

uc3m | Universidad **Carlos III** de Madrid



Grado en Ingeniería Informática  
Trabajo de fin de grado 2017-2018

# Desarrollo de un videojuego con Kinect y Unity para la enseñanza de matemáticas

Jose Ignacio de Torres Brox

Tutor

David Delgado Gómez



Esta obra se encuentra sujeta a la licencia Creative Commons **Reconocimiento – No Comercial – Sin Obra Derivada**



## RESUMEN

El desarrollo de aplicaciones orientadas a facilitar el aprendizaje y la enseñanza en la primaria es un campo que ha estado en desarrollo desde que la tecnología digital ha alcanzado las clases de las escuelas. Mientras que la enseñanza de las matemáticas en ambientes públicos ha prevalecido a través de la palabra escrita en libros estudiantiles, desde la aparición de los videojuegos didácticos se ha intentado complementar el uso de estos al aprendizaje tradicional.

El objetivo principal de este Trabajo de Fin de Grado ha sido implementar un juego interactivo didáctico que sirviera para realizar operaciones matemáticas simples a través de la interacción directa y el movimiento de todo el cuerpo del alumno, permitiendo así un entorno dinámico y activo que fomente el aprendizaje y la actividad física del estudiante.

Se han realizado pruebas con estudiantes de las edades objetivo para las que el juego puede resultar estimulante en su educación con el objetivo de ver los resultados de la combinación de actividad física y resolución de operaciones matemáticas. Ver la facilidad de estos mismos estudiantes de integrarse con el juego es lo que ha permitido enfocar correctamente el proyecto como base de futuras aplicaciones que fomentarán del mismo modo el aprendizaje de forma interactiva. Se puede concluir la efectividad de este modelo por medio de dichas pruebas.

**Palabras claves:** Aplicaciones de ordenador, Industria de computadores, Enseñanza Electrónica, Tecnología Educativa



## ABSTRACT

The development of applications aimed to the facilitation of learning in primary education groups is a field that has been in development since digital technology reached the school classes. While mathematic teachings has prevailed through the use of the written word in educational books, there has been a desire to complement didactic videogames and traditional learning since the appearance of the former.

The main objective of this End of Degree Project has been to implement an interactive didactic game that would perform simple mathematical operations through the movement of the student's whole body, thus allowing a dynamic and active environment that encourages learning in an entertaining way and improves the student's physical activity.

Tests have been conducted with students of the target age to see the effects of the game stimulations, and to see the results of a combination of physical activity with solving mathematical operations. Seeing their ease of integration with the game is what has allowed to correctly focus the project as a basis for future applications that will similarly promote learning in an interactive way. The effectiveness of this model can be concluded through these tests.

**Keywords:** Computer Applications, Computer Industry, Electronic Learning, Educational Technology.



## AGRADECIMIENTOS

*A todas las personas que me han permitido llegar hasta aquí durante estos años.*

*A mi familia por haberme habilitado la posibilidad de obtener estos estudios.*

*A mis amigos por apoyarme apoyado cuando lo necesitaba y haber estado ahí cuando más necesario era.*

*A todo el servicio y profesorado de la universidad que han trabajado para mantener en funcionamiento la carrera, y dar las oportunidades necesarias para su formación a los alumnos.*

*A mi tutor David por haberme ayudado tan fielmente en estos últimos pasos de mi educación académica.*

*A aquellos que me forzaron a llegar a donde ahora prospero.*

## Contents

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
1.1. Motivación del Trabajo	1
1.2. Relevancia	2
1.3. Objetivo	2
1.4. Antecedentes	2
1.5. Estructura	3
<b>2. ESTADO DEL ARTE</b>	<b>5</b>
2.1. Materia educativa	5
2.2. Aprendizaje por kinestesia	6
2.3. Grupo Kinems	7
2.4. Grupo Aloha de aritmética mental	9
2.5. Unity	10
2.6. Lenguajes de programación	11
2.7. Kinect	11
2.8. Videojuegos	13
2.8.1. Videojuegos educativos	15
<b>3. ESPECIFICACIONES</b>	<b>17</b>
3.1. Casos de uso	17
3.2. Requisitos	19
3.2.1. Funcionales	20
3.2.2. No funcionales	22
3.3. Matriz de trazabilidad	24
<b>4. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN</b>	<b>25</b>
4.1. Lenguaje de programación	25
4.2. Interacción	25
4.3. Fotografías	26
4.4. Piano	27
4.5. Operaciones matemáticas	28
4.6. Reconocimiento piano-números	28
4.7. Puntuación y resultados	29
4.8. Menús	30
4.9. Música	30
4.10. Complejidad operacional	31
4.11. Win state y Lose state	32

<b>5. EXPERIMENTACIÓN Y ANÁLISIS .....</b>	<b>33</b>
5.1. Primer experimento.....	33
5.2. Segundo experimento.....	34
5.3. Resultados.....	36
<b>6. CONCLUSIONES Y DESARROLLO .....</b>	<b>37</b>
6.1. Conclusiones .....	37
6.2. Proyectos futuros.....	37
<b>7. PRESUPUESTO .....</b>	<b>38</b>
7.1. Coste del personal.....	38
7.2. Material.....	38
7.3. Coste del hardware .....	39
7.4 Coste del software .....	39
7.5. Otros .....	40
7.6. Total .....	40
<b>8. ENTORNO SOCIOECONÓMICO .....</b>	<b>41</b>
<b>BIBLIOGRAPHY .....</b>	<b>43</b>
<b>Anexo A. Tutoriales, introducciones y planificación .....</b>	<b>47</b>
<b>Anexo B. Glosario .....</b>	<b>51</b>
<b>Anexo C. Documentación en inglés .....</b>	<b>55</b>
C.1. Introduction .....	55
C.2. Objectives .....	55
C.3. Implementation .....	56
C.4. Results.....	63
C.5. Conclusions .....	64

## INDICE DE FOTOS

<b>Fig. 1. Foto de operaciones simples [5].....</b>	<b>5</b>
<b>Fig. 2. Niños en clases de manualidades (aprendizaje por kinestesia) [8] .....</b>	<b>6</b>
<b>Fig. 3. Adaptación de la taxonomía de Bloom [9] .....</b>	<b>6</b>
<b>Fig. 4. Portal web del grupo Kinems [13] .....</b>	<b>7</b>
<b>Fig. 5. Gestos de reconocimiento de Reciclaje con Kinect del grupo Kinems [14] .....</b>	<b>7</b>
<b>Fig. 6. Diagrama de juego con Kinect habilitado [15] .....</b>	<b>8</b>
<b>Fig. 7. Juego Kinems Mathloons de aprendizaje matemático [16].....</b>	<b>8</b>
<b>Fig. 8. Juego Kinems Melody Tree [17] .....</b>	<b>8</b>
<b>Fig. 9: Alumno del sistema Aloha realizando operaciones matemáticas [24] .....</b>	<b>9</b>
<b>Fig. 10: Alumno del sistema Aloha utilizando un ábaco [25].....</b>	<b>10</b>
<b>Fig. 11: Captura del desarrollo de una escena en Unity [26] .....</b>	<b>10</b>
<b>Fig. 12: Dispositivo Kinect de captura de movimiento [27] .....</b>	<b>11</b>
<b>Fig. 13: Reconocimiento por medio de Vitruvius del cuerpo humano [29] .....</b>	<b>12</b>
<b>Fig. 14: Integración de Vitruvius en Unity [30] .....</b>	<b>12</b>
<b>Fig. 15: Pantalla de Pong [32] .....</b>	<b>13</b>
<b>Fig. 16: Super Mario Bros [34] .....</b>	<b>14</b>
<b>Fig. 17: E.T. The Game [37].....</b>	<b>14</b>
<b>Fig. 18: Equipo de 8 jugadores internacionales jugando a Final Fantasy XIV online ....</b>	<b>15</b>
<b>Fig. 19: Juego matemático desarrollado por Mundo Primaria [38] .....</b>	<b>16</b>
<b>Fig. 20: Menú principal de Brain Training (2005) [40].....</b>	<b>16</b>
<b>Fig. 21: Diagrama Casos de Uso .....</b>	<b>17</b>
<b>Fig. 22: Scripts de C# en Unity .....</b>	<b>25</b>
<b>Fig. 23: Ejemplo Stickman en pantalla por Kinect [41] .....</b>	<b>25</b>
<b>Fig. 24: Ejemplo de Teclado de piano [42] .....</b>	<b>26</b>
<b>Fig. 25: Ejemplo números rojos [43] .....</b>	<b>26</b>
<b>Fig. 26: Ejemplo números amarillos [44].....</b>	<b>26</b>
<b>Fig. 27: Background del juego [45] .....</b>	<b>27</b>
<b>Fig. 28: Piano a escala.....</b>	<b>27</b>
<b>Fig. 29: Operación aleatoria ejemplo 1 [46] .....</b>	<b>28</b>
<b>Fig. 30: Operación aleatoria ejemplo 2 .....</b>	<b>28</b>
<b>Fig. 31: Jugador interactuando con el piano virtual .....</b>	<b>29</b>
<b>Fig. 32: Score vacío, Level 1 &amp; Score con puntuación, Level 12 .....</b>	<b>29</b>
<b>Fig. 33: Menú Principal del juego .....</b>	<b>30</b>

---

<b>Fig. 34: Archivos de Música.....</b>	<b>30</b>
<b>Fig. 35: Ejemplo de marcador de dificultad.....</b>	<b>31</b>
<b>Fig. 36: Ejemplo operación dificultad baja.....</b>	<b>31</b>
<b>Fig. 37: Ejemplo operación dificultad alta.....</b>	<b>31</b>
<b>Fig. 38: Gráfica del nivel de dificultad del juego.....</b>	<b>32</b>
<b>Fig. 39: Barra de puntuación casi llena.....</b>	<b>32</b>
<b>Fig. 40: Simulación del escenario del experimento.....</b>	<b>33</b>
<b>Fig. 41: Foto del experimento.....</b>	<b>35</b>
<b>Fig. 42: Segunda Foto del experimento.....</b>	<b>35</b>
<b>Fig. 43: Primer menú en Unity.....</b>	<b>47</b>
<b>Fig. 44: Primer juego, recolector de monedas.....</b>	<b>48</b>
<b>Fig. 45: Segundo juego, Space Shooter.....</b>	<b>48</b>
<b>Fig. 46: Space Shooter terminado.....</b>	<b>49</b>
<b>Fig. 47: Tutorial piano.....</b>	<b>49</b>
<b>Fig. 48: Unity C# Scripts.....</b>	<b>56</b>
<b>Fig. 49: Stickman example by Kinect usage.....</b>	<b>57</b>
<b>Fig. 50: Piano example.....</b>	<b>57</b>
<b>Fig. 51: Red numbers example.....</b>	<b>57</b>
<b>Fig. 52: Yellow numbers example.....</b>	<b>58</b>
<b>Fig. 53: Game Background.....</b>	<b>58</b>
<b>Fig. 54: Piano.....</b>	<b>59</b>
<b>Fig. 55: Random Operation example 1.....</b>	<b>59</b>
<b>Fig. 56: Random Operation example 2.....</b>	<b>59</b>
<b>Fig. 57: Player interacting with the virtual piano.....</b>	<b>60</b>
<b>Fig. 58: Empty Score, level 1 &amp; Score at level 12.....</b>	<b>61</b>
<b>Fig. 59: Game's main menu.....</b>	<b>61</b>
<b>Fig. 60: Music Files.....</b>	<b>62</b>
<b>Fig. 61: Difficulty level example.....</b>	<b>62</b>
<b>Fig. 62: Low difficulty operation example.....</b>	<b>62</b>
<b>Fig. 63: High difficulty operation example.....</b>	<b>63</b>
<b>Fig. 64: Score bar almost full.....</b>	<b>63</b>



**INDICE DE TABLAS**

<b>TABLA 1: PLANTILLA CASOS DE USO .....</b>	<b>17</b>
<b>TABLA 2: CASO DE USO CU-01 .....</b>	<b>18</b>
<b>TABLA 3: CASO DE USO CU-02 .....</b>	<b>18</b>
<b>TABLA 4: CASO DE USO CU-03 .....</b>	<b>18</b>
<b>TABLA 5: CASO DE USO CU-04 .....</b>	<b>19</b>
<b>TABLA 6: CASO DE USO CU-05 .....</b>	<b>19</b>
<b>TABLA 7: PLANTILLA REQUISITOS .....</b>	<b>19</b>
<b>TABLA 8: REQUISITO FUNCIONAL CF-01.....</b>	<b>20</b>
<b>TABLA 9: REQUISITO FUNCIONAL CF-02.....</b>	<b>20</b>
<b>TABLA 10: REQUISITO FUNCIONAL CF-03.....</b>	<b>20</b>
<b>TABLA 11: REQUISITO FUNCIONAL CF-04.....</b>	<b>20</b>
<b>TABLA 12: REQUISITO FUNCIONAL CF-05.....</b>	<b>21</b>
<b>TABLA 13: REQUISITO FUNCIONAL CF-06.....</b>	<b>21</b>
<b>TABLA 14: REQUISITO FUNCIONAL CF-07.....</b>	<b>21</b>
<b>TABLA 15: REQUISITO FUNCIONAL CF-08.....</b>	<b>21</b>
<b>TABLA 16: REQUISITO FUNCIONAL CF-09.....</b>	<b>22</b>
<b>TABLA 17: REQUISITO FUNCIONAL CF-10.....</b>	<b>22</b>
<b>TABLA 18: REQUISITO FUNCIONAL CF-11.....</b>	<b>22</b>
<b>TABLA 19: REQUISITO NO FUNCIONAL CNF-01.....</b>	<b>22</b>
<b>TABLA 20: REQUISITO NO FUNCIONAL CNF-02.....</b>	<b>23</b>
<b>TABLA 21: REQUISITO NO FUNCIONAL CNF-03.....</b>	<b>23</b>
<b>TABLA 22: REQUISITO NO FUNCIONAL CNF-04.....</b>	<b>23</b>
<b>TABLA 23: REQUISITO NO FUNCIONAL CNF-05.....</b>	<b>23</b>
<b>TABLA 24: REQUISITO NO FUNCIONAL CNF-06.....</b>	<b>24</b>
<b>TABLA 25: MATRIZ DE TRAZABILIDAD .....</b>	<b>24</b>
<b>TABLA 26: OBSERVACIONES PRIMER EXPERIMENTO .....</b>	<b>34</b>
<b>TABLA 27: SOLUCIONES DEL PRIMER EXPERIMENTO .....</b>	<b>34</b>
<b>TABLA 28: TABLA DE COSTE DEL PERSONAL .....</b>	<b>38</b>
<b>TABLA 29: TABLA DE COSTE DEL MATERIAL .....</b>	<b>38</b>
<b>TABLA 30: TABLA DE COSTE DEL HARDWARE .....</b>	<b>39</b>
<b>TABLA 31: TABLA DE COSTE DEL SOFTWARE .....</b>	<b>39</b>
<b>TABLA 32: TABLA DE COSTES EXTRA .....</b>	<b>40</b>
<b>TABLA 33: TABLA DE COSTES TOTALES .....</b>	<b>40</b>



## 1. INTRODUCCIÓN

Los videojuegos son parte de un campo que de forma tradicional se ha considerado primariamente de carácter lúdico. Su habilidad de ofrecer una narrativa interactiva es algo que no ha sido posible obtener por otros artes existentes, más allá de intentos con los libros de “Elige tu propia aventura”, en la que el lector podía tomar diversas decisiones en determinados puntos del libro, que llevaban a diversas rutas y finales.

Sin embargo, este aspecto de entretenimiento no debe ser el ámbito primario de los videojuegos. Si bien ofrecen esa diversidad de elección por parte del jugador, otro aspecto en el que tienen ventaja por delante de sus congéneres es esa capacidad de ser interactivos, sirviendo por tanto a un aspecto educativo que el resto de los medios no pueden alcanzar. Pongamos por ejemplo una película educativa sobre las matemáticas, en la que se realizan operaciones como sumas y restas sencillas. Si bien el receptor, un niño o niña de poca edad, puede recibir estimulación didáctica de estos medios, no interactuará de ninguna forma directa con el mundo de la pantalla, y puede ser fácilmente distraído y perder la atención.

Un videojuego interactivo con el mismo propósito e idea en cambio requerirá del input directo del estudiante para avanzar. La falta de atención de este implicaría la no superación del material, y dependerá del mismo su finalización. Esta participación directa permite al estudiante formar parte de una actividad lúdica mientras que adquiere y desarrolla conocimientos educativos, muy necesarios en las primeras fases de su desarrollo.

El uso de Kinect, una herramienta capaz de reconocer el cuerpo humano, sus formas y movimientos, aporta además la capa de la movilidad física, un aspecto que es cada vez más en conciencia de la sociedad por los problemas de obesidad encontrados en los más jóvenes por la falta de ejercicio. Incorporando este utensilio es posible fomentar la combinar las matemáticas y la actividad física, dos campos que son generalmente considerados como independientes.

### 1.1. Motivación del Trabajo

Si bien las aplicaciones de este campo son evidentes y podrían aportar grandes ventajas al actual marco educativo internacional, la realidad es que son pocos los sistemas educativos que incorporen material didáctico de este carácter en sus rutinas. Al ser una tecnología nueva, es necesario un mayor desarrollo y crecimiento antes de ser posible que se incorporen de forma estandarizada.

Por tanto, es necesario ver el potencial que este campo puede tener en la materia educativa con aplicaciones prácticas y software desarrollado por expertos. Un mayor desarrollo de este campo permitirá su integración en todo tipo de rutinas educativas y fomentará el aprendizaje estando siempre al día con las últimas tecnologías.

Este proyecto es por tanto obra de este deseo de concienciar a los educadores de la necesidad de un mayor apoyo en los ámbitos tecnológicos que fomenten el desarrollo educativo de los más jóvenes.

## **1.2. Relevancia**

La implementación de este trabajo permitirá en primer lugar tener una base de un videojuego educativo que podrá ser desarrollado y extendido a todo tipo de asignaturas educativas, para así fomentar no solo el campo de las matemáticas sino también de otras áreas académicas.

La base del juego de matemáticas podrá por tanto desarrollarse y hacer otros de geografía, lengua, idiomas, música o artes, los cuales implican el input del usuario objetivo (un niño de entre 8 a 10 años) por medio de sus movimientos físicos para seleccionar respuestas a las preguntas que se plantearán.

En última instancia, el logro de este juego servirá también de concienciación para demostrar la utilidad de estos medios en la enseñanza didáctica, y fomentarán una mayor investigación e interés en estos campos para el futuro.

## **1.3. Objetivo**

El principal objetivo de este proyecto será desarrollar un videojuego que plantea problemas matemáticos de operaciones de suma sencillas, enfocadas a un público de 1º de primaria. Los problemas se aleatorizarán y se plantearán de forma consecutiva, y el jugador tendrá que solucionar la ecuación por medio de su movimiento físico, seleccionando en un teclado de opciones numéricas el resultado correcto.

En caso de pulsar el botón adecuado, aumentará una barra de puntuación que reflejará al jugador lo que queda para completar el nivel. De forma desconocida al mismo, dicha puntuación afectará a la complejidad de los problemas planteados. Una respuesta errónea resultará en un sonido de fallo y la puntuación reduciéndose en un número, evitando así que el jugador pulse respuestas de forma aleatoria hasta acertar. Cuando el juego finalice sonará una música de victoria que indicará al jugador la compleción de la partida.

## **1.4. Antecedentes**

Si bien existen videojuegos de carácter educativo que han buscado una similar aproximación a fomentar el desarrollo intelectual y matemático, los grandes integrantes han sido principalmente de carácter comercial. Los videojuegos escolares rara vez han alcanzado un nivel reconocible en el público común.

Hay diversos análisis clínicos que se realizaron con el propósito de investigar la correlación entre la realidad virtual y el desarrollo físico de los niños con antecedentes

recesivos [1]. Estos analizaban el movimiento físico de estos infantes, su capacidad de respuesta en relación con dichos juegos educativos, y la ayuda en rehabilitación de extremidades dañadas en la infancia. [2]

La proposición de este proyecto, la cual combina el uso de Kinect con dicho videojuego es en cambio insólita, pues no existen más allá de pequeños juegos independientes que jueguen con esta integración del software de reconocimiento de movimiento en un entorno educativo y no lúdico enfocado exclusivamente al desarrollo matemático.

### **1.5. Estructura**

A continuación, se detallarán los apartados restantes del documento del proyecto de fin de grado:

#### *1- Estado del arte*

Explicación de los materiales y herramientas sobre las que se ha realizado el proyecto, tanto en el ambiente de los videojuegos como de los motores de videojuegos y software usado.

#### *2- Especificaciones*

En este apartado se detallarán los casos de uso que se implementarán en el producto final, así como los requisitos que se precisan.

#### *3- Diseño e implementación*

Sección en la que se hará un análisis y explicación de los pasos realizados desde la proposición del proyecto hasta su finalización técnica, pasando por cada una de las secciones independientes que en conjunto forman el videojuego.

#### *4- Conclusiones y desarrollo*

Conclusiones llegadas tras la finalización del trabajo, y posibilidades de este de ser desarrollado más en un futuro.

#### *5- Presupuesto*

Estimaciones realizadas del coste requerido para la realización del trabajo.

6- *Entorno socioeconómico*

Aspectos relativos al impacto del proyecto a escala socioeconómica, sus entornos y futuros impactos.

7- *Bibliografía*

Conjunto de referencias utilizadas en el texto

8- *Anexos*

Información independiente del proyecto. tutoriales realizados previamente al desarrollo de este, glosario, y documentación en inglés

## 2. ESTADO DEL ARTE

En este apartado, los lectores del documento recibirán información relativa a los términos y elementos del proyecto, para favorecer la lectura y el correcto entendimiento de este.

### 2.1. Materia educativa

Según los objetivos asentados por las diversas comunidades autónomas españolas, la educación primaria es la fase del desarrollo en la que se han de potenciar competencias orientadas al aprendizaje de figuras y formas matemáticas, operaciones y problemas sencillos. [3].

Los expertos están de acuerdo en que es a partir de los 6 años cuando los niños son capaces de comprender y agrupar números, toman conciencia de estos y comprenden el proceso de suma y resta. [4]

Es por tanto esta fase de su infancia, entrada la primaria, en donde se deben potenciar y fomentar los ejercicios relativos a las operaciones más simples, y donde se debe impulsar en el alumno un deseo por la repetición y la experimentación con operaciones, para acostumbrarse a ellas.

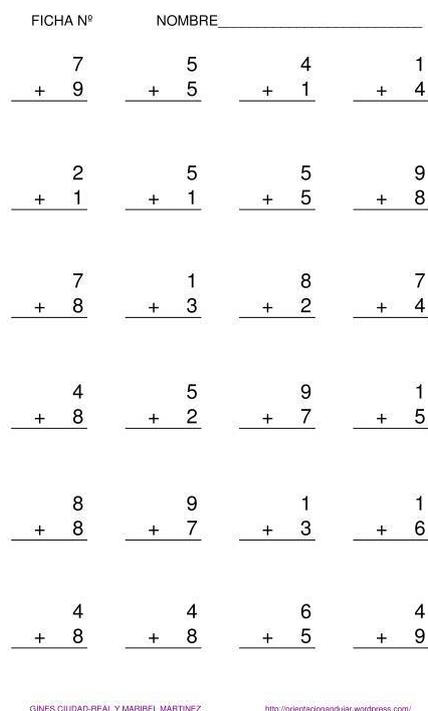


Fig. 1. Foto de operaciones simples [5]

## 2.2. Aprendizaje por kinestesia

Existen diversos tipos de aprendizaje a través de nuestros sentidos. El aprendizaje visual, auditivo y el kinestésico son algunos de los más dominantes, tomando forma a través de los ojos, oídos, y el movimiento. La mecanografía es por ejemplo un tipo de aprendizaje kinestésico al que cada vez se le da más importancia en los centros educativos, pues demuestra que, si bien es un aprendizaje que puede parecer más lento que los tradicionales, se ha observado que puede ser más duradero e impecadero en la mente del estudiante [6].

Se ha visto que el aprendizaje kinestésico es especialmente útil en aquellos niños con algún trastorno de hiperactividad, pues la capacidad de involucración es mayor que en otros tipos de ejercicios más comunes [7]. Este tipo de análisis nos permitirían descubrir por qué algunos niños son capaces de desarrollarse y aprender a ritmos diferentes de sus compañeros, ya que su máxima capacidad de desarrollo se encuentra a través de estos medios.



Fig. 2. Niños en clases de manualidades (aprendizaje por kinestesia) [8]

La taxonomía de Bloom determina la capacidad de adquirir nuevos conocimientos en un proceso de aprendizaje, tras completar las habilidades requeridas por el mismo. En dicha taxonomía, una de las bases piramidales de su funcionamiento es la capacidad de comprensión y aplicación de las materias aprendidas. Podemos por tanto mencionar el cómo el aprendizaje kinestésico cuenta con grandes ventajas con respecto al resto de métodos, pues tiene un mayor nivel de aplicación e implicación que ningún otro modo posee.



Fig. 3. Adaptación de la taxonomía de Bloom [9]

### 2.3. Grupo Kinems

Dentro de los mejores ejemplos de aprendizaje puramente por kinestesia se encuentra el grupo Kinems. Kinems es una asociación enfocada al desarrollo de la infancia por puro aprendizaje basado en el movimiento. El grupo Kinems posee diversos portales educativos y artículos de investigación que les avala en su búsqueda de un nuevo medio de aprendizaje dinámico enfocado en los estudiantes con problemas motores [10]. El grupo Kinems ha desarrollado multitud de aplicaciones y programas centrados en el uso del software Kinect para monitorizar este tipo de actividades [11], con asociaciones con compañías de alta talla a nivel mundial como Microsoft, o la Universidad PACE [12]

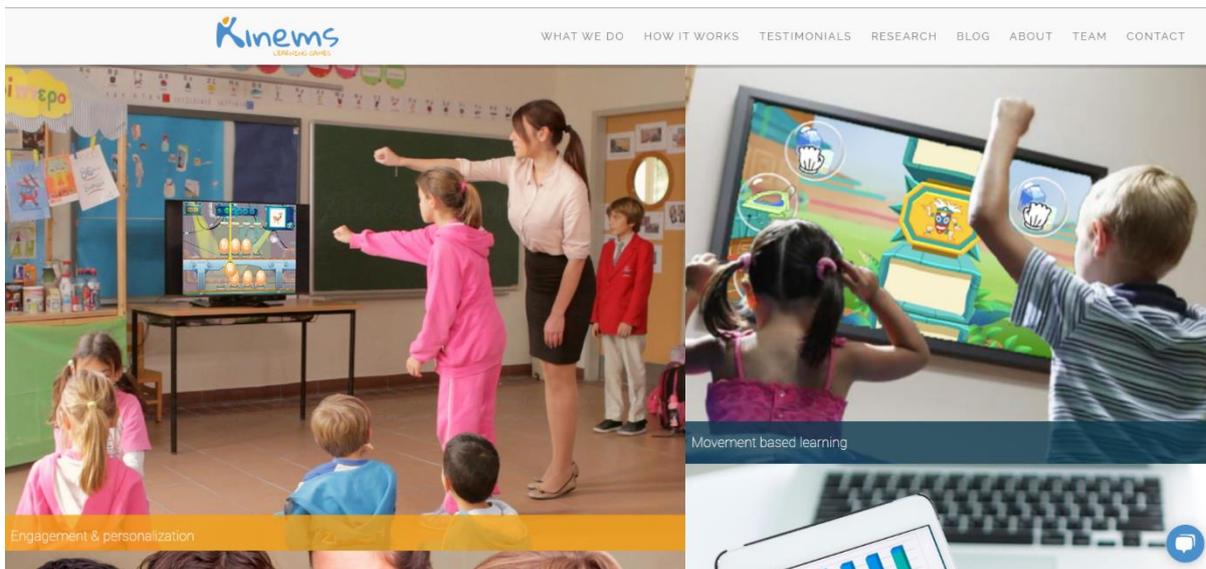


Fig. 4. Portal web del grupo Kinems [13]

El grupo Kinems ha centrado sus esfuerzos en realizar videojuegos interactivos para aquellos niños cuyas dificultades les ocasionan problemas en los métodos de aprendizaje tradicionales. Un ejemplo de estos juegos es el juego de reciclaje elaborado en la Universidad de Noruega de Ciencia y Tecnología de Trondheim, el cuál enseñaba a reciclar con simples gestos simulados por el estudiante.

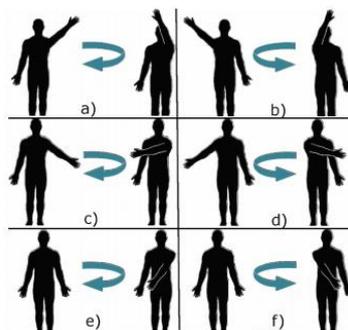


Fig. 5. Gestos de reconocimiento de Reciclaje con Kinect del grupo Kinems [14]

En dichos juegos se situaba al estudiante delante de una cámara con lector de movimiento, y una pantalla que mostrará la interfaz con la que interactuar. El dispositivo Kinect estará conectado a un ordenador cercano habilitado por el tutor. En este tipo de juegos es fácil no solo obtener la información relativa a la finalización del juego, sino que también es posible grabar la interacción directa del alumno durante el desarrollo del juego, algo que no es tan posible con otros medios de aprendizaje.

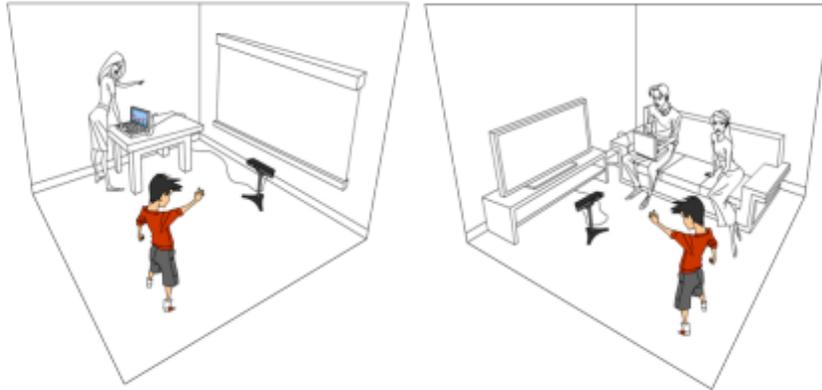


Fig. 6. Diagrama de juego con Kinect habilitado [15]

A su vez, se han realizado juegos centrados en el aprendizaje matemático, por medio de operaciones aritméticas sencillas. Este tipo de juegos constarán la base de este proyecto.



Fig. 7. Juego Kinems Mathloons de aprendizaje matemático [16]

Otros juegos mencionables son los aplicados a la música y arte, una disciplina también muy viable en el uso de aprendizaje kinestésico como vía de enseñanza. Si bien este tipo de juegos están más allá del rango de este proyecto, sus bases se combinarán con la aritmética para ofrecer una interfaz y experiencia más enriquecedora.



Fig. 8. Juego Kinems Melody Tree [17]

El grupo Kinems es por tanto un referente tanto por sus variadas investigaciones en el potencial que posee el movimiento en las plataformas de aprendizaje [18] como en el uso del mismo en el desarrollo de habilidades cognitivas [19]

#### 2.4. Grupo Aloha de aritmética mental

El grupo Aloha es una franquicia enfocada a la impartición de aritmética mental que ofrece su servicio en centros especializados en toda España [20]. Con el apoyo de la sociedad Española de Pedagogía [21], el grupo Aloha busca mantener el cerebro de los niños activo, entrenando por medio de ejercicios su capacidad de memorización, razonamiento, y resolución de problemas de forma creativa. Un programa dirigido a niños de 5 a 13 años [22], Aloha se centra en el uso de juegos didácticos y el cálculo por medio de ábacos para fomentar métodos alternativos de aprendizaje para aquellos niños con necesidades especiales o problemas motrices.

En las clases Aloha, los niños utilizan aprendizaje por kinestesia para realizar operaciones matemáticas complejas, de hasta 2 y 3 dígitos, con simples patrones memorizados que les ayudan a realizar las operaciones de forma más rápida que un niño de la misma edad haría en papel y medios tradicionales [23].



Fig. 9: Alumno del sistema Aloha realizando operaciones matemáticas [24]

Lo que pueden parecer operaciones complejas para la edad de los estudiantes del sistema Aloha, son resueltas con ayuda de reglas nemotécnicas aprendidas en los diferentes cursos del grupo Aloha, los cuales ponen en práctica las diferentes técnicas del aprendizaje por kinestesia.



Fig. 10: Alumno del sistema Aloha utilizando un ábaco [25]

## 2.5. Unity

Unity es la herramienta de desarrollo de videojuegos multiplataforma más conocida y accesible en el mercado. En Unity es posible crear entornos tridimensionales o bidimensionales por medio de assets con licencia, o generados por el propio usuario. Su gran accesibilidad permite realizar un gran número de tareas sin implementación de código.

El motor Unity fue presentado para la plataforma Apple en el año 2005. Su evolución a lo largo de los años ha permitido un entorno multiplataforma que se usa tanto por estudiantes sin licenciatura, como por grandes compañías de los sectores del entretenimiento.

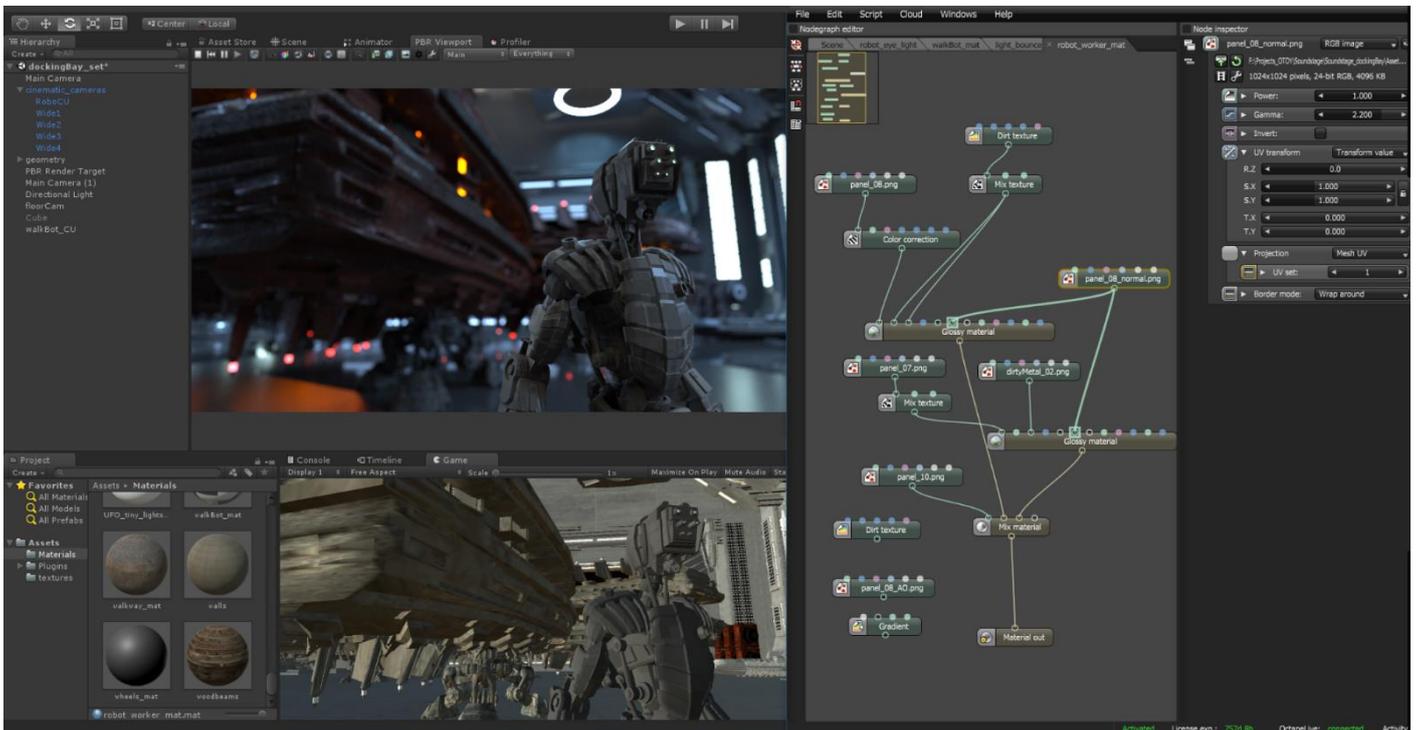


Fig. 11: Captura del desarrollo de una escena en Unity [26]

## 2.6. Lenguajes de programación

En el desarrollo de videojuegos existen dos principales lenguajes de programación utilizados de forma estándar.

- C#: El lenguaje estándar en todo medio de desarrollo de videojuegos. C# es el lenguaje de programación de Unity, y por tanto el más accesible y versátil para el desarrollo multiplataforma.
- JavaScript: Usado en menor medida tras la popularización de Unity, JavaScript es conocido por ser el lenguaje de preferencia para todo tipo de videojuegos indie, y sigue siendo el lenguaje de mayor importancia para desarrollo móvil.

## 2.7. Kinect

Los dispositivos Kinect son un conjunto de herramientas desarrollados por Microsoft en el año 2010, y lanzado como un complemento para las consolas de la marca Xbox 360. Capaces de captura de movimiento, Kinect fue lanzado como una alternativa a los mandos tradicionales, con capacidad de reconocer comandos de voz y gestos simples. Capaces de permitir al jugador interactuar con interfaces particulares, diversas versiones fueron lanzadas al mercado entre 2010 y 2017, fecha límite en la que Microsoft anunció el fin de la línea de productos Kinect



Fig. 12: Dispositivo Kinect de captura de movimiento [27]

Descontinuados de su propósito original, la línea Kinect ha sido utilizada en el desarrollo de software y aplicaciones de reconocimiento de movimiento. En colaboración con la NASA y la Universidad del Estado de Michigan [28], el servicio Vitruvius posee un software con licencia de reconocimiento kinestésico extremadamente versátil y útil en la herramienta Unity.

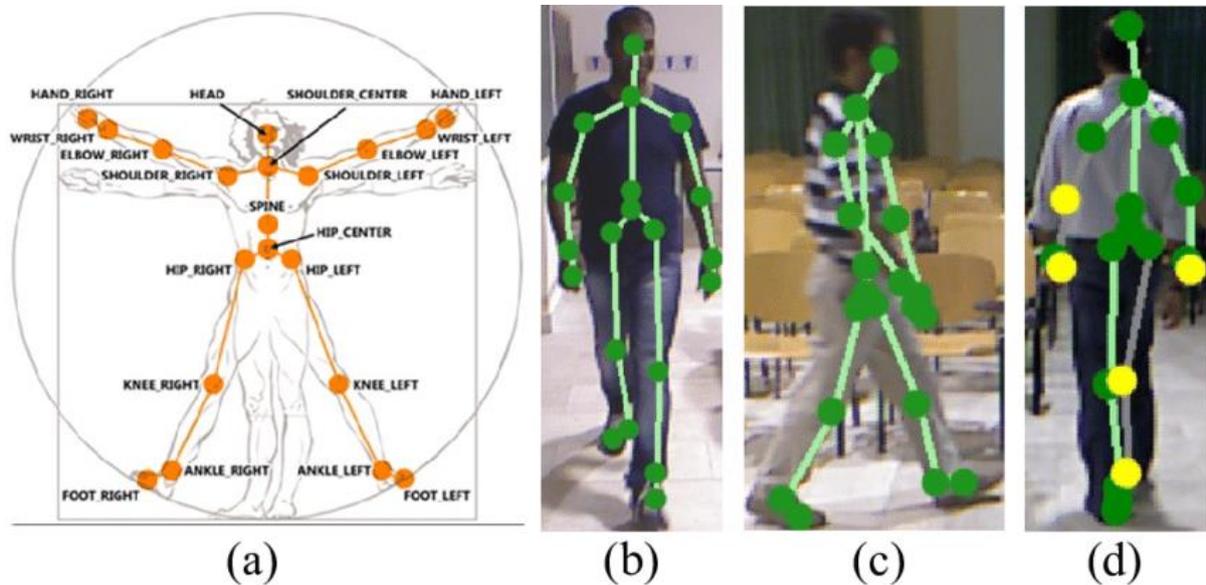


Fig. 13: Reconocimiento por medio de Vitruvius del cuerpo humano [29]

Por medio de Vitruvius es posible identificar el movimiento de las diferentes extremidades del cuerpo humano por medio de un conjunto de fórmulas y cálculos matemáticos relativos a los ángulos y la separación entre los diferentes 20 puntos esqueleto que conforman el sistema. Con simple integración en Unity, la utilidad de Vitruvius en el desarrollo de software de captura de movimiento es inigualable entre sus competidores.

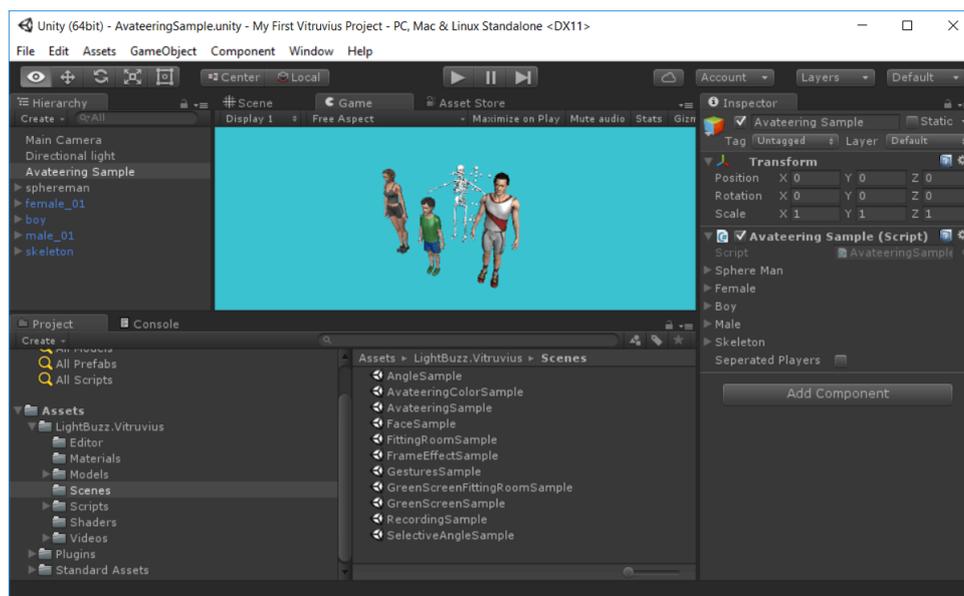


Fig. 14: Integración de Vitruvius en Unity [30]

## 2.8. Videojuegos

El sector de los videojuegos ha alcanzado una importancia mayor que otros medios artísticos mucho más antiguos. Los primeros videojuegos empezaron a producirse a principios de los años 50, en ordenadores arcaicos que realizaban simulaciones matemáticas que difícilmente podrían considerarse videojuegos hoy en día. Fue a partir del surgimiento de los medios arcade, grandes máquinas instaladas en locales de comerciales y de ocio, que consumían monedas por cada partida jugada, en donde se empezó a comercializar con esta idea. Uno de los primeros juegos es el ya conocido Pong, manufacturado por la compañía Atari en el año 1972 [31].

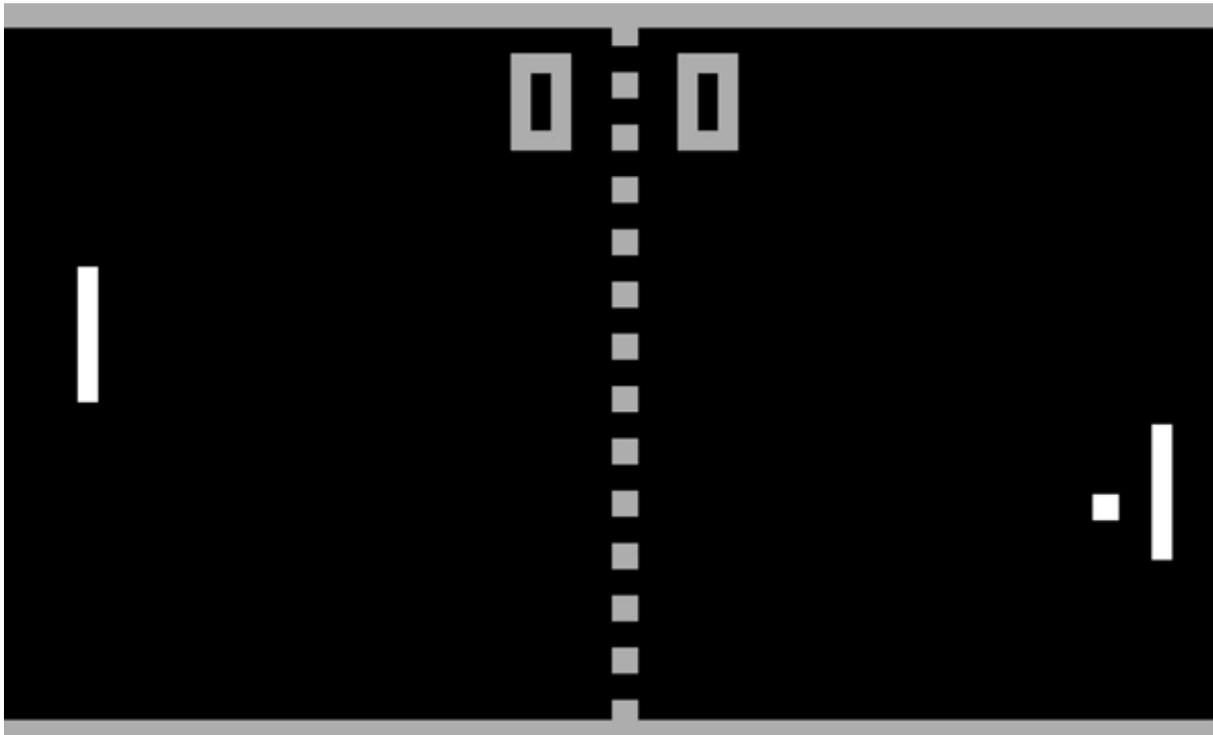


Fig. 15: Pantalla de Pong [32]

El dinero que movía la industria en sus primeros pasos motivó a las grandes empresas en que esta era una industria con futuro, y comenzaron a impulsar grandes avances tecnológicos. Los videojuegos, orientados en un principio a niños varones menores de edad [33], eran fáciles de jugar y difíciles de completar, para fomentar que los jugadores gastasen el mayor número posible de monedas en ellos.

El desarrollo de las consolas de microprocesadores introdujo los videojuegos en el mercado doméstico y en los hogares, donde alcanzaron el conocimiento popular a través de las consolas de 8-bits. La compañía japonesa Nintendo comenzó el desarrollo de diversos juegos que se acabarían convirtiendo en la marca de la industria, comenzando con el lanzamiento de Super Mario Bros en 1985. Condensado en un cartucho ROM, el personaje homónimo estaba

contenido en un videojuego de únicamente 256 x 224 píxeles, lo que era considerado un avance extraordinario en la época

Considerado un éxito comercial, Super Mario Bros ha sido un icono de la industria de forma continuada hasta el día de hoy, moviendo grandes sumas de dinero e instaurándose en la cultura popular.



Fig. 16: Super Mario Bros [34]

Sin embargo, en la misma época en la que las consolas fueron introducidas al mercado, sucedió el evento que a día de hoy se conoce como “*La crisis del videojuego de 1983*” [35], en la que un gran número de industrias relacionadas con el mercado se encontraron en la bancarrota, y se puso en cuestión la viabilidad del mercado de los videojuegos.

Hay diversas de opiniones respecto a la razón del casi efectivo colapso de la industria, con el juego licenciado de E.T. el Extra-Terrestre considerado como uno de los mayores representantes del estado de la industria en esos años. Dicho juego fue dejado al cargo del programador y diseñador Howard Scott Warshaw [36], al cual se le dio un tiempo muy reducido para llevar a cabo el desarrollo del proyecto. Debido a la falta de experiencia por parte de las compañías, y la presión de los inversores por finalizar un producto en un tiempo récord, el juego salió al mercado en un estado inacabado.



Fig. 17: E.T. The Game [37]

Hoy en día, los grandes avances en la industria tanto a nivel tecnológico como en materias de desarrollo han permitido avances en todos los campos del sector, instaurando los videojuegos como uno de los sectores que más dinero mueve al año a escala global, y afianzando su uso en otros sectores como el educativo y el social, permitiendo su integración en las escuelas y su conectividad a nivel global por medio de internet, con los MMO (Masive Multiplayer Online game) y MMORPG (Masive Multiplayer Online Rol Playing Game), juegos de carácter social con conectividad global en servidores con capacidad para centenares de jugadores simultáneos.



Fig. 18: Equipo de 8 jugadores internacionales jugando a Final Fantasy XIV online

### 2.8.1. Videojuegos educativos

Orientados al aprendizaje y a la enseñanza, la introducción de videojuegos en las aulas es un nuevo sector en auge con cada vez más importancia. La posibilidad de implementar ejercicio con una interacción directa del estudiante, especialmente en los medios de aprendizaje kinestésico, suma una motivación extra para el estudiante.

Con el objetivo de hacer dichos juegos atractivos, se busca crear interfaces y mecánicas atractivos a los sentidos, así como juegos orientados al público infantil. Es importante retener la atención de los estudiantes más pequeños y evitar distracciones de la tarea a realizar, y la capacidad de los juegos de mantener al usuario activo y atento es una gran ventaja con respecto a otros métodos de enseñanza.



Fig. 19: Juego matemático desarrollado por Mundo Primaria [38]

Los juegos educativos no han sido desarrollados pensando únicamente en los más jóvenes, existen multitud de juegos de carácter lectivo y de entrenamiento de habilidades aritméticas desarrollados por diversas compañías de la industria.

En el año 2005, la compañía Nintendo lanzó al mercado en su consola portátil Nintendo DS el videojuego “*Brain Training*”. Desarrollado para un público para todas las edades, los diferentes puzzles y niveles que ponían a prueba la agilidad mental, asociativa y aritmética ganó diversos premios tras su salida, y se convirtió en un referente del medio [39]. Este tipo de juegos han tomado más relevancia con los avances tecnológicos en materia de reconocimiento de movimiento, pues la capacidad de combinar el entrenamiento físico y mental forma un terreno con grandes prospectos.

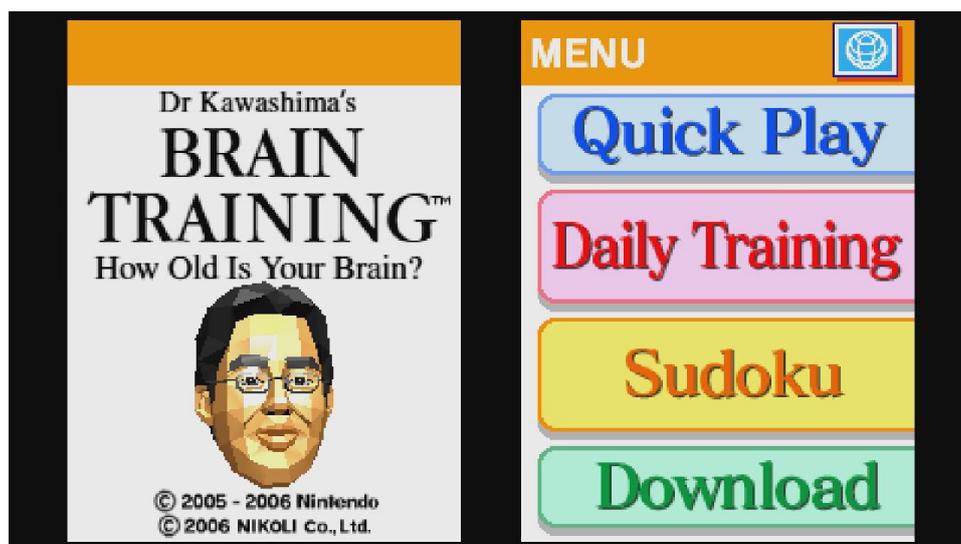


Fig. 20: Menú principal de Brain Training (2005) [40]

### 3. ESPECIFICACIONES

En esta sección se detallarán los casos de uso a implementar en el juego, los requisitos tanto funcionales como no funcionales que tendrá este, y la matriz de trazabilidad que relacionará ambos.

#### 3.1. Casos de uso

Los casos son las diferentes acciones que pueden darse entre el actor o actores y el sistema. En el caso de este proyecto, el actor es únicamente el jugador en todo momento. En el siguiente diagrama se pueden ver los distintos casos de uso del videojuego:

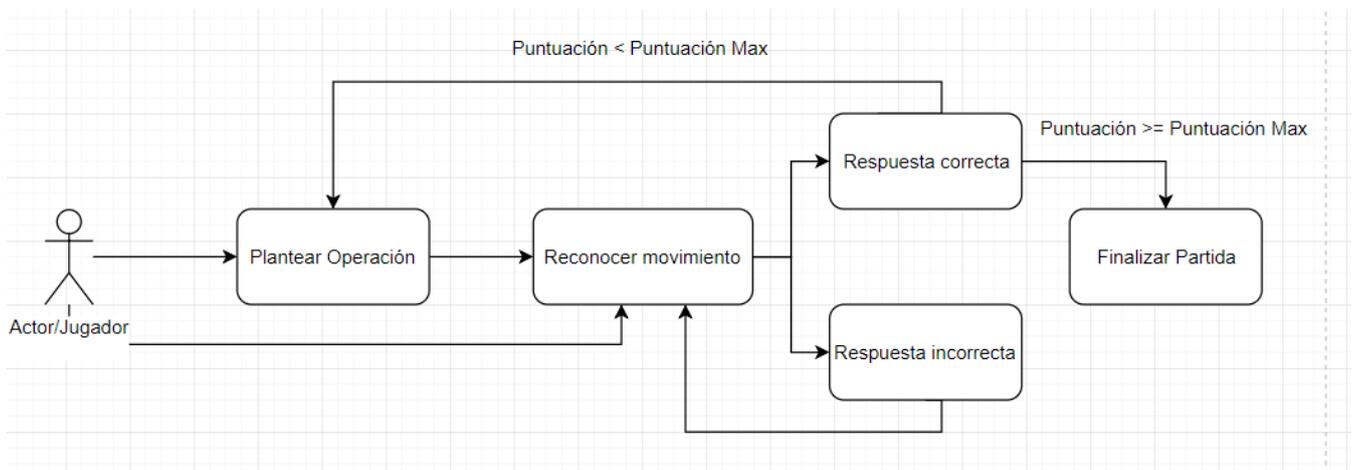


Fig. 21: Diagrama Casos de Uso

La siguiente plantilla define los posibles Casos de Uso:

TABLA 1: PLANTILLA CASOS DE USO

Identificador	CU-XX
Caso de Uso	El nombre del caso de uso
Objetivo	La acción que el actor (jugador) desea realizar
Precondiciones	Condiciones previas para que la acción se lleve a cabo
Postcondiciones	Condiciones tras realizarse la acción
Condiciones de fallo	Posibles causas de un fallo del sistema, en el caso de existir

En las siguientes tablas se registrarán los Casos de Uso del proyecto:

TABLA 2: CASO DE USO CU-01

<b>Identificador</b>	CU-01
<b>Caso de Uso</b>	El jugador recibe la información de la nueva operación matemática a resolver
<b>Objetivo</b>	El jugador visualiza la operación de forma clara
<b>Precondiciones</b>	El juego comienza, o la anterior operación ha sido resuelta
<b>Postcondiciones</b>	El jugador tiene la opción de moverse y resolver el problema
<b>Condiciones de fallo</b>	La partida ha finalizado al alcanzar la puntuación requerida

TABLA 3: CASO DE USO CU-02

<b>Identificador</b>	CU-02
<b>Caso de Uso</b>	El jugador mueve sus extremidades, y este gesto es reconocido por el software Vitruvius
<b>Objetivo</b>	Vitruvius reconoce el movimiento del actor, el cuál es clave para la introducción de comandos en la partida
<b>Precondiciones</b>	El juego ha comenzado
<b>Postcondiciones</b>	Los movimientos reconocidos por Vitruvius aceptarán respuestas correctas y erróneas
<b>Condiciones de fallo</b>	El actor no está en el encuadre, realiza movimientos muy bruscos o rápidos

TABLA 4: CASO DE USO CU-03

<b>Identificador</b>	CU-03
<b>Caso de Uso</b>	El jugador pulsa un botón del piano, resultante en la respuesta correcta
<b>Objetivo</b>	El jugador busca responder de forma correcta a la operación planteada
<b>Precondiciones</b>	Una pregunta matemática ha sido planteada, Vitruvius reconoce los movimientos del jugador
<b>Postcondiciones</b>	La respuesta correcta es aceptada, la puntuación sube, una nueva pregunta matemática es planteada
<b>Condiciones de fallo</b>	No se pulsa una respuesta correcta sino una errónea

TABLA 5: CASO DE USO CU-04

<b>Identificador</b>	CU-04
<b>Caso de Uso</b>	El jugador pulsa un botón del piano, resultante en una respuesta errónea
<b>Objetivo</b>	El jugador se ha equivocado o ha pulsado un botón erróneo intencionadamente
<b>Precondiciones</b>	Una pregunta matemática ha sido planteada, Vitruvius reconoce los movimientos del jugador
<b>Postcondiciones</b>	La respuesta errónea es tomada, la puntuación desciende, una indicación del error se reproduce de forma auditiva
<b>Condiciones de fallo</b>	No se pulsa una respuesta errónea sino una correcta

TABLA 6: CASO DE USO CU-05

<b>Identificador</b>	CU-05
<b>Caso de Uso</b>	La partida finaliza al alcanzarse la puntuación máxima
<b>Objetivo</b>	La partida ha finalizado tras introducirse un número de respuestas correctas que suben la puntuación hasta el máx.
<b>Precondiciones</b>	La puntuación máxima ha sido alcanzada en la última pregunta
<b>Postcondiciones</b>	Se reproduce una música de victoria, el juego termina, se da la opción de comenzar una nueva partida
<b>Condiciones de fallo</b>	Ninguna, si la condición del caso de uso se cumple, la partida finalizará excepto en caso de error interno.

### 3.2. Requisitos

Para poder implementar estos Casos de Uso, será necesario establecer los requisitos del sistema. Dichos requisitos se dividen en dos categorías: Funcionales (aspectos no visibles por el usuario que implican una relación directa con el comportamiento funcional del sistema), y No Funcionales (Relativos a las propiedades del sistema como su rendimiento, disponibilidad, etc.). La siguiente plantilla establece la distribución de los diferentes Requisitos:

TABLA 7: PLANTILLA REQUISITOS

<b>Identificador</b>	CF/CNF-XX
<b>Nombre</b>	Descripción del requisito.
<b>Prioridad</b>	Nivel de relevancia (Bajo-Normal-Alto-Esencial)
<b>Verificabilidad</b>	Capacidad de verificar la existencia del requisito (Baja-Alta)
<b>Descripción</b>	Descripción detallada del requisito.

### 3.2.1. Funcionales

TABLA 8: REQUISITO FUNCIONAL CF-01

<b>Identificador</b>	CF-01
<b>Nombre</b>	Botón de intro al juego
<b>Prioridad</b>	Alto
<b>Verificabilidad</b>	Alta
<b>Descripción</b>	Ha de existir un botón que dé comienzo al juego, y haga aparecer la puntuación obtenida, el piano interactivo, y la primera operación matemática a resolver.

TABLA 9: REQUISITO FUNCIONAL CF-02

<b>Identificador</b>	CF-02
<b>Nombre</b>	Integración Vitruvius
<b>Prioridad</b>	Esencial
<b>Verificabilidad</b>	Alta
<b>Descripción</b>	Las librerías Vitruvius han de ser correctamente integradas en el programa, y han de reconocer a la perfección el movimiento y gesticulación del jugador.

TABLA 10: REQUISITO FUNCIONAL CF-03

<b>Identificador</b>	CF-03
<b>Nombre</b>	Creación del teclado-interfaz
<b>Prioridad</b>	Esencial
<b>Verificabilidad</b>	Alta
<b>Descripción</b>	Se ha de crear una interfaz con forma visual de un teclado de piano, con un total de 9 teclas blancas, y una simulación de teclas negras al estilo de un piano real.

TABLA 11: REQUISITO FUNCIONAL CF-04

<b>Identificador</b>	CF-04
<b>Nombre</b>	Creación pulsación en teclado
<b>Prioridad</b>	Esencial
<b>Verificabilidad</b>	Alta
<b>Descripción</b>	El teclado ha de tener interacción con la herramienta Vitruvius, de tal modo que si la mano izquierda o derecha pulsan una tecla, esta es reconocida como pulsada por el sistema.

TABLA 12: REQUISITO FUNCIONAL CF-05

<b>Identificador</b>	CF-05
<b>Nombre</b>	Generación operaciones
<b>Prioridad</b>	Esencial
<b>Verificabilidad</b>	Alta
<b>Descripción</b>	Se ha de generar una operación matemática pseudoaleatoria de adición, descompuesta en la suma de dos números. Uno de esos números será ocultado, y deberá ser introducido por medio del teclado y la conexión con Vitruvius.

TABLA 13: REQUISITO FUNCIONAL CF-06

<b>Identificador</b>	CF-06
<b>Nombre</b>	Generación de notas musicales con el teclado
<b>Prioridad</b>	Normal
<b>Verificabilidad</b>	Alta
<b>Descripción</b>	Las 9 teclas de piano blancas reproducirán un sonido en la escala Do-Re-Mi-Fa-Sol-La-Si-Do (Agudo)-Re (Agudo) al ser interactuadas con la herramienta Vitruvius.

TABLA 14: REQUISITO FUNCIONAL CF-07

<b>Identificador</b>	CF-07
<b>Nombre</b>	Asignación teclado a números
<b>Prioridad</b>	Normal
<b>Verificabilidad</b>	Alta
<b>Descripción</b>	Cada una de las 9 teclas tendrán un número del 1 al 9 asignado y visible en la interfaz.

TABLA 15: REQUISITO FUNCIONAL CF-08

<b>Identificador</b>	CF-08
<b>Nombre</b>	Asignación números reconocibles
<b>Prioridad</b>	Esencial
<b>Verificabilidad</b>	Baja
<b>Descripción</b>	Cada una de las 9 teclas mandarán al sistema una señal con el número asignado a la tecla en el caso de ser interactuadas, estas señales se podrán tomar como correctas o erróneas en el juego matemático.

TABLA 16: REQUISITO FUNCIONAL CF-09

<b>Identificador</b>	CF-09
<b>Nombre</b>	Reconocimiento Respuesta correcta
<b>Prioridad</b>	Esencial
<b>Verificabilidad</b>	Baja
<b>Descripción</b>	Tras recibir en el sistema una señal de un número, enviado por la pulsación de una tecla blanca asignada a ese número, se analizará su veracidad en la respuesta. En caso de ser el número correcto, la puntuación actual se incrementará en un valor asignado y se reiniciará el problema a uno nuevo.

TABLA 17: REQUISITO FUNCIONAL CF-10

<b>Identificador</b>	CF-10
<b>Nombre</b>	Reconocimiento Respuesta Errónea
<b>Prioridad</b>	Esencial
<b>Verificabilidad</b>	Baja
<b>Descripción</b>	Tras recibir en el sistema una señal de un número, enviado por la pulsación de una tecla blanca asignada a ese número, se analizará su veracidad en la respuesta. En caso de no ser el número correcto, la puntuación actual se decrementará en un valor asignado y sonará un sonido de error.

TABLA 18: REQUISITO FUNCIONAL CF-11

<b>Identificador</b>	CF-11
<b>Nombre</b>	Finalización Partida Puntuación Máxima
<b>Prioridad</b>	Alta
<b>Verificabilidad</b>	Baja
<b>Descripción</b>	En el caso de alcanzarse la puntuación máxima, el juego terminará y sonará una canción de victoria. El sistema volverá a la pantalla original de comenzar una partida

### 3.2.2. No funcionales

TABLA 19: REQUISITO NO FUNCIONAL CNF-01

<b>Identificador</b>	CNF-01
<b>Nombre</b>	Implementación en C#
<b>Prioridad</b>	Esencial
<b>Verificabilidad</b>	Baja
<b>Descripción</b>	El proyecto será implementado en lenguaje de programación C#, compatible con Unity.

TABLA 20: REQUISITO NO FUNCIONAL CNF-02

<b>Identificador</b>	CNF-02
<b>Nombre</b>	Sistema de Pulsación Mantenido
<b>Prioridad</b>	Esencial
<b>Verificabilidad</b>	Alta
<b>Descripción</b>	El sistema de reconocimiento por Vitruvius ha de reconocer la pulsación de una tecla solo una vez en el instante en el que las extremidades entran en contacto con la tecla. Más de una pulsación traería que la solución correcta o incorrecta se tomara múltiples veces de forma seguida, impidiendo la jugabilidad normal del juego.

TABLA 21: REQUISITO NO FUNCIONAL CNF-03

<b>Identificador</b>	CNF-03
<b>Nombre</b>	Operaciones reiniciarse en menos de 100ms
<b>Prioridad</b>	Alta
<b>Verificabilidad</b>	Baja
<b>Descripción</b>	Tras una pulsación correcta, la operación ha de actualizarse en menos de 100ms, para prevenir una constante pausa en el juego.

TABLA 22: REQUISITO NO FUNCIONAL CNF-04

<b>Identificador</b>	CNF-04
<b>Nombre</b>	Input Respuestas inferior a 60ms
<b>Prioridad</b>	Alta
<b>Verificabilidad</b>	Baja
<b>Descripción</b>	La pulsación de teclas ha de registrarse en un tiempo de respuesta inferior a 60ms, para prevenir la pulsación de múltiples teclas en un breve periodo de tiempo.

TABLA 23: REQUISITO NO FUNCIONAL CNF-05

<b>Identificador</b>	CNF-05
<b>Nombre</b>	Portabilidad multisistema
<b>Prioridad</b>	Baja
<b>Verificabilidad</b>	Baja
<b>Descripción</b>	El juego generado ha de ser jugable en los sistemas operativos Windows y Linux.

TABLA 24: REQUISITO NO FUNCIONAL CNF-06

<b>Identificador</b>	CNF-06
<b>Nombre</b>	Reconocimiento Kinect
<b>Prioridad</b>	Esencial
<b>Verificabilidad</b>	Alta
<b>Descripción</b>	El sistema ha de ser compatible con el sistema Kinect, el cual debe reconocer correctamente los movimientos del jugador.

### 3.3. Matriz de trazabilidad

La matriz de trazabilidad asignará la relación entre los Casos de Uso y los Requisitos Funcionales establecidos:

TABLA 25: MATRIZ DE TRAZABILIDAD

	CU-01	CU-02	CU-03	CU-04	CU-05
CF-01	X	X			
CF-02	X	X	X	X	X
CF-03			X	X	
CF-04		X	X	X	
CF-05	X		X	X	
CF-06		X	X		
CF-07			X	X	
CF-08			X	X	
CF-09		X	X		
CF-10		X		X	
CF-11					X

## 4. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

Tras realizarse un análisis de los casos de uso y requerimientos planteados, se estableció la decisión de implementar el proyecto como un videojuego capaz de reconocer el movimiento del jugador, y permitir que este interactúe con una interfaz virtual.

### 4.1. Lenguaje de programación

Para la implementación del proyecto propuesto se utilizó el motor Unity, el cual cuenta con una implementación en C#. Este lenguaje de programación fue elegido por su versatilidad en el desarrollo de videojuegos y por ser uno de los más utilizados en esta industria. Los scripts generados en Unity en lenguaje C# son asignados a un objeto particular de la escena, a través de los cuales se pondrá en funcionamiento los algoritmos implementados.

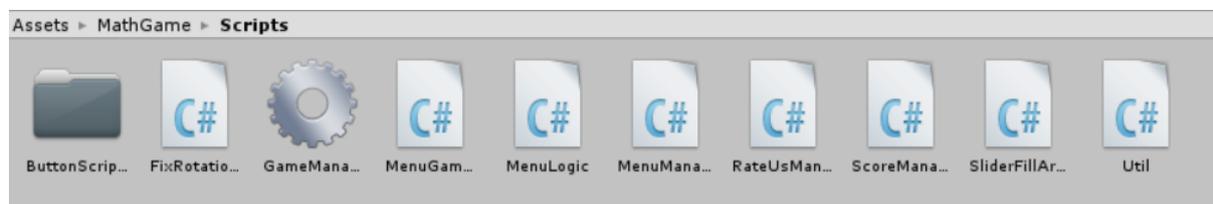


Fig. 22: Scripts de C# en Unity

### 4.2. Interacción

Para realizar una interacción juego-usuario, el sistema Vitruvius ha de reconocer por medio de la herramienta Kinect al jugador, asignándole un *Stickman* que puede interactuar con la interfaz en pantalla. Por tanto, para pulsar un botón en pantalla el jugador deberá levantar una de sus dos manos (las dos permiten la interacción directa con el juego), y pulsar el botón en pantalla con su propia imagen.

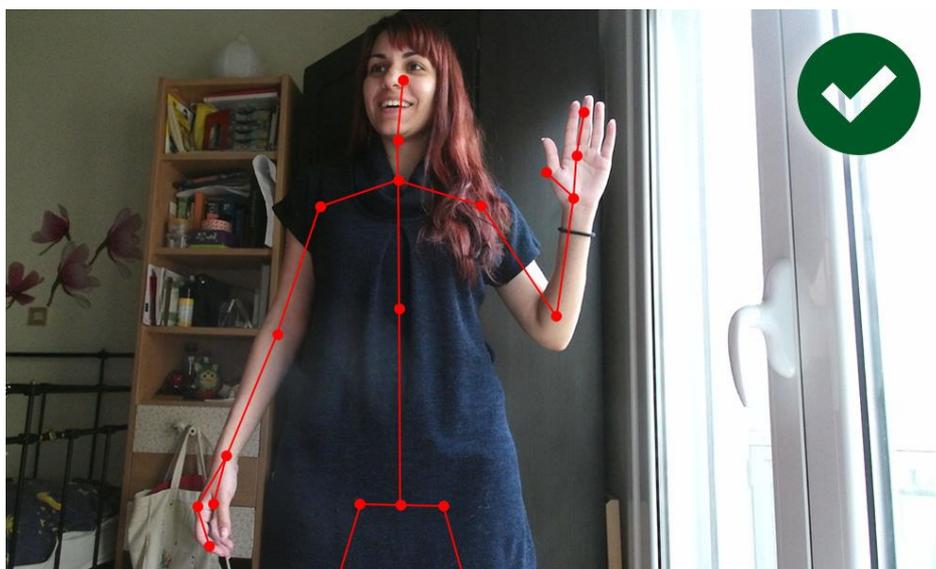


Fig. 23: Ejemplo Stickman en pantalla por Kinect [41]

### 4.3. Fotografías

Los objetos usados contarán con imágenes reconocibles a simple vista. Además, se empleará una imagen de fondo del juego con colores vivos y vibrantes para mantener la atención de los jugadores.

**Piano:** Se usará la imagen de un piano simple, con teclas blancas interactivas y teclas negras de decoración.



Fig. 24: Ejemplo de Teclado de piano [42]

**Números:** Se usarán números rojos para identificar a las teclas, y números amarillos (además de signos matemáticos de igual color) para las operaciones.



Fig. 25: Ejemplo números rojos [43]

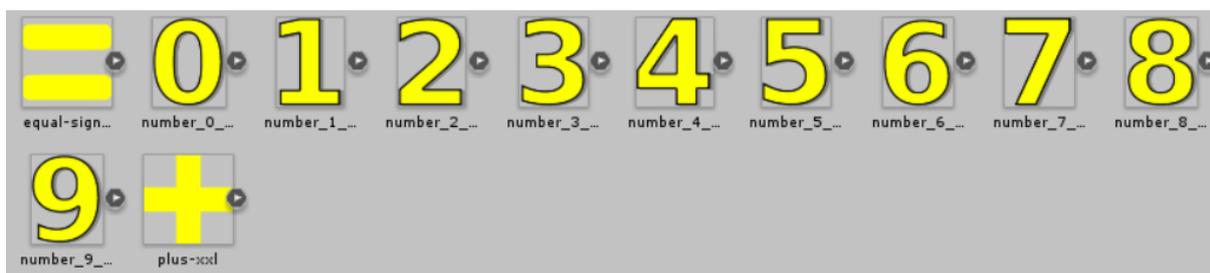


Fig. 26: Ejemplo números amarillos [44]

**Background:** Una imagen de archivo de una habitación infantil, con motivos musicales para acentuar la temática artística.



Fig. 27: Background del juego [45]

#### 4.4. Piano

Los números rojos se insertarán en las teclas blancas del piano generado, para su fácil identificación.

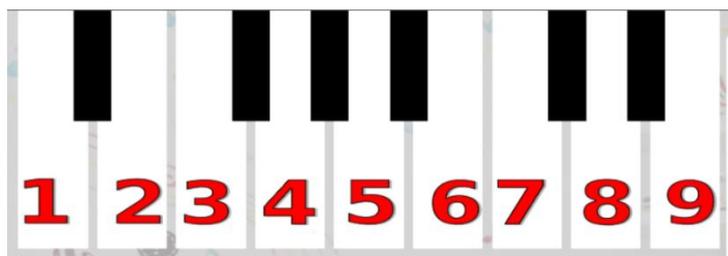


Fig. 28: Piano a escala

#### 4.5. Operaciones matemáticas

Las operaciones matemáticas se generarán de forma pseudoaleatoria. En ellas habrá 6 objetos clave. 3 recuadros blancos con números (uno de ellos con un símbolo de interrogación, que simbolizará el número que debe resolverse de la ecuación), 2 símbolos de Igual y de la operación realizada, y una flecha roja móvil para reflejar más claramente el número a resolver.



Fig. 29: Operación aleatoria ejemplo 1 [46]

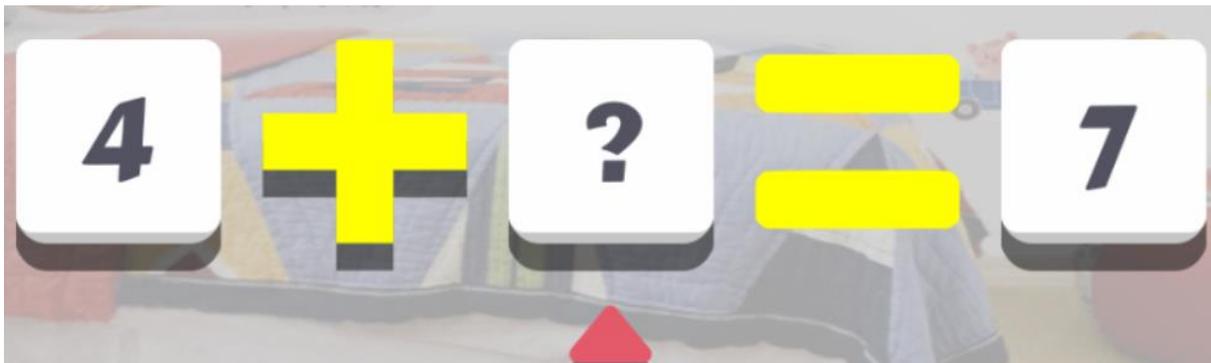


Fig. 30: Operación aleatoria ejemplo 2

#### 4.6. Reconocimiento piano-números

El *Stickman* previamente mencionado, cuando interactúe con las teclas blancas de piano mediante el contacto de las manos derecha o izquierda mandará una señal al sistema con el número correspondiente a la tecla pulsada, en un String que tendrá el número asignado. El sistema comprobará si el número contenido en el String es la solución a la ecuación, y en caso correcto dará un acierto, subirá la puntuación, y planteará una nueva operación. En caso erróneo sonará un sonido de error que indicará el decremento de la puntuación.

Para evitar repetición de fallos, el sistema solo aceptará la señal una vez por pulsación, y esperará a que las dos manos del jugador vuelvan a bajarse (comprobando la diferencia en grados con el resto de los puntos del *Stickman*, y evaluando que esté por debajo de los puntos de la cabeza), antes de volver a tomar otra señal.

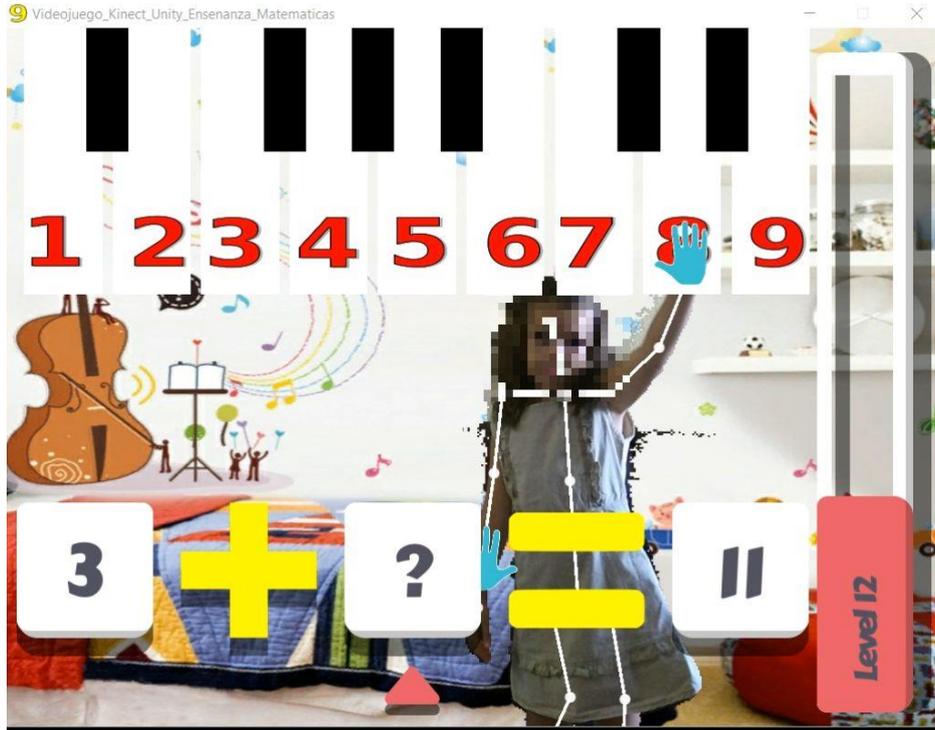


Fig. 31: Jugador interactuando con el piano virtual

#### 4.7. Puntuación y resultados

La puntuación del juego podrá evaluarse en una barra rellenable que se encontrará en el lado derecho de la pantalla. Con cada acierto, esta barra se incrementará en una cantidad equivalente a la puntuación obtenida por acierto; y por cada error disminuirá en una cantidad fijada. En dicha barra además se verá el nivel del juego, el cuál incrementará la complejidad computacional de las ecuaciones planteadas, como se verá más adelante.



Fig. 32: Score vacío, Level 1 & Score con puntuación, Level 12

## 4.8. Menús

Existirán dos menús principales en el juego. El primero, que se verá al ser lanzado, contará con un botón de *play* para comenzar la partida, y el piano visible e interactivo a nivel musical en pantalla. El segundo, tras pulsar el botón de *play*, comenzará la partida y hará visible las operaciones y la puntuación.



Fig. 33: Menú Principal del juego

## 4.9. Música

Se utilizarán distintos efectos sonoros durante el juego. La música de victoria y de la partida [47], las notas musicales Do-Re-Mi-Fa-Sol-La-Si-Do (Agudo)-Re (Agudo) [48], y el sonido de error al pulsar una tecla equivocada [49].

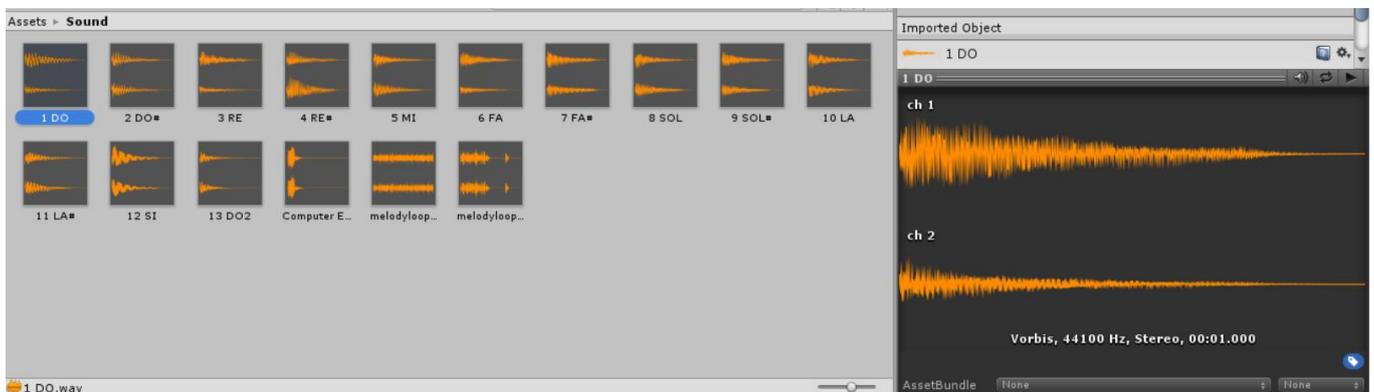


Fig. 34: Archivos de Música

#### 4.10. Complejidad operacional

La complejidad de las operaciones planteadas dependerá del nivel actual de la partida. El nivel se incrementará con cada acierto, pero no disminuirá con los fallos. Esto implica que, si un jugador falla de forma constante, su puntuación (y por tanto posibilidad de acabar el juego) se reducirá o se mantendrá estable, pero la dificultad de las operaciones se complicará cada vez más. Esta decisión de diseño se ha llevado a cabo con el objetivo de evitar que el jugador introduzca respuestas erróneas de manera repetida y así promover las respuestas correctas.



Fig. 35: Ejemplo de marcador de dificultad



Fig. 36: Ejemplo operación dificultad baja



Fig. 37: Ejemplo operación dificultad alta

Según el nivel de dificultad, la complejidad de las operaciones aumentará. La manera de implementar esto será que exista un número máximo, calculado según el nivel de dificultad, el cuál será el valor máximo que habrá de diferencia entre los dos números sumados. Dicha suma contará con una asíntota horizontal a partir de la cual la variación será ínfima, para evitar valores muy grandes. Dicha asíntota de dificultad máxima se puede ver en la siguiente gráfica:

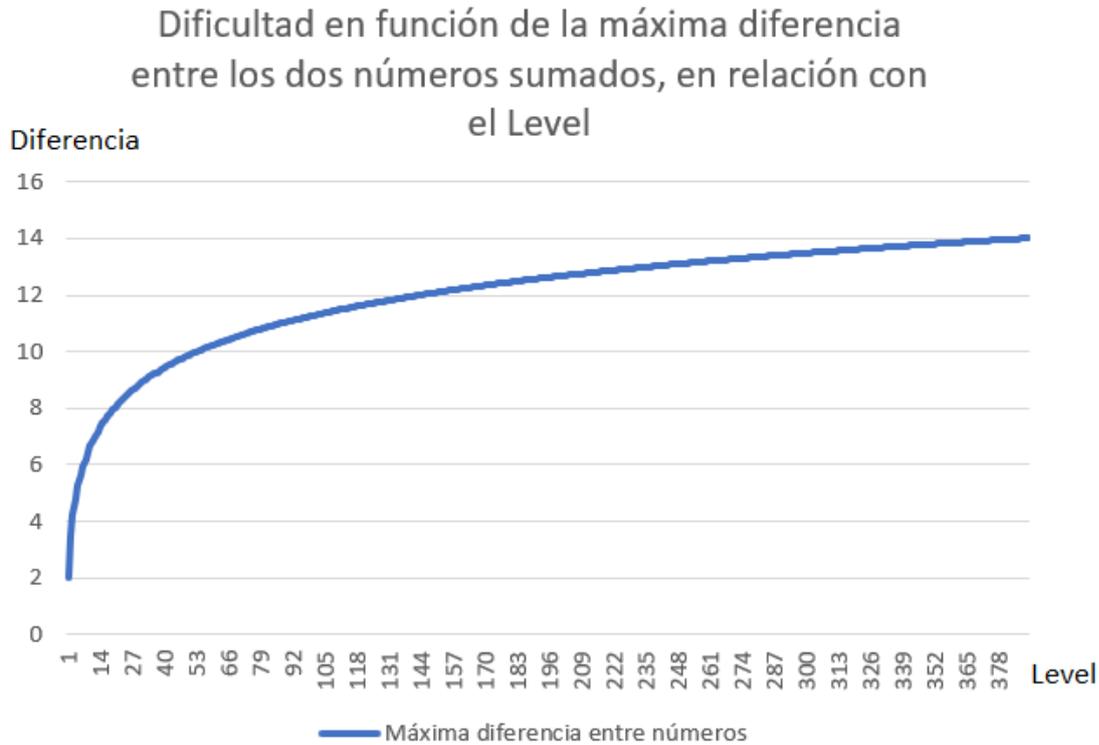


Fig. 38: Gráfica del nivel de dificultad del juego

#### 4.11. Win state y Lose state

El objetivo del juego a largo plazo será llenar la barra de puntuación hasta el tope, momento en el que el juego terminará con un tema de victoria. Dado que no hay *Game Over*, la situación que se puede considerar como *Lose State* es la pérdida de puntuación por una situación errónea, situación que el jugador deberá evitar en todo momento respondiendo a las ecuaciones de forma correcta, lo cual es un *Lose State* temporal y no permanente.

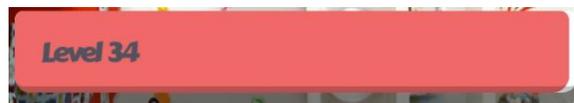


Fig. 39: Barra de puntuación casi llena

## 5. EXPERIMENTACIÓN Y ANÁLISIS

En esta sección se realizará un análisis de los experimentos realizados con el videojuego terminado, así como de los resultados obtenidos de los mismos. Para estos experimentos se usaron participantes de entre 5 y 10 años.

### 5.1. Primer experimento

Para el primer experimento, se cogió a un grupo reducido de participantes de 10 años con los que evaluar el proyecto. Ninguno de los participantes había jugado previamente a un juego con dispositivo Kinect. El proceso del experimento consistía en explicar los objetivos, direcciones y controles, iniciar una grabación de las partidas, y dejar a los participantes jugar y completar el juego libremente.



Fig. 40: Simulación del escenario del experimento

Cada una de las partidas jugadas llevaba un tiempo menor de 15 minutos. De las partidas grabadas se pudo evaluar el tiempo de respuesta de los jugadores, la duración total de la partida, la duración del tiempo entre respuestas, y la dificultad de acceder a los controles. De este análisis se modificó el juego de manera adecuada para solventar los problemas encontrados, tras lo que se realizó un segundo experimento unos días más tarde con el que evaluar los resultados finales. De estas observaciones se obtuvieron los siguientes resultados:

TABLA 26: OBSERVACIONES PRIMER EXPERIMENTO

Problema	Descripción
<b>Tiempo total partidas</b>	El tiempo medio por partida es de 12 minutos y medio.
<b>Dificultad de acceder a la respuesta</b>	Las teclas del piano están demasiado alejadas del centro de la pantalla, dificultando la capacidad de acceder correctamente a ellas por niños de entre 5 y 10 años.
<b>Severidad resultados negativos</b>	La cantidad de puntuación substraída por fallo es demasiado alta, y esto alarga extremadamente las partidas

De estas observaciones se implementaron las siguientes soluciones:

TABLA 27: SOLUCIONES DEL PRIMER EXPERIMENTO

Problema	Solución
<b>Tiempo total Partidas</b>	Se podría reducir a un tiempo más asequible al objetivo aumentando la cantidad de puntuación obtenida por acierto.
<b>Dificultad de acceder a la respuesta</b>	Espaciando las teclas entre sí, y acercándolas más al centro de la pantalla se accedería más fácilmente por el público objetivo.
<b>Severidad resultados negativos</b>	Se ha de reducir la cantidad de puntuación substraída por fallo.

Con las soluciones implementadas, se realizó un segundo experimento con un nuevo grupo de niños, también de entre 5 y 10 años.

## 5.2. Segundo experimento

En el segundo experimento se realizó el mismo proceso que en el primero, también en el mismo entorno que este. Se grabó de la misma manera las partidas jugadas, y de estas se pudo observar que los problemas encontrados en el primer experimento habían sido solucionados.

De la misma manera, se grabaron vídeos de este segundo experimento que sirvieron como base de análisis del proyecto final, sus resultados, posibles mejoras, dificultades, y conclusiones obtenidas. Estos vídeos muestran hasta dos participantes del juego completo.

Tras las partidas, a los participantes se les hizo el siguiente set de preguntas:

- ¿Te ha gustado el juego?
- ¿Probarías más juegos de este estilo?
- ¿Crees que hacer operaciones así es más divertido que en papel?



Fig. 41: Foto del experimento

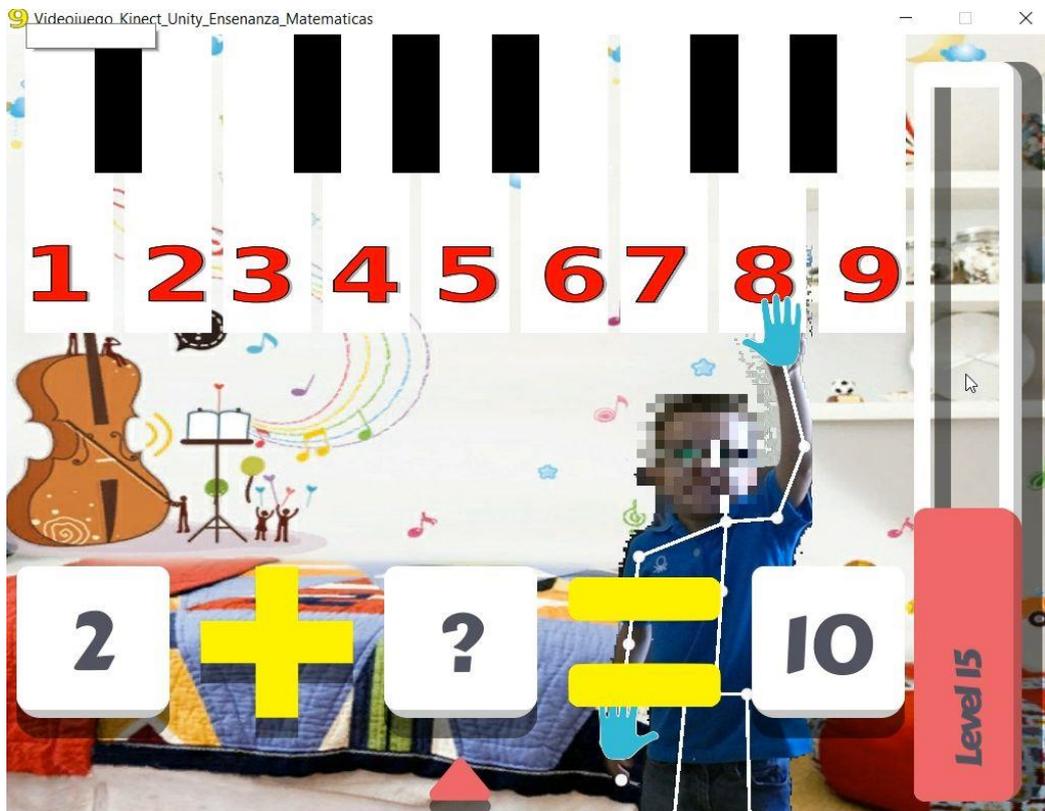


Fig. 42: Segunda Foto del experimento

### 5.3. Resultados

Tras la realización de los experimentos, se ha podido comprobar la efectiva funcionalidad del proyecto y el alcance de sus objetivos. Los problemas del primer experimento, solventados en el segundo, dieron lugar a partidas más dinámicas, ágiles y entretenidas. Los participantes salieron contentos del experimento, habiendo disfrutado el juego y con un interés explícito en probar más juegos que utilizaran el método de aprendizaje kinestésico. Todos los participantes respondieron de igual modo a las preguntas planteadas, con un sí firme a todas ellas.

Los efectos sonoros y visuales que indican los aciertos y fallos fueron reconocidos al instante, y no hubo necesidad de explicar ninguna mecánica o control adicional a ninguno de los participantes en su primera partida, siendo todos capaces de reconocer e identificar correctamente todo el sistema de juego y de control. Si bien las operaciones matemáticas resultaban en ocasiones demasiado complejas para ser efectuadas mentalmente en cuestión de pocos segundos, la interactividad continua mantenía a los participantes activos, con deseos de seguir jugando y de finalizar la partida en todo momento. Del mismo modo, ningún participante deseó finalizar el juego prematuramente sin haber alcanzado la máxima puntuación y terminar su turno. La actividad física realizada, que en ningún momento ha cansado a los participantes, sino que ha servido como actividad de entretenimiento, es también un aspecto positivo que remarcar.

Podemos por tanto evaluar el éxito a nivel mecánico y técnico del proyecto, el cual no ha ocasionado problemas en sus pruebas y ha alcanzado los objetivos funcionales propuestos. A nivel de metas del proyecto, la buena recepción de los participantes, su interés por probar más juegos con el mismo concepto, y su atención constante en el juego durante la duración de la partida indica un éxito de los objetivos propuestos en la conceptualización del proyecto.

## 6. CONCLUSIONES Y DESARROLLO

En esta sección se realizará un análisis de las conclusiones del proyecto, así como una reflexión sobre el futuro de este.

### 6.1. Conclusiones

Este trabajo ha sido una experimentación correcta sobre la posibilidad de combinar el aprendizaje kinestésico en las primeras fases de la educación primaria, realizando un videojuego en Unity con las habilidades adquiridas a lo largo del grado en Ingeniería Informática.

La posibilidad de trabajar en un videojuego ha sido una oportunidad idónea en la que poder volcar todos los conocimientos adquiridos en los 4 años de carrera en un solo proyecto común, así como un modo de experimentar por primera vez con el desarrollo de un software con tantos niveles y aplicaciones como lo es un videojuego. La capacidad de abstracción de lo aprendido en este proyecto ha servido para afianzar todo lo aprendido a lo largo de la carrera, pero en misma medida para adquirir una nueva habilidad más allá de la estructura del grado: el mismo desarrollo de un videojuego desde un nivel conceptual hasta su implementación y experimentación, pasando por la definición de requisitos y aplicaciones.

La oportunidad de trabajar en Unity, un motor y herramienta que no ha sido utilizado en el grado, es de nuevo un modo más de continuar con el desarrollo y aprendizaje realizado durante toda la carrera.

La oportunidad de trabajar en este proyecto ha podido despertar mi interés en el desarrollo de software y de videojuegos, tras haber tenido experiencia de primera mano con ambos, y me ha dado conocimientos básicos que buscaba cuando decidí empezar con este proyecto. Por último, ha sido posible ver la posibilidad de implementar otros medios lúdicos, interactivos y kinestésicos en las diversas fases del desarrollo educacional.

### 6.2. Proyectos futuros

Este proyecto finalizado puede servir de base para dos ideas principales:

- Como inicio de un portafolio personal del ingeniero realizador de este proyecto, que usará los conocimientos adquiridos en su futura carrera profesional.
- Como base de futuros proyectos relacionados con el aprendizaje kinestésico, aritmético y matemático o para niños con necesidad especiales, que queda en cargo del jefe del proyecto y tutor al cargo del proyecto, el cual podrá trabajar con el proyecto final para sus futuras propuestas.

## 7. PRESUPUESTO

En este apartado se realizará una aproximación del coste total del desarrollo del proyecto desde el 25 de octubre de 2017 hasta el 1 de septiembre de 2018, para un total de 330 días.

### 7.1. Coste del personal

En la siguiente tabla se detalla el número de horas, honorarios por el trabajo y el coste total de los miembros del proyecto.

TABLA 28: TABLA DE COSTE DEL PERSONAL

Nombre	Cargo	Tiempo (horas)	Coste/Hora (€)	Total (€)
David Delgado Gomez	Jefe de proyecto	40,00	35,00	1.400,00
Jose Ignacio de Torres	Ingeniero	250,00	24,00	6.000,00
<b>Total</b>		<b>294,00</b>		<b>7.400,00</b>

### 7.2. Material

En la siguiente tabla se detalla el coste del material utilizado durante el periodo del proyecto.

TABLA 29: TABLA DE COSTE DEL MATERIAL

Descripción	Coste (€)
Papel A4 (Set 100)	3,00
Bolígrafos	7,00
Tóner	25,00
<b>Total</b>	<b>40,00</b>

### 7.3. Coste del hardware

En la siguiente tabla se detalla el coste amortizado por los equipos utilizados en el desarrollo del proyecto. Para ello se empleará la siguiente fórmula:

$$C = \frac{\text{Valor del bien}}{\text{Vida útil}} [50]$$

TABLA 30: TABLA DE COSTE DEL HARDWARE

Descripción	Coste/Unidad (€)	Porcentaje de uso (%)	Tiempo de uso (Meses)	Vida útil (Meses)	Coste Total (€)
PORTATIL HP NOTEBOOK 15-AY083NS	389,99	20	7	36	75,8
PORTATIL HP NOTEBOOK 15-bs127ns	649,99	30	3	36	54,16
Kinect v.1.0	200,00	50	10	24	83,33
<b>Total</b>					<b>213,29</b>

### 7.4 Coste del software

Dado que las licencias de software suministradas por la Universidad Carlos III llevan un coste de 0€, en esta tabla se detallarán aquellos programas requeridos por uso externo.

TABLA 31: TABLA DE COSTE DEL SOFTWARE

Descripción	Coste/Unidad (€)	Coste Total (€)
Assets juego matemáticas Unity	30,00	30,00
Licencias adquiridas	15,00	15,00
<b>Total</b>		<b>45,00</b>

## 7.5. Otros

Gastos extras no detallados

TABLA 32: TABLA DE COSTES EXTRA

Descripción	Coste (€)
Transporte Universidad	80,00
<b>Total</b>	<b>80,00</b>

## 7.6. Total

En la presenta tabla se encuentra el coste total del proyecto. Dicho coste asciende a un total de **Nueve Mil Cuatrocientos Once con Setenta y Tres Euros**

TABLA 33: TABLA DE COSTES TOTALES

Descripción	Coste (€)
Personal	<b>7.400,00</b>
Material	<b>40,00</b>
Hardware	<b>213,29</b>
Software	<b>45,00</b>
Otros	<b>80,00</b>
<i>Total (Sin IVA)</i>	<b>7.778,29</b>
<i>IVA (21%)</i>	<b>1.633,44</b>
<b>Total</b>	<b>9.411,73</b>

## 8. ENTORNO SOCIOECONÓMICO

En esta sección se realizará un análisis del proyecto a diferentes niveles.

- **Mediático**
  - **Concienciación de la importancia de los videojuegos en el desarrollo estudiantil:** Es de gran importancia que el público común adquiera la conciencia de que los videojuegos no tienen solamente un carácter lúdico, sino que pueden ser de gran utilidad en el medio educativo.
  - **Visibilización del aprendizaje por kinestesia:** Un método poco común en los centros escolares más allá de las artes plásticas y musicales, el aprendizaje por kinestesia tiene grandes aplicaciones en todas las materias y campos, especialmente por su carácter interactivo.
  - **Normalización de los métodos de enseñanza centrados a los niños con dificultades o problemas motores:** Se ha de establecer que los métodos de aprendizaje enfocados a aquellos niños con dificultades motoras no son especialmente costosos.
- **Socioeconómico**
  - **Posibilidad de la implementación de las últimas tecnologías en las aulas:** Con la aparición de grandes tecnologías en los centros educativos, se plantea visibilizar su uso, y establecer una normalización del uso de las últimas tecnologías, siempre que estas sean beneficiosas en el desarrollo cognitivo y estudiantil de los infantes. Este factor es especialmente útil para aquellos niños con necesidades especiales
  - **Introducción a los medios virtuales con un enfoque educativo desde la primaria:** Por medio de los videojuegos interactivos, los estudiantes descubrirán que estos medios no se han de usar para un uso exclusivamente lúdicos, sino que pueden divertirse a la vez que aprenden y hacen las tareas educativas requeridas
- **Medioambiental**
  - **Reducción del material físico requerido en los centros de enseñanza:** Aplicando nuevos tipos de aprendizaje que no requieren de tanto material físico como libros escolares se reduciría tanto la carga monetaria que impulsan estos libros en los tutores de los estudiantes, como la necesidad de ser cargados al centro educativo de forma diaria.

Todos estos puntos combinados muestran el buen impacto que este proyecto puede tener en diversos campos de gran importancia, así como sus aplicaciones futuras en los mismos.



---

## BIBLIOGRAPHY

- [1] S. G. D. C. E. G. Y Salem, «Effectiveness of a low-cost virtual reality system for children with developmental delay: a preliminary randomised single-blind controlled trial,» *Physiotherapy*, September 2012.
- [2] I. G.-M. P. R.-L. Guillermo Palacios-Navarro, «A Kinect-Based System for Lower Limb Rehabilitation in Parkinson's Disease Patients: a Pilot Study,» *Journal of Medical Systems*, August 2015.
- [3] C. d. P. y. P. d. G. Vicepresidencia, *DECRETO 89/2014, de 24 de julio, del Consejo de Gobierno, por el que se establece para la Comunidad de Madrid el Currículo de la Educación Primaria*, Mayo 2018.
- [4] B. M. P. R. Tremblay RE, Matemáticas. Infancia [en línea]. <http://www.encyclopedia-infantes.com/sites/default/files/dossiers-complets/es/matematicas.pdf>, 2016. Consultado: 11/09/2018..
- [5] G. C.-R. y. M. Martinez, «Orientación Andújar, Recursos Educativos accesibles y gratuitos, <https://www.orientacionandujar.es/>,» [En línea].
- [6] G. B. Gil, «El Alumno Kinestésico, Coaching para educadores, <http://www.emotivacion.com/el-alumno-kinestesico.html>,» 2011. [En línea].
- [7] E. d. aprendizaje, «Sapiencia, aprendiendo por aprendizaje kinestésico, <https://www.estilosdeaprendizaje.org/aprendizaje-kinestesico.htm>,» [En línea].
- [8] «E-motivación. <http://www.emotivacion.com/>,» [En línea].
- [9] B. Lago, L. Colvin y M. L. Cacheiro González, «Estilos de aprendizaje y actividades polifásicas: Modelo EAAP,» *Revista de estilos de aprendizaje*, pp. 2-21, 2008-10-01.
- [10] I. A. S. R. M. B. D. Z. K. A. Maria Kourakli, «Towards the improvement of the cognitive, motoric and academic skills of students with special educational needs using Kinect learning games,» *ElSevier*, vol. 11, pp. 28-39, January 2017.
- [11] S. Retalis, T. Korpa, C. Skaloumpakas, M. Boloudakis y M. Kourakli, «Empowering Children With ADHD Learning Disabilities With the Kinems Kinect Learning Games,» de *European Conference on Games Based Learning*, 2014.
- [12] A. S. a. L. Metter, «Kinems: Personalized Kinect-based Learning Games for Children with Learning Disabilities,» Microsoft, 3 October 2014. [En línea]. Available: <https://blogs.microsoft.com/newengland/2014/10/03/kinems-personalized-kinect-based-learning-games-for-children-with-learning-disabilities/>.
- [13] «Kinems Learning Games,» [En línea]. Available: <https://www.kinems.com/>.
- [14] J. d. J. L. G. I. a. A. I. Wang, «Learning Recycling from Playing a Kinect Game, page 7,» *International Journal of Game-Based Learning*, 2015.

- [15] G. Altanis, B. Michalis, S. Retalis y N. Nikos, «Children with Motor Impairments Play a Kinect Learning Game: First Findings from a Pilot Case in an Authentic Classroom Environment,» *Interaction Design and Architecture(s) Journal*, pp. 91-104, 2013.
- [16] S. Retalis, T. Korpa, C. Skaloumpakas, M. Boloudakis y M. Kourakli, «Empowering Children With ADHD Learning Disabilities With the Kinems Kinect Learning Games,» p. 4, 2014.
- [17] «Melody Tree - Kinems Learning Games,» [En línea]. Available: [https://www.youtube.com/watch?v=wbnh6C1ng\\_E](https://www.youtube.com/watch?v=wbnh6C1ng_E).
- [18] D. M. Kambouri, «Teachers exploring the potential of Kinems movement-based learning gaming platform in 2 SEN schools in UK,» de *11th Autism-Europe International Congress*, September 2016.
- [19] D. J. P.-P. University, «Analyzing the Use of Kinems Movement Based Games,» de *EERA conference 2018 09*, 2017.
- [20] «Aloha, Mental Arithmetics,» [En línea]. Available: <https://www.alohaspain.com/es/franquicia/>.
- [21] A. Spain, «Aloha, sección para centros educativos,» [En línea]. Available: <https://www.alohaspain.com/es/para-coles/>.
- [22] A. group, «Dossier Aloha, mental arithmetics,» 2016. [En línea]. Available: [https://www.alohaspain.com/public/file/dossier\\_aloha\\_2016.pdf](https://www.alohaspain.com/public/file/dossier_aloha_2016.pdf).
- [23] «Clase Aloha de Mental Arithmetics,» [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=m-pOZHeDcu4>.
- [24] «Demostración de cálculo con ábaco, mental y con manos,» [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=gzxLwNvH0yl>.
- [25] «Los alumnos de ALOHA Mental Arithmetic explican cómo calculan con ábaco y manos,» [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=2HDUmxIxBH4>.
- [26] «Motor Octarender para Unity, tutoriales,» [En línea]. Available: <https://blogs.unity3d.com/2017/12/14/available-now-octanerender-for-unity/>.
- [27] J. Hruska, «Artículo sobre las ventas del producto Kinect,» ExtremeTech, 2015. [En línea]. Available: <https://www.extremetech.com/gaming/230252-can-we-finally-admit-that-kinect-is-dead>.
- [28] «Vitruvius home page,» [En línea]. Available: <https://vitruviuskinect.com/>.
- [29] R. Satta, «Dissimilarity-based people re-identification and search for intelligent video surveillance,» 2013
- [30] «Tutorial de Vitruvius en Unity,» [En línea]. Available: <https://vitruviuskinect.com/getting-started-unity/>.
- [31] «PONG, The International Arcade Museum,» [En línea]. Available: [https://www.arcade-museum.com/game\\_detail.php?game\\_id=9074](https://www.arcade-museum.com/game_detail.php?game_id=9074).
- [32] J. Sellers, "Pong". *Arcade Fever: The Fan's Guide to The Golden Age of Video Games*, August 2001.
- [33] J. S. K. L. Bradley S. Greenberg, «Orientations to Video Games Among Gender and Age Groups,» 2008.

- [34] «Gamester, History of Consoles,» [En línea]. Available: <http://gamester81.com/history-of-consoles-nintendos-color-tv-game-consoles-1977-1979/>.
- [35] *Extracto de periódico del 11 de diciembre de 1982,*  
<https://news.google.com/newspapers?nid=1320&dat=19821212&id=L2tWAAAAIBAJ&sjid=q-kDAAAIBAJ&pg=1609,4274079&hl=en>.
- [36] «Entrevista con H.S.Warshaw, AVclub,» [En línea]. Available: <https://www.avclub.com/howard-scott-warshaw-1798208406>.
- [37] «Extracto del videojuego de E.T., TheVerge,» [En línea]. Available: <https://www.theverge.com/2013/5/31/4384248/documentary-crew-to-excavate-legendary-et-atari-landfil>.
- [38] «Artículo sobre Mundo Primaria, Experiencias con videojuegos educativos,» 2016. [En línea]. Available: <https://mediostecnologayrecursosparalaintervencinsocioeducativablog.wordpress.com/2016/04/11/experiencias-con-videojuegos-educativos/>, .
- [39] «Edge Magazine awards Brain Training by a unanimous jury, Gamespot,» [En línea]. Available: <https://web.archive.org/web/20070129031900/http://www.gamespot.com/news/6156124.html>.
- [40] «Brain Training How Old Is Your Brain 2005, Nintendo,» [En línea]. Available: <https://www.nintendo.co.uk/Games/Nintendo-DS/Dr-Kawashima-s-Brain-Training-How-Old-is-Your-Brain--270627.html>.
- [41] «Understanding Kinect coordinate mapping, Pterneas,» 2014. [En línea]. Available: <https://pterneas.com/2014/05/06/understanding-kinect-coordinate-mapping/>.
- [42] «Piano Keys Photograph, Piano Lessons made symple,» [En línea]. Available: <http://www.piano-lessons-made-simple.com/piano-keys.html>.
- [43] «Imágenes numéricas y de símbolos obtenidas por libre licencia de Wpclipart, símbolos gratuitos sin licencia,» [En línea]. Available: [https://www.wpclipart.com/signs\\_symbol/alphabets\\_numbers/outlined\\_numbers/red/index.html](https://www.wpclipart.com/signs_symbol/alphabets_numbers/outlined_numbers/red/index.html).
- [44] «Símbolos matemáticos obtenidos por libre licencia de IconosDB, símbolos gratuitos sin licencia,» [En línea]. Available: <https://www.iconsdb.com/>.
- [45] «Travel animals train wall stickers nursery decor art mural removable wall stickers, stock image,» [En línea]. Available: <http://www.palesten.com/childrens-bedroom-wall-stickers-removable.html>.
- [46] «Assets Unity matemáticos obtenidos por libre licencia del juego Matheor, de libre distribución,» [En línea].
- [47] «Música obtenida por libre licencia de MelodyLoops, música gratuita sin licencia,» [En línea]. Available: <https://www.melodyloops.com/support/faq/>.
- [48] «FreeSound, Notas musicales libre descarga sin licencia,» [En línea]. Available: [https://freesound.org/people/Jaz\\_the\\_MAN\\_2/packs/17749/](https://freesound.org/people/Jaz_the_MAN_2/packs/17749/).

[49] «FreeSound, Sonido Error gratuito sin licencia,» [En línea]. Available:  
[https://freesound.org/people/original\\_sound/sounds/372198/](https://freesound.org/people/original_sound/sounds/372198/).

[50] «Como calcular una amortizacion, Ennaranja,» [En línea]. Available:  
<https://www.ennaranja.com/economia-facil/que-es-y-como-calcular-una-amortizacion/>.

[51] «Grabaciones de pantalla obtenidas por el software ShowMore, de libre licencia,» [En línea].

[52] «Pixelización de caras con software libre Facepixelizer, <https://www.facepixelizer.com/>,» [En línea].

[53] «Mapa escenario realizado con Floor Planner, <https://floorplanner.com/>,» [En línea].

## Anexo A. Tutoriales, introducciones y planificación

Debido a la falta de experiencia con Unity y el desarrollo de videojuegos por el ingeniero del proyecto, fueron necesarias varias clases introductorias y tutoriales relacionados con las primeras fases de este. Dichos tutoriales están brevemente explicados en esta sección del documento, para una mayor comprensión de las bases del modelo conceptual que se llevó a cabo.

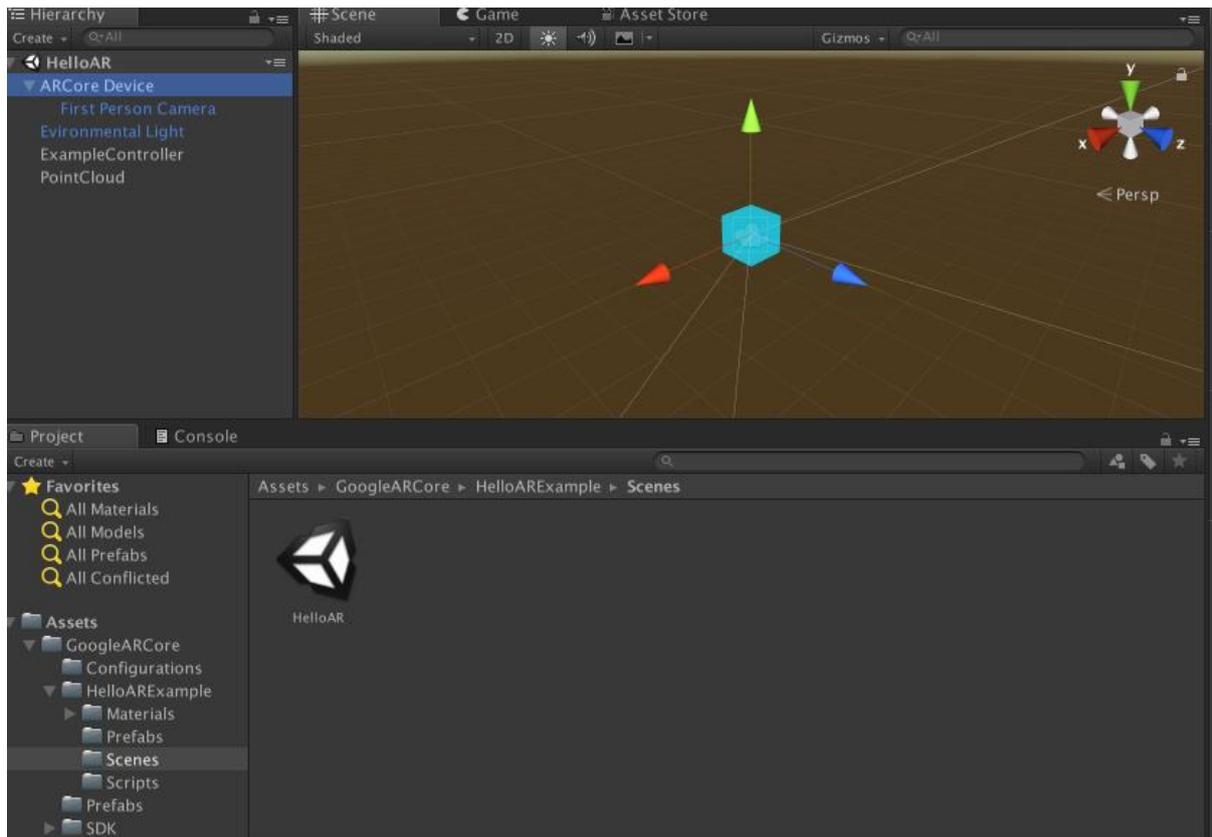


Fig. 43: Primer menú en Unity

Una introducción en Unity fue el primer paso necesario para abordar este proyecto. Dado que el estudiante ya contaba con dominio de los lenguajes de programación asociados (especialmente C y C++), así como de programas de interacción digital con un entorno (Blender), la adaptación fue rápida y eficaz.

Una vez acostumbrado al software, se realizaron una serie de tutoriales enfocados a diferentes aspectos del desarrollo de videojuegos, tales como la interacción del jugador con el escenario y las escenas, la creación de prefabs, y el desarrollo de un juego completo.

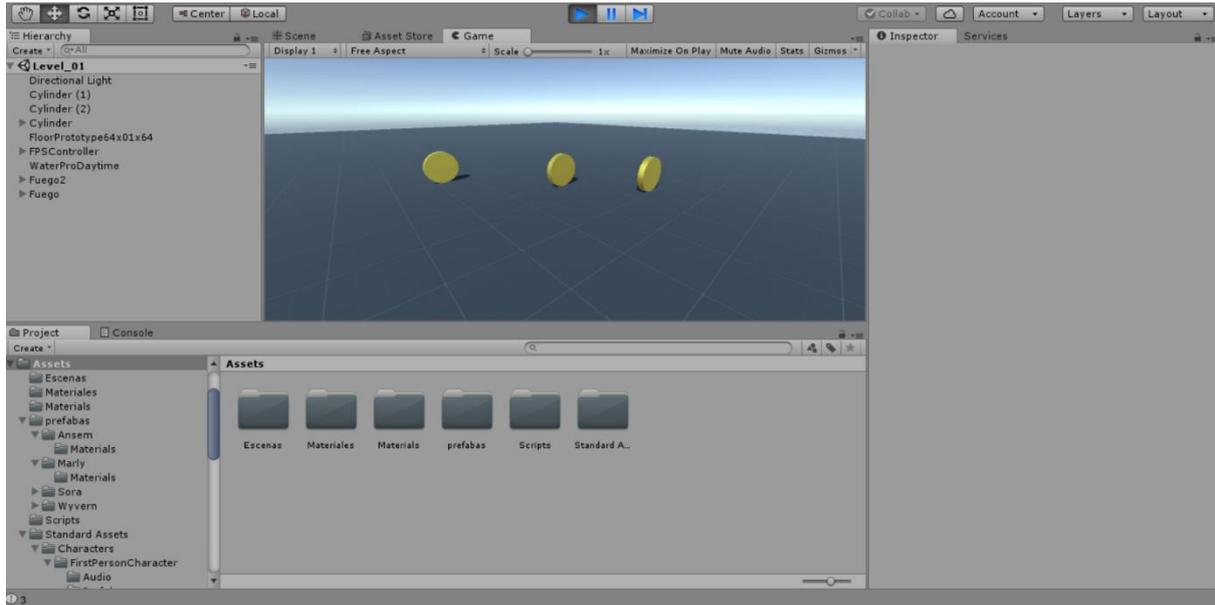


Fig. 44: Primer juego, recolector de monedas

El primer juego, un recolector de monedas sencillo, se pudo realizar en unas pocas clases con la tutoría del profesor asignado en el proyecto, siguiendo los tutoriales preparados por el mismo. El juego era un simple sistema en el que se generaban un clúster de monedas que podían ser tocadas por el jugador en un entorno tridimensional en primera persona por medio del movimiento WASD.

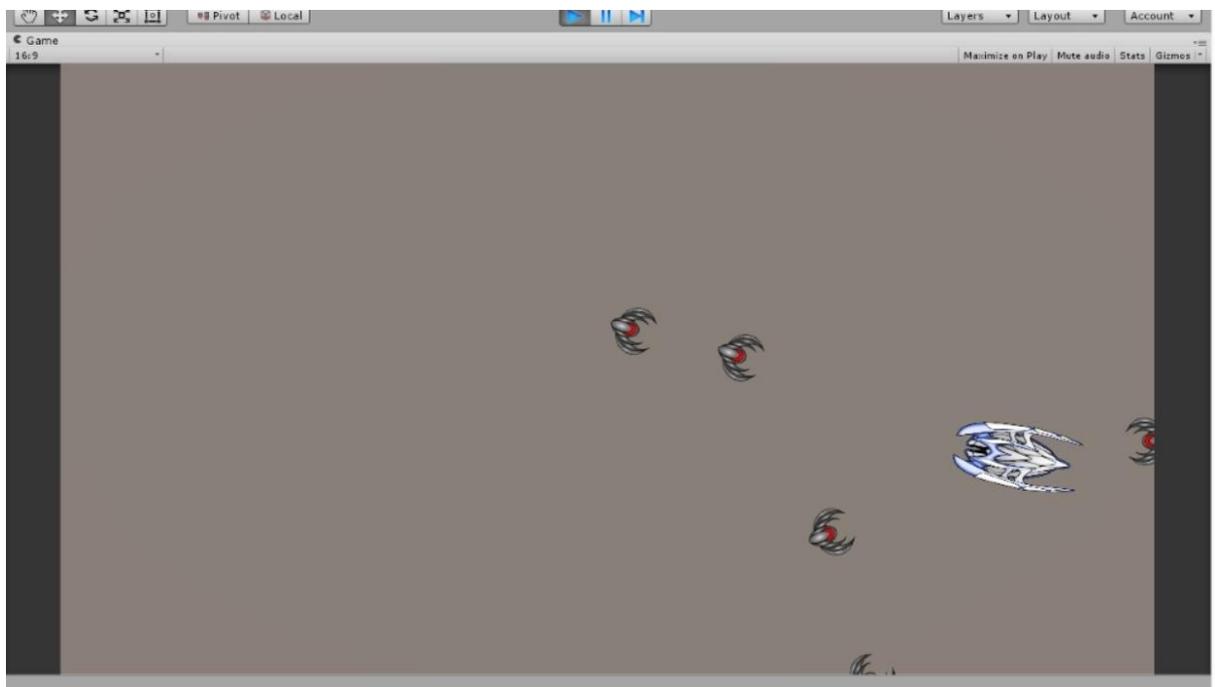


Fig. 45: Segundo juego, Space Shooter

El segundo tutorial fue una introducción a la generación y modelado de prefabs por medio de assets legales. Dicho juego consistía en un simple entorno bidimensional en el que

una nave espacial (blanca) controlada por el jugador se movía en un eje X-Y, mientras escapaba de las naves enemigas (negras), que se generaban de forma aleatoria. Dichas naves, en caso de entrar en contacto con la nave controlable, bajarían un contador de vida el cual si llegase a 0 constituiría la muerte del jugador.

Este juego sirvió tanto para acostumbrarse a la implementación de código en los sistemas asociados a Unity, como para visualizar las posibilidades del proyecto en su conceptualización. El juego final tenía un iluminado, un background del entorno bidimensional y un sistema de fuegos artificiales que también sirvió de base para el proyecto final.



Fig. 46: Space Shooter terminado

En última instancia se realizó un tutorial del modelo 3D de un piano, el cual serviría en la implementación final del proyecto. Dicho tutorial quedó inacabado al no ser necesario continuar en su progreso, y se utilizó el código y los assets generados para el comienzo del proyecto.

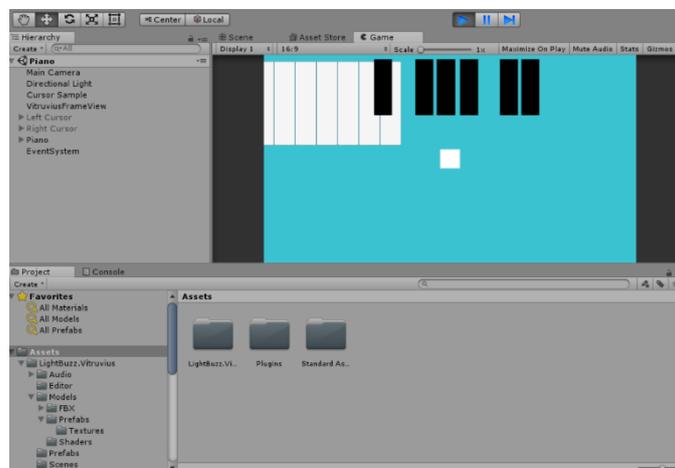


Fig. 47: Tutorial piano

Por último, en este anexo se hará cálculo del número total de horas dedicadas al Trabajo de Fin de Grado en cada una de sus diferentes secciones.

- **Tutoriales e introducciones**
  - Introducción a Unity: 3 horas
  - Estudio y documentación de Unity: 2 horas
  - Instalación del software requerido para el proyecto: 3 horas
  - Tutoriales e introducción al desarrollo de videojuegos: 15 horas
  - Estudio de conceptos teóricos del desarrollo de videojuegos: 7 horas
  
- **Conceptualización del videojuego**
  - Conceptualización de la idea: 7 horas
  - Análisis y pruebas del concepto, refinamiento del proyecto: 5 horas
  - Elaboración de propuesta final, aprobación del tutor: 5 horas
  - Diseño de interfaz: 6 horas
  - Implementación base de algoritmos requeridos: 5 horas
  - Estudio de nuevas implementaciones y metodologías: 10 horas
  
- **Implementación**
  - Implementación del código fuente: 70 horas
  - Análisis de bugs, refinamiento de código: 20 horas
  - Experimentación con el tutor del código implementado: 5 horas
  
- **Pruebas y experimentación**
  - Pruebas de funcionamiento: 5 horas
  - Análisis de problemas: 2 horas
  - Resolución de problemas: 2 horas
  - Preparación de pruebas de experimentación: 3 horas
  - Pruebas finales: 7 horas
  - Análisis del material obtenido, edición de vídeos: 10 horas
  - Recolección información pertinente al desarrollo de la memoria: 5 horas
  
- **Elaboración de la memoria**
  - Elaboración de la memoria: 60 horas
  - Corrección y análisis final: 5 horas

El número total de horas empleadas llega a un total de **262 HORAS DE TRABAJO.**

## Anexo B. Glosario

Se ha considerado necesario incluir un glosario con vocabulario clave relacionado con el proyecto

**Aloha:** Programa de desarrollo mental centrado en la aritmética mental, avalado por la Sociedad Española de Pedagogía.

**Aprendizaje por kinestesia:** Método de aprendizaje basado en el uso y reconocimiento del movimiento como principal sentido involucrado en el aprendizaje.

**Asset:** Representación de cualquier objeto asociado a un proyecto. Existe la compraventa de licencias de assets en portales webs, para reutilizar assets completos bajo posesión de licencia.

**Cartucho ROM:** Unidad extraíble conectable a una consola de videojuegos u ordenador personal, que contiene el software del videojuego.

**Escena:** En Unity, una escena contiene todos los elementos, triggers y situaciones que pueden darse en un juego en un momento determinado.

**Hardware:** Conjunto de todos los componentes físicos de un ordenador.

**Implementación:** Fase del desarrollo de software centrado en la escritura de código.

**Interfaz:** Pantalla o sistema gráfico que se comunica con el usuario en cualquier tipo de software.

**Juego indie:** Proveniente del inglés *Independent*. Referente a aquellos juegos desarrollados por estudios pequeños, y no por grandes compañías.

**Kinect:** Dispositivos de captura y reconocimiento de movimiento lanzado por Microsoft originalmente para las consolas Xbox 360 y Xbox One en 2010, con actual funcionamiento en todo tipo de software de captura de movimiento.

**Kinems:** Equipo de investigación y desarrollo con el objetivo de ayudar a los estudiantes con discapacidades en sus objetivos a largo plazo, por medio de métodos interactivos electrónicos de aprendizaje kinestésico.

**Licencia:** Contrato legal que permite la utilización de un software o herramienta homologado.

**Lose State:** Situación de pérdida que se le puede imponer al jugador. Comúnmente conocido como un *Game Over*.

**MMO:** Siglas para Masive Multiplayer Online, un tipo de videojuegos enfocados a la conexión de un gran número de jugadores por servidores globales.

**MMORPG:** Siglas de Masive Multiplayer Online Role Playing Game, subsector de MMO enfocado al rollo, nacido con los juegos de mesa y llevado al sector virtual, mediante al cual es posible personalizar y apropiarse de la imagen de un personaje.

**Movimiento WASD:** Sistema de movimiento en un videojuego por medio del uso de las teclas W, A, S y D como orientación de las direcciones arriba, izquierda, abajo y derecha respectivamente.

**Objeto (Unity):** Entidad base en Unity que forma un elemento en una situación cualquiera.

**Objeto hijo:** Sub-objeto que depende de su objeto padre asociado para su existencia y funcionamiento.

**Píxel:** Imagen digital de carácter unitario que agrupados, forman la visualización de un elemento en una pantalla.

**Prefab:** Una base establecida de un objeto que puede ser reutilizado múltiples veces en Unity, tanto él como todos sus objetos hijos asociados.

**Regla Nemotécnica:** Manera artificial de recordar palabras, gestos u operaciones por medio de gestos físicos, oraciones artificiales o acrónimos.

**Software:** Partes virtuales de un sistema que forman toda su consistencia interna.

**Taxonomía de Bloom:** Modelo jerárquico nombrado en base de Benjamin Bloom para categorizar la complejidad de los diferentes niveles de aprendizaje.

**Trigger:** Situación generada en una escena en Unity que actúa como mecanismo para la inicialización de un proceso cualquiera.

**Unity:** Motor multiplataforma de Desarrollo de videojuegos lanzado en 2005 por Unity Technologies.

**Videojuego:** Medio de entretenimiento lúdico de carácter virtual.

**Vitruvius:** Tecnología asociada a Unity y al dispositivo Kinect capaz de leer el movimiento por medio de ejes reconocibles de las extremidades, que identifican las diferentes partes del cuerpo como secciones independientes que pueden moverse de forma simultánea.

**Win State:** Situación de victoria del jugador en el sistema, considerada la meta a corto y largo plazo en todo momento de la partida por parte del jugador.



## **Anexo C. Documentación en inglés**

En la siguiente sección se realizará una explicación detallada en inglés de los principales puntos de este proyecto

### **C.1. Introduction**

Video games are part of a field that has traditionally been considered as recreational. Its ability to offer an interactive narrative is something that has not been possible to reach by other existing arts, beyond attempts with "Choose your own adventure" books, in which the reader could make several decisions in certain points of the it, that led to different outcomes and endings.

However, this aspect of entertainment doesn't have to be the primary field of video games. While the diversity of choice that they offer is a big motivator to their value, another aspect in which they have an advantage ahead of their peers is the same ability to be interactive, thus providing an educational aspect that the rest of media cannot reach. Take for example an educational film about mathematics, in which operations such as simple additions and subtractions are executed. Although the receiver, a young child, can receive didactic stimulation of these media, they will not interact in any direct way with the world of the screen, and can be easily distracted and lose their attention.

An interactive video game with the same purpose and idea in turn will require the student's direct input to advance. The lack of attention in this media would imply the non-completion of the material. This direct participation allows the student to be part of a playful activity while working on their education, a very necessary aspect in the first phases of its development.

The use of Kinect, a tool capable of recognizing the human body, its components and movements, also provides the project with the aspect of physical exercise, an activity that is increasingly in society's consciousness due to the obesity problems that are being found in our youngest due to the lack of exercise. By incorporating this tool, it is possible to encourage the combination of mathematics and physical activity, two fields that are generally considered independent.

### **C.2. Objectives**

The main objective of this project will be the completion of a videogame that performs mathematical problems of simple addition operations, focused on an audience of 1<sup>st</sup> grade children. The problems will be randomized and presented consecutively, and the player will have to solve the equation by means of his physical movement, selecting in a keyboard with a set of options the correct result.

In the event of pressing the correct button, a score bar (which represents the amount of points that the player needs to complete the level) will increase. In an unseen way, this score will affect the complexity of the problems by making them harder. An erroneous response will result in an error sound playing and the score being reduced by a small amount, thus preventing the player from pressing buttons randomly until correctly guessing the answer. When the game ends, a victory fanfare will sound which will indicate to the player the completion of the game.

### C.3. Implementation

After a thorough analysis of the use cases and the requirements, it was decided to implement the project as a video game capable of recognizing the movement of the player and allowing it to directly interact with a virtual interface.

#### Programming Language

The Unity engine was chosen for the implementation of the proposed project, which has an implementation in C#. This programming language was chosen for its versatility in videogame development and for being one of the most used in its industry. The scripts generated in Unity in C# language are assigned to an item in the scene, through which the implemented algorithms will be put into operation.

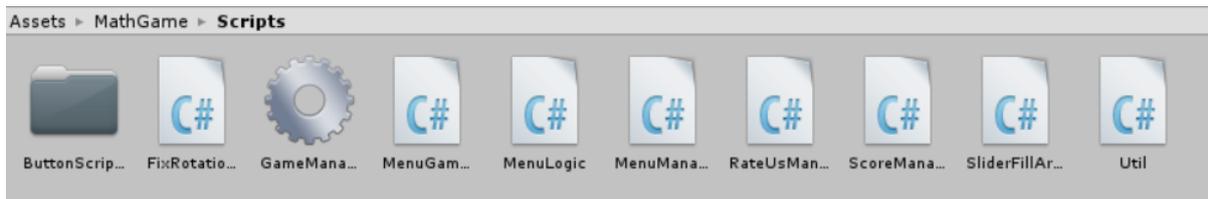


Fig. 48: Unity C# Scripts

#### Interaction

To perform a correct game-user interaction, the Vitruvius system must recognize the player by means of the Kinect tool, assigning it a Stickman that can interact with the on-screen interface. Therefore, to press a button on the screen the player must raise one of his two hands (both allow direct interaction with the game) and press the button on the screen with his own image.

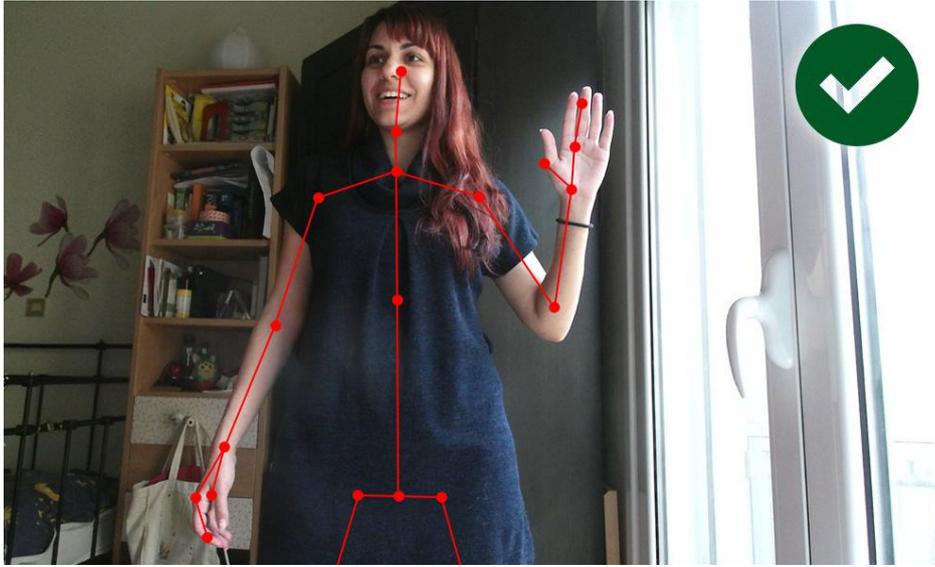


Fig. 49: Stickman example by Kinect usage

## Pictures

The used items will have images that are recognizable at first glance. Furthermore, a background image for the game with bright and vibrant colours will be used to avoid distracting the players

**Piano:** The image of a simple piano will be used, with interactive white keys and black decoration keys.



Fig. 50: Piano example

**Numbers:** Red numbers will be used to identify the piano keys, and yellow numbers (and mathematical signs of the same colour) for operations.



Fig. 51: Red numbers example



Fig. 52: Yellow numbers example

**Background:** A stock image of a children's playroom, with musical motifs to accentuate the artistic thematic.



Fig. 53: Game Background

## Piano

The red numbers will be set in the white keys of the generated piano, for easy identification.

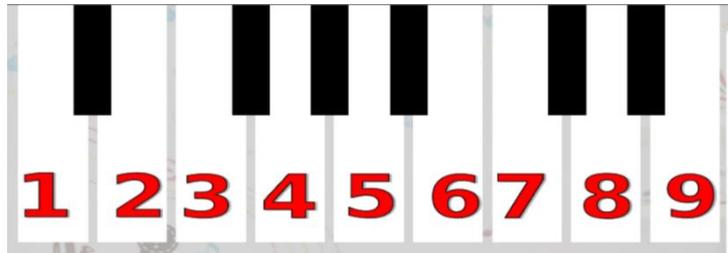


Fig. 54: Piano

## Mathematical operations

Mathematical operations will be generated pseudo-randomly. There will be 6 key objects: 3 white boxes with numbers (one of them with an interrogation symbol, which will symbolize the number to be solved from the equation), 2 symbols of the Equal and of the operation performed symbols, and a red moving arrow for an easier identification of the number to be solved.



Fig. 55: Random Operation example 1

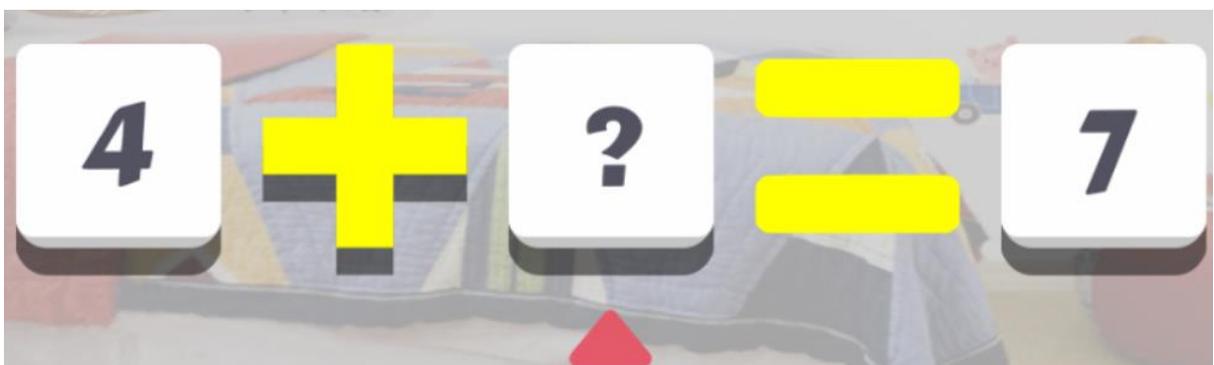


Fig. 56: Random Operation example 2

### Piano-number recognition

The previously mentioned Stickman, when interacting with the white piano keys by means of the right or left hand, will send a signal to the system with the number corresponding to the key pressed, in a String that will have the assigned number. The system will check if the number contained in the String is the solution to the equation, and if it is correct, it will make a hit, raise the score, and propose a new operation. In the wrong case, an error sound will sound indicating the decrease of the score.

To avoid repetition of failures, the system will only accept the signal once per gesture and will wait for when both hands of the player have come down again (checking the difference in degrees with the rest of the Stickman points and evaluating that it is below of the points of the head), before taking another signal.

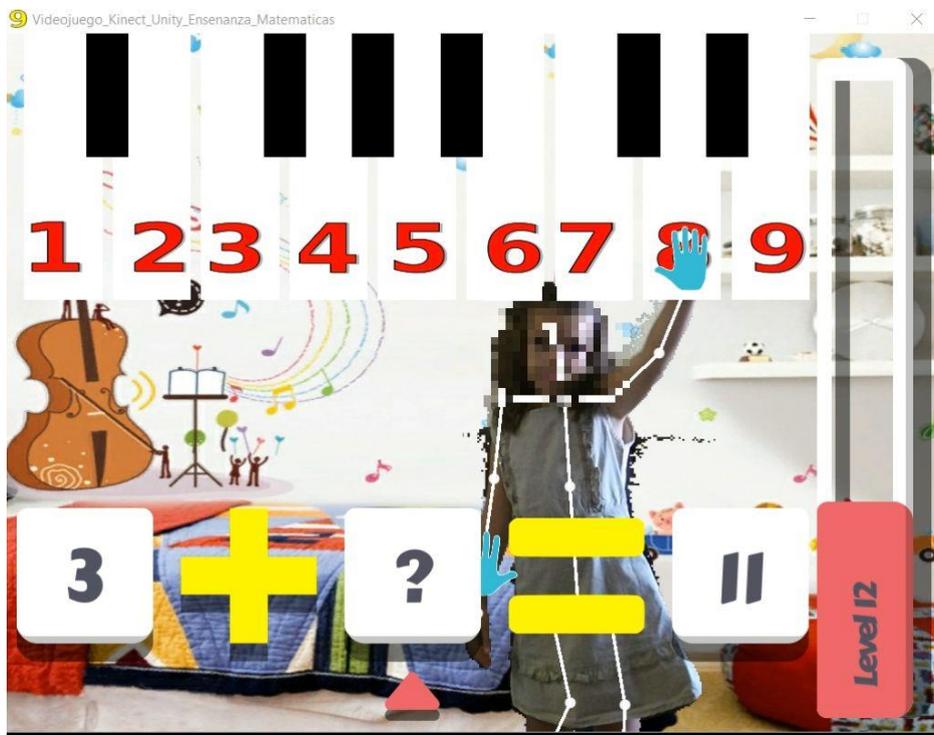


Fig. 57: Player interacting with the virtual piano

### Score and Results

The score of the game can be seen in a score bar that will be on the right side of the screen. With each success, this bar will be increased by an amount equivalent to the score obtained by a success; and for each error it will decrease by a set amount. In this bar you will also see the current level of the game, which will increase the computational complexity of the equations, as it will be seen later.



Fig. 58: Empty Score, level 1 & Score at level 12

## Menus

There will be two main menus in the game. The first one, which will be seen when launched, will have a play button to start the game, and the piano will be visible and interactable at a musical level on the screen. The second, after pressing the play button, will start the game and will make the operations and the score visible.



Fig. 59: Game's main menu

## Music

Different sound effects will be used during the duration of the game. The music of victory and the background music, the musical notes Do-Re-Mi-Fa-Sol-La-Si-Do (High) -Re (High), and the error sound when pressing a wrong key.

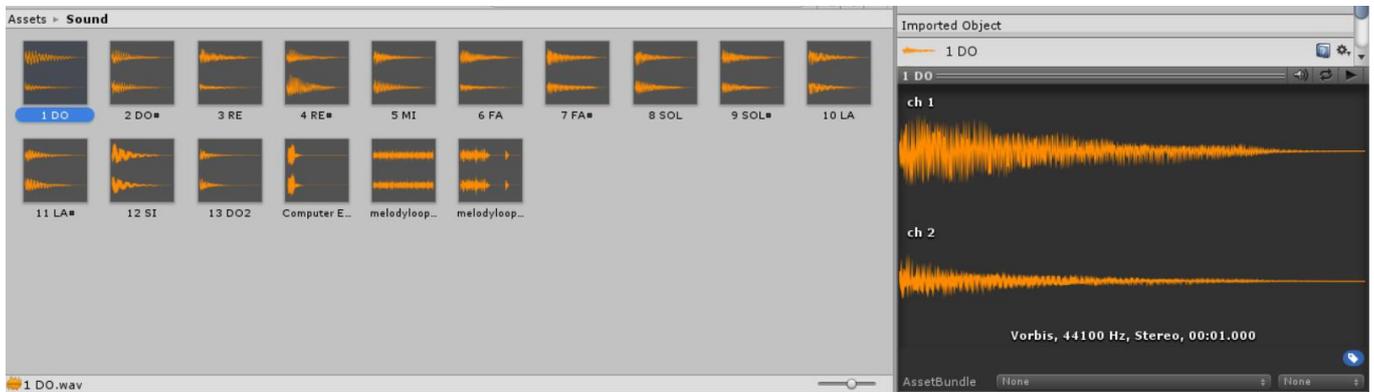


Fig. 60: Music Files

## Computational Complexity

The complexity of the operations proposed will depend on the current level of the game. This level will increase with each success but will not decrease with failures. This implies that, if a player fails constantly, his score (and therefore the possibility of finishing the game) will decrease or remain stable, but the difficulty of the operations will become more and more complicated. This design decision has been made with the aim of preventing the player from introducing erroneous responses repeatedly and thus promoting the correct answers.



Fig. 61: Difficulty level example



Fig. 62: Low difficulty operation example



Fig. 63: High difficulty operation example

### Win state y Lose state

The long-term objective of the game will be to fill the scoring bar to the top, at which point the game will end with a victory theme. Since there is no Game Over, the situation that can be considered as a Lose State is the loss of score due to a wrong response, a situation that the player must always avoid solving the equations correctly.

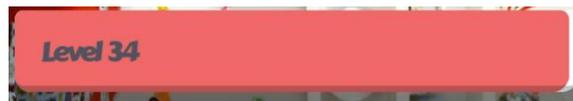


Fig. 64: Score bar almost full

### C.4. Results

After carrying out the experiments, it was possible to verify the effective functionality of the project and the scope of its objectives. The problems presented in the first experiment, solved in the second, gave rise to more dynamic, fast and entertaining games. The participants expressed their enjoyment with the experiments with an explicit interest in trying out more games that used the kinesthetic learning method.

The sound and visual effects that indicate the success or failures were recognized instantly, and there was no need to explain any additional mechanic or control to any of the participants in the duration of their first game, all being able to recognize and correctly identify the entirety of the game system. Although the mathematical operations resolved were too complex in some occasions, which required a few seconds to be mentally resolved, the continuous interactivity kept the participants active, with a desire to continue playing and to finish the game in every single instance. In the same way, no participant wished to finish the game prematurely without having reached the maximum score and finishing their turn. The physical activity performed, which at no time exhausted the participants and served as an entertainment activity, is also a positive aspect to highlight.

We can therefore evaluate the success at the mechanical and technical level of the project, which has not caused problems in its tests and has reached the proposed functional objectives. At the level of project goals, the good reception of the participants, their interest in trying more games with the same concept, and their constant attention in the game during the duration of its execution indicates a success of the objectives proposed in the conceptualization of the project.

### **C.5. Conclusions**

This project has served as a correct experimentation in the possibility of combining kinesthetic learning in the first phases of primary education and the development of a video game in Unity with the skills acquired throughout the degree in Computer Engineering.

The possibility of working in a videogame has been an ideal opportunity in which to be able to use all the knowledge acquired in the 4 years of the career in a single common project, as well as a way to experience first-hand the development of a software with so many levels and applications as a video game has. The capacity of abstraction of what has been learned in this project has served to consolidate everything learned throughout the career, but to the same extent helped to acquire a new skill beyond the structure of the degree: the development of an application from a conceptual level until its implementation and experimentation, going through the definition of requirements and uses.

The opportunity to work in Unity, an engine and tool that has not been used in the computer engineering degree, is again another way to continue with the development and learning aspects made throughout the career.

The opportunity to work on this project has given the chance to awaken my interest in software and videogame development, having had first-hand experience with both, and has given me the basic knowledge that I was looking for when I decided to start with this project. Finally, it has made possible the opportunity to see the levels of implementation of other interactive and kinesthetic media in the various phases of educational development.