



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Escola Tècnica
Superior d'Enginyeria
Informàtica



etsinf

GUÍAS DE DISEÑO PARA EL DESARROLLO DE VIDEOJUEGOS EDUCATIVOS



Grado en Ingeniería Informática
Trabajo Final de Grado (curso 2013-2014)

Tutor: *Manuel Agustí Melchor*
Alumno: *Héctor Cuñat Núñez*
Septiembre 2014, Valencia

0. ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	2
2. ESTUDIO DE LAS LIMITACIONES TÉCNICAS Y ELECCIÓN DE LA PLATAFORMA DE DESARROLLO	3
3. DISEÑO DE LOS EXPERIMENTOS	6
3.1 PRIMER PERIODO EXPERIMENTAL	7
3.2 SEGUNDO PERIODO EXPERIMENTAL	18
4. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO	24
5. BIBLIOGRAFÍA	26
ANEXO: TUTORIAL GEMEMAKER STUDIO	27

1. INTRODUCCIÓN

Prácticamente desde la aparición de los primeros videojuegos han existido numerosos intentos de emplearlos como herramienta educativa, intentando aprovechar su faceta lúdica para fines pedagógicos y formativos [5],[6],[7]. Recientemente, dicho esfuerzo se ha intensificado, acuñándose nuevos términos tales como *serious games* o *gamificación*. Sin embargo, pese a que muchos estudios sugieren que efectivamente el uso de videojuegos en el aula conlleva beneficios educativos, pocos son capaces de respaldar sus conclusiones con datos cuantitativos. Es importante remarcar además que muchos de dichos estudios se realizan partiendo de videojuegos existentes, en lugar de implementar un software específico que satisfaga las necesidades de un alumnado concreto [8],[9],[10]. Merece especial atención el artículo publicado por Hense J. y Mandl H. [1], el cual toma como punto de partida la bibliografía existente hasta el momento e identifica todos aquellos factores que parecen contribuir a que un videojuego resulte pedagógico. Desafortunadamente, se trata una vez más de un análisis puramente teórico y surge, por tanto, la necesidad de realizar una serie de experimentos que permitan respaldar sus conclusiones.

El objetivo del presente proyecto consiste en identificar unas guías de diseño básicas, orientadas a desarrolladores, de modo que sus productos puedan alcanzar objetivos pedagógicos y educativos satisfactorios. Para ello:

- Se hará uso de las conclusiones y conocimientos alcanzados durante el estudio que el alumno realizó durante el Proyecto Final de Carrera de la titulación de Ingeniero Técnico en Informática de Sistemas [2]. Dicho estudio, premiado con el *Premio Internacional Educared* y con una temática muy similar al del presente proyecto, describía y evaluaba la experiencia de involucrar a los alumnos en el proceso de diseño del software educativo.
- Se realizará un estudio de campo acerca de la infraestructura TIC presente en los centros educativos de secundaria. De este modo, se identificarán las limitaciones técnicas que habrán de ser tenidas en cuenta en el desarrollo de un videojuego proyectado para ser utilizado en el aula.
- Se diseñarán una serie de experimentos en el que cada una de las características identificadas como potencialmente pedagógicas en [1] será tratada como variable independiente. Dichos experimentos se llevarán a cabo en el instituto de enseñanza secundaria donde el autor imparte clases como profesor de la asignatura de *Tecnología*. Así pues, tanto el alumnado como la infraestructura utilizados serán altamente representativos y permitirán respaldar las conclusiones alcanzadas mediante datos cuantitativos.
- Se desarrollará un videojuego educativo utilizando los resultados obtenidos en el punto anterior. Dicho videojuego será utilizado por el autor para impartir la unidad didáctica de *electricidad básica* a un grupo de alumnos. Los resultados académicos obtenidos en dicho grupo, junto a los obtenidos por grupos no participantes, servirán como base a un análisis estadístico que permitirá evaluar la validez pedagógica de la herramienta desarrollada.

2. ESTUDIO PREVIO DE LAS LIMITACIONES TÉCNICAS Y ELECCIÓN DE LA PLATAFORMA DE DESARROLLO.

La creciente potencia de cálculo y ubicuidad de los procesadores actuales podría hacer pensar que no debería existir ningún problema a la hora de ejecutar juegos educativos en el aula, especialmente si tenemos en cuenta que los requisitos gráficos de este tipo de juegos suelen estar por debajo de los requeridos por las grandes producciones de las compañías modernas. Sin embargo, el presente apartado pretende poner de manifiesto y ponderar aquellas limitaciones que, de forma relativamente inesperada, se encontraron durante el desarrollo del presente proyecto:

1) HARDWARE EN LAS AULAS (IMPACTO: ALTO)

Con el fin de medir las características técnicas de los equipos del aula informática del centro docente objeto de estudio, se ejecutó en todos ellos el software de análisis y referenciación *Sandra (SiSoftware)*. De este modo, se pretendió obtener una visión representativa de las características generales de la dotación de *hardware* presente en los centros docentes de secundaria actuales. Sorprendentemente, la medición efectuada arrojó prácticamente los mismos resultados para todos los equipos, que casi con total seguridad fueron adquiridos en un mismo lote. Dichas características se muestran en la Tabla 1.

CPU:	DualCore AMD Athlon 64 X2, 2900MHz 5600+ (Brisbane)
RAM:	1GB DDR2
Sistema Operativo:	Lliurex 13.06
Tarjeta Gráfica Dedicada:	(Ninguna)

Tabla 1. Características técnicas de los equipos del aula de informática.

A la vista de los resultados obtenidos, resulta relativamente evidente que los equipos informáticos medidos son sobradamente capaces de ejecutar de forma fluida juegos sencillos que no requieran el uso de *shaders* avanzados o aceleración 3D. No obstante, el hecho de que dichos equipos carezcan de tarjetas gráficas dedicadas introduce ciertas dificultades a la hora de ejecutar juegos 3D. Dicha aseveración quedó especialmente patente cuando, al testar la viabilidad del uso del motor *Unity3D* para el presente proyecto, apenas se alcanzaron 11 *fps* al mostrar por pantalla un cubo texturizado rotando sobre sí mismo.

Adicionalmente, se midió la velocidad de la conexión en cada uno de los equipos, ejecutando todos ellos la misma carga (el servicio web desde el cual se intentó realizar la medición de forma síncrona). La media aritmética de las velocidades de subida y bajada obtenidas, así como sus correspondientes desviaciones típicas puede consultarse en la Tabla 2.

Velocidad de bajada:	$\mu=1761 \text{ kbps}$	$\sigma=482 \text{ kbps}$
Velocidad de subida:	$\mu=1274 \text{ kbps}$	$\sigma=367 \text{ kbps}$
Latencia:	$\mu=22 \text{ ms}$	$\sigma=43 \text{ ms}$

Tabla 2. Calidad de la conexión individual en los equipos del aula de informática.

Cabe decir que los resultados obtenidos fueron más altos de lo esperado y que en circunstancias normales se asociarían a una latencia relativamente baja durante una partida de juego online.

2) SOFTWARE EN LAS AULAS (IMPACTO: MEDIO)

La legislación vigente [3] obliga en la práctica a que los centros de educación secundaria de la Comunidad Valenciana basen los contenidos pedagógicos en materia informática utilizando *Lliurex* exclusivamente. *Lliurex* es una distribución *Linux* basada en *Edubuntu* que en los meses anteriores a la redacción del presente proyecto se popularizó debido a las persecuciones y sanciones con las que la Consejería de Educación amenazó a aquellos centros docentes que hacían uso de *Microsoft Windows*.

Sin embargo, y evitando entrar en polémica, éste no es necesariamente un factor que afecte de forma directa a los objetivos del presente proyecto: *Linux* provee una serie de herramientas totalmente válidas para el desarrollo de aplicaciones, pudiendo utilizar para ello una gran variedad de lenguajes de programación. Comparativamente, y como se verá en el siguiente punto, fue la organización interna del centro la que generará la principal traba encontrada.

3) ORGANIZACIÓN DE LOS CENTROS EDUCATIVOS (IMPACTO: MUY ALTO)

La organización interna de un centro de secundaria establece que, por lo general, sólo dos personas pueden adquirir el rol de administrador del sistema, el jefe del departamento de la asignatura de informática y el coordinador TIC. La reluctancia de los mismos de cara a permitir a los profesores instalar sus propias aplicaciones, así como su falta de tiempo para atender a las demandas de éstos, suele derivar en que el profesorado únicamente utilice el *software* instalado por defecto.

El hecho de que en el centro objeto de estudio ambas figuras recaían sobre personas sin titulación informática que se negaron a dotar al autor de derechos de instalación y que pospusieron indefinidamente sus peticiones, hizo este problema especialmente patente. De todas formas, cualquier profesor de la Comunidad Valenciana ha de tramitar previamente, a través de una tercera persona, la instalación del *software* que desee utilizar. Por tanto, resulta crucial encontrar un modo que permita eliminar dicha dependencia y que permita a los docentes utilizar sus propios programas en el aula de informática libremente, especialmente si dichos programas han de modificarse y reinstalarse continuamente para poder adaptarse a las necesidades del alumnado.

Finalmente, la solución al problema expuesto vino dada por la posibilidad de que el alumnado ejecutase a través de navegadores web aquellos programas que el profesor habría creado y subido previamente a su espacio personal dentro de un servidor.

Una vez identificadas las principales dificultades que pueden encontrarse en el aula de informática en un centro docente de secundaria, se llegó a la conclusión de que las aplicaciones a desarrollar en el presente proyecto debían cumplir las siguientes condiciones:

- Gráficamente, han de ser computacionalmente sencillas y no requerir aceleración 3D. Así pues, resultó evidente que los productos software generados en el presente proyecto debían ser juegos 2D.
- Las aplicaciones desarrolladas habían de estar basadas en web y almacenadas en servidores de forma que pudiesen ser ejecutadas remotamente a través de navegadores. Se pretendió así una independencia lo más alta posible con respecto al dispositivo y sistema operativo que las ejecute, así como de la necesidad de permisos del usuario. Por tanto, los productos *software* del presente proyecto se basaron en *HTML5*, tal como recomiendan las prácticas actuales de desarrollo de contenido web.

Dadas las dos condiciones anteriormente expuestas, se inició un proceso de evaluación de aquellos lenguajes, librerías y herramientas orientadas a la creación de videojuegos que pudiesen ofrecer una solución satisfactoria:

En primer lugar se sopesó la posibilidad de programar directamente en el medio final de presentación utilizando las librerías *jQuery* sobre *HTML5*. Sin embargo, dicha opción fue descartada debido a la aparente dificultad que entrañaba la programación de determinados efectos avanzados (tales como las simulaciones físicas de las que finalmente se hizo uso en la primera fase experimental, como se verá más adelante).

Posteriormente, se evaluó la viabilidad del uso de las librerías *libgdx* sobre *Java*. Dichas librerías permitían tanto la publicación en *HTML5* como la programación de efectos relativamente avanzados. Sin embargo, pese a la relativa simplicidad del lenguaje, éste todavía resultaba demasiado complejo en un contexto en el que se debían desarrollar dos videojuegos por semana, durante varias semanas consecutivas.

Finalmente, se optó por utilizar *GameMaker Studio v1.2* como plataforma de desarrollo durante el presente proyecto: gracias a su interfaz de muy alto nivel, la creación de juegos sencillos 2D resulta casi inmediata y además, entre sus múltiples opciones de publicación se encuentra *HTML5*. Adicionalmente, *GameMaker* presenta unos resultados de ejecución excelentes, nunca bajando de los 30 *fps* al mostrar 100 instancias de un mismo *sprite* de 32x32 píxeles en los equipos de aula en que fue testado. Adicionalmente, integra el motor de simulaciones físicas *Box2D*, que permitió implementar los conceptos de física básica que se utilizarían como contenidos didácticos en la primera fase experimental. El anexo de la presente memoria describe, a modo de tutorial, el proceso de creación de un videojuego sencillo utilizando la herramienta seleccionada.

3. DISEÑO DE LOS EXPERIMENTOS

Como se ha expuesto en la introducción del presente proyecto, el objetivo del mismo se basa en la obtención de unas guías de diseño para el diseño de juegos educativos a partir de los resultados arrojados por una serie de experimentos que cuantifiquen hasta qué punto las recomendaciones identificadas como potencialmente pedagógicas en [1] contribuyen realmente a que el alumnado adquiera conocimientos.

Aunque el listado de recomendaciones citadas en [1] puede parecer relativamente extenso, un rápido análisis permite clasificarlos en siete categorías principales:

1. **Dificultad:**
 - 3.a.3. *"Evitar frustración y desilusión."*
 - 3.c.3. *"Evitar la posibilidad de que el alumno falle muy a menudo."*
 - 4.b.1. *"Que las metas supongan un reto, pero que sean realizables dada la capacidad del alumno."*
 - 4.b.2. *"Evitar el factor suerte, que los alumnos sean los únicos responsables del éxito o fracaso."*
 - 4.f.2. *"Adaptar la dificultad a las capacidades de los alumnos."*
2. **Realimentación:**
 - 2.a.1. *"Proveer realimentación directa a las acciones del alumnado."*
 - 3.c.1. *"Proveer realimentación positiva a los logros del alumno."*
 - 3.c.2. *"Proveer mecanismos para que el alumno pueda visualizar los logros conseguidos."*
 - 4.a.2. *"Evitar centrarse en recompensas no esenciales (puntuación, logros,...)."*
 - 4.b.3. *"Asegurarse de que existen suficientes oportunidades como para que el alumno se sienta competente."*
 - 4.f.3. *"Proveer realimentación informativa de forma inmediata y continua."*
3. **Intereses del alumnado:**
 - 4.e.1. *"Ajustar la temática del juego a los intereses del alumnado."*
 - 4.e.2. *"Ofrecer elecciones para satisfacer los diferentes intereses del alumnado."*
4. **Libertad:**
 - 2.a.2. *"Dar al alumno oportunidades para ejercitar y practicar."*
 - 2.c.2. *"Ofrecer diferentes perspectivas y contextos para un mismo contenido didáctico."*
 - 2.c.4. *"Ofrecer oportunidades para que el alumno pueda crear sus propios procesos de resolución."*
 - 3.b.1. *"Ofrecer diversas opciones de actuación."*
 - 3.b.2. *"Ofrecer diversas oportunidades para la exploración."*
 - 4.c.1. *"Proveer libertad de actuación."*
 - 4.c.2. *"Proveer libertad de elección."*
5. **Interacción entre jugadores:**
 - 2.c.3. *"Crear un contexto social para el aprendizaje."*
 - 4.d.1. *"Proveer mecanismos de cooperación con otros jugadores."*
6. **Resolución de problemas:**
 - 2.b.1. *"Incluir problemas complejos dentro del contexto del juego."*
 - 2.b.2. *"Incluir en el juego la información necesaria para resolver los problemas del juego."*
 - 2.c.1. *"Crear problemas realistas y auténticos."*
7. **Diversión:**
 1. *"Definir claramente las metas de aprendizaje del juego sin dejar de lado la diversión."*
 - 3.a.1. *"Proveer un diseño visual atractivo."*
 - 3.a.2. *"Maximizar la usabilidad."*
 - 4.a.1. *"Hacer que tanto la jugabilidad como el aprendizaje resulten atractivos."*

Una vez identificadas los grupos de recomendaciones a evaluar, la fase experimental se dividió en las dos grandes etapas que se describen a continuación.

3.1. PRIMER PERIODO EXPERIMENTAL

En la primera etapa de experimentos se implementaron cinco juegos correspondientes a las cinco primeras categorías identificadas en [1] y enunciadas en el punto anterior. La mecánica de estos juegos se diseñó de la forma más sencilla posible, con tal de minimizar el número de factores involucrados en el estudio y ajenos a las variables que posteriormente se definirán como independientes (aquellas cuya influencia se desea medir, en este caso las recomendaciones pertenecientes a cada uno de los cinco grupos) y dependientes (el resultado que pueda producir dicha influencia, en este caso la adquisición de conocimientos por parte del alumnado). Así mismo, se pretendió que la mecánica de cada uno de ellos incluyese todas las recomendaciones especificadas en [1] y agrupadas dentro de cada grupo.

La razón para no evaluar las recomendaciones agrupadas dentro de la categoría de *Diversión* se basaron en el hecho de que resulta un factor altamente subjetivo, y por tanto muy difícil de manipular y medir. No obstante, resulta una cuestión suficientemente interesante por sí misma como para motivar futuros estudios basados en ella. Resulta necesario destacar además que, aunque se tomó la decisión de no evaluar los factores relativos a la diversión, sí se intentó diseñar los cinco juegos para que resultasen divertidos. Más concretamente, se evitó que parecieran simples cuestionarios tradicionales convertidos en aplicación digital.

Adicionalmente, se realizó un exhaustivo análisis acerca de las consecuencias de incluir en el estudio distintos tipos de aprendizaje y conocimiento. La conclusión del mismo fue que dicha pretensión podía resultar demasiado ambiciosa y perteneciente quizás a otro tipo de campos científicos, como pueda ser la psicología (¿cómo justificar que una técnica que parece ayudar a memorizar una fecha es también útil para la resolución de un problema?). Así pues, se tomó la decisión de utilizar únicamente contenidos didácticos centrados en la *Resolución de problemas*, tal como especifican las recomendaciones pertenecientes al sexto grupo del apartado anterior. Este hecho no sólo motivó que dicho grupo no pudiese ser evaluado (al no poder contrastar sus resultados con los de otros tipos de conocimiento), sino que además obligó a centrar el alcance del presente estudio en la identificación de aquellos factores que facilitan la adquisición de conceptos para resolución de problemas. Así pues, los cinco juegos implementados se basaron en la comprensión de conceptos científicos pertenecientes a la mecánica clásica con el fin de que los contenidos didácticos fueran desconocidos para el alumnado. Los alumnos objeto de estudio no cursarán la asignatura de Física hasta el siguiente año y de este modo se excluyen factores externos a este estudio tales como la preparación académica individual de cada alumno.

Cada uno de los experimentos que hicieron uso de estos juegos se llevó a cabo durante una sesión de 55 minutos. Así pues, los cinco experimentos se llevaron a cabo a razón de dos experimentos semanales durante las semanas 13, 14 y 15 de 2014. El grupo de usuarios que tomó parte en el experimento estuvo formado por 21 alumnos pertenecientes al primer curso de enseñanza secundaria obligatoria, con edades comprendidas entre 12 y 14 años.

Cabe resaltar que en ningún momento se midió la puntuación obtenida durante las partidas, sino el grado de adquisición de conocimientos que el juego utilizado en cada experimento motivó. De este modo, al finalizar cada una de las sesiones de juego, se requirió a cada alumno que durante diez minutos contestase un sencillo test, puntuable de 0 a 3 puntos. Las diferencias de puntuación obtenidas entre aquellos grupos que habían jugado a distintas versiones de un mismo juego permitieron extraer conclusiones acerca de la validez de la

recomendación sujeta a estudio. Cabe decir que la confección de los grupos varió entre cada experimento, con el fin de independizar los resultados de la capacidad individual de cada alumno.

A continuación se especifican de forma minuciosa cada una de las aplicaciones y experimentos llevados a cabo, así como los resultados obtenidos en esta primera fase experimental:

EXPERIMENTO 1. Evaluación de la *Dificultad*.

CONCEPTO A APRENDER: El alumno debe comprender que un objeto dejado caer desde un vehículo en movimiento conservará durante su caída la componente horizontal de la velocidad del vehículo desde el cual fue lanzado.

MECÁNICA DE JUEGO: Un avión debe bombardear una serie de objetivos. Para ello, el alumno debe calcular con antelación el momento en que dejará caer la bomba para que, dada la componente horizontal del avión, ésta impacte en el objetivo deseado (Figura 1).



Figura 1. Juego que pretende evaluar la contribución de la *dificultad* a la adquisición de conocimientos.

VARIABLE INDEPENDIENTE: DIFICULTAD

Se implementaron tres versiones del mismo juego, con distintas dificultades:

1. *Difícil*: el avión realiza tantos vuelos como objetivos existen pudiendo soltar una única bomba en cada vuelo. Así pues, cualquier fallo supone perder la partida.
2. *Media*: el avión hace un 50% de vuelos adicionales.
3. *Fácil*: el avión hace el doble de vuelos de los necesarios.

El grupo de 21 alumnos fue dividido de forma aleatoria en 3 grupos de 7 participantes, cada uno de los cuales jugó a una versión diferente durante aproximadamente 55 minutos.

VARIABLE DEPENDIENTE: CONOCIMIENTOS ADQUIRIDOS

Una vez finalizada la sesión de juego, los alumnos dedicaron los últimos 10 minutos de la hora lectiva en rellenar un cuestionario que midió los posibles conocimientos adquiridos. Se puntuó, de 0 a 3, la adquisición de conocimientos en función de la asimilación de los siguientes conceptos:

1. El alumno ha aprendido que no se puede acertar a un objetivo si se libera la bomba justo cuando el avión está en la misma vertical que el objetivo.
2. El alumno ha percibido que tras soltar la bomba y hasta que impacta, ésta siempre se sitúa en la misma vertical que el avión.
3. El alumno comprende que para impactar correctamente en un objetivo, se ha de tener en cuenta cuánto tarda la bomba en caer hasta el suelo y soltarla la antelación suficiente en función de la velocidad del avión.

RESULTADO: Desafortunadamente, no se encontraron diferencias significativas en las puntuaciones obtenidas en cada uno de los 3 grupos de estudio ($p > 0.05$, test ANOVA con un 95% de intervalo de confianza).

OBSERVACIONES: 5 de los 7 participantes que jugaron a la versión difícil manifestaron frustración y su deseo de concluir la sesión de juego. Sin embargo, tal como se indica en el párrafo anterior, esto no perjudicó (ni contribuyó positivamente) de forma significativa a la adquisición de conocimientos.

EXPERIMENTO 2. Evaluación de la *Realimentación*.

CONCEPTO A APRENDER: El alumno ha de comprender que el eje vertical que pasa por el centro de gravedad de un objeto divide al mismo en dos mitades con igual masa.

MECÁNICA DE JUEGO: Se le presentan sucesivamente al alumno una serie de figuras con diferentes orientaciones. Éste ha de especificar sobre cada una de ellas qué punto de las mismas apoyaría sobre un fulcro de tal forma que la figura quedase en equilibrio (Figura 2). Con la finalidad de que la aplicación sea un juego y no un mero cuestionario, cada una de las figuras que pierde el equilibrio cae sobre un puente de cristal sobre el que están circulando una serie de hormigas de vuelta a su hormiguero. El objetivo del juego consiste en que el puente resista hasta que todas las hormigas hayan conseguido refugiarse.



Figura 2. Versión con realimentación del juego que pretende evaluar la contribución del mismo a la adquisición de conocimientos.

VARIABLE INDEPENDIENTE: REALIMENTACIÓN

Se implementaron dos versiones del mismo juego:

1. En la primera, tras la elección del punto de apoyo, se visualiza en pantalla una simulación física mostrando las consecuencias de dicha elección (utilizando el motor de físicas *Box2D* integrado en *GameMaker*). El alumno puede averiguar así no sólo si su respuesta ha sido la correcta, sino además percibir el margen de error cometido en caso contrario. El mencionado margen de error se establece mediante una estimación del tiempo que tarda el objeto en desestabilizarse y caer.
2. La segunda versión, en cambio, no devuelve realimentación alguna y cada respuesta es seguida inmediatamente por una nueva pregunta.

El grupo de 18 alumnos (3 faltaron por motivos de salud) fue dividido de forma aleatoria en dos grupos de 9 participantes, cada uno de los cuales jugó a una versión diferente durante aproximadamente 45 minutos.

VARIABLE DEPENDIENTE: CONOCIMIENTOS ADQUIRIDOS

Una vez finalizada la sesión de juego, los alumnos dedicaron los últimos 10 minutos de la hora lectiva en rellenar un cuestionario que midió los posibles conocimientos adquiridos. Se puntuó, de 0 a 3 puntos, la adquisición de conocimientos en función de la asimilación de los siguientes conceptos:

1. El alumno se da cuenta de que el peso a ambos lados de la línea vertical que pasa por el punto elegido ha de ser el mismo.
2. El alumno tiene en cuenta lo arriba expuesto de cara a su estimación de la posición del centro de gravedad en figuras con densidad no uniforme, tales como un martillo. De esta forma se evalúa la distinción entre el concepto de volumen y el de masa.
3. El alumno se da cuenta de que el centro de gravedad de una figura simétrica ha de situarse necesariamente en su eje de simetría.

RESULTADO: Los alumnos que jugaron a la versión con realimentación asimilaron los conceptos de forma mucho más satisfactoria, siendo sus calificaciones obtenidas en el cuestionario posterior significativamente mejores que las del otro grupo ($p=0.025<0.05$, test ANOVA con un 95% de intervalo de confianza).

OBSERVACIONES: La versión sin realimentación resultó extremadamente frustrante para la mayoría de alumnos. Aquellos que jugaron a la misma manifestaron cierta desesperación al no poder cuantificar la magnitud de los errores cometidos y admitieron sentirse perdidos al no poder conocer si estaban tomando las decisiones correctas.

EXPERIMENTO 3. Evaluación de los *Intereses del alumnado*.

CONCEPTO A APRENDER: El alumno debe familiarizarse con la notación angular sexagesimal. Además, debe comprender que el ángulo óptimo de lanzamiento de un proyectil para que éste se aleje lo máximo posible del punto de lanzamiento es de 45° . Valores por encima o por debajo de dicho valor implicarán un menor recorrido horizontal por parte del proyectil.

MECÁNICA DE JUEGO: En cada nivel, el alumno controla la inclinación de un cañón con las flechas del teclado. Al mismo tiempo, el valor angular de dicha inclinación se muestra claramente en pantalla (Figura 3). Una vez el alumno estima que la inclinación del cañón es la óptima para alcanzar un objetivo concreto, cuya distancia al cañón varía en cada nivel, éste puede disparar el cañón con la barra espaciadora.

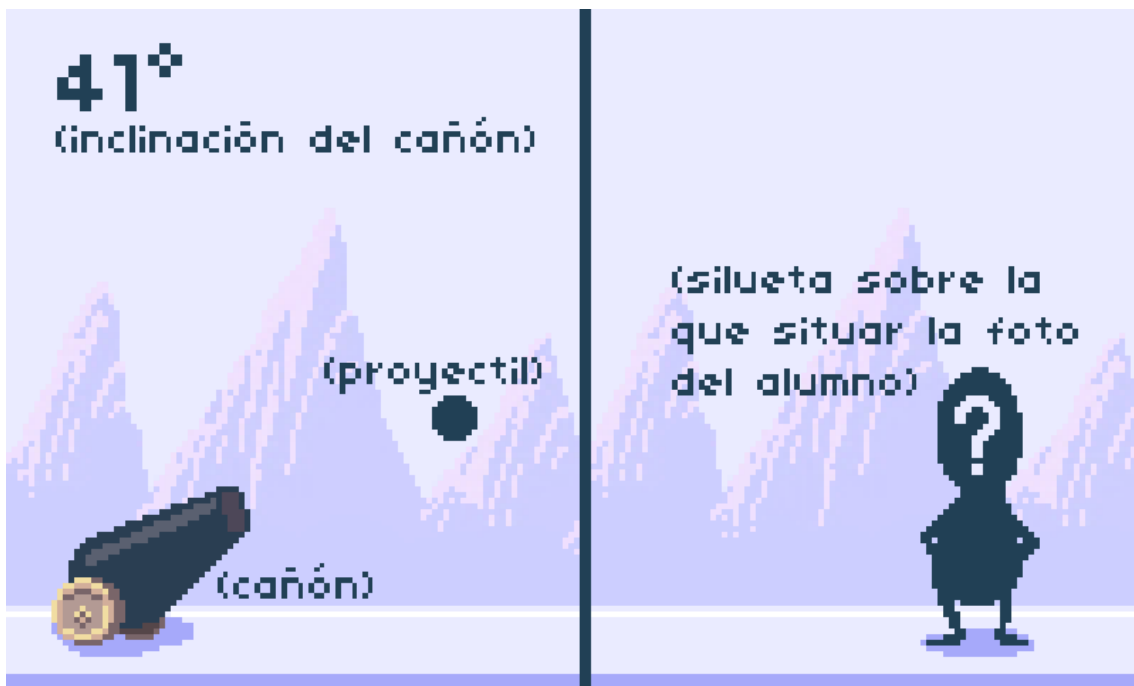


Figura 3. Juego que pretende evaluar la contribución de los intereses del alumnado a la adquisición de conocimientos. Por cuestiones de privacidad se muestra la captura correspondiente a la versión sin fotos.

VARIABLE INDEPENDIENTE: INTERESES DEL ALUMNADO

Se implementaron dos versiones del mismo juego:

1. En la primera versión los *sprites* que representaban a los objetivos fueron elaborados a partir de fotos de compañeros de clase (Figura 3) a los que había que alcanzar con una pelota disparada por el cañón.
2. En cambio, en la segunda versión, el *sprite* que representaba a los objetivos consistió en una figura genérica.

El grupo de 21 alumnos fue dividido de forma aleatoria en dos grupos de 10 y 11 participantes respectivamente, cada uno de los cuales jugó a una versión diferente durante aproximadamente 45 minutos.

VARIABLE DEPENDIENTE: CONOCIMIENTOS ADQUIRIDOS

Una vez finalizada la sesión de juego, los alumnos dedicaron los últimos 10 minutos de la hora lectiva en rellenar un cuestionario que midió los posibles conocimientos adquiridos. Se puntuó, de 0 a 3 puntos, la adquisición de conocimientos en función de la asimilación de los siguientes conceptos:

1. El alumno asocia correctamente determinadas inclinaciones o rotaciones a sus correspondientes valores numéricos sexagesimales.
2. El alumno identifica el valor de 45° como el ángulo óptimo para que el proyectil recorra la máxima distancia horizontal.
3. El alumno asocia correctamente determinados valores numéricos sexagesimales con las distancias que aproximadamente recorrerá el proyectil.

RESULTADO: Desafortunadamente, no se encontraron diferencias significativas en las puntuaciones obtenidas en cada uno de los tres grupos de estudio ($p > 0.05$, test ANOVA con un 95% de intervalo de confianza).

OBSERVACIONES: Cabe decir que el diseño de este experimento resultó relativamente accidentado, puesto que ningún tema de los propuestos por el alumnado consiguió un apoyo remotamente cercano al 50%, con la excepción del fútbol. Dicho tema hubo de ser también descartado, puesto que sólo despertaba interés en los alumnos varones (con lo cual la variable independiente hubiera sido equivalente al sexo de los participantes). Así pues, de cara a despertar su interés e implicación, se optó por incluir a los propios alumnos en el juego, tal como se ha visto. Resulta necesario, sin embargo, advertir de los peligros de la práctica aquí expuesta: la gran mayoría de los alumnos de enseñanza secundaria son menores de edad y por tanto, el uso de su imagen queda totalmente prohibido sin el consentimiento previo de sus padres o tutores legales.

Dicho esto, la gran mayoría de los participantes mostró una enorme excitación al ser incluidos en el juego, lo cual elevó notablemente su predisposición a jugarlo. Sin embargo, dicha predisposición no se vio reflejada en un aumento significativo en la adquisición de conocimientos.

Cabe decir que, no obstante, la experiencia se consideró altamente positiva y que contribuyó notablemente a la diversión general durante la sesión. Sin embargo, tal como se ha mencionado en puntos anteriores, la diversión resulta un factor extremadamente difícil de cuantificar y queda por tanto fuera del presente estudio.

EXPERIMENTO 4. Evaluación de la *Libertad*.

CONCEPTO A APRENDER: Que, al contrario de lo que pueda parecer, las pelotas de vidrio o acero rebotan a una mayor altura que las de goma. Esto tiene su explicación en el hecho de que las pelotas de vidrio y acero, al ser más duras, se deforman menos durante el impacto y pierden menos energía.

MECÁNICA DE JUEGO: El alumno debe lanzar una pelota e impactar sobre un blanco móvil consistente en un pájaro que recorre horizontalmente la pantalla a distintas alturas. El impacto no tiene por qué ser necesariamente directo, ya que también se contabiliza como correcto el impacto tras un rebote (Figura 4). Adicionalmente, el material del cual está hecha la pelota cambia entre lanzamientos entre tres materiales posibles: vidrio, acero y goma.



Figura 4. Juego que pretende evaluar la contribución de la *libertad* la adquisición de conocimientos.

VARIABLE INDEPENDIENTE: LIBERTAD

Se implementaron dos versiones del mismo juego:

1. En la primera versión, el escenario de juego estaba libre de obstáculos y paredes y las pelotas sólo podían lanzarse en dirección vertical.
2. En la segunda versión, las pelotas podían lanzarse en cualquier dirección, y además éstas podía rebotar tanto en las paredes de la habitación como en diversos obstáculos contenidos en ella. Además, los jugadores podían cambiar el tipo de pelota antes de lanzarla. Todo ello dotaba a los jugadores de una serie de nuevas posibilidades y estrategias de cara a conseguir impactar en el objetivo deseado, además de crear un mayor número de escenarios para analizar el comportamiento físico de la pelota.

El grupo de 21 alumnos fue dividido de forma aleatoria en dos grupos, de 10 y 11 participantes respectivamente, cada uno de los cuales jugó a una versión diferente durante aproximadamente 45 minutos.

VARIABLE DEPENDIENTE: CONOCIMIENTOS ADQUIRIDOS

Una vez finalizada la sesión de juego, los alumnos dedicaron los últimos 10 minutos de la hora lectiva en rellenar un cuestionario que midió los posibles conocimientos adquiridos. Se puntuó, de 0 a 3 puntos, la adquisición de conocimientos en función de la asimilación de los siguientes conceptos:

1. El alumno percibe que la pelota de vidrio rebota más que la de acero y, a su vez, la de acero rebota más que la de goma.
2. El alumno detecta que la altura de los sucesivos rebotes, independientemente del material, disminuye con cada impacto contra el suelo.
3. El alumno es capaz de relacionar la dureza del material con la naturaleza de los rebotes.

RESULTADO: Los alumnos que jugaron a la versión con *libertad* asimilaron los conceptos de forma mucho más satisfactoria, siendo sus calificaciones obtenidas en el cuestionario posterior significativamente mejores que las del otro grupo ($p=0.039<0.05$, test ANOVA con un 95% de intervalo de confianza).

OBSERVACIONES: A modo anecdótico, se observó que muchos de los alumnos que jugaron a la segunda versión hacían uso de estrategias avanzadas incluso cuando podían impactar al pájaro de forma directa.

EXPERIMENTO 5. Evaluación de la *Interacción con otros jugadores*.

CONCEPTO A APRENDER: Que, debido a la conservación del momento angular, una motocicleta en marcha gira según su eje vertical cuando se inclina sin necesidad de girar el volante.

MECÁNICA DE JUEGO: Los jugadores han de colocar pizzas en uno de los dos brazos de un repartidor que va en moto para que éste se incline hacia un lado u otro en el momento de tomar una curva (Figura 5).



Figura 5. Juego que pretende evaluar la *interacción con otros jugadores* a la adquisición de conocimientos.

VARIABLE INDEPENDIENTE: INTERACCIÓN CON OTROS JUGADORES

Se implementaron 3 versiones del mismo juego:

1. En la primera versión, cada jugador podía colocar únicamente una pizza sobre uno de los brazos de un único repartidor. Así pues, los alumnos debían cooperar entre ellos para que el repartidor tomase correctamente cada curva.
2. En la segunda versión, cada alumno era responsable de un único repartidor y se fomentaba entre ellos una competición por ver quién recorría mayor distancia.
3. Por último, en su última versión, el juego no permitía la interacción con otros jugadores.

El grupo de 21 alumnos fue dividido de forma aleatoria en 3 grupos de 7 participantes, cada uno de los cuales jugó a una versión diferente durante aproximadamente 45 minutos.

VARIABLE DEPENDIENTE: CONOCIMIENTOS ADQUIRIDOS

Una vez finalizada la sesión de juego, los alumnos dedicaron los últimos 10 minutos de la hora lectiva en rellenar un cuestionario que midió los posibles conocimientos adquiridos. Se puntuó, de 0 a 3 puntos, la adquisición de conocimientos en función de la asimilación de los siguientes conceptos:

1. El alumno comprende que la motocicleta gira en las curvas porque ésta se inclina, no porque el repartidor, que tiene las manos ocupadas con cajas de pizza, gire el manillar.
2. El alumno percibe que cuanto mayor es la inclinación, más cerrada toma la curva el repartidor.
3. El alumno es capaz de extrapolar el fenómeno a otros objetos cotidianos, tales como una moneda rodando sobre su canto o una peonza manteniéndose erguida.

RESULTADO: Desafortunadamente, no se encontraron diferencias significativas en las puntuaciones obtenidas en cada uno de los tres grupos de estudio ($p > 0.05$, test ANOVA con un 95% de intervalo de confianza).

OBSERVACIONES: Así como en el tercer experimento (*personalización*), se detectó un notable entusiasmo y excitación en aquellos grupos que jugaron a las versiones con interacción entre jugadores. Desgraciadamente, este entusiasmo tampoco se tradujo en un aumento significativo en la adquisición de conocimientos.

Cabe resaltar una interesante diferencia de comportamiento entre el alumnado que jugó a las versiones con interacción entre jugadores: aquellos que jugaron a la versión cooperativa mantuvieron un carácter festivo y alegre, pero su interés disminuyó rápidamente. En cambio, se detectó una gran concentración y un interés mucho más prolongado en aquellos que jugaron a la versión competitiva. Estos fenómenos resultan extremadamente interesantes y justificarían la programación de un nuevo estudio por sí mismos. Sin embargo, tal como se ha mencionado en otros puntos de la presente memoria, estos factores quedan fuera del presente estudio debido a su subjetividad.

Así pues, una vez concluida la primera fase experimental, dos de las cinco agrupaciones de recomendaciones evaluadas ("*realimentación*" y "*libertad*") demostraron empíricamente su contribución a la adquisición de los conocimientos programados. No obstante, la contribución del resto de grupos de recomendaciones ("*dificultad*", "*intereses del alumnado*" e "*interacción entre jugadores*") no resultó significativa de cara a la potenciación pedagógica de un producto *software*.

Como se ha dicho anteriormente, merecen especial atención de cara a futuros estudios los fenómenos ocurridos en los experimentos "*intereses del alumnado*" e "*interacción entre jugadores*", donde el alumnado pareció divertirse de un modo mucho mayor que en el resto de experimentos.

Por último, cabe destacar un hecho que pasó desapercibido durante el diseño experimental y que no obstante generó grandes pérdidas de tiempo: se asumió que los alumnos entre 12 y 14 años eran capaces de expresarse por escrito de forma clara y concisa. Sin embargo, éste fue raramente el caso, y tras cada experimento fueron necesarias numerosas entrevistas individuales con el fin de determinar si la causa de cada respuesta ambigua había sido la no asimilación del concepto impartido o su incapacidad individual para expresarse correctamente por escrito.

3.2. SEGUNDO PERIODO EXPERIMENTAL

Una vez identificadas empíricamente aquellas recomendaciones que contribuyen a que un videojuego resulte pedagógico, se hizo uso de las mismas durante el diseño de un juego notablemente más elaborado. El objetivo de dicho juego consistió en ayudar a los alumnos a adquirir los conocimientos relativos al área de electricidad básica que el autor les impartió durante las 8 últimas semanas del curso académico, dentro del marco de la asignatura de *Tecnología*.

Así pues, el grupo de 21 alumnos que había participado en la fase experimental anterior tuvo la oportunidad de ejercitar sus conocimientos de electricidad básica a través del juego implementado. Los alumnos jugaron durante 2 horas lectivas semanales a lo largo de 8 semanas, sumadas a las 2 horas lectivas semanales en las que se les impartía la misma materia mediante métodos tradicionales, en la asignatura de *Tecnología*.

Finalmente, con el fin de evaluar la contribución del juego objeto de estudio a la adquisición de los conceptos programados, se comparó el resultado individual obtenido por cada participante en el examen de electricidad básica con su rendimiento hasta la fecha en la asignatura de *Tecnología*, comprobando si el grupo de participantes había experimentado mejoras en la nota significativamente mayores que el grupo de no participantes.

3.2.1 CONTENIDOS DIDÁCTICOS INCLUIDOS EN EL JUEGO

Los contenidos didácticos a reforzar mediante el uso del videojuego educativo implementado pertenecen al primer curso de Enseñanza Secundaria Obligatoria de la asignatura de *Tecnología*. Por tanto, han de ajustarse a lo regulado en el Decreto 112/2007, de 20 de julio [4], así como a la programación didáctica elaborada por el departamento:

CONCEPTOS DE ELECTRICIDAD A IMPARTIR EN PRIMER CURSO:

Concepto 1. Electricidad, conductores y aislantes: Los alumnos han de conocer las distintas partes de un átomo. Adicionalmente, deben familiarizarse con los conceptos de aislante y conductor, así como con algunos ejemplos cotidianos de materiales con dichas propiedades. Por último, deben visualizar la electricidad como el paso de electrones a lo largo de un conductor.

Concepto 2. La corriente eléctrica: Los alumnos han de comprender qué genera la corriente eléctrica continua. Más concretamente, han de ser conscientes de que ésta se produce al conectar mediante un conductor dos puntos con una diferencia significativa en la cantidad de electrones que poseen.

Concepto 3. Funcionamiento y simbología de elementos de un circuito eléctrico: Los alumnos han de familiarizarse con el diseño básico de circuitos. En especial, deben comprender que sus elementos receptores sólo pueden funcionar cuando están conectados simultáneamente a dos puntos con una diferencia significativa de carga eléctrica (y por tanto, cuando los recorre una corriente eléctrica). Al mismo tiempo, deben familiarizarse con la funcionalidad y la simbología de los siguientes elementos:

- Elementos generadores: la pila.
- Elementos receptores: lámparas y motores.
- Elementos de control: interruptores, pulsadores.

3.2.2 MECÁNICA DE JUEGO DEL JUEGO DE ESTUDIO

A grandes rasgos, el juego se diseñó como un plataformas sin *scroll* en el cual cada nivel planteaba un puzle a resolver (de forma similar al clásico *Solomon's Key*, de *Tecmo*, o al más actual *Escape Goat*, de *Magical Time Bean*). La resolución del puzle planteado en cada nivel consistía en interconectar distintos elementos eléctricos con el objeto de abrir la puerta que conducía al siguiente nivel.



Figura 6. Captura de pantalla de uno de los niveles del juego.

En cada sesión experimental, se proporcionaban dos nuevos niveles a los participantes, los cuales debían explorar las diferentes combinaciones que les permitiesen encontrar la salida. Así pues, el juego consistió en un total de 32 niveles, como el mostrado en la Figura 6, que fueron ordenados según un orden creciente de dificultad.

Más concretamente, y en vista de los resultados obtenidos en la primera etapa experimental, la implementación del videojuego educativo hizo especial hincapié en que los dos factores identificados como potencialmente pedagógicos en la adquisición de conceptos científicos estuvieran presentes:

- 1) En todo momento, se le proporcionó al usuario realimentación inmediata que le permitiese visualizar en tiempo real las consecuencias de cada una de sus acciones. De este modo, el *sprite* correspondiente a un elemento receptor cambiaba en función de si una corriente eléctrica lo atravesaba, además de visualizarse en pantalla el efecto provocado por el funcionamiento del mismo (ver Figura 7 a modo de ejemplo).

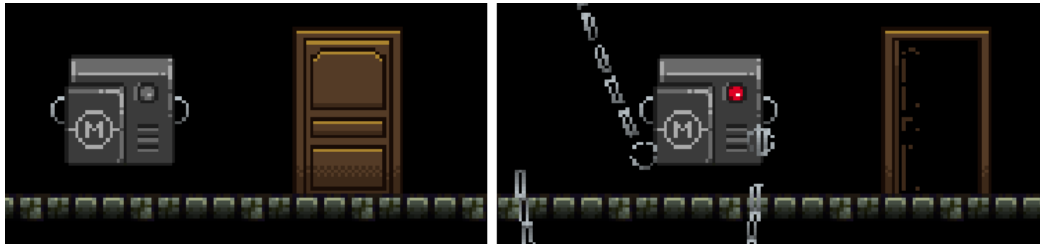


Figura 7. A la izquierda, el motor se encuentra apagado. A la derecha, el motor en funcionamiento ha abierto la puerta de salida hacia el siguiente nivel.

2) Adicionalmente, se fomentó la libertad de decisión y actuación del usuario, proporcionándole múltiples oportunidades para practicar y experimentar. De este modo, el alumno era capaz de crear un gran número de circuitos como resultado de las múltiples combinaciones resultantes de la conexión entre los diferentes elementos proporcionados en cada nivel. Además, la mayoría de los niveles diseñados podían ser completados mediante un subconjunto de estas combinaciones y no mediante una única solución. De este modo se fomentaba que el alumno pueda crear sus propios procesos de resolución.

Por otro lado, fue necesario asegurar que cada uno de los conceptos didácticos programados estuvieran incluidos en el juego. Así pues:

1) Los elementos repartidos por cada nivel podían estar formados por materiales metálicos o por madera (Figura 8). La diferencia en la respuesta visual de los mismos al paso de corriente eléctrica ponía de manifiesto su naturaleza como conductor o aislante, además de proporcionar un ejemplo cotidiano de dichos materiales (*Objetivo didáctico 1*).

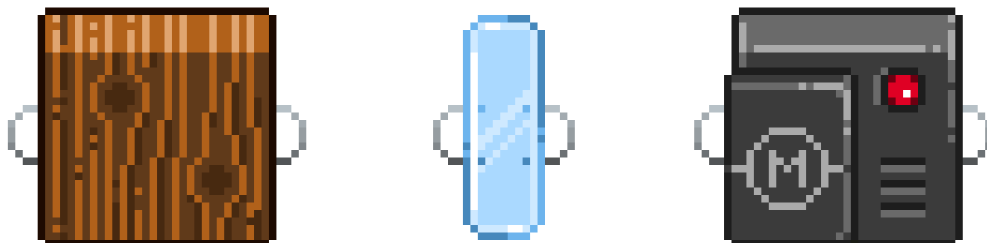


Figura 8. La escenografía del juego está formada por elementos conductores y aislantes indistintamente.

2) La conexión de los distintos elementos receptores dentro de un mismo nivel tenía que realizarse por medio de cadenas. Al menos un extremo de cada una de dichas cadenas debía estar anclado a las vigas metálicas situadas en el techo del castillo que hace las veces de escenario (y sobre el cual caen rayos de forma continua) o bien al suelo. Así pues, para que un elemento receptor funcione, es estrictamente necesario que uno de sus bornes esté conectado a las vigas electrificadas y el otro al suelo (Figura 9). De este modo, el alumno es capaz de provocar el paso de corriente a través de un elemento receptor mediante su conexión simultánea a dos puntos con una diferencia significativa de carga eléctrica (*Objetivo didáctico 2*).

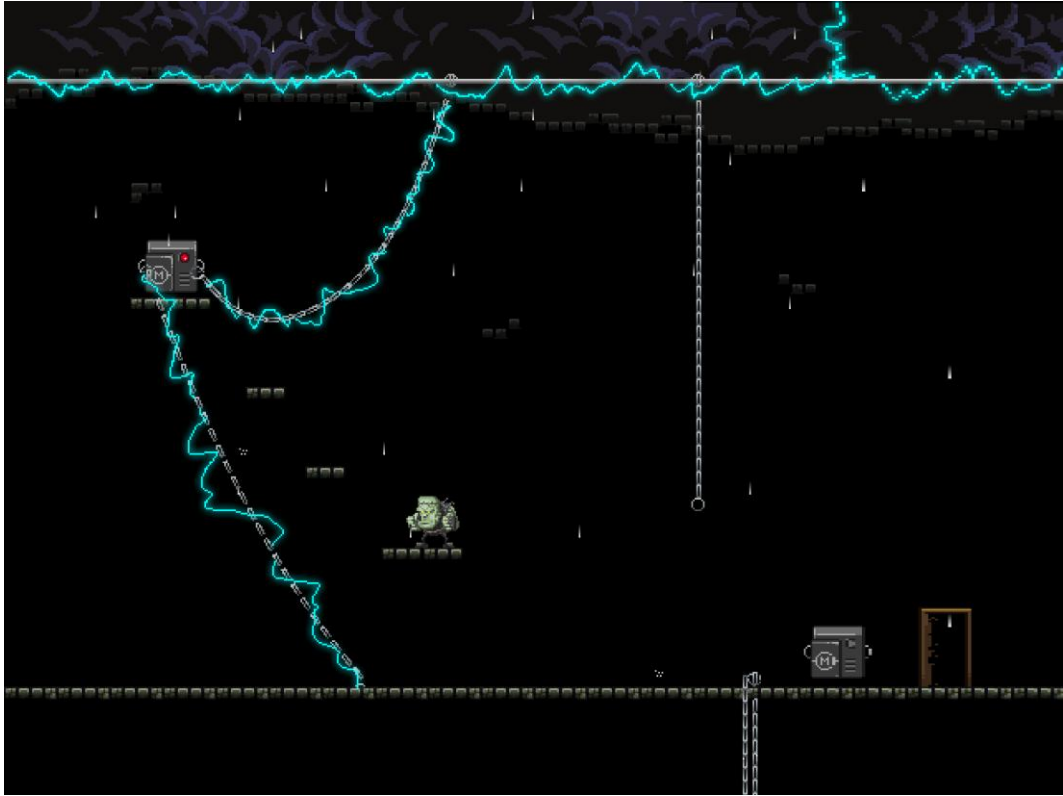


Figura 9. Motor funcionando gracias la corriente que lo recorre desde las vigas electrificadas hasta el suelo.

3) Finalmente, es necesario resaltar que la resolución del puzzle planteado en cada uno de los niveles resultaba prácticamente inasequible mediante la realización al azar de repetidos intentos. Resultaban por tanto necesarias tanto una idea del efecto que se debía provocar para resolver el problema planteado, como unas nociones básicas de diseño de circuitos para llevarlo a cabo. Adicionalmente, cada uno de los elementos eléctricos incluidos en el juego se programó para comportarse conforme a su funcionalidad real y la representación visual de cada uno de ellos hizo uso de su símbolo eléctrico normalizado, familiarizando así al alumno con la simbología eléctrica (Figura 10). Con todo ello se pretendió abarcar los conceptos agrupados dentro del Objetivo didáctico 3.

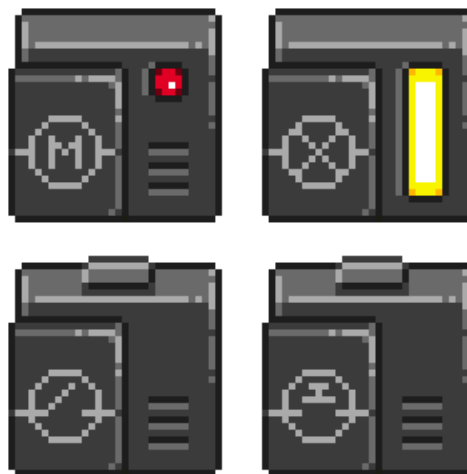


Figura 10. Sprites de algunos de los distintos elementos eléctricos incluidos en el juego, cada uno etiquetado con su símbolo normalizado.

3.2.4 DISEÑO VISUAL Y JUGABILIDAD

En aquellas vertientes del juego no relacionadas directamente con la adquisición de contenidos didácticos, se optó por hacer uso de las lecciones aprendidas por el autor en [2] que fundamentalmente se basaron en los beneficios derivados de implicar a los alumnos en el proceso creativo del mismo. Gracias a sus comentarios y propuestas de mejora, se perfiló tanto el aspecto visual del mismo como ciertos aspectos de su jugabilidad que aún pueden identificarse en la versión final del juego. A continuación se enumeran aquellos aspectos en los cuales las decisiones y propuestas del alumnado tuvieron un mayor peso:

- 1) Aunque los *sprites* fueron creados por el autor, éstos se basaron en bocetos e ideas que habían sido previamente propuestas y escogidas por el alumnado. Así pues, el aspecto visual del protagonista se basó en un boceto concreto elegido por votación con un 71'4% de los votos (Figura 11).



Figura 11. Boceto escogido por el alumnado para el diseño del protagonista.

- 2) 12 de los 21 participantes señalaron que el juego únicamente suponía un reto desde el punto de vista de la resolución del problema planteado y manifestaron su deseo de incrementar su dificultad como juego de plataformas. Así pues, con el fin de incluir saltos que implicasen una mayor coordinación ojo-mano, se provocó que tanto el suelo como las plataformas del escenario resultasen resbaladizas por efecto de una fuerte lluvia, aprovechando así la presencia de la tormenta responsable de la electrificación de las vigas, tal como se muestra en la Figura 12.

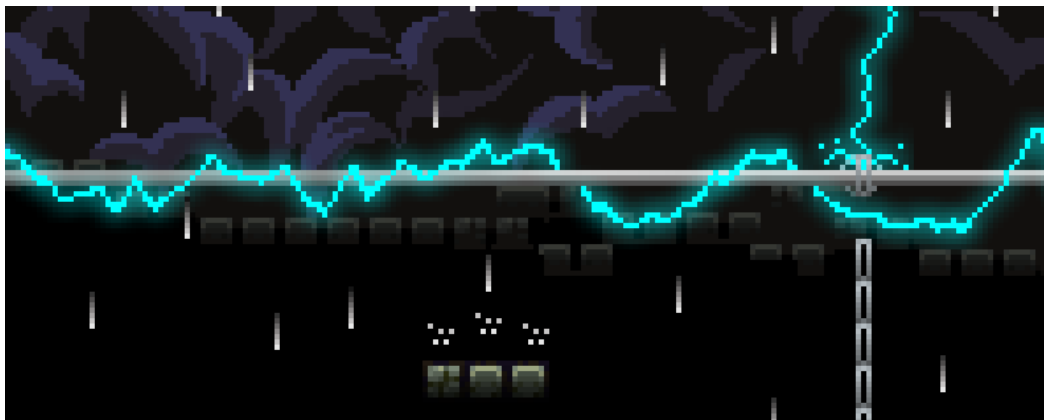


Figura 12. Una fuerte tormenta azota el escenario de juego.

3) Por último, 3 alumnos manifestaron su deseo de diseñar algunos niveles del juego. Este hecho no sólo supuso un alivio a la carga de trabajo del profesor, sino que además permitió que dichos alumnos profundizaran en el estudio del diseño de circuitos a un nivel más profundo que el resto. Cabe decir que dichos alumnos obtuvieron posteriormente una excelente calificación en el examen tradicional de electricidad básica, pero resultaría relativamente sesgado atribuir dicha calificación a su contribución en el juego, puesto que sus calificaciones fueron excelentes durante todo el curso y en la mayoría de asignaturas.

Aunque algunos de los ejemplos enumerados pueden parecer relativamente poco importantes de cara al resultado final, debe tenerse en cuenta que el hecho de implicar al alumnado en el proceso creativo conlleva un considerable aumento en la motivación de los participantes que, aunque difícil de medir, resultó notablemente beneficioso para el desarrollo del estudio.

3.2.4 RESULTADOS DEL EXPERIMENTO

Tal como se ha especificado en la introducción del presente apartado, el objetivo del experimento consistió en medir hasta qué punto el juego implementado había contribuido a la adquisición de conocimientos en materia de electricidad básica. Así pues, se calculó para cada alumno la diferencia entre el resultado obtenido en el examen de electricidad y la media de sus notas en los exámenes realizados hasta entonces en la asignatura de Tecnología. Finalmente se realizó un test ANOVA para detectar si el grupo de participantes había experimentado mejoras en la nota significativamente mayores que el grupo de no participantes.

Cabe decir que tanto la metodología tradicional empleada como el examen se centraron en los contenidos descritos en el apartado 3.2.1 y que dicho modelo de examen fue el mismo en todos los grupos.

Una vez corregidos los exámenes, los resultados obtenidos fueron sometidos al análisis previsto, en el cual se comparó el resultado individual obtenido por cada participante en el examen con su rendimiento hasta la fecha dentro de la asignatura de *Tecnología*. Dicho análisis se realizó mediante el programa *SPSS v20* de *IBM* y consistió en un análisis de varianza (ANOVA) que confirmó que los participantes del experimento mejoraron significativamente su nota en la asignatura con respecto a los no participantes ($p=0.048 < 0.05$, 95% de intervalo de confianza).

4. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

El objetivo del presente trabajo consistió en la identificación empírica de aquellos factores que contribuyen a que un juego resulte educativo, de cara a la elaboración de unas guías de diseño que los desarrolladores puedan seguir con tal de garantizar que su producto resulta en efecto pedagógico. Para ello, se llevó a cabo una identificación y selección de recomendaciones dividida en dos partes. En la primera, se identificaron empíricamente aquellas recomendaciones que resultaron pedagógicas a la hora de asimilar una serie de conceptos puntuales. En la segunda, dichas recomendaciones se utilizaron en la elaboración de un videojuego mediante el cual se impartió una unidad didáctica completa y que provocó una mejora académica significativa en aquellos alumnos que hicieron uso del mismo. Con ello, se considera formalmente demostrada la adecuación de las recomendaciones escogidas como guías de diseño de videojuegos educativos.

De este modo, resulta altamente recomendable durante el diseño de un videojuego educativo cumplir las recomendaciones listadas a continuación, sin ningún orden en particular:

- *"Proveer realimentación directa a las acciones del alumnado."*
- *"Proveer realimentación positiva a los logros del alumno."*
- *"Evitar centrarse en recompensas no esenciales (puntuación, logros,...)."*
- *"Asegurarse de que existen suficientes oportunidades como para que el alumno se sienta competente."*
- *"Proveer realimentación informativa de forma inmediata y continua."*
- *"Dar al alumno oportunidades para ejercitar y practicar."*
- *"Ofrecer diferentes perspectivas y contextos para un mismo contenido didáctico."*
- *"Ofrecer oportunidades para que el alumno pueda crear sus propios procesos de resolución."*
- *"Ofrecer diversas opciones de actuación."*
- *"Ofrecer diversas oportunidades para la exploración."*
- *"Proveer libertad de actuación."*
- *"Proveer libertad de elección."*

Sin embargo, cabe recordar que para llegar a estos resultados se tomó la decisión de tratar únicamente con conceptos didácticos de tipo científico y aplicados a la resolución de problemas. Así pues, aunque dicha simplificación agilizó enormemente el presente estudio, sus resultados no son directamente extrapolables a otros tipos de aprendizaje, como puedan ser los basados en la memorización. De este modo, una posible y muy interesante continuación del presente proyecto se basaría en una repetición del mismo aplicado a otros tipos de aprendizaje y ámbitos del conocimiento.

Adicionalmente, es necesario señalar una limitación a la que estuvo sujeta la segunda fase experimental: la imposibilidad de disponer de un grupo de control. Habiendo sido posible hacer uso de dicho grupo, se hubieran introducido en el análisis las notas de examen de un grupo de alumnos que no hubiesen recibido formación alguna de electricidad básica, obteniendo así una cota inferior representativa para los resultados del mismo. Resulta evidente que dicha imposibilidad vino impuesta por el hecho de que la existencia de un grupo de control hubiera implicado negarle a un grupo de alumnos la docencia de una parte oficial de los contenidos de la asignatura.

Por último, y tal como se ha comentado repetidamente en otras partes de la presente memoria, merecen especial atención los fenómenos expuestos en los experimentos “*intereses del alumnado*” e “*interacción con otros usuarios*”, durante la primera fase experimental. El notable incremento de motivación y entusiasmo generado en dichos experimentos justifican estudios más profundos centrados exclusivamente en ellos.

5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Hense, J. & Mandl, H. (2012) *Learning in or with games?*.
- [2] Agustí, M. & Cuñat, H. (2011) *MoonseeDS: didáctica espacial en la NintendoDS*.
- [3] *Instrucción de servicio número 5/2009 para la utilización y custodia de las licencias de software instalado en los centros docentes de la Generalitat*.
- [4] *DECRETO 112/2007, de 20 de julio, del Consell, por el que se establece el currículo de la Educación Secundaria Obligatoria en la Comunitat Valenciana*.
- [5] Patrick, F. (2009) *Videojuegos en el Aula, Manual para Docentes*.
- [6] Larsen, K. et al. (2012) *A Literature Review of Gaming in Education*.
- [7] De Freitas, S. (2013) *Learning in Immersive Worlds: A Review of Game-Based Learning*.
- [8] Squire, K. (2004) *Replaying History: Learning World History through Playing Civilization III*.
- [9] Gouglas, S., Sinclair, S., Ellefson, O. and Sharplin, S. (2006). *Neverwinter Nights in Alberta: Conceptions of narrativity through fantasy role-playing games in a graduate classroom*.
- [10] Nardi, B., Ly, S., & Harris, J. (2007). *Learning conversations in World of Warcraft*.

ANEXO: TUTORIAL GAMESMAKER STUDIO

El presente anexo presenta el flujo de trabajo empleado en la implementación de los diferentes juegos utilizados a lo largo del presente proyecto mediante el uso de la plataforma *GameMaker Studio*. Para hacerlo de una forma concisa y representativa a la vez, se explicará detalladamente el proceso de creación del juego utilizado en el primer experimento del punto 3.1 de la presente memoria (aquel en el que se trató como variable independiente la variable "dificultad").

Veamos la implementación del videojuego mediante la explicación, en el orden adecuado, de cada uno de los recursos que lo componen. Se da por hecho que el lector está ya familiarizado con la mecánica del juego, tal y como se describe en el apartado 3.1.

GameMaker proporciona por defecto una estructura de carpetas en la cual almacenaremos los diferentes tipos de objetos y recursos permitidos. En el presente videojuego sólo se hará uso de 5 de dichos tipos (Figura 13): *sprites*, un fondo, objetos que aparecerán en el juego y que tendrán un código y un *sprite* asociados, y una habitación (o "nivel") en la cual integrar dichos objetos.

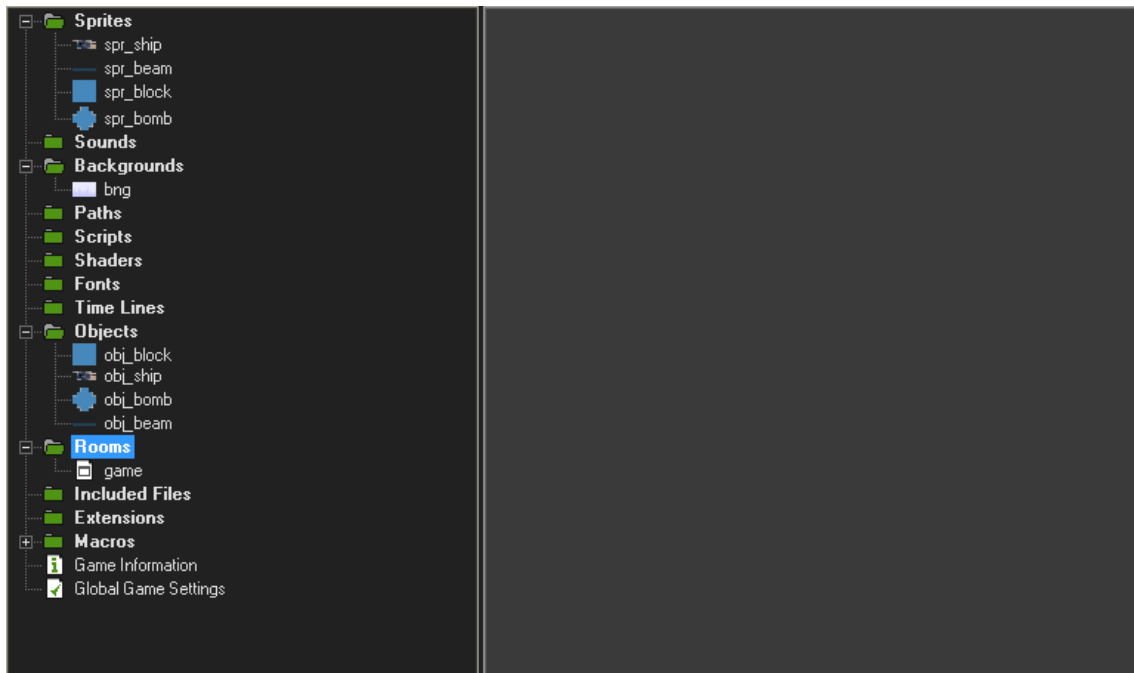


Figura 13. Distintas carpetas para los distintos objetos y recursos. Las carpetas desplegadas permiten visualizar los objetos y recursos de los que se compone el presente videojuego (4 objetos con sus 4 sprites correspondientes, 1 fondo y una habitación).

1er PASO: SPRITES

Los *sprites* son archivos de imagen que contienen la representación visual de aquellos objetos que se mostrarán por pantalla. Dada su naturaleza bidimensional, éstos pueden crearse mediante cualquier programa de edición gráfica (teniendo en mente la resolución deseada). En el caso del presente juego se hizo uso de la herramienta *GIMP* para crear los *sprites* utilizados (Figura 14):



Figura 14. Sprites utilizados: 1) nave que arroja las bombas (ambas orientaciones), 2) bomba, 3) objetivo a impactar con cada bomba y 4) línea que destruye la nave al colisionar con ella.

Estos *sprites* pueden importarse directamente desde *GameMaker*, donde quedarán almacenados en su carpeta correspondiente. A partir de dicho momento, todos sus parámetros (coordenadas de su origen, máscara de colisión,...) son fácilmente modificables mediante el editor interno proporcionado por la plataforma (Figura 15).

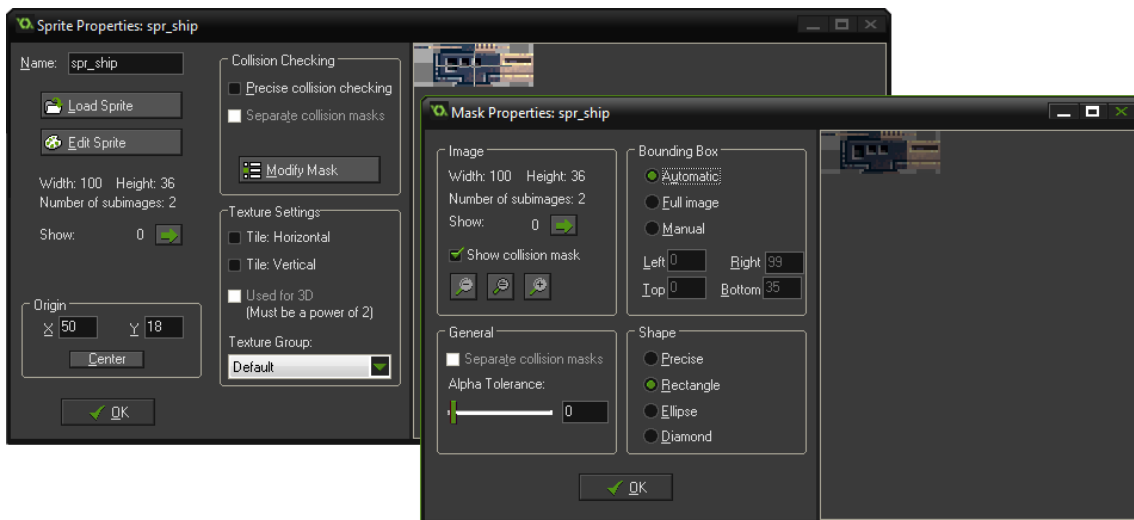


Figura 15. Distintas opciones de manipulación de sprites ofrecidas por GameMaker Studio.

2do PASO: FONDOS

De forma análoga a los *sprites*, las imágenes que servirán como fondo a la ventana del juego pueden crearse con cualquier editor gráfico e importarse desde *GameMaker* (Figura 16).

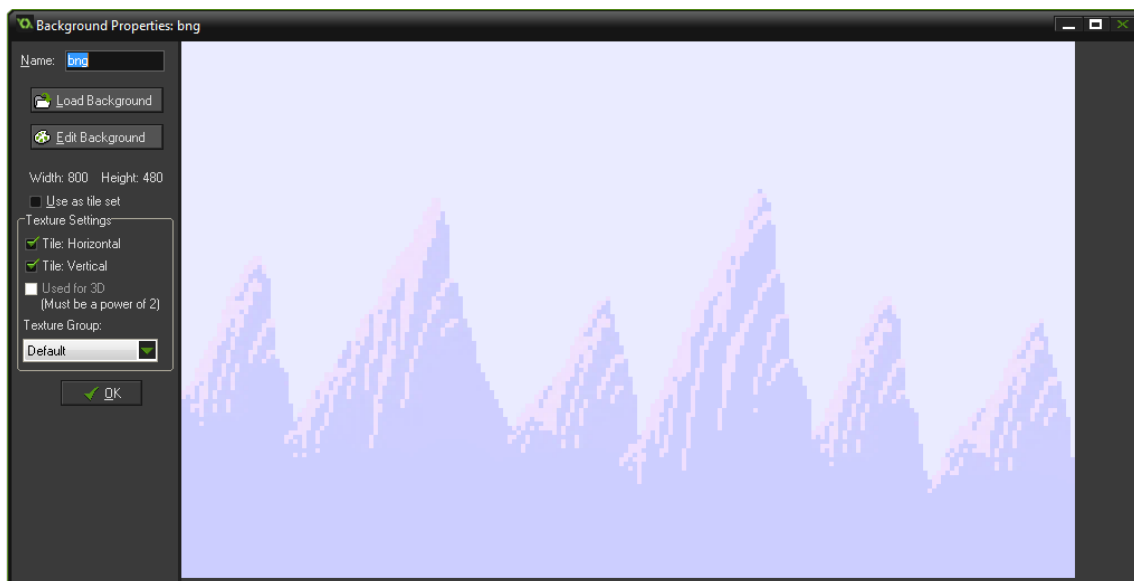


Figura 16. Imagen que servirá de fondo a la ventana de juego.

3er PASO: OBJETOS

En *GameMaker*, un objeto consiste en la encapsulación de un *sprite* y de su comportamiento dentro de una misma entidad de juego. Con tal de simplificar el proceso de programación de dichos objetos, *GameMaker* provee una colección de eventos y una otra de acciones de respuesta a dicho eventos. Así pues, para programar funcionalidades sencillas, basta con emparejar las acciones deseadas de respuesta con los diferentes eventos que deben provocarlas (Figura 17).

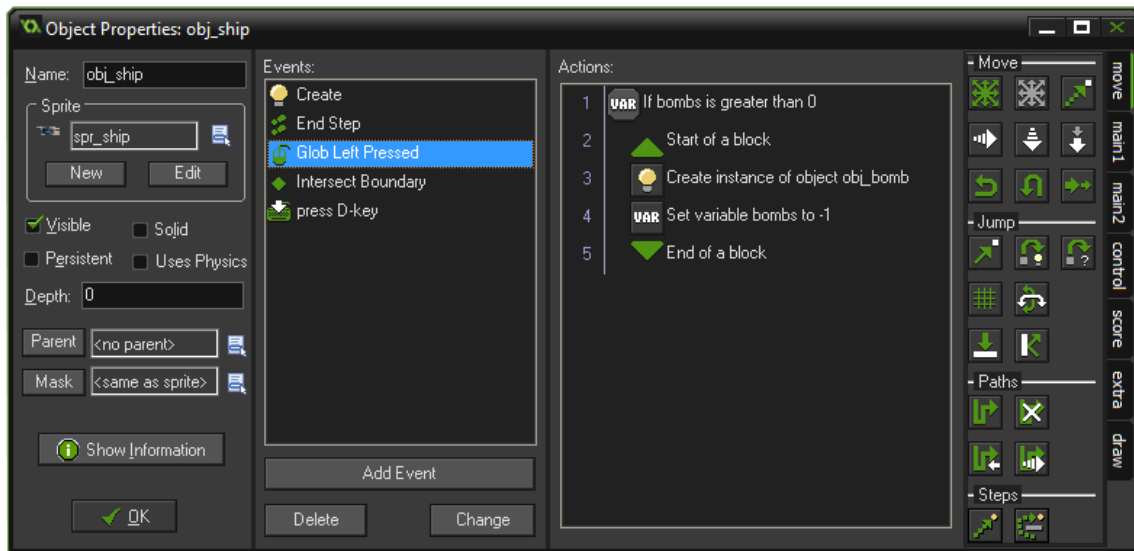


Figura 17. Al pulsar el botón derecho del ratón, el objeto "nave" comprueba si le quedan bombas (consultando su atributo "bombs") y en caso afirmativo crea una nueva instancia del objeto "bomba" (programado a su vez para caer verticalmente con la misma velocidad horizontal que la nave), decrementando en 1 el número de bombas disponibles.

A continuación se enumeran algunos de los eventos más comunes ofrecidos por *GameMaker*:

- El objeto detecta que ha sido creado.
- El objeto detecta que una determinada tecla ha sido pulsada.
- El objeto detecta una colisión con otro objeto o con el borde de la pantalla.

Del mismo modo, se enumeran algunas de las acciones más comunes de respuesta a eventos:

- El objeto se mueve en una dirección concreta.
- El objeto cambia el valor de una de sus variables.
- El objeto cambia su *sprite* asociado por otro.

Sin embargo, cabe decir que para funcionalidades más complejas que las exigidas en el presente videojuego (como en el caso del juego programado en el segundo periodo experimental) es necesario hacer uso de GML (el lenguaje de programación propio de *GameMaker*, muy similar a Java o C#).

4to PASO: HABITACIONES

En *GameMaker*, las habitaciones corresponden a lo que comúnmente se llama "fase" o "nivel" y encapsulan una serie de propiedades (tales como el tamaño de la ventana donde se visualizará el juego) junto con una imagen de fondo, además de los objetos incluidos en dicha habitación.

Así pues, la ventana de edición de habitaciones, dentro del *IDE* de *GameMaker*, permite arrastrar hasta su posición deseada dentro del "nivel" aquellos objetos que han de formar parte del mismo (Figura 18).

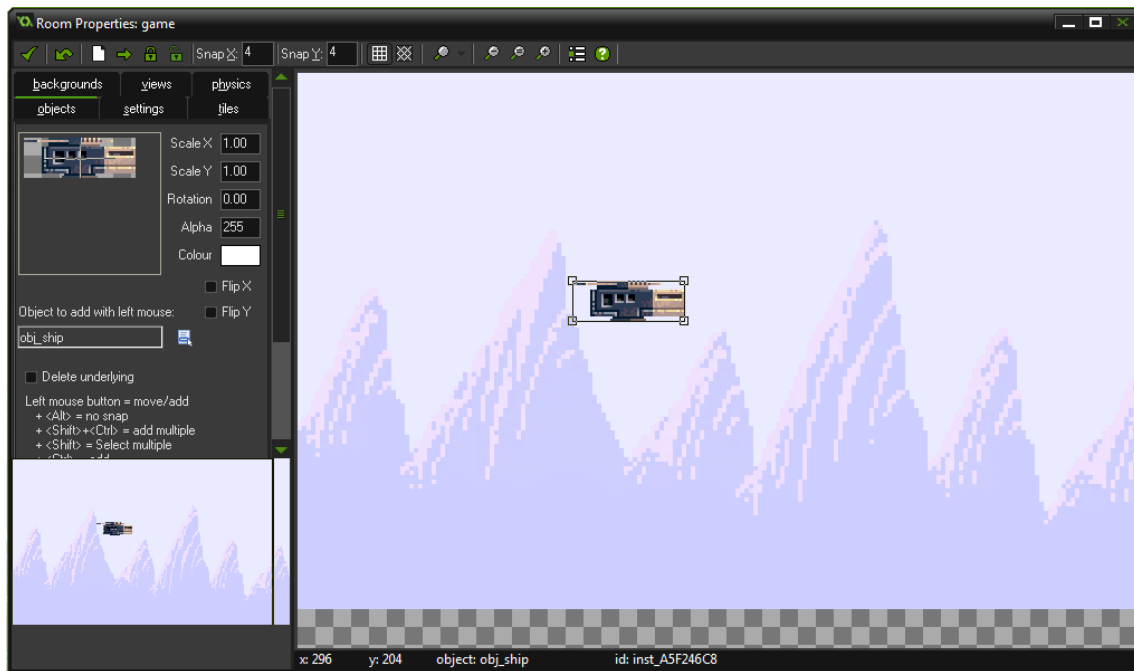


Figura 18. El objeto "nave", una vez definido su comportamiento mediante la asociación de eventos y acciones, es añadido al "nivel" en su posición inicial.

Por último, una vez incluidos todos los objetos deseados (una vez definidos sus comportamientos), basta con compilar y ejecutar el proyecto para visualizar en una ventana emergente el funcionamiento del juego. Las sucesivas modificaciones a cada uno de los recursos así como a sus comportamientos permitirán refinar la implementación hasta conseguir las funcionalidades diseñadas.