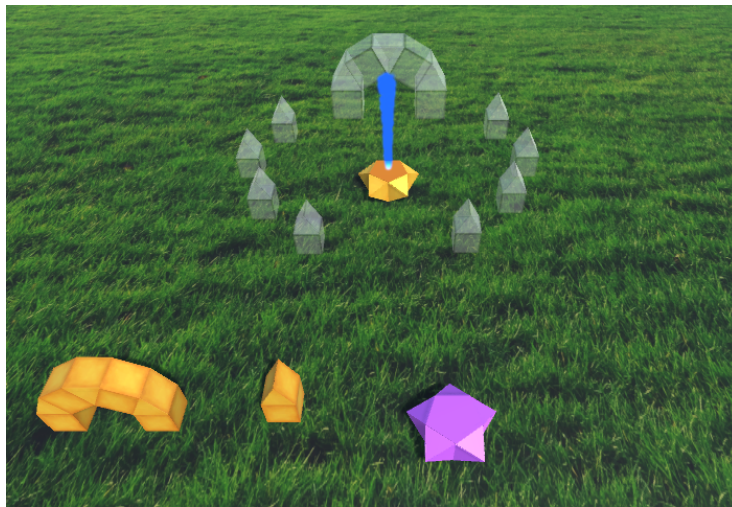


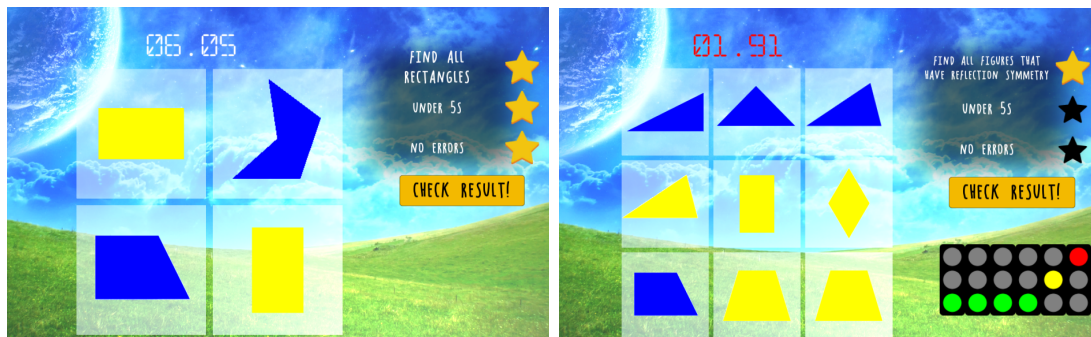
Figura 15: Pantalla de selecció de campanya. Els dos edificis inferiors de color taronja són clicables, mentre que el jugador ha completat la campanya de la font, que ja no és clicable i apareix al poblat amb textura i animació.

En el que respecta a una campanya en si, s'ha aconseguit associar figures 2D i 3D, fent que els nens i nenes disposin de dues modalitats molt diferenciades del joc. A la figura 16 podem veure'n un exemple.

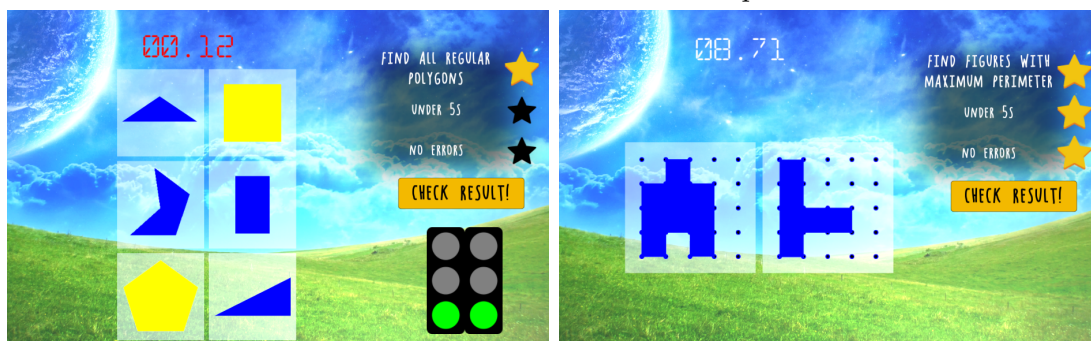


Figura 16: Exemple menú campanya d'una campanya iniciada.

A més, al món 2D s’ha aconseguit realitzar missions per superar fins a quatre competències diferents: identificació de figures, simetria, angles i àrea i perímetre. A la figura 17 es mostren algunes captures de pantalla en diferents situacions del joc posant un exemple dels possibles objectius de joc en cada competència.



(a) Competència identificació. Estat: dues figures correctes marcades. Falta prémer “Check result”. (b) Competència simetria. Estat: una figura incorrecte i una correcta sense marcar. Dues estrelles perdudes fins al moment.



(c) Competència Angles. S’ha clicat “Check result” i s’ha encertat. Als pròxims frames es donarà reward. (d) Competència perímetre i àrea. Partida pendent de començar. Totes les estrelles disponibles.

Figura 17: Captures de pantalla d’alguns exemples d’objectius per cada competència i diferents situacions de joc.

A més, s’han aconseguit posar elements d’aleatorietat, com les bombes, les rotacions de les figures i el tipus d’objectius.

5.4 Test del grau de reforç de les competències

Amb la idea d’intentar saber fins a quin punt serveix el joc per millorar les competències s’ha realitzat un test de reforç de competències.

El test consisteix en un primer qüestionari amb 6 preguntes multi resposta de conceptes geomètrics. Tot seguit, es deixa al nen o nena jugar al joc durant uns 15-20 minuts aproximadament. Una vegada acabat aquest procés, es repeteix el mateix qüestionari inicial per veure si ha après algun concepte nou.

El test s’ha realitzat a 4 nois i noies d’entre 10 i 12 anys el dia 22 de juny de 2016. Les preguntes del test es poden veure a l’apèndix C. Les respostes s’han agrupat en

4 categories:

- Correcte: Totes les opcions multi resposta correctes marcades.
- Parcialment correcte: S'han marcat respostes correctes, però no totes.
- Incorrectes: Alguna de les respostes marcades és incorrecte, independentment de si ha marcat alguna correcta.
- En blanc: No s'ha marcat cap opció.

Del total de sis preguntes multi respostes, quatre fan referència a la part 2D mentre que dos fan referència a la part de desplaçament. Aquí ens hem centrat en les quatre primeres, tot i que citem els resultats de les altres.

Els resultats del test abans de començar a jugar han estat els que es veuen a la taula següent (taula 4).

Nº	Correctes	Parc. Correctes	Incorrectes	En blanc
1	0	4	0	0
2	0	3	0	1
3	2	1	1	0
4	1	0	3	0
5	0	3	1	0
6	0	2	1	1

Taula 4: Test de competències abans de jugar a GeoPieces

Els resultats del test després de jugar a GeoPieces es poden veure a la taula següent (taula 5).

Nº	Correctes	Parc. Correctes	Incorrectes	En blanc
1	2	2	0	0
2	1	0	2	1
3	3	1	0	0
4	2	0	2	0
5	2	2	0	0
6	0	3	1	0

Taula 5: Test de competències després de jugar a GeoPieces

Analitzem ara els resultats de les quatre primeres preguntes, referents a la part 2D.

- S'ha passat de 3 respostes correctes abans de jugar a 8 després de fer-ho.

- El número de parcialment correctes baixa de 8 a 3. La majoria d'elles com a conseqüència de la pujada de les respostes correctes.
- El número d'incorrectes es manté, tot i que els errors no es produeixen tots al mateix lloc. Òbviament aquest fet té dues lectures. Per un cantó, sembla positiu que els usuaris canviïn les seves respostes incorrectes després de jugar (2 ho han fet), però per l'altre, dos que havien marcat respostes parcialment correctes, al marcar-ne més han marcat alguna d'incorrecte (tot i que en algun cas han marcat també de correctes que abans no havien marcat).

Comentaris:

- Com el joc està en anglès en fer el testing s'ha requerit d'una persona al costat dels alumnes per tal d'explicar el que no entenen per la barrera de l'idioma.
- S'ha fet obvia la necessitat que es pugui llegir descripcions i definicions d'objectius al joc 2D. Durant el test, s'ha hagut d'explicar definicions de figures i de propietats que no coneixien al no haver-hi una descripció al mateix joc. Després del test de competències, s'ha afegit la possibilitat de llegir informació sobre l'objectiu en qüestió, abans de començar la missió. S'ha afegit aquesta possibilitat abans de passar al test de jugabilitat.
- Tot i que el nombre d'alumnes enquestats no és prou alt per treure conclusions estadísticament rellevants, es fan patents algunes tendències positives.

5.5 Test de jugabilitat

Amb la idea d'intentar conèixer fins a quin punt és jugable el joc, si té una estructura fàcil de seguir, si és o no fàcil entendre els objectius, si enganxa o es fa pesat, etc. S'ha dissenyat un test d'usabilitat on han participat 20 usuaris de diferents edats. Per dissenyar-lo, hem utilitzat Google Forms.

El test conté preguntes quantitatives (valorar del 1 al 5 una sèrie de característiques) de GeoPieces, tant de la part comuna, com de la part 2D i de desplegaments. A més a més, el test també conté preguntes quantitatives on els usuaris poden valorar les coses que més i menys els hi han agradat, entre d'altres.

A continuació mostrem les preguntes quantitatives i els seus resultats tant de la part comuna, com de la part 2D. Per fer-ho, utilitzem gràfics de barres. Les preguntes es valoren de l'1 al 5 on 1 és estar completament en desacord i 5 completament d'acord. Les preguntes generals de GeoPieces realitzades són les que citem a continuació:

1. L'aparença del joc és agradable (figura 19a).
2. El joc es controla de manera intuïtiva (figura 19b).
3. La navegació entre menús resulta clara (figura 19c).

4. És fàcil entendre l'objectiu del joc (figura 19d).
5. És fàcil entendre l'objectiu d'una campanya (figura 18e).
6. Recomanaries aquesta aplicació per alumnes de primària (figura 18f).

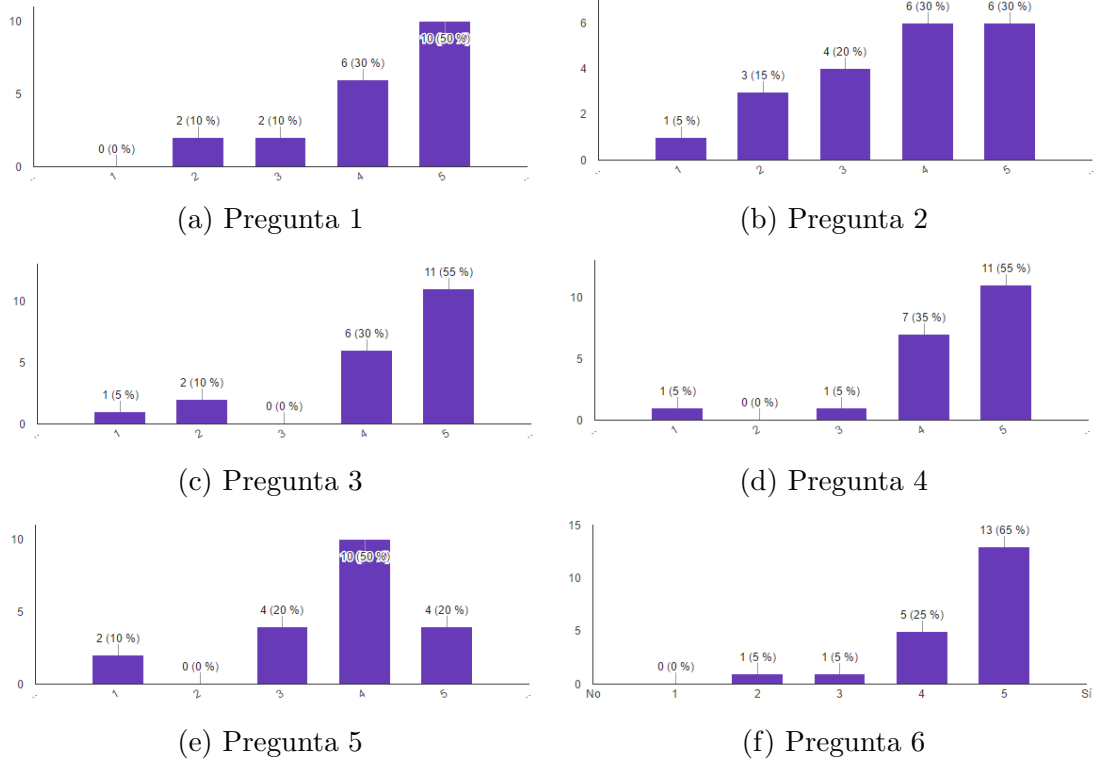


Figura 18: Test d'usabilitat: preguntes genèriques GeoPieces

En general les preguntes han tingut respostes força positives. Potser cal destacar la pregunta 2, que fa referència a la intuïtivitat del joc i la pregunta 5, on es parla de la fàcil comprensió de l'objectiu final de la campanya. Cap resultat, per això, és realment alarmant.

Les preguntes concretes de la part 2D realitzades són les citades a continuació i resumides en la figura 19

1. El temps per llegir els objectius abans de començar la missió és adequat.
2. La mecànica del joc és intuïtiva.
3. Els semàfors que apareixen són fàcilment interpretables.
4. En cas d'error al acabar una partida, s'entén on han estat comesos.

Aquí els resultats no són tan positius com en la part genèrica, tot i que segueixen essent força bons. Sense cap mena de dubte, la pregunta amb pitjor valoració és la que fa referència al temps que es dona per llegir els objectius 2D. No acaben

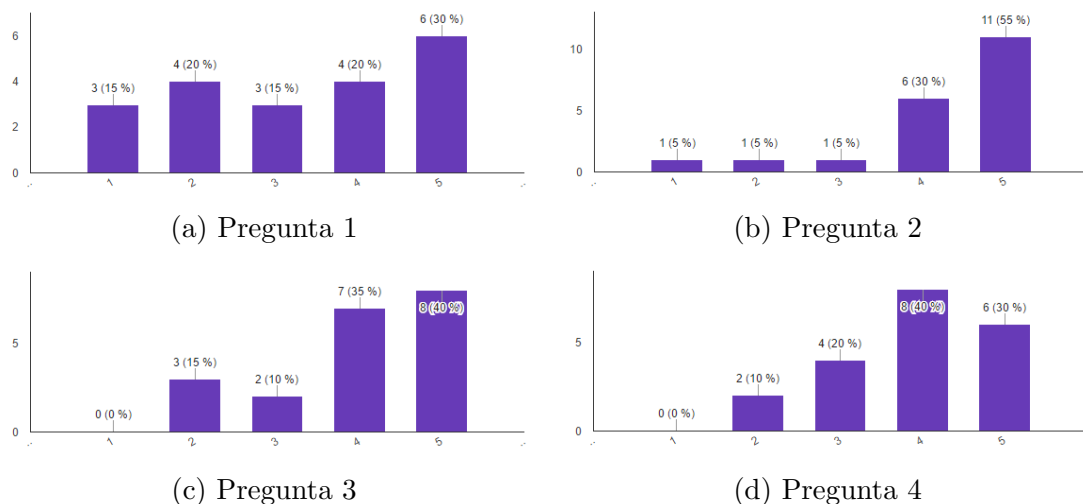


Figura 19: Test d'usabilitat: preguntes concretes de la part 2D de GeoPieces

de ser del tot satisfactoris els resultats a obtinguts en les preguntes 3 i 4, que fan referència a la interpretació dels errors, ja sigui per mitjà dels semàfors com pels colors amb què s'il·luminen els objectes correctes i incorrectes en acabar. S'ha valorat molt positivament el funcionament de la dinàmica del joc, amb més d'un 70% d'acceptació.

A més a més, s'han realitzat tres preguntes qualitatives. Les preguntes i les respostes més significatives es poden veure a continuació. Es recorda que aquí només són visibles les respostes de caràcter genèric o que afecten la part 2D.

- Milloraries alguna cosa? En cas afirmatiu, quina o quines?
 - Afegir fil argumental en el joc, és a dir, alguna petita història que motivi a construir el poblat.
 - Millorar música
 - La música no està en loop.
 - No agrada el format de timer per llegir els objectius abans de començar missió 2D. Es proposa que sigui un botó en lloc d'un compte enrere per començar a jugar.
 - Obligar a llegir les definicions dels objectius almenys una vegada.
 - No haver de clicar el botó "Check Figures".
 - Definicions de vegades difícils d'entendre.
- Què és el que més t'ha agradat?
 - La música.
 - Les bombes.
 - Els semàfors.

- Què és el que menys t'ha agradat?
 - Els menús.
 - Els textos d'objectius.
 - Es pot arribar a fer una mica pesat per nens.
 - Temps estressant per resoldre nivells.

Després de la realització del test, creiem que seria positiu prendre una sèrie de mesures. A continuació se'n mostra algunes:

- Afegir un fil argumental al joc.
- Eliminar el timer al començar missió i posar en el seu lloc un botó. Fins i tot l'usuari podria configurar-ho.
- Afegir més elements randoms. El joc 2D pot fer-se una mica monòton. Un exemple podria ser el d'afegir comodins a algunes de les figures correctes o missions random que donin molt més premi.
- En resposta al comentari que el joc pot fer-se una mica repetitiu, també s'ha decidit donar més nombre de figures de premi de la missió per així aconseguir que les missions acabin una mica més ràpid i es puguin fer noves missions i no estar tant de temps en la mateixa. La fórmula definida en l'apartat 4.2.2.6 com:

```
numFigures = Math.floor(0.08 * campaignObj + 0.5 * level);
```

s'ha canviat de la forma següent:

```
numFigures = (0.33 * numStars);
numFigures *= Math.floor(0.12 * campaignObj + 0.5 * level));
numFigures = Math.floor(numFigures);
```

augmentant el pes del nombre de figures objectiu a la campanya i tenint en compte les estrelles guanyades. Si es completa amb 3 estrelles la missió, el premi és més gran. Si es completa amb només amb 1, el premi és una mica més petit (per més informació visitar 4.2.2.6).

- Posar la música en loop. Aquesta millora ja s'ha incorporat a la versió final del projecte.

6 Valoració econòmica

Per conèixer el cost aproximat del projecte, s'ha de tenir en compte el temps utilitzat pel programador, en què s'ha utilitzat, i els components de hardware i software necessaris per dur-lo a terme.

6.1 Anàlisi del temps de realització del projecte

El temps utilitzat en la realització d'aquest projecte es pot dividir en cinc parts:

- Hores de formació. Aprendre a utilitzar Unity en si i animacions.
- Hores d'anàlisi. Conèixer competències bàsiques de geometria a primària, veure jocs d'aprenentatge i fer disseny del joc GeoPieces.
- Hores d'implementació. Desenvolupament de codi i dissenys gràfics (models, sprites, figures2D, escenaris...). Inclou hores de testing realitzades pel programador.
- Hores de testing. Realització dels tests d'usabilitat i test de competències. Inclou el temps de preparació dels tests, el temps de duració dels tests presencials amb els alumnes i el temps corresponent a l'anàlisi dels resultats.
- Hores de documentació. Memòria i comentar codi.

A la taula següent (taula 6) es mostra el temps aproximat utilitzat en cadascuna dels grups d'hores citades. S'ha posat també el temps en setmanes per ajudar a valorar la quantitat d'hores, considerant que una setmana són 15h setmanals (3h per dia durant 5 dies).

Tipus	Temps en hores	Temps en setmanes
Formació	22.5	1.5
Anàlisis	37.5	2.5
Implementació	187.5	12.5
Testing	7.5	0.5
Documentació	45	3
Total	300	20

Taula 6: Temps usat en el projecte (en hores i setmanes) per D. Rausell

6.2 Valoració econòmica

El primer que s'ha de tenir en compte és que no a totes les hores es pot imputar un cost. S'assumeix que el programador és un programador expert i no requereix

hores de formació. La part de documentació no és tampoc totalment atribuïble al programador. Així, només posarem com a cost el temps de documentació dedicat al manual d'usuari i manual tècnic, aproximadament 3h del temps de documentació.

El cost per hora depèn de la tasca a realitzar. A continuació (figura 7) es mostra el cost per hora en cadascuna de les tasques abans citades i el preu total del programador 2D en hores per tot el projecte.

Els preus per hora establerts són els equivalents als valors mitjans de cost per hores per consultors en el món empresarial.

Tipus	Temps en hores	Cost per hora	Total en €
Anàlisi	37.5	80	3000
Implementació	187.5	60	11250
Testing	7.5	50	375
Documentació	3	50	150
Total			14750

Taula 7: Cost per tasca i hores de D. Rausell

A més, s'ha de considerar el preu de hardware i software. Com la llicència de Unity és gratuïta, l'únic que necessitem és un ordinador de gama mitja-alta, que valorarem en 800€. El preu total del projecte es resumeix en aquesta taula (taula 8)

Tipus de cost	Cost en €
Programador 2D	14750
Programador 2D-3D	15225
Ordinador x 2	1600
Total	31575

Taula 8: Pressupost del projecte

7 Conclusions

En aquest projecte, s'ha desenvolupat un joc per l'aprenentatge de la geometria d'alumnes d'últims cursos de primària.

El joc consisteix en tres parts ben diferenciades que expliquem a continuació.

- Part comuna. En aquesta part s'ha realitzat tot el desenvolupament del concepte Campanya i el concepte Usuari.

La campanya ha servit per donar un objectiu final al joc amb la construcció d'un edifici, a més de ser utilitzada com a eina per escollir quins tipus de competències geomètriques s'aprenen. Les campanyes són configurables i tot i permetre dos modes de joc, sempre intenta adaptar-se al nivell del nen o nena.

La informació acadèmica de l'alumne està encapsulada en la figura de l'usuari. Aquí es guarda tota la informació de competències apreses i objectius per aprendre.

A més, ha estat necessari crear un conjunt d'escenaris per tal de poder navegar pel joc, donar la possibilitat d'aconseguir noves figures a través de reptes i inclús donar alguna opció de customització.

- Part 2D. És la part del joc que serveix per aconseguir figures 2D necessàries per completar missions. S'han creat diversos objectius per cada una de les quatre competències: identificació, simetria, angles i perímetre i àrees.

En el joc 2D es tracta de seleccionar un seguit de figures en una quadrícula segons un objectiu. L'objectiu el marca el tipus de figura que es vol aconseguir per la campanya, el tipus de campanya i l'experiència adquirida per l'usuari en cada tipus de competència.

Depenent de l'experiència del jugador en cada competència, la missió tindrà més o menys dificultat. La dificultat es pot modelar mitjançant diferents factors: mida de la graella, rotació de les figures, percentatge de bombes, temps per selecció de figures més reduït i objectius més complexos.

- Part 3D (corresponent al treball de fi de grau del S. Cebrián). És la part del joc que serveix per aconseguir figures 3D necessàries per completar missions a partir del plegament de figures 2D abans obtingudes. Per més informació, veure el treball del S. Cebrián [3].

La sensació global del joc és positiva i s'han aconseguit la major part dels objectius marcats. Les úniques parts que no s'han aconseguit realitzar són les que permetien la construcció dels edificis 3D i la connexió amb el servidor extern.

S'han realitzat, a més, dos tests per poder valorar el joc, tant a nivell de competències com d'usabilitat. El test de competències ha estat bastant positiu, ja que la tendència després de jugar és de saber una mica més que abans de fer-ho. Hagués estat ideal poder haver passat el test amb més usuaris. Pel que respecta

al test d'usabilitat, els resultats són, en general, també força positius. S'ha valorat la intuitivitat i s'ha valorat molt positivament aquesta utilització d'aquest tipus d'aplicatius a l'aula. Pel que fa a la part 2D, el punt més feble ha estat el temps inicial per llegir els objectius abans de començar una missió.

Amb els resultats del test, s'han realitzat propostes de millora molt concretes del joc. Algunes d'elles s'han pogut inclús implementar i s'ha pogut resoldre certs errors menors (per més detall, visitar el final de l'apartat 5), com el fet que la música no estava loopejada o l'ajust del número de figures de premi.

La conclusió global del projecte és realment positiva, tot i haver quedat clara la dificultat de monitoritzar i fer adaptatiu l'aprenentatge dels nens i nenes. En aquest sentit, es vol destacar la dificultat de decidir què és fàcil i què no. Tot hi haver-hi estudis fets al respecte i mecanismes d'aprenentatge (com el proposat per Van Hiele), encara hi han massa punts subjectius i difícils de valorar.

Aquest treball també pretén servir com a impuls a les noves tecnologies per a ser utilitzades com a nous mètodes d'aprenentatge. L'educació és més eficaç (i més amena) quan és divertida. Educació i diversió poden anar de la mà.

7.1 Treball futur

Tot i que hi ha sempre molts camins per on anar per tal de seguir amb el projecte, a continuació citem alguns dels que més presents s'han tingut durant la realització d'aquest treball de fi de grau:

- Joc 3D. Una vegada es tenen els objectes 3D més simples, es podrien model·lar escenaris 3D amb missions per tal d'ajuntar aquests objectes simples per formar l'objectiu tridimensional de la campanya.
- Aconseguir la connexió amb el servidor per tal que el professor o professora pugui crear noves campanyes de manera ràpida. A més, es podria donar al docent la possibilitat de realitzar el seguiment del progrés dels estudiants durant l'execució de les missions.
- Lligat amb el punt anterior, donar l'opció de jugar en mode "Classroom", on el professor pot haver preparat una sèrie de campanyes que han de completar els seus alumnes i dóna a classe un nom i una contrasenya per tal que tots s'hi puguin connectar.
- Donar la possibilitat de crear noves missions 2D i 3D i afegir noves figures de manera senzilla a través d'un portal web d'ajut al professorat.

Referències

- [1] UNESCO. *La educación para todos, 2000 - 2015: Logros y desafíos*, 2015.
- [2] Informe PISA 2012. *Programa para la evolución internacional de los alumnos.*, 2012.
- [3] Cebrián, S.; *Geopieces: Joc seriòs per l'aprenentatge de la geometria. Part 2D-3D*, 2016.
- [4] Mason, M. *The van Hiele levels of geometric understanding. The professional handbook for teachers: Geometry*, vol. 4, p. 4-8, 1998.
- [5] Gardner, H. *Frames of Mind: The Theory of Multiple Intelligences*, 1983.
- [6] DragonBox Algebra/DragonBox2, WEB, Last access June 2016.
- [7] DragonBox Elements WEB, Last access June 2016.
- [8] Mathtoons Media Inc. WEB, Last access June 2016.
- [9] Fendt, W. Java Applets zur Mathematik WEB, Last acces June 2016.
- [10] WisWeb applets WEB, Last access June 2016.
- [11] Math playground WEB, Last access June 2016.
- [12] Geogebra WEB, Last access June 2016.
- [13] Muriel, C: *Fracsland: joc serós per aprendre fraccions*, TFG, 2016.
- [14] Carey, R. Game Design Canvas WEB, Last access May 2016.
- [15] Jackson, S.; *Unity 3D UI Essentials*, ISBN 1783553618, Packt Publishing, 2015.
- [16] CryEngine WEB, Last access June 2016.
- [17] Unreal Engine 4 WEB, Last access June 2016.
- [18] Experience RunScape WEB, Last access June 2016.
- [19] Experience Diablo WEB, Last access June 2016.
- [20] 1001 fonts WEB, Last acces April 2016.
- [21] BenSounds WEB, Last acces June 2016.
- [22] Horacheck, D. *Creating E-Learning Games with Unity*, Març 2014.
- [23] Norton, T. *Learning C# by Developing Games with Unity 3D*, Setembre 2013.
- [24] Doran, J. P. *Unity Game Development Blueprints*, Novembre 2014.
- [25] Rodriguez, I.; Puig, A.; Cortada, V.; Grau, S.; Escayola, M.: *Designing a Math Game for Children Using a Participatory Design Experience*, Novembre 2015.

A Manual tècnic

A.1 Instal·lació: requeriments mínims i passos a seguir

A continuació s'explicarà el procés d'instal·lació del joc GeoPieces. Abans d'això, són requeriments necessaris:

- Sistema Operatiu Windows. S'ha testejat en Windows 10.
- Es requereixen gairebé 160MB: consta d'un executable (16MB), una carpeta on es guarden diferents dades (140MB) i un README.
- Prestacions standards. Per exemple un iCore5 a 5GHz o un iCore3 a 3,7GHz, amb targeta gràfica integrada.

Si no es compleixen aquestes condicions no es garanteix el bon funcionament del joc.

Dit això, els passos per a poder jugar a GeoPieces són:

1. Descarrega l'arxiu zip de l'enllaç: Download
2. Exporta l'arxiu zip.
3. En aquest punt hauries de tenir un arxiu executable GeoPieces.exe, una carpeta amb arxius i un README.txt.
4. Executa l'arxiu GeoPieces.exe.
5. Desmarca l'opció "Windowed" i selecciona la resolució de pantalla 1260x768 d'entre les diferents opcions. Si no dona aquesta opció, escull la resolució 640x400 o, en el seu defecte, 320x200.
6. Aquesta informació també la pots trobar al README.txt.

A.2 Manual del desenvolupador

Afegir nou objectiu. A continuació s'expliquen els passos per un programador per afegir nous objectius:

1. Posa-li nom. Ves al scrip *Enums* a *Assets/Scripts/Common/Model* i afegeix el nom del nou objectiu a *ObjectivesID*.
2. Ves a *FigureProperties* a *Assets/Scripts/2D/Model* i decideix si amb els atributs de figures actuals pots determinar les figures del teu objectiu. Si és així, ves al pas següent. Si no es pot determinar i és necessari afegir un atribut, ves a **Afegir nou atribut**.
3. Obre el script *MissionController* que trobaràs a *Assets/Scripts/2D/Controller*.

4. Ves al mètode *initializeObjectives2D()* i afegix la descripció de l'objectiu tal i com es fa amb els altres.
5. Ves al mètode *objDescription()* i fes una breu descripció de l'objectiu, tal i com es fa amb els altres.
6. Ves al mètode *prepareMission()* i fes un *if* (*objective.id == ObjectiveID.XXX*) seguint el format dels altres *ifs* per posar la condició per afegir les figures correctes amb aquest objectiu.
7. Ves al mètode *checkFigure()* i afegix un **if** per comprovar la condició amb la qual les figures són vàlides.
8. Decideix quin tipus de competència és: Identificació, Simetria, Angles o Àrea i perímetre.
 - Identificació.
 - (a) Decideix si és triangle, quadrilàter o pentàgon. Si és qualsevol dels dos primers, ves al punt següent. Si és pentàgon ves al punt (g).
 - (b) És el cas més complex. Crea el nou tipus de figura a enumeradors *figure2Di* torna al script on estàs.
 - (c) Afegix al mètode *initializeFigureOrder()* el tipus de figura a la llista adequada.
 - (d) Ves al mètode *transformToListObjectivesID()* i afegix la figura al *switch* tornant l'objectiu.
 - (e) Fes el mateix, però a l'inversa a *getFigure2DFromObjective()*.
 - (f) Has acabat.
 - (g) Si es pentàgon, afegix al mètode *choosePentagonObjectives()* el tipus de pentàgon. És necessari que el el número random que s'escull augmenti en la seva cota superior.
 - (h) Has acabat.
 - Simetria. Afegix al mètode *initializeFigureOrder()* l'objectiu a la llista adequada. Ja has acabat.
 - Angles. Afegix al mètode *initializeFigureOrder()* l'objectiu a la llista adequada. Ja has acabat.
 - Perímetre o àrea. Afegix l'objectiu al mètode *getAreaPerimeterObjectives()*. Afegix un *else if* al mètode *checkAreaPerimeterMission()* per comprovar el resultat de l'objectiu. Ja has acabat.

Afegir nou atribut

- Ves a *FigureProperties* a *Assets/Scripts/2D/Model* i afegix l'atribut necessari. Fes-lo public.
- Ves a *Assets/Resources/Figures2D* i ves figura per figura omplint com pertoqui l'atribut afegit.

Afegir nova figura

Només es poden afegir figures de tipus triangle, quadrilàter o pentàgon.

- Crea un .png d'una figura blanca amb fons transparent.
- Des de Unity, fes-la Sprite al *Inspector* desplegant el desplegable *Texture type* i prement *Apply*.
- Fes-la de la dimensió de les altres figures. Pots agafar una figura 2D d'exemple a *Assets/Resources/Figures2D*.
- Afegeix el *Box Collider* i el *figureProperties* des del *Inspector*.
- Omple les característiques del *figureProperties*.
- Al inspector, posa el *Tag* a "figura".
- Crea un prefab del *GameObject* a la posició (0,0,0).
- Afegeix al prefab a la carpeta adequada de *Assets/Resources/Figures2D/*.

B Manual d'usuari

B.1 Manual del professor

Els paràmetres modificables actualment en aquest projecte són:

- Estil de missió
- Pes de cada competència si s'ha escollit estil per pesos.
- Competències a treballar si s'ha escollit estil sense pesos.

A continuació s'explica com fer-ho.

NOTA: Per definir nous objectius de missió o afegir noves figures (Appendix A.2).

Modificar paràmetres de campanya

IMPORTANT: Els canvis que s'expliquen a continuació afecten al projecte en Unity, no a la release. Per tenir una nova release amb els canvis s'hauria de tornar a fer un build des de Unity. Per tant, la manera més simple de provar-ho és directament al playmode de Unity.

Aquest manual serveix per modificar paràmetres de les campanyes. Es pot modificar les campanyes "Çatalan arch", "Simple House" o "Fountain". En el projecte Unity, a la carpeta Assets/Resources/Campaigns modificar l'arxiu json i txt (els dos) de la manera següent:

1. Obrim arxiu amb editor de text (Notepad, Sublime o similars).
2. Si busquem (podem utilitzar CTRL+F) la paraula `weightsMatter`, veurem que al seu costat apareix la paraula `true` o `false`. Modifica aquesta paraula si vols canviar el mode de joc de la pantalla. Fes-ho així:

"weightsMatter" : word

on *word* pot ser la paraula *true* o *false*

3. Si escrius *true*, l'atribut immediatament anterior dóna la possibilitat de decidir els pesos (`weights`) de cadascuna de les competències. El format d'escriptura de `weights` ha de ser:

"weights" : [number1, number2, number3, number4]

on *numberX* ha de ser un número que pot contenir decimals utilitzant el punt per separar-la de la part entera. Exemples vàlids: 5, 3.27, 71, 42.

4. Si escrius *false*, l'atribut immediatament posterior permet decidir quin tipus de competències es volen treballar. El format d'escriptura d'aquest atribut és:

“compToLearn” : [number1, ..., numberN]

on *numberX* ha de ser un número del 0 al 3. Com a molt *N* pot ser igual a 4. Cada número ha de ser inferior al següent.

Exemples vàlids:

- *“compToLearn”* : [1]
- *“compToLearn”* : [0, 1]
- *“compToLearn”* : [0, 3]
- *“compToLearn”* : [1, 2, 3]

Exemples no vàlids:

- *“compToLearn”* : [4]
- *“compToLearn”* : [0, 2, 1]
- *“compToLearn”* : [0, 2, 2]
- *“compToLearn”* : [0, 1, 2, 3, 3]

5. Guarda i tanca els fitxers.
6. A Unity, entra a playmode i crea un nou usuari. Les campanyes han canviat els seus objectius.

B.2 Manual de l'estudiant: Aprèn a jugar

Primers passos per jugar al joc GeoPieces:

1. Descarrega l'arxiu .zip i extreu les dades en una carpeta.
2. Executa l'arxiu GeoPieces.exe.
3. Desmarca l'opció “Windowed” i selecciona la resolució de pantalla 1260x768 d'entre les diferents opcions. Si no dona aquesta opció, escull la resolució 640x400 o, en el seu defecte, 320x200.
4. Prem el botó “Play”.
5. Si és el primer cop que jugues, escull un nom de mínim 3 lletres i escull una contrasenya de mínim 8 lletres i després fes clic sobre “Sign Up” i a continuació “Log in” (figura 21).
6. Si no entres per primera vegada, escriu el teu nom i la teva contrasenya i prem directament el botó “Log in”.

NOTA: Si cliques sobre el botó sign up amb un nom ja utilitzat es borraràn les dades d'aquell usuari i s'inicialitzarà un de nou.

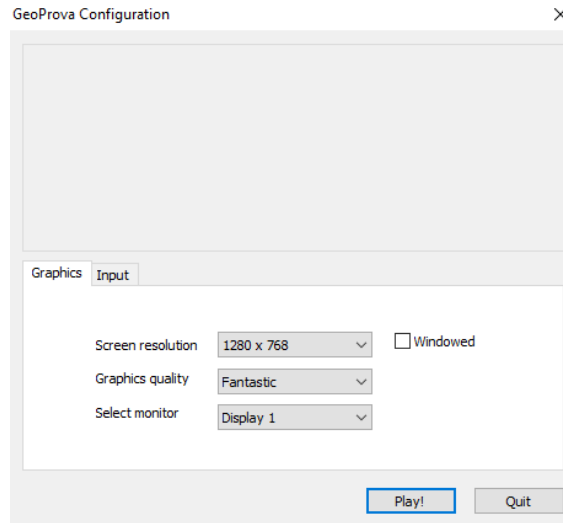


Figura 20: Pantalla de configuració prèvia a GeoPieces.



Figura 21: Pantalla de sign up i log in.



Figura 22: Menú principal.

7. Ja ets dins el joc (figura 22).
8. Ves a “Campaign Mode”
9. Selecciona una campanya fent clic sobre una de les figures tridimensionals (figura 23).



Figura 23: Select Campaign.

10. Has entrat al menú de campanya (figura 24).



Figura 24: Menú de campanya

11. Aconsegueix figures 2D clicant sobre “Get Square”, “Get triangle” o “Get Pentagon” (figura 24).
12. Clica sobre les figures objectius i prem el botó “Check figures” quan creguis que has acabat.
13. Quan tinguis prou figures 2D per poder fer el desplegament, aconsegueix les figures 3D anant a “Get Cube”, “Get Pentagonal Prism” o variants.
14. Per fer les figures 3D, escull quin tipus de figura vols posar al desplegament i després sobre les caselles verdes per col·locar figures (figura 26).
15. Per comprovar el resultat, fes click al botó de Ready un cop ja hagi posat totes les peces en joc.
16. Fes el mateix amb les altres campanyes i aconsegueix reconstruir el poblat.



Figura 25: M6n 2D

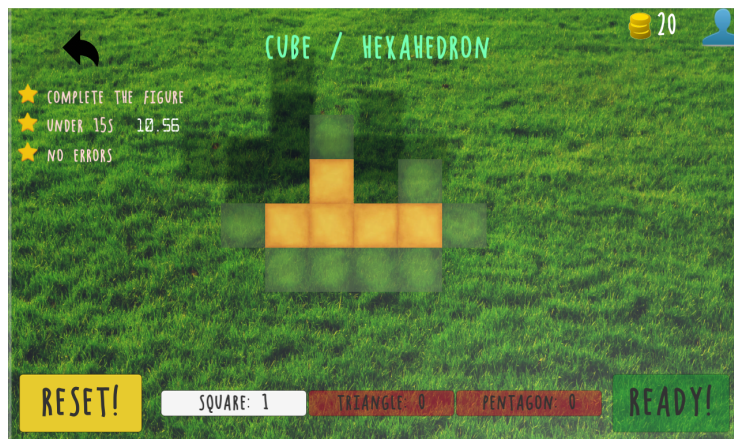


Figura 26: M6n desplegaments

C Test de competències

Selecciona els rombe:

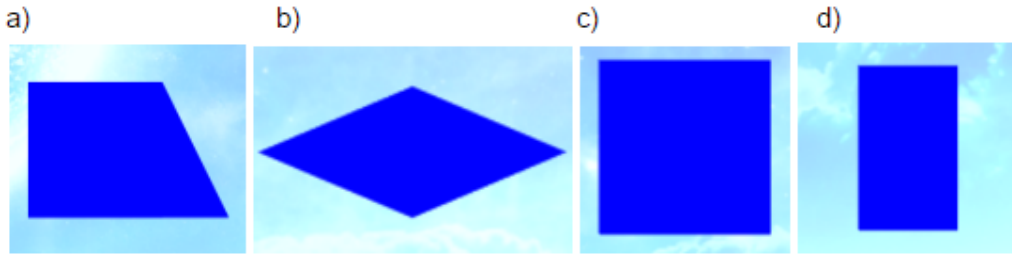


Figura 27: Pregunta 1 Test de Competències

Selecciona les figures amb simetria rotacional:

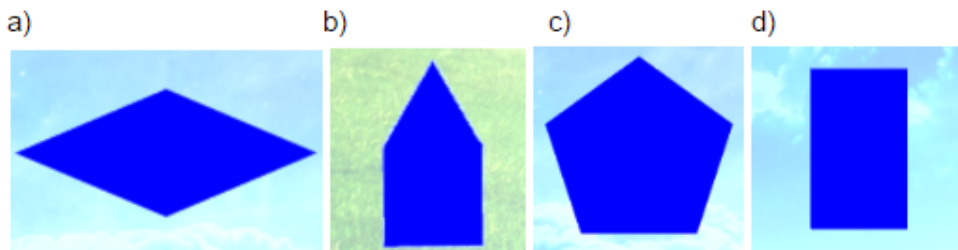


Figura 28: Pregunta 2 Test de Competències

Selecciona les figures d'àrea màxima:

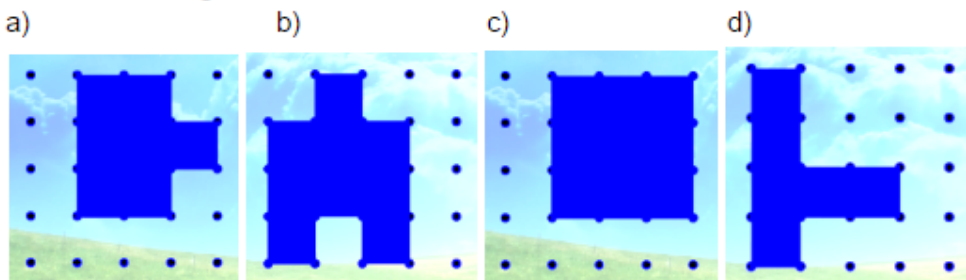


Figura 29: Pregunta 3 Test de Competències

Selecciona les figures de perímetre mínim:

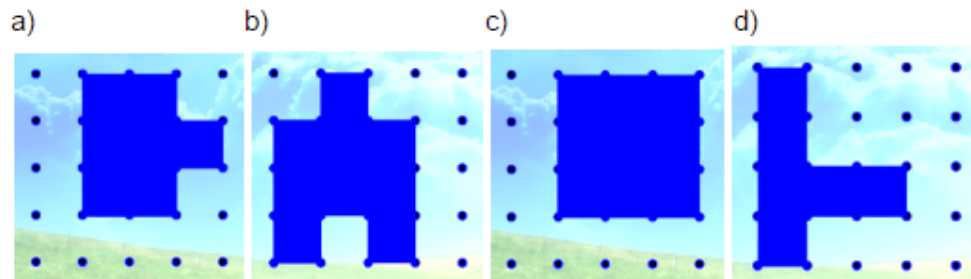


Figura 30: Pregunta 4 Test de Competències

Encercla els despleaments que formen la figura següent:

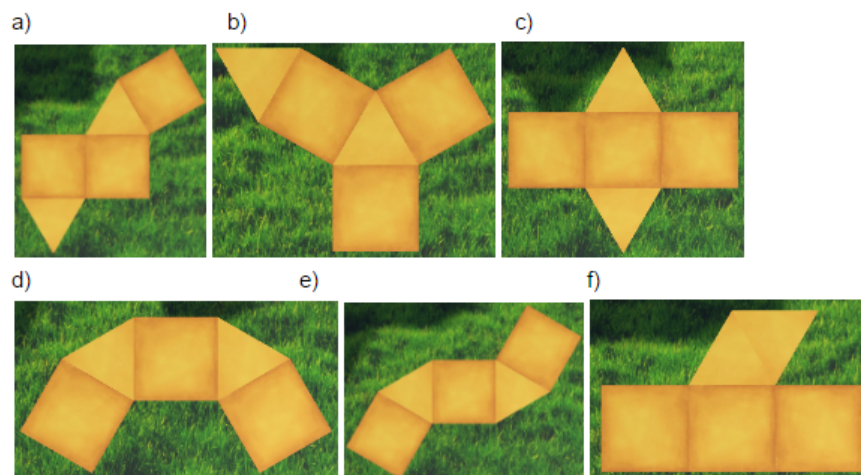


Figura 31: Pregunta 5 Test de Competències

Encercla els desplegaments que formen la figura següent:

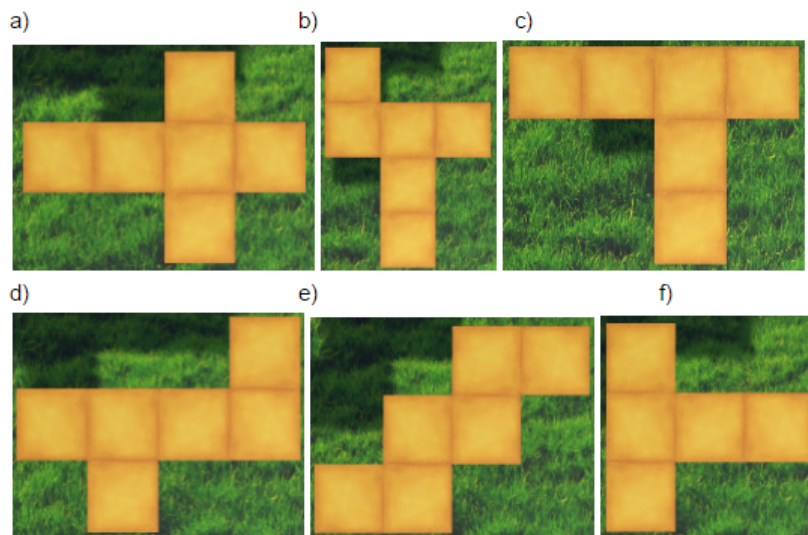


Figura 32: Pregunta 6 Test de Competències