



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERIA

MODELO PARA DISEÑAR VIDEOJUEGOS EDUCATIVOS PEDAGÓGICAMENTE EFICIENTES

JOSÉ FRANCISCO CAICEO DUQUE

Tesis para optar al grado de
Magíster en Ciencias de la Ingeniería

Profesor Supervisor:
MIGUEL NUSSBAUM

Santiago de Chile, Octubre, 2014

© 2014, José Francisco Caiceo Duque



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERIA

MODELO PARA DISEÑAR VIDEOJUEGOS EDUCATIVOS PEDAGÓGICAMENTE EFICIENTES

JOSÉ FRANCISCO CAICEO DUQUE

Tesis presentada a la Comisión integrada por los profesores:

MIGUEL NUSSBAUM

ALEJANDRO WOYWOOD

ALEJANDRO ECHEVERRÍA

SERGIO MATURANA

Para completar las exigencias del grado de
Magíster en Ciencias de la Ingeniería

Santiago de Chile, Octubre, 2014

A familia, que me ha apoyado
durante todo este camino.

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría agradecer en primer lugar a mi profesor guía, Miguel Nussbaum, por darme la oportunidad de trabajar en este proyecto. Comparto profundamente su idea de dar un uso realmente educativo a la tecnología, y le doy gracias por poder abrirme esta ventana. También quisiera agradecer a Vagner Becerra, con quien formamos el equipo de trabajo que dio vida a esta investigación. Agradezco su apoyo constante durante todo este proceso. Además agradezco a mi familia, mis padres Sylvia y Jaime y a mis hermanos Jaime, Felipe y María Antonieta, que me han apoyado incondicionalmente tanto en este proyecto, como tantos otros que he tomado durante el transcurso de mi vida. Aprovecho también de agradecer a mis amigos que me ayudaron a vivir esta etapa entre alegrías y risas. Finalmente quisiera agradecer al colegio de los Sagrados Corazones de la Alameda, por permitir que se llevara a cabo esta investigación, y por siempre ayudarnos en todo lo que necesitábamos.

INDICE GENERAL

Pág.

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
INDICE DE TABLAS	vi
INDICE DE FIGURAS	vii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT	x
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Motivación y Definición del Problema	1
1.2 Descripción del Videojuego	2
1.2.1 Contenidos del Videojuego.....	2
1.2.2 Mecánica del Videojuego	3
1.2.3 Ventanas que Componen los Niveles del Videojuego	3
1.2.4 Elementos del Videojuego	5
1.3 Otras Consideraciones para el Diseño del Videojuego	13
1.4 Decisiones Técnicas	15
1.4.1 Arquitectura	16
1.4.2 Plataforma y Framework	17
1.4.3 Definición de Módulos	18
1.5 Trabajo Experimental.....	19
1.5.1 Dificultades	19
1.5.2 Resultados y Observaciones	20
1.6 Conclusiones	21
2. MODELO PARA DISEÑAR VIDEOJUEGOS EDUCATIVOS PEDAGÓGICAMENTE EFICIENTES	23
2.1. Introducción	23
2.2. Modelo	25
2.2.1 Motivación	25

2.2.2 Descripción del modelo	27
2.3. Metodología	29
2.3.1 Dominio	29
2.3.2 Aplicación del modelo	30
2.3.3 Muestra	31
2.3.4 Procedimiento	32
2.3.5 Instrumentos.....	33
2.4. Resultados	35
2.4.1 Datos Cuantitativos.....	35
2.4.2 Datos Cualitativos.....	36
2.5. Discusión.....	38
2.6. Conclusión.....	41
BIBLIOGRAFIA.....	43
A N E X O S.....	47
Anexo A : Design model for pedagogical efficient educational videogames	48
Anexo B: Carta de recepción	65

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2-1: Características de los cursos	33
Tabla 2-2: Resultados del Pre-Test y Post-Test	35
Tabla 2-3: Mecánicas de Juegos Exitosos y su Posible Uso Pedagógico	39

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1-1: Mecánica de Juego Tipo Roompecabezas.....	3
Figura 1-2: Estructura de un Nivel en el Videojuego	4
Figura 1-3: Ventana de Puntaje.....	5
Figura 1-4: Haz de Luz	6
Figura 1-5: Generador	6
Figura 1-6: Faces del Receptor	7
Figura 1-7: Tipos de Receptor.....	8
Figura 1-8: Espejo Plano.....	8
Figura 1-9: Traslación y Rotación de un Elemento	9
Figura 1-10: Ángulos de un Elemento	9
Figura 1-11: Cambio de Medio	10
Figura 1-12: Tipos de Cambio de Medio	10
Figura 1-13: Lente Convergente	11
Figura 1-14: Lentes Convergentes con Distintas Curvaturas.....	11
Figura 1-15: Lente Divergente	12
Figura 1-16: Lentes Divergentes con Distintas Curvaturas.....	12
Figura 1-17: Obstáculo.....	13
Figura 1-18: Arquitectura de Red del Videojuego.....	17
1-19: Diagrama de Componentes UML	19
Figura 2-1: (a) Principios de la integración de las componentes lúdicas y pedagógicas; (b) alineación de las componentes	26
Figura 2-2: Ilustración del modelo Propuesto	29
Figura 2-3: Elementos básicos del Videojuego.....	30
Figura 2-4: (a) Configuración inicial - (b) Primeros movimientos - (c) Feedback positivo y (d) Puntaje obtenido	31
Figura 2-5: Número de eventos de Alegría y Disrupción por intervalos de tiempo	37
Figura 2-6: Número de eventos de Alegría y Disrupción por sesión.....	37

Figura 2-7: Solicitud de ayuda Profesor referentes al contenido curricular y el software ...38

RESUMEN

En los últimos años, los videojuegos educativos se han convertido en una herramienta de enseñanza popular considerando su capacidad de motivar al estudiante en la tarea. Diversos trabajos han desarrollado modelos y guías para la creación de videojuegos educativos que simultáneamente permitan enseñar como entretener. Lograr el equilibrio entre estos dos componentes (objetivos pedagógicos y elementos lúdicos) no es una tarea fácil. Con este fin, el presente trabajo describe un modelo para apoyar el diseño de videojuego educativo cuya idea central es la necesidad que la metáfora del juego debe coincidir con el concepto a enseñar. El proceso de diseño presentado se aplicó a un videojuego para la enseñanza de óptica, demostrando en un estudio comparativo cuasi-experimental que alineando la componente lúdica y pedagógica, se logran juegos pedagógicos efectivos que a la vez permiten mantener la motivación y el interés del alumno durante el proceso de aprendizaje. El trabajo termina ilustrando como mecánicas de juegos populares ya existentes se alinean con contenidos pedagógicos.

Esta tesis contó con el apoyo del Centro de Investigación en Políticas y Prácticas en Educación, CIE01- CONICYT.

Palabras Claves: Videojuego educativo, aprendizaje mediante juegos, diseño de videojuegos educativos

ABSTRACT

Educational videogames have become a popular teaching tool thanks to their ability to motivate students while completing a task. Different studies have developed models and guides for creating videogames that are both fun and educational. Achieving a balance between these two elements (gaming characteristics and the teaching/learning process) is no easy task. With this aim in mind, this study describes a design process for educational videogames based on the idea that a game's mechanics must coincide with the concept it is teaching. This design process was applied to a videogame for teaching optics. In a quasi-experimental, comparative study we showed that aligning the gaming and pedagogical elements leads to effective educational games which also motivate students and engage them during the learning process. We also point out that a curricular topic can be aligned with several existing different game mechanics.

This thesis had the support by the Center for Research on Educational Policy and Practice, Grant CIE01- CONICYT.

Keywords: Educational video game, game-based learning, educational video game design.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Motivación y Definición del Problema

Ya no se cuestiona el aporte que pueden entregar los videojuegos educativos para el aprendizaje en el aula de clases. El videojuego permite que el alumno se relaje y motive (Bisso and Luckner, 1996), a la vez que se entretenga para que su cerebro pueda trabajar de forma más efectiva (Rose and Nicholl, 1997). Sicológicamente, el videojuego educativo puede llegar a producir un estado de *flow* en los alumnos; esto es según Csikszentmihalyi (1991), el estado mental en el cual la persona está completamente inmersa en la actividad que está ejecutando.

El problema radica en que no todos los videojuegos educativos tienen estos beneficios. Por la masificación de su uso, se pueden encontrar todo tipo de juegos, que abarcan todo tipo de contenidos. Muchos de ellos no logran entretener ni motivar a los alumnos, ya que simplemente son aburridos en comparación a los videojuegos comunes a los que ellos están expuestos a diario (Prensky, 2001).

Por otro lado, hay también videojuegos educativos que a diferencia de los nombrados anteriormente, son muy entretenidos para los alumnos, y utilizan varios recursos lúdicos de los juegos comunes. El problema en estos casos, es que para alcanzar esos niveles de motivación en los alumnos, se ve afectada la calidad y cantidad de contenido pedagógico que enseñan. Los alumnos pasan tanto tiempo viendo animaciones, avanzando en la historia o disfrutando de las otras actividades lúdicas, que no alcanzan a ver mucho contenido pedagógico.

Analizando ambos casos mencionados anteriormente, se puede desprender que un videojuego educativo eficiente, es aquel que logra un equilibrio entre lo lúdico y lo pedagógico (Prensky, 2001; Quinn, 2005). La motivación de esta investigación, radica en la falta de guías para el desarrollo de videojuegos educativos eficientes.

Para este propósito, se desarrolló un modelo como guía para el desarrollo de videojuegos educativos eficientes. Su trasfondo teórico y desarrollo se explican detalladamente en el capítulo 2.

Como se menciona en el capítulo 2, para probar el modelo se desarrolló un videojuego de óptica geométrica. Para esto, se siguieron las reglas y pasos sugeridos por el modelo, aunque varios elementos y situaciones particulares del videojuego se desarrollaron siguiendo otras guías de desarrollo o basados en decisiones técnicas.

Estos elementos y consideraciones, además de la descripción detallada del videojuego y la explicación del trabajo experimental, se mencionarán en este capítulo.

1.2 Descripción del Videojuego

A continuación, se dará una descripción más acabada del videojuego desarrollado. Para esto, se mencionaran los contenidos curriculares específicos que trata, los detalles de la mecánica de juego así como cada uno de los elementos del videojuego.

1.2.1 Contenidos del Videojuego

Optical Game, es un videojuego educativo que enseña nociones básicas de óptica geométrica. Su desarrollo se basó en las indicaciones que da el Ministerio de Educación sobre los contenidos de óptica para el nivel de primero medio. De esta manera, se trataron principalmente los contenidos de:

- a) Observación fenomenológica del hecho que la luz se refleja, transmite y absorbe.
- b) Derivación geométrica de la ley de reflexión.
- c) Distinción cualitativa del comportamiento de la luz reflejada por espejos convergentes y divergentes.
- d) Distinción cualitativa entre lentes convergentes y divergentes.

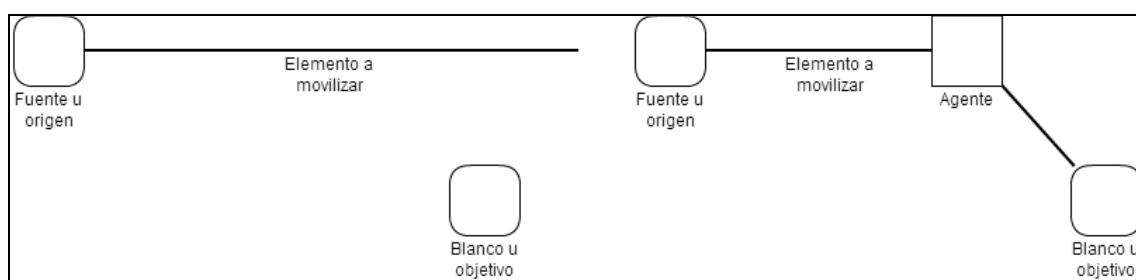
La mecánica de juego se adoptó para cumplir con los objetivos de reflexión y refracción de la luz, como se indica en el capítulo 2. De esta manera, se podrían

cumplir los contenidos a, b y d mencionados anteriormente. Lamentablemente la formación de imágenes reales y virtuales producidas por los espejos convergentes y divergentes (c), no se ajusta a la mecánica adoptada, y por ende, fue eliminado como contenido para el videojuego.

1.2.2 Mecánica del Videojuego

Como se menciona en el capítulo 2, para el videojuego se adoptó una mecánica de movilizar elementos para resolver un rompecabezas (Figura 1-1). En esta mecánica, se encuentra siempre uno o varios orígenes de los elementos a movilizar, y uno o varios objetivos (Figura 1-1a). El objetivo de este tipo de juegos, es movilizar todos los elementos que se encuentran en las fuentes, de tal forma de llevarlos a los blancos. La complejidad radica en que para lograr dicho objetivo, se requiere el uso de la lógica, pues la solución no es trivial ni obvia.

Los elementos se pueden movilizar directamente, o intervenir con uno o varios agentes que lo movilizan (Figura 1-1b). Este último fue el caso particular elegido para el videojuego. Opcionalmente, se pueden encontrar obstáculos que dificulten aún más el armado de una solución.



a) b)

FIGURA 1-1: MECÁNICA DE JUEGO TIPO ROOMPECABEZAS

1.2.3 Ventanas que Componen los Niveles del Videojuego

Todos los niveles del videojuego se componen de las mismas cuatro ventanas que se muestran en la Figura 1-2:

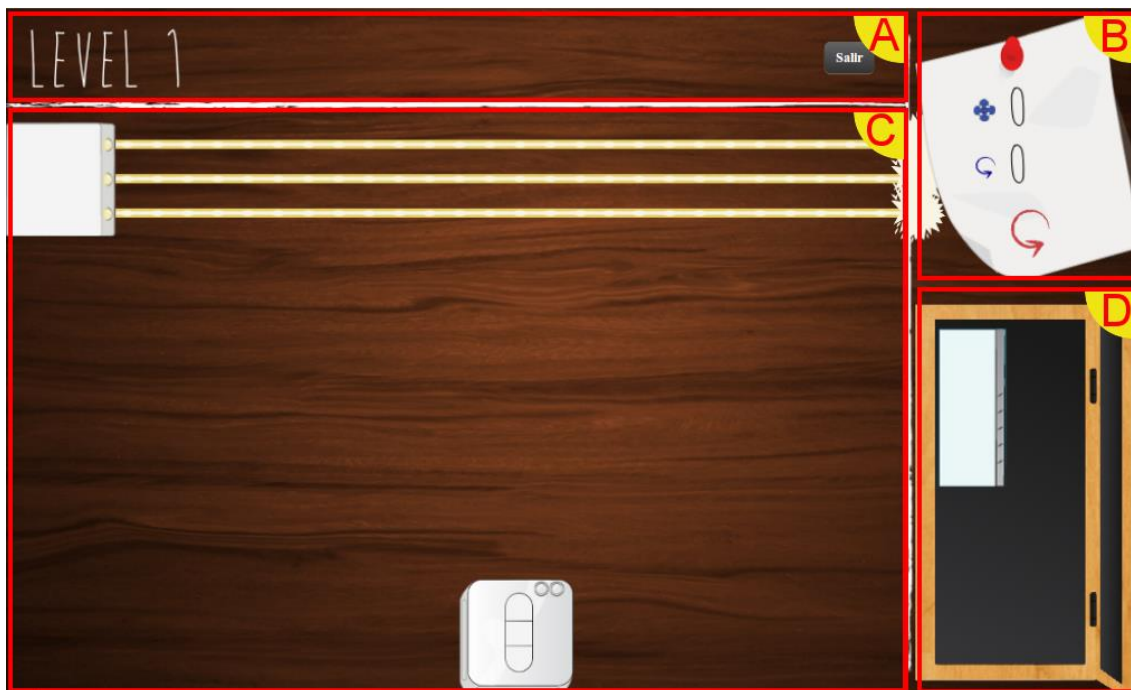


FIGURA 1-2: ESTRUCTURA DE UN NIVEL EN EL VIDEOJUEGO

- a) Número de nivel y botón para cerrar sesión.
- b) Número de translaciones de objetos y rotaciones.

Dependiendo de dichos números, el alumno tenía más o menos puntaje. A menor número de movimientos para cumplir una etapa, mayor puntaje.

- c) Ventana de acción del videojuego.

Aquí es donde se desarrollan todas las acciones del juego relacionadas con el concepto físico a enseñar. Inicialmente se ubican el o los emisores y el o los receptores de luz. Adicionalmente podrían aparecer obstáculos o zonas de cambio de medio.

- d) Caja de herramientas.

Esta ventana emula los accesorios ópticos que el alumno puede manipular en el laboratorio de física. Aquí se pueden localizar los espejos planos y los lentes divergentes y convergentes.

Adicionalmente, una vez completado el nivel, aparece temporalmente una ventana con el puntaje obtenido, tal como se muestra en la Figura 1-3. En esta se da la opción de repetir el nivel para obtener un mejor puntaje, o continuar con el siguiente.



FIGURA 1-3: VENTANA DE PUNTAJE

1.2.4 Elementos del Videojuego

Siguiendo la primera regla del modelo presentado en el Capítulo 2, la metáfora (en este caso, la mecánica de juego) debe ser cercana al contenido (en este caso, óptica geométrica). Para cumplir con esta regla, se hizo un paralelo entre los elementos presentados en la mecánica del juego, y los elementos propios de la materia de óptica. A continuación, se mostrará cada uno de estos elementos y las características adicionales que tienen.

a) Haz de luz

Este componente, mostrado en la Figura 1-4, actúa como el elemento a movilizar de la mecánica de juego. El haz siempre avanza en línea recta hasta el final del área de juego. El alumno no puede cambiar la dirección directamente de este elemento, sino que solo a través de la interacción con otros objetos. De esta manera, el alumno debe necesariamente observar los fenómenos de reflexión y refracción de la luz.



FIGURA 1-4: HAZ DE LUZ

b) Fuente (generador)

Este es el elemento desde el cual se generan los haces de luz (siempre tres rayos paralelos entre sí). Puede estar orientado apuntando a la derecha del área de juego (como se muestra en la Figura 1-5), o rotado en 90° , 180° y 270° .

En una misma etapa, pueden encontrarse varios generadores. Por último, el alumno no puede mover este elemento, ni colocar otros objetos sobre él.

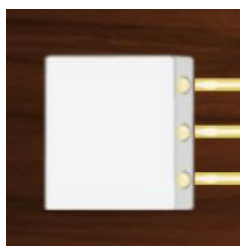


FIGURA 1-5: GENERADOR

c) Objetivo (receptor)

Este es el receptor de haces de luz. Cada vez que recibe un rayo de luz, en cualquiera de sus caras, una de sus luces amarillas se enciende. Cuando todas sus luces se encienden, éstas cambian de color y se muestran verdes, señalando que ese receptor tiene toda su carga lista y no necesita más haces de luz. Si es que sigue recibiendo más energía, el receptor se sobrecarga y sus luces se encienden rojas en forma de alarma. El proceso descrito anteriormente se muestra en la Figura 1-6.

Para poder pasar de etapa, el alumno debe cargar todos los receptores de la etapa (c), obviamente sin sobrecargar ninguno. Además, al igual que el generador, este elemento no puede ser movido por el alumno.

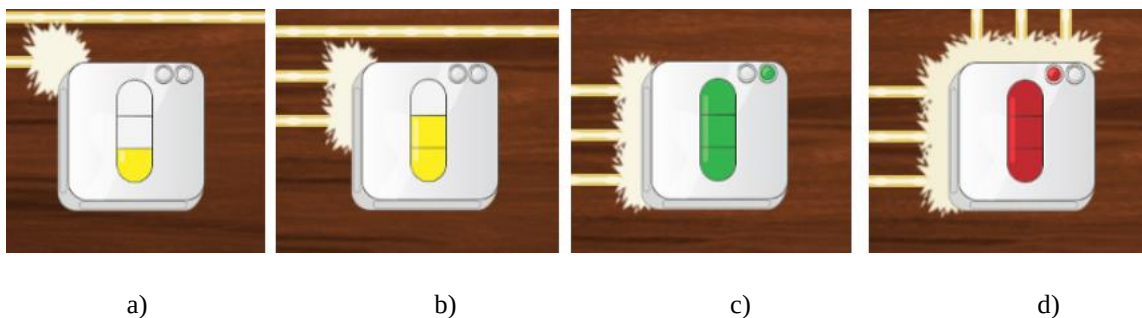


FIGURA 1-6: FACES DEL RECEPTOR

Para poder entregar más variedad a las etapas, los receptores pueden necesitar distintas cantidades de haces de luz para estar cargados. El alumno puede distinguir la diferencia por la cantidad de luces del elemento. Como se muestra en la Figura 1-7, existen receptores de 1, 3 y 5 luces.

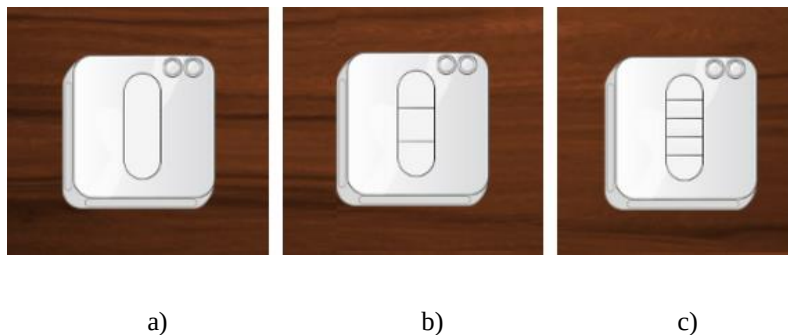


FIGURA 1-7: TIPOS DE RECEPTOR

d) Espejo plano

Este elemento interactúa con los haces de luz, de tal forma que los desvía cumpliendo el fenómeno de reflexión. De esta forma, si se dibuja una línea normal perpendicular al espejo en el punto en que incide el rayo de luz, el ángulo entre la normal y el rayo (ángulo de incidencia), es igual al ángulo que se forma entre la normal y el rayo reflejado (ángulo de reflexión). El cumplimiento de este fenómeno se puede observar en la Figura 1-8, donde la parte reflexiva del espejo (la lámina gris), desvía los rayos de luz en 90° .

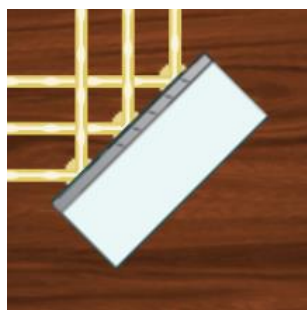
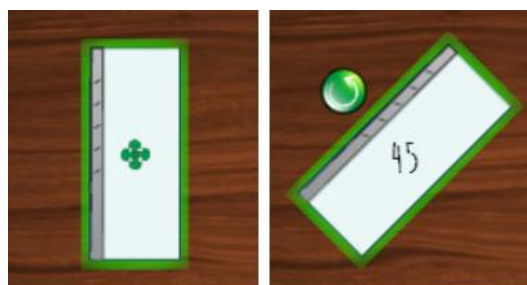


FIGURA 1-8: ESPEJO PLANO

Éste es uno de los elementos que se puede ubicar en la caja de herramientas, y que el alumno puede mover y rotar. Para desplazar el objeto, se debe presionar una vez. Luego, aparecen unas flechas sobre el espejo indicando que se puede mover (Figura 1-9a). Sin dejar de presionar la pantalla, el objeto se desplazará siguiendo la trayectoria del puntero. Para rotar el espejo, se debe presionar dos veces. De esta manera, aparece una esfera en la cara reflexiva del espejo, que se puede mover en una trayectoria circular con centro en el espejo. La cara reflexiva del espejo seguirá rotando en intervalos fijos de ángulos, siguiendo a la esfera (Figura 1-9b).

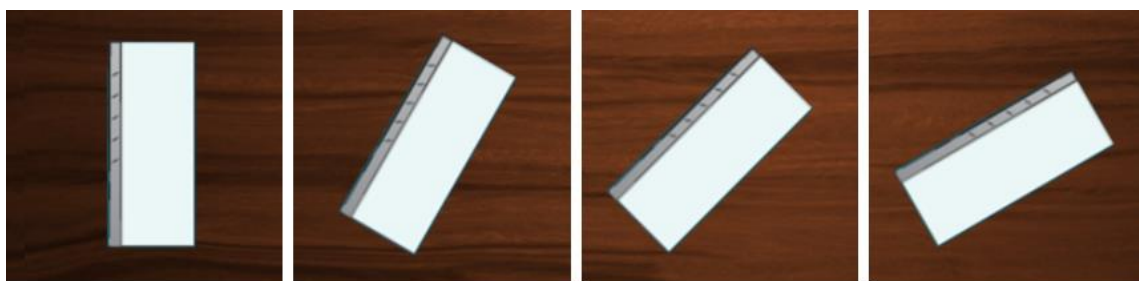


a)

b)

FIGURA 1-9: TRASLACIÓN Y ROTACIÓN DE UN ELEMENTO

Para controlar la cantidad de movimientos y escenarios permitidos, se restringen las posiciones posibles para los elementos, mediante un sistema de grillas. De esta manera, al desplazar el espejo, la posición se fijará en la cuadrícula más cercana al punto en que el alumno lo dejó. Lo mismo ocurre con los ángulos de rotación de los espejos. Como se muestra en la Figura 1-10, el espejo puede tener una rotación de 0° (a), 30° (b), 45° (c) y 60° (d). Además de éstos ángulos, el espejo puede seguir rotando siguiendo los suplementos y conjugados de los mismos hasta dar la vuelta completa.



a)

b)

c)

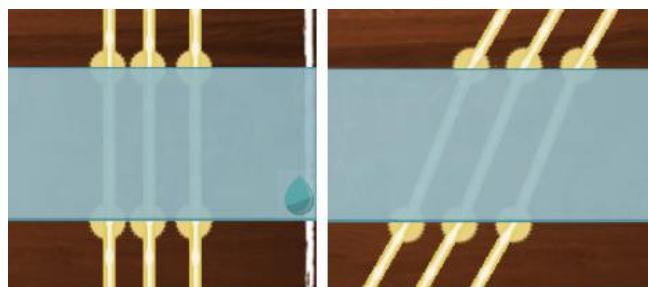
d)

FIGURA 1-10: ÁNGULOS DE UN ELEMENTO

e) Cambio de Medio

Este elemento tiene por objeto mostrarle al alumno el fenómeno de refracción de la luz, que ocurre cuando la onda cambia de medio. De esta forma, si la luz incide de manera perpendicular al cambio de medio, su dirección no se ve afectada (Figura

1-11a). En cambio, si incide con un ángulo distinto, su dirección cambia dependiendo del índice de refracción de ambos medios y el ángulo (Figura 1-11b).



a) b)
FIGURA 1-11: CAMBIO DE MEDIO

Para que el alumno note el efecto del índice de refracción en el ángulo resultante del haz de luz, se incluyen dos medios distintos. Como se ve en la Figura 1-12, el agua (a) cambia de manera distinta la dirección del haz de luz que el aceite (b).



a) b)

FIGURA 1-12: TIPOS DE CAMBIO DE MEDIO

Para no confundir al alumno con las infinitas posibilidades que se pueden dar en los cambios de medio, incluyendo el fenómeno de reflexión total interna, este elemento no se puede mover, y atraviesa totalmente el área de juego (vertical u horizontalmente).

f) Lente Convergente

Este elemento interactúa con los haces de luz, de tal forma que los desvía dependiendo de su concavidad. Cuando el haz de luz pasa por el lente, por el fenómeno de refracción, se desvía por la forma convexa de la superficie. De esta manera, como se ve en la Figura 1-13, al pasar por el lente, los rayos paralelos tienden a converger al foco del mismo.

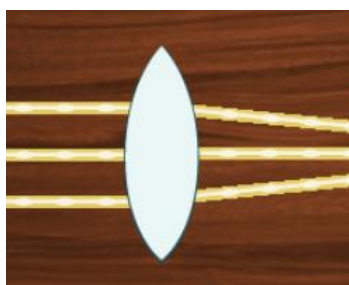
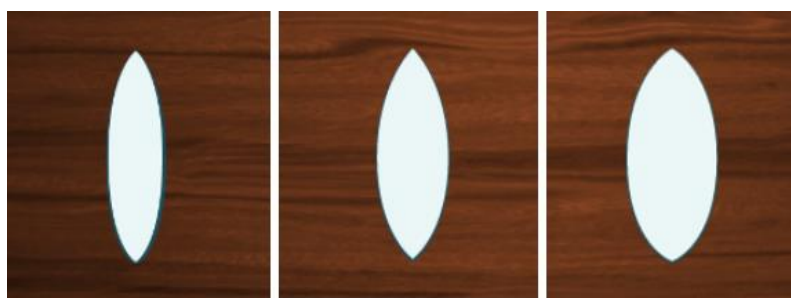


FIGURA 1-13:LENTE CONVERGENTE

Para que el alumno note el efecto de la curvatura del lente en el ángulo de desviación de los rayos de luz, se incluyen tres lentes convergentes distintos. Estos se pueden apreciar en la Figura 1-14.



a)

b)

c)

FIGURA 1-14: LENTES CONVERGENTES CON DISTINTAS CURVATURAS

Al igual que el espejo plano, el lente convergente puede encontrarse en la caja de herramientas a la cual el alumno tiene acceso. El mecanismo para desplazar y rotar este objeto es igual al señalado para el espejo plano.

g) Lente Divergente

Este elemento, al igual que el anterior, muestra al alumno el efecto de la refracción de la luz en un lente. Como se muestra en la Figura 1-15, a diferencia del lente anterior, éste posee las caras cóncavas, lo que separa los haces de luz paralelos.

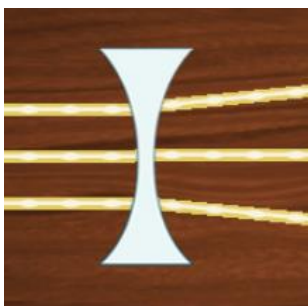


FIGURA 1-15: LENTE DIVERGENTE

De la misma forma que el lente convergente, para mostrar los efectos de la concavidad de las caras, se incluyeron distintos lentes divergentes. En la Figura 1-16, se muestran los tres tipos distintos de lentes divergentes presentes en la caja de herramientas.

Además, al igual que el lente anterior y el espejo plano, para movilizar y rotar este elemento, se usa el sistema de *clicks* mencionado anteriormente.

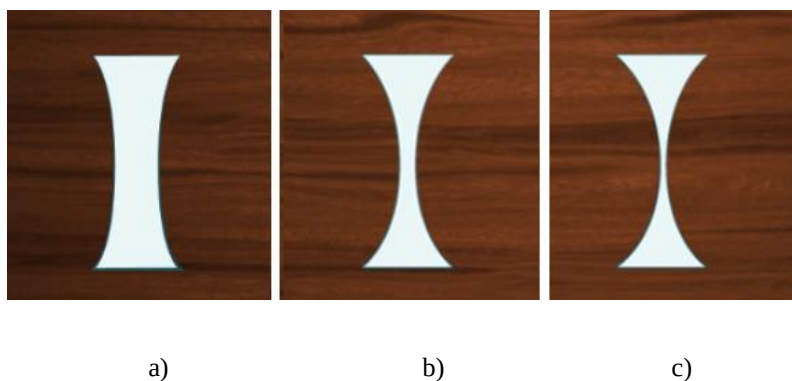


FIGURA 1-16: LENTES DIVERGENTES CON DISTINTAS CURVATURAS

h) Obstáculo

Este último elemento tiene por objeto dar distintos grados de complejidad a los niveles. El obstáculo frena los haces de luz e impide que continúen, como se muestra en la Figura 1-17.

Por su función, el alumno no puede interactuar con este elemento ni poner otros objetos sobre él.

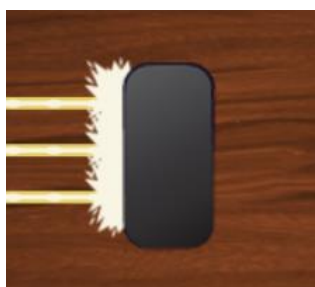


FIGURA 1-17: OBSTÁCULO

1.3 Otras Consideraciones para el Diseño del Videojuego

El modelo propuesto en el capítulo 2, entrega reglas e indicaciones claras que debe cumplir el videojuego que se desarrolla. Estas reglas no impiden el uso de otras guías y lineamientos para el desarrollo de videojuegos, siempre y cuando, se vuelvan a validar las reglas del modelo para cada cambio realizado a las componentes del videojuego.

Para el diseño del videojuego de óptica, se tomaron diversas decisiones basadas en estándares y guías tradicionalmente usadas para el desarrollo de juegos. Dentro de estas consideraciones, se encuentran dos grupos principales: Los elementos vinculados a la metáfora y elementos vinculados al diseño general de videojuegos. En cuanto a los elementos de la metáfora, en primer lugar se encuentra la narrativa del juego. Aún cuando se ha demostrado el beneficio del uso de narrativa dentro de un videojuego, como mencionan Song & Zhang (2008), donde se especifica que mientras más reales son las historias, existe una mayor inmersión por parte de los jugadores y tienen una participación más activa; en el videojuego de óptica no se

usó ninguna. Esto se debe a que en este estudio se prefirió no utilizar esta información a fin de valorar el real impacto del modelo propuesto.

Otro elemento de la metáfora es la gráfica. En el videojuego desarrollado, se hizo la gráfica de tal manera que fuera semejante a la realidad. De esta forma, al hacer la validación de la primera regla del modelo, este elemento introducido a la metáfora, no interfiere en la alineación entre concepto y metáfora. Esto se hizo para potenciar la capacidad de transferencia del contenido curricular a otros contextos. Además, se usaron gráficas simples, ya que como sugieren Killi et. al., (2012), los entornos de juego demasiado ricos pueden sobrecargar la mente de un jugador e interrumpir el aprendizaje.

Por otro lado, dentro de los elementos vinculados al diseño general de videojuegos, se encuentra el grado de dificultad de las etapas. En el videojuego desarrollado, se ha utilizado un sistema lineal no adaptativo de los niveles de dificultad en el juego, iniciando de modo sencillo en los primeros desafíos, que luego se van complejizando. Como menciona Charsky (2010), proporcionar niveles fáciles desde el principio del juego, permite a los jugadores aprender a usar la interfaz, la forma de operar los controles, y la forma de jugar. Killi et. al., (2012) agregan además que ir aumentando el nivel de dificultad paulatinamente, es necesario para mantener al jugador en estado de *flow*, ya que éste requiere aumentar sus propias habilidades para seguir avanzando en el juego.

Para tener en cuenta los componentes específicos del aprendizaje de los alumnos (como los estilos de juego, preferencias y orígenes), tal como mencionan Freitas & Oliver (2006), los desafíos (niveles del juego) y el orden que fueron presentados a los estudiantes fueron validados con dos expertos del área de enseñanza de Ciencias Naturales para el nivel de los usuarios de este juego. De esta manera, los desafíos del juego eran proporcionales al nivel de habilidad de los estudiantes, cumpliendo de esta manera con uno de los objetivos de un videojuego educativo (Sampayo-Vargas, Cope, He & Byrne, 2013).

Los sistemas adaptativos para los niveles de dificultad del juego han demostrado superioridad en comparación con los sistemas no adaptativos (ver los trabajos

mencionados en Sampayo-Vargas et. al, 2013), sin embargo, en este estudio se prefirió no utilizar esta información a fin de valorar el real impacto del modelo propuesto.

Por último, considerando que el contenido curricular de óptica en Chile es estudiado en primero medio, el video juego fue diseñado para niños entre las edades de 14 y 15, aunque se podría utilizar en estudiantes mayores, por ejemplo, en las formaciones técnico profesionales. Es importante considerar este punto para definir el contexto del videojuego, ya que como menciona Freitas & Oliver (2006) un juego debe tener en cuenta la edad de los alumnos. Y por lo tanto, considerar las características psicológicas y físicas de estos.

1.4 Decisiones Técnicas

Además de las características mencionadas anteriormente, el videojuego desarrollado debía cumplir con requisitos relacionados con el experimento a desarrollar (funcionales como no funcionales). Dentro de esos requisitos, se encuentran:

a) Flexibilidad

Las funcionalidades del videojuego no estaban del todo claras antes de comenzar el desarrollo. Además, dependiendo de los cambios que sugería el experto, podían variar mucho. Por esto era necesario que en el videojuego se pudieran hacer modificaciones fácilmente.

b) Portabilidad

Dado que los recursos y los dispositivos disponibles para el experimento podían variar mucho, era necesario que el videojuego pudiera operar sin dificultades en cualquier tipo de hardware disponible. El dispositivo usado para su funcionamiento fue finalmente el *tablet* Samsung Galaxy Tab 2

c) Disponibilidad

Disponer de horas para experimentar en los colegios es sumamente complicado, así que se debe aprovechar al máximo cada una. Por este motivo, era necesario que el

videojuego tuviera una disponibilidad de funcionamiento muy alta, y que no dejara de funcionar en las horas que durara el experimento (o en su defecto, se pudiera solucionar rápidamente).

d) Centralización del registro

Como al principio del desarrollo del juego, no se tenían claros el número de secciones, ni tampoco el número de cursos a tratar en el experimento, el videojuego debía permitir almacenar sus registros (inicios de sesión, movimientos, etapas cumplidas, etc.) en un solo archivo o base de datos. Esto iba a permitir tener un gran número de sesiones o alumnos, sin perder tiempo en remover los registros del juego de cada dispositivo que se usara.

Para cumplir con estos requisitos, se tomaron decisiones tanto arquitectónicas como a nivel de plataforma.

1.4.1 Arquitectura

Para resolver los requisitos de portabilidad y de centralización de los registros, se usó el estilo arquitectónico de cliente-servidor. De esta manera, independiente del tipo de dispositivo que se usara como cliente, la lógica iba a permanecer en el servidor por lo que podía ser adaptable a cualquier hardware. La variación de hardware solo influiría en el caso de la interfaz desplegada para cada cliente. Además, esta arquitectura iba a permitir mantener centralizados los registros en un solo servidor, independiente del número de clientes que se tuvieran.

Para el caso de la disponibilidad, debido a que no se conocían exactamente las condiciones del internet del colegio, no era recomendable dejar funcionando un servidor en internet. Tampoco se podía fiar de la red disponible en el colegio, porque no se sabía si podía resistir la cantidad de conexiones simultáneas que se necesitaban. Por esta razón se armó una red propia conectada al servidor físico que se podía movilizar a cualquier colegio. Además, para soportar la cantidad de conexiones simultáneas, se crearon dos subredes con *routers* inalámbricos distintos, como se muestra en la Figura 1-18. Cada uno diseñado para soportar la mitad de la carga (fueron probados para soportar sin problemas 20 conexiones

simultáneas cada uno, así que no había problemas para experimentar con cursos enteros).

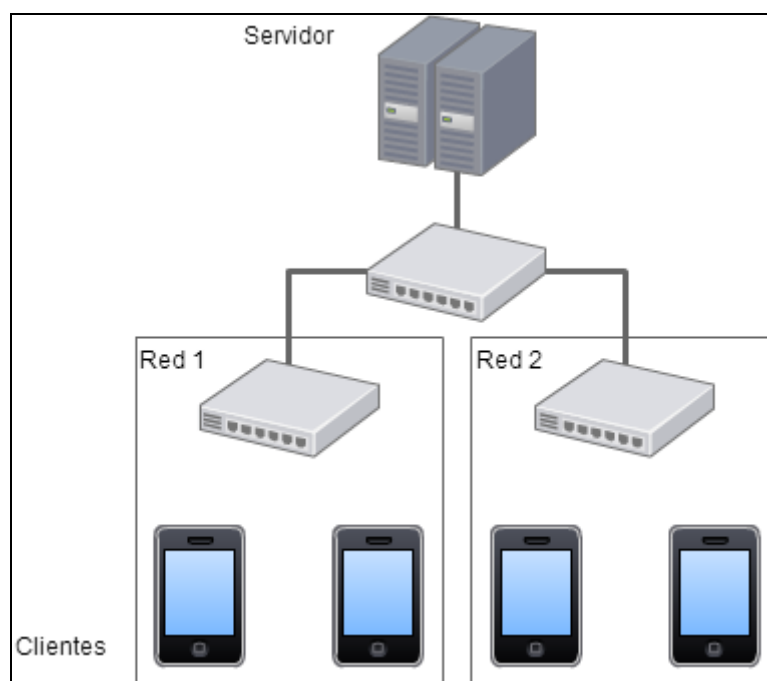


FIGURA 1-18: ARQUITECTURA DE RED DEL VIDEOJUEGO

1.4.2 Plataforma y Framework

Una vez decidida la arquitectura, se optó hacer la interfaz gráfica del videojuego usando HTML 5. De esta forma, se continuaba cumpliendo el requisito de portabilidad, ya que para este caso, era necesario solamente que los dispositivos tuvieran instalados un navegador. Para el *framework*, se optó por Enchant.js, que es un motor ligero de *javascript* de código abierto. *Enchant* está orientado a objetos y a eventos, y por su simplicidad y modularidad, permitía cumplir con el requisito de flexibilidad. De esta forma, entregaba las herramientas necesarias para desarrollar el videojuego (desde animación y renderizado de objetos, hasta manejo de etapas y escenas), sin el impedimento de incluir funcionalidades muy avanzadas para el mismo.

Por el lado del servidor, se optó por *Ruby on rails* para el manejo web (con el uso de *Unicorn* para el servidor web), y *PostgreSQL* para la base de datos que guardaba los registros. Esta elección no se basó para cumplir ningún requisito en particular; simplemente se utilizó porque el desarrollador estaba familiarizado con estas tecnologías y eso iba a facilitar el desarrollo.

Posterior al experimento, se montó todo el sistema en el *cloud Heroku*, para que los alumnos pudieran acceder al juego desde sus casas. Como la base de datos se traspasó también al *cloud*, los alumnos iban a continuar desde el mismo nivel en el que quedaron después de las tres sesiones del experimento.

1.4.3 Definición de Módulos

A continuación se hace una descripción general de los módulos más importantes que conforma la solución implementada.

a) *Main:*

Módulo que define las variables iniciales, precarga las imágenes y los archivos de sonido y da inicio al juego.

b) *Stages:*

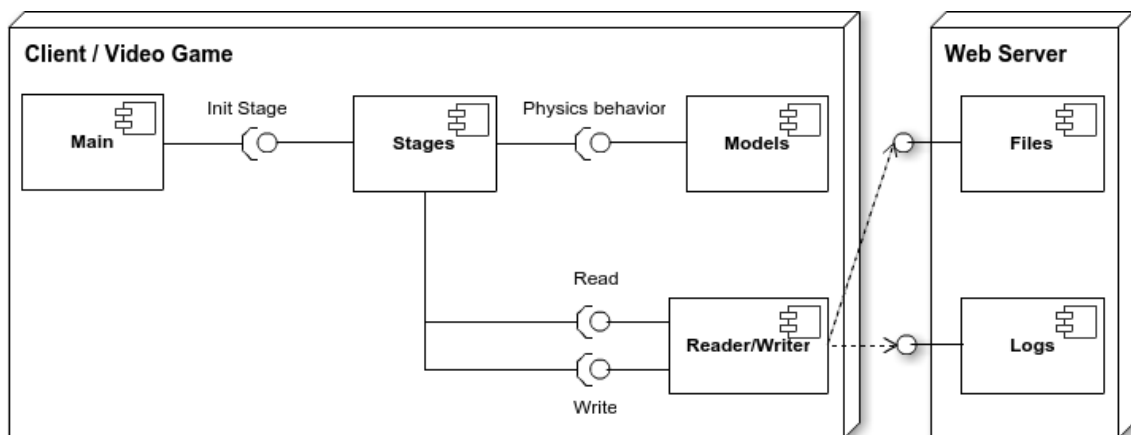
Módulo que encapsula la lógica de los niveles; mantiene todos los elementos físicos de la etapa (*Models*), e interactúa con ellos mediante su interfaz. Controla el avance y paso de etapas, y define las ventanas principales del juego (ver Figura 1-2). También almacena temporalmente toda la información de la actividad del usuario, antes de enviarla al módulo *Reader/Writer*.

c) *Models:*

Módulo de los elementos físicos del videojuego. Mantiene una interfaz común para todos los elementos, con la cual interactúa el módulo de *Stages*. Contiene las leyes físicas asociadas a cada elemento óptico.

d) *Reader/Writer:*

Componente que se comunica con el servidor web para obtener la información de las etapas (archivos JSON). También entrega la información de los *logs* de cada etapa para que se guarden en la base de datos del servidor web.



1-19: DIAGRAMA DE COMPONENTES UML

1.5 Trabajo Experimental

Para validar el modelo como base para el desarrollo de videojuegos pedagógicamente eficientes e intrínsecamente motivantes, se buscó comprobar experimentalmente que el videojuego produjese un estado de *flow*, al mismo tiempo que los estudiantes aprenden en forma significativa.

De esta forma, se desarrollaron tres sesiones experimentales durante un período de un mes, en un colegio particular ubicado en la ciudad de Santiago de Chile. Para el experimento, participaron cuatro cursos de primero medio, separados en dos grupos, tal como se explica en el capítulo 2.

1.5.1 Dificultades

Durante el trabajo experimental, se presentaron varias dificultades principalmente ligadas a temas técnicos. El mayor problema fue que el dispositivo final con el que se usaría el videojuego, no fue conocido por el desarrollador hasta unos días antes de realizar las experiencias. Por este motivo, aunque las decisiones técnicas

consideraron la portabilidad del videojuego, igual existieron algunas dificultades al comienzo.

El navegador por defecto de *android* con el cual contaba el *tablet* Samsung Galaxy S2 con el cual fueron realizadas las sesiones, no soportaba todas las funcionalidades del videojuego. Esto debido a la incompatibilidad de algunas funciones de HTML 5 para esa versión del navegador.

Para solucionar este problema, se descargó el navegador para *android* de Google Chrome en los 40 *tablets* del experimento, y se modificaron algunas partes del código para optimizar el videojuego. Gracias a estas medidas, esta dificultad no tuvo mayores influencias en el desarrollo normal del experimento, aunque la jugabilidad se vio levemente afectada, por un aumento de la lentitud del videojuego en comparación a cómo se jugaba en un *tablet* de mayor capacidad de procesamiento o en un computador portátil.

El otro problema importante que ocurrió durante la realización del experimento, tuvo relación con una falla en uno de los *routers* que conformaban la red. Esta falla ocurrió justo antes de empezar la primera sesión con uno de los cursos del colegio. Por cómo estaba configurada la red, bastó simplemente reiniciar ese punto de acceso y la falla se solucionó. El problema fue que el profesor al notar la falla, decidió llevarse al curso en vez de esperar a que se solucionara. La consecuencia de esto problema, fue que se perdió una sesión con ese curso, que se debió recuperar otro día. De todas formas, los plazos del experimento no se vieron afectados, ya que se recuperó la sesión esa misma semana.

No hubo mayores dificultades relacionadas con la organización del colegio. Esto debido a que ya se habían hecho experimentos similares en el colegio, y los profesores y directores ya estaban acostumbrados a los protocolos que se tomaban.

1.5.2 Resultados y Observaciones

El videojuego resultante fue de fácil adopción, y bien recibida por parte de los alumnos. Durante la primera sesión, surgieron algunas dudas respecto a la interfaz y a la mecánica de juego. Pero este período fue muy leve, solo presente durante los

primeros 10 a 15 minutos. Esto demuestra que la curva de aprendizaje del videojuego era bastante rápida, y que para poder jugar, los alumnos no necesitaban de mayores explicaciones. Esto se puede explicar debido a que la mecánica de juego adoptada se basa en la de otros videojuegos populares, y por esto los alumnos no se encontraron con un juego extraño o totalmente novedoso.

Por otro lado, a pesar que la tecnología usada (*tablets*) podía ser novedosa para los alumnos en el contexto de una sala de clases, trabajaron de manera muy concentrada, sin mayores distracciones. Considerando que el *tablet* tenía la mayoría de las aplicaciones bloqueadas, igual los alumnos podrían haber navegado por internet o haberse distraído por otros medios usando el dispositivo. Esto se puede explicar por el estado de *flow* que permitía el uso del juego; los alumnos jugaban muy concentrados incluso sin la presencia de un profesor en la sala.

Por último, la recepción de los alumnos también fue muy positiva. No solamente se evidenciaba un estado de *flow*, sino que además un interés enorme por continuar jugando. Los alumnos preguntaban como descargar el juego en sus celulares y *tablets*, además que algunos seguían jugando incluso después de acabada la clase (o sea, en sus tiempos de recreo). También algunos alumnos continuaron jugando el juego en sus casas, luego que se les diera acceso a través de internet a la aplicación web. Estos hechos demuestran que el videojuego realmente les llamó la atención y lo disfrutaron.

1.6 Conclusiones

Volviendo a la pregunta de investigación: ¿Es posible desarrollar un proceso de diseño para videojuegos educativos que permita lograr un equilibrio del componente lúdico y el pedagógico, y por lo tanto, lograr un juego educativo pedagógicamente eficiente? En esta investigación se desarrolló un modelo que permite diseñar videojuegos con sus componentes alineadas, y a su vez, equilibradas. Para probar y validar el modelo, se desarrolló un videojuego de óptica que cumplía estas indicaciones, y a su vez, mantenía otros elementos de

necesarios propuestos por varias guías de desarrollo. Se comparó el desempeño de alumnos que jugaron por tres sesiones el videojuego, con un grupo de control.

Los resultados observados evidenciaron un mayor aprendizaje por parte del grupo que usó el videojuego, a la vez que un mayor nivel de motivación y entretenimiento que el grupo de control que siguió clases tradicionales. De esta manera, se demostró que el videojuego de óptica desarrollado, mantuvo en estado de *flow* a los alumnos, y por ende, es un videojuego educativo pedagógicamente eficiente.

Dentro de las limitaciones de los resultados obtenidos, se encuentran la falta de completitud de la unidad de óptica. Como se explicó en la sección 1.2.1, no se pudo pasar todo el contenido propuesto por el Ministerio de Educación en el videojuego. Debido a esto, en el trabajo experimental, no se pudo establecer una comparación exacta de contenidos entre el grupo videojuego, y el grupo de control. Por último, en relación a la ingeniería de software del videojuego, la capacidad real de hacer la aplicación totalmente portable y usable en cualquier dispositivo, es bastante complicado, e involucra costos de desarrollo muy altos. Al final, el videojuego resultó con deficiencias de velocidad y jugabilidad como se explicó en la sección 1.5.1. Se sugiere definir claramente el espectro de dispositivos en los que la aplicación debe funcionar, y enfocarse en mejorar y optimizar el sistema para que funcione correctamente en ellos.

2. **MODELO PARA DISEÑAR VIDEOJUEGOS EDUCATIVOS PEDAGÓGICAMENTE EFICIENTES**

2.1. **Introducción**

Numerosos estudios han mostrado en las últimas décadas el efecto positivo de los videojuegos educativos en comparación a los métodos tradicionales de enseñanza, tanto en términos de motivación y actitud hacia el aprendizaje, como en términos de conocimiento adquirido (Echeverría, Barrios, Nussbaum, Améstica, & Leclerc, 2012a; Luckin, Bligh, Manches, Ainsworth, Crook & Noss, 2012). Según Connolly, Boyle, MacArthur, Hainey and Boyle (2012) además de sus características motivacionales, los juegos permiten actividades en línea con las teorías modernas de aprendizaje efectivo, es decir, actividades que fomentan un aprendizaje activo, experiencial, situado, basado en problemas, y con un *feedback* inmediato.

Como consecuencia, no solo han sido adaptados diversos videojuegos comerciales a contextos educacionales (Tragazikis & Meimaris2009; Dickey, 2011; González-González, Toledo-Delgado, Collazos-Ordoñez & González-Sánchez, 2014), sino también han sido desarrollados videojuegos específicamente para propósitos de enseñanza (Bellotti, Berta, Gloria & Primavera, 2009; González-González & Blanco-Izquierdo, 2012; Hou, 2012). Un videojuego educacional es definido por Li (2012) como “un tipo de *software* con un propósito y contenido educacional claro, que ayuda a los estudiantes a completar tareas mediante el uso de juegos”. Según Luckin, Bligh, Manches, Ainsworth, Crook, and Noss (2012), un videojuego educacional verdaderamente exitoso no sólo permite a los estudiantes practicar y/o aprender un contenido curricular, sino que también logra actividades que son simultáneamente entretenidas para los niños y efectivas en términos de aprendizaje.

Esta definición, como otras, describe un videojuego educativo como el resultado del equilibrio entre dos componentes, lo pedagógico y lo lúdico. La primera

componente, lo pedagógico, está directamente relacionado con el contenido curricular que se desea enseñar. Dicho componente debe estar relacionada con el nivel de conocimiento del alumno, considerando la zona de desarrollo próxima de éste, para lograr un nivel óptimo de aprendizaje (Vygotsky, 1978).

La segunda componente, lo lúdico, se puede describir según Garris, Ashlers y Driskell (2002), como la interacción entre sí de elementos como fantasía, reglas y metas, estímulos sensoriales, desafíos; o por las componentes de mecánica, narrativa, estética y tecnología, según Ak (2012); o como la teoría de *GameFlow* de Sweetser and Wyeth (2005) formada por los elementos de concentración, desafío, habilidades, control, cumplir metas, *feedback* e inmersión.

Como se puede observar, distintos investigadores definen distintos elementos de los videojuegos, y, aunque existan similitudes entre las listas de estos elementos, es la interacción entre ellos la que define la metáfora de los objetos del juego con los que el jugador interactuará. La óptima relación entre los elementos que definen la metáfora garantizarán que la actividad se lleve en un estado de *flow*, esto es un estado donde la persona se encuentra completamente absorta o entretenida con una actividad (Csikszentmihalyi; 1991). Durante este estado, la persona se encuentra tan involucrada en cumplir la actividad, que nada más le parece importar (Kiili, de Freitas, Arnab & Lainema, 2012). Según Finneran y Zhang (2005) el *flow* representa un estado de conciencia, durante el cual la gente está tan absorta en una actividad que muestra un alto rendimiento sin ser consciente de su entorno.

De lo anterior se desprende la premisa que en el diseño efectivo de videojuegos educativos se debe lograr un equilibrio entre lo lúdico y lo pedagógico (Prensky, 2001; Quinn, 2005; Kiili et. al., 2012). Lograr el equilibrio óptimo entre estas dos variables no es una tarea fácil, ya que si el videojuego abarca demasiado contenido curricular es probable que los estudiantes se aburran y renuncien a seguir jugando. Por otra parte, si el videojuego está enfocado en el componente lúdico es de suponer que no se logre el aprendizaje esperado.

Por el contrario, una menor gama de videojuegos educativos en busca del caso óptimo optaron por utilizar estos dos componentes de modo alineado, es decir,

cuando los elementos lúdicos y los valores pedagógicos se integran de manera homogénea, donde discernir entre el componente lúdico y el componente pedagógico es muy difícil, sino imposible.

Algunos ejemplos son los trabajos de Bellotti, Berta, Gloria and Primavera, (2009) para promover mejores prácticas en las conductas relacionadas con el mar; Villalta, Gajardo, Nussbaum, Andreu, Echeverría and Plass (2011) para la enseñanza de ecología con un videojuego de rol para multijugadores en el salón de clase; Echeverría, Barrios, Nussbaum, Améstica and Leclerc (2012b) para el uso de un videojuego colaborativo para la enseñanza de electrostática; Butler, Smith, Liu and Popovic (2013) para la enseñanza de los conceptos de fracciones numéricas.

Considerando el creciente uso de los videojuegos en los procesos de enseñanza-aprendizaje y teniendo en cuenta el potencial que tiene el uso de videojuegos educativos cuando el componente lúdico y el pedagógico están alineados, surge la necesidad de investigar cuáles son los pasos a seguir a fin de diseñar videojuegos con estas características, para garantizar la eficiencia de dicho videojuego en el proceso de enseñanza y aprendizaje.

Por consiguiente, la pregunta de investigación es: ¿Es posible desarrollar un proceso de diseño de videojuego educativo que permita lograr una alineación del componente lúdico y el pedagógico?

En la siguiente sección se describe y analiza el modelo desarrollado en este estudio; luego se presenta el videojuego desarrollado con el objetivo de validar el modelo; el trabajo experimental y sus resultados se presentan enseguida; a continuación se exponen las discusiones. Por último, el artículo presenta las conclusiones.

2.2. Modelo

2.2.1 Motivación

Uno de los problemas más importantes dentro del desarrollo de videojuegos educativos, es la integración exitosa de los principios pedagógicos y la mecánica

de juego (Freitas, Earp, Ott, Kiili, Nev, Popescu, et. al., 2012). Una integración defectuosa de las componentes lúdica y pedagógica, desarrollan experiencias negativas para el usuario, alejando al jugador del estado de *flow* (Kiili, de Freitas, Arnab & Lainema, 2012). La Figura 2-1(a) describe cómo se combinan la componente lúdica y pedagógica en las distintas fases de un juego. El punto P representa a una persona jugando. Desde el punto de partida de la actividad, P1, el jugador puede desarrollar dos experiencias distintas dependiendo de la relación entre las componentes. En P2, los elementos lúdicos prevalecen por sobre los contenidos pedagógicos, gastando el jugador una excesiva cantidad de tiempo y esfuerzo en completar las tareas lúdicas propuestas; en contra posición en P3 la componente pedagógica es muy superior a las instancias lúdicas en el juego, ingresando el jugador a un estado de aburrimiento. Ambas situaciones recién descritas, se alejan del caso óptimo, donde las componentes se encuentran alineadas, Figura 2-1(b), donde se alcanza un estado de *flow* y el videojuego es pedagógicamente eficiente. La propuesta de esta investigación, consiste en elaborar un modelo para el diseño de videojuegos educativos que dirija hacia la alineación de ambas componentes.

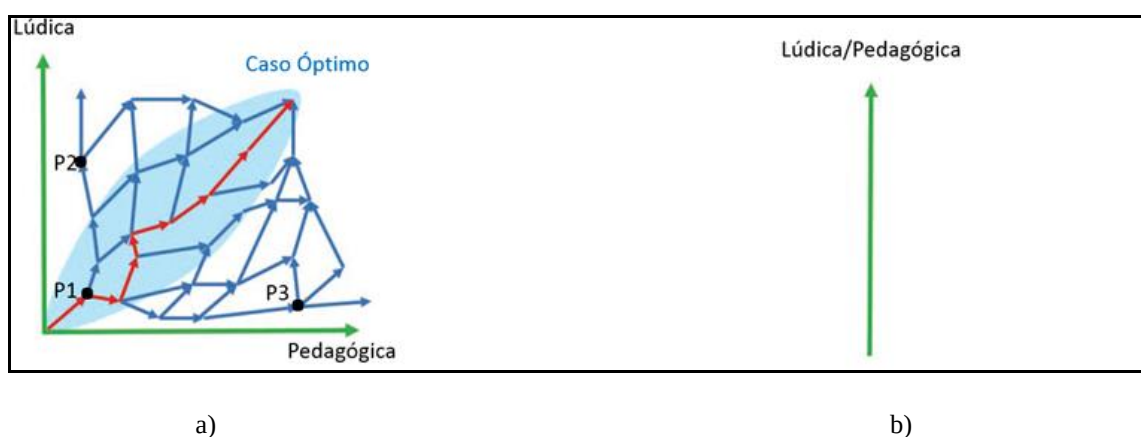


FIGURA 2-1: (A) PRINCIPIOS DE LA INTEGRACIÓN DE LAS COMPONENTES LÚDICAS Y PEDAGÓGICAS; (B) ALINEACIÓN DE LAS COMPONENTES

2.2.2 Descripción del modelo

Según Ak (2012), el contenido es el alcance previsto de aprendizaje que se define por currículo. Al desarrollar un videojuego educativo, lo primero que se debe establecer es el concepto o contenido pedagógico con el que se quiere trabajar. Para poder distribuir el contenido en las distintas etapas del juego se requiere establecer unidades didácticas o divisiones del contenido (Song & Zhang; 2008) que regularmente tienen una complejidad gradual en el juego (Sampayo-Vargas, Cope, He & Byrne, 2013) o proporcionan a los estudiantes retos que se van adecuando a su nivel de habilidad (Kiili, de Freitas, Arnab & Lainema, 2012; Hwang, Sung, Hung & Huang, 2013). De esta manera nace la primera pregunta de diseño “¿Qué quieres enseñar?” que define el concepto y sus unidades didácticas.

La metáfora de un juego es la abstracción con la que interactúa el jugador en el mundo virtual. Está formada por el contexto donde se define el juego y los objetos que manipula el jugador. Los elementos que componen la metáfora se pueden utilizar de diferentes maneras (Charsky, 2010); creando experiencias únicas de juego (Rollings & Adams, 2003; Rouse, 2005). Esta posibilidad de crear diferentes experiencias al interactuar con distintos elementos, hace que construir la metáfora sea complejo. Por lo tanto, es necesario determinar las características elementales del videojuego que definen su metáfora, naciendo la segunda pregunta de diseño “¿Cómo lo enseño de una manera entretenida?”

Un videojuego es sobre "lo que se hace" y no sobre "lo que se ve" Egenfeldt-Nielsen (2011). De esta manera es central al desarrollar la Metáfora especificar la mecánica del juego, es decir., definir el conjunto de acciones que realiza el jugador para poder cumplir con el objetivo definido.

Según la teoría constructivista del aprendizaje, el alumno construye su conocimiento siendo mediado (Vygostky, 1979). Si la mediación se realiza a través de un juego educativo el jugador debe interactuar con los elementos del video juego que componen su metáfora para cumplir con el objetivo del juego. Para que se produzca un aprendizaje de los contenidos curriculares es necesario que éstos estén alineados con los elementos del video juego (Pivec, Dziabenko and

Schinnerl, 2003). Nace así la primera regla de diseño del modelo propuesto “La metáfora debe ser cercana al contenido”. Como consecuencia, al interactuar el alumno con la metáfora del juego, interactuará con los conceptos en la medida que estos sean indistinguibles uno del otro.

Según Kiili et. al., (2012) el objetivo del diseño de videojuegos educativos es crear una experiencia tan interesante que mantenga la atención de los jugadores tanto tiempo y tan intensamente como sea posible. Por lo tanto, del trabajo de Kiili se desprende que el objetivo de un videojuego educativo es posibilitar el estado de *flow* (Csíkszentmihályi, 1990) durante el proceso de aprendizaje. Son los momentos de entretención que provee el juego los que hacen que el usuario continúe jugando en busca de la solución de la problemática presentada por el videojuego, produciéndose así la transferencia de conocimientos. De esta manera el momento de entretención se debe confundir con el momento de aprendizaje. Definir estos momentos responde a la tercera y cuarta pregunta del modelo: “¿Cuál es el momento del aprendizaje?” y “¿Cuál es el momento de entretención?”.

Como los momentos de transferencia de conocimientos, deben ocurrir bajo un estado de *flow* (Csikszentmihalyi; 1991), la segunda regla del modelo, corresponde a la Figura 2-1 (b), y es “El momento de aprendizaje debe estar alineado con el momento de entretención”.

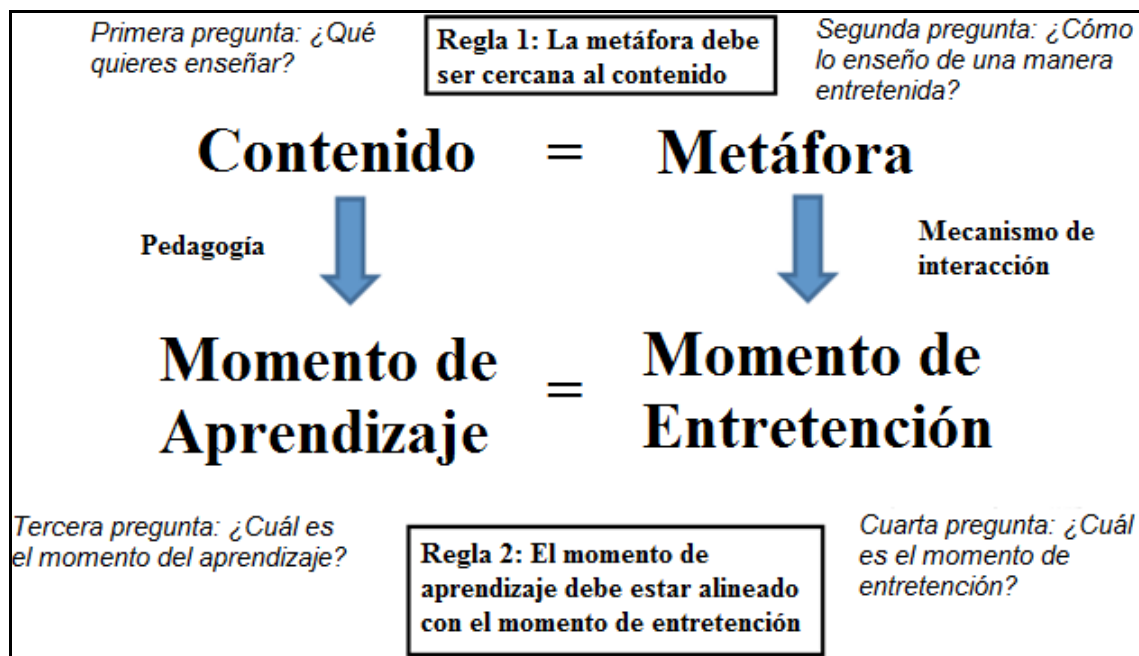


FIGURA 2-2: ILUSTRACIÓN DEL MODELO PROPUESTO

2.3. Metodología

Para validar nuestro modelo como base para el desarrollo de videojuegos pedagógicamente eficientes e intrínsecamente motivantes, se comprobó experimentalmente que el videojuego producía *flow*, al mismo tiempo que los estudiantes aprendían en forma significativa. De esta manera las componentes pedagógica y lúdica estarían alineadas, y se cumplirían con las reglas 1 y 2 de la Figura 2-2.

2.3.1 Dominio

Con el fin de validar el modelo descrito anteriormente, es decir., que es posible alinear las componentes lúdica y pedagógica, se desarrolló un videojuego para la enseñanza de óptica. Se eligió este dominio considerando que el aprendizaje es más significativo cuando el estudiante participa del proceso (Pivec Dziabenko, & Schinnerl, 2003), en comparación a un trabajo teórico donde, por ejemplo, no se cuenta con los laboratorios necesarios para el aprendizaje de este contenido.

2.3.2 Aplicación del modelo

El primer paso de nuestro modelo, Figura 2-2, es contestar la pregunta: “¿Qué quieres enseñar?”. El contenido curricular que se quiere enseñar en este caso son los fenómenos ondulatorios y luminosos, específicamente la reflexión y refracción del haz de luz.

El segundo paso de nuestro modelo, Figura 2-2 es contestar la pregunta: “¿Cómo lo enseño de una manera entretenida?”. Para esto, es necesario definir la metáfora del juego. Como se mencionó en la descripción del modelo, lo relevante es la mecánica de juego. En nuestro caso, mover objetos ópticos (Figura 2-3, ítem 3 para lograr que un haz de luz (Figura 2-3, ítem 1) cambie su dirección de un punto a otro punto predefinido (Figura 2-3 ítem 2). Esta mecánica de interacción, ha sido exitosa en diferente juegos, como por ejemplo, *Unblock Car*, *Lazors* o *Unroll* (ver Tabla 2-3, fila 7, 8 y 9) en el cual el jugador interviene en la configuración inicial del juego de distintas maneras buscando que un determinado objeto cambie su dirección/trayectoria y/o posición inicial. De esta manera, la regla 1: “La metáfora debe ser cercana al contenido” se cumple, pues la mecánica de juego, mover objetos para cumplir una cierta trayectoria, se confunde entre la metáfora y el objetivo pedagógico.

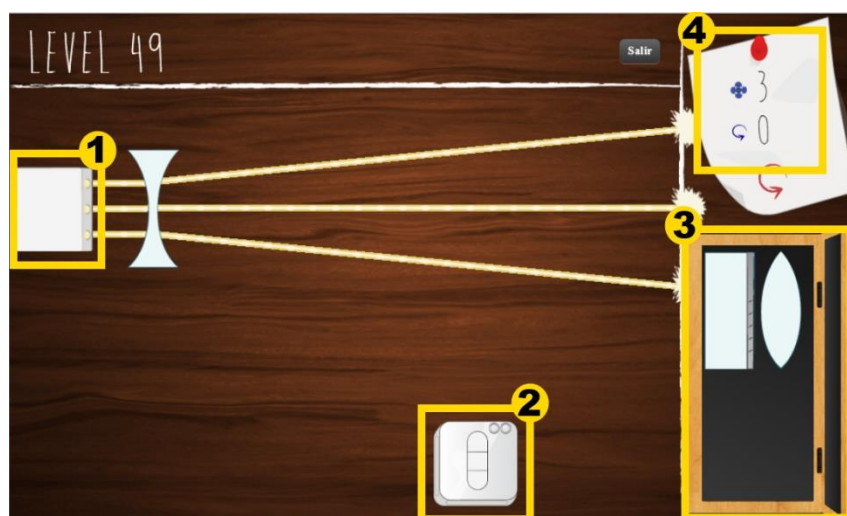


FIGURA 2-3: ELEMENTOS BÁSICOS DEL VIDEOJUEGO

El próximo paso es contestar la pregunta: “¿Cuál es el momento de entretención?”. Similar al caso del juego *Unblock Car* (ver Tabla 2-3, línea 7), donde el objetivo es retirar un auto de un estacionamiento desplazando los demás autos aparcados que lo bloquean, el usuario puede controlar los objetos ópticos (al igual a los vehículos que bloquean la salida) a fin de que el haz de luz (el auto bloqueado) refleje al receptor predefinido (salga del estacionamiento).

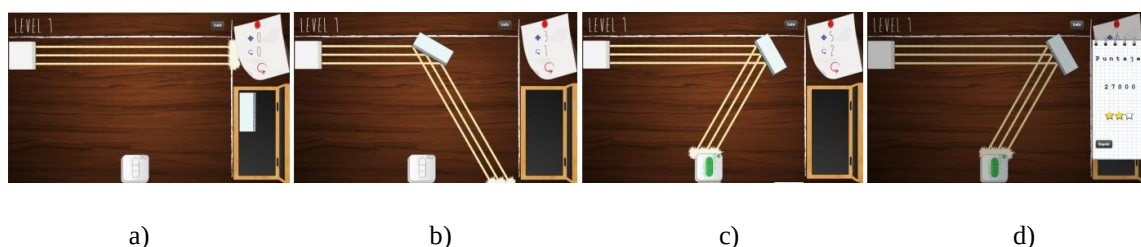


FIGURA 2-4: (A) CONFIGURACION INICIAL - (B) PRIMEROS MOVIMIENTOS - (C) FEEDBACK POSITIVO Y (D) PUNTAJE OBTENIDO

Paralelamente se debe contestar la pregunta: “¿Cuál es el momento del aprendizaje?”. Observamos que el aprendizaje se consolida cuando el alumno debe mover los objetos ópticos (Figuras 2-4a y 2-4b), para así cumplir ciertos objetivos ópticos requerido del videojuego (Figura 2-4c), obteniendo el puntaje asociado (Figura 2-4d).

De esa manera la Regla 2: “El momento de aprendizaje debe estar alineado con el momento de entretención” se cumple pues el momento de entretención es el momento de aprendizaje; donde desarrollar la actividad pedagógica es realizar el juego.

2.3.3 Muestra

Un estudio fue realizado en un colegio particular de la ciudad de Santiago, usando cuatro cursos de primero medio, con un total de 141 alumnos (63 hombres y 78 mujeres) entre 14 y 15 años (Tabla 2-1). Solo se consideraron a aquellos estudiantes que participaron en ambas evaluaciones (pre- y post-). Se trabajó con dos cursos experimentales (videojuego) y dos cursos tradicionales (método

tradicional), sin tecnología. Los grupos experimentales utilizaban la aplicación anteriormente mencionada por un tiempo máximo de 35 minutos por sesión. Los grupos tradicionales realizaron el trabajo regular del colegio utilizando métodos tradicionales (guías en papel).

2.3.4 Procedimiento

Ambos grupos, cada uno en su respectiva metodología (videojuego o guías en papel), debían contestar un total de 65 desafíos de óptica (niveles del juego o ejercicios de la guía, respectivamente). Mientras los estudiantes del grupo método tradicional podrían elegir el orden de los desafíos, los estudiantes del grupo videojuego seguían un orden pre definido por la aplicación. A los estudiantes del grupo método tradicional se les entregó una guía con las soluciones de los ejercicios al término de cada sesión para proporcionar retroalimentación. En cambio a los estudiantes que utilizaban el videojuego, la retroalimentación ocurría durante la actividad.

La experiencia duró un mes completo, en el cual el colegio había definido 4 sesiones para la enseñanza de los conceptos de óptica. Considerando la disponibilidad de los profesores de cada curso, se logró desarrollar un total de 3 sesiones distribuidas homogéneamente durante el mes escolar en cada uno de los cursos.

Para cumplir con la metodología de aprendizaje experimental del colegio, a ambos grupos al fin de cada sesión el profesor les dictaba una cátedra de no más de 20 minutos relacionando el contenido del juego, o de la guía en papel, con la su utilidad práctica y/o conceptos teóricos del área. De esta manera, se esperaba que los estudiantes pudieran construir conocimientos previos basados en la experimentación, y luego se concretizara dicho aprendizaje con la explicación formal del docente.

La Tabla 2-1 muestra las características de los estudiantes. Para asegurar que la intervención fuera similar en cada uno de los alumnos, se calculó el promedio de sesiones asistidas por los alumnos de cada curso; este valor se obtuvo de los datos

almacenados por el sistema en cada sesión. La asistencia no varió significativamente entre una clase y la otra.

TABLA 2-1: CARACTERÍSTICAS DE LOS CURSOS

Tecnología	Cursos			
	Videojuego A	Videojuego B	Método tradicional A:	Método tradicional B:
Estudiantes en el curso	38	35	32	36
Estudiantes que participaron en la experiencia	28	28	31	28
Niñas participantes	16	18	17	18
Niños participantes	12	10	14	10
Promedio de asistencia	2.84	2.68	2.75	2.54
Duración de la actividad [semanas]	4	3	4	4

2.3.5 Instrumentos

a) Logro Estudiantil

Para determinar si existían diferencias significativas entre los estudiantes de los cuatro grupos, se diseñó un instrumento con 10 ejercicios de óptica básica diseñados para identificar las habilidades de alumnos de primer grado de enseñanza media; la duración máxima para este control era de 45 minutos. Se utilizó el mismo instrumento en las pruebas pre y post. Además, este instrumento fue revisado cuidadosamente por cada uno de los profesores de los cursos participantes. De esta forma, se confirmó tanto la validez pedagógica del contenido así como su efectividad para medir el conocimiento adquirido. El instrumento estaba compuesto por ejercicios de selección múltiple, dado que los alumnos estaban familiarizados con este formato.

El coeficiente de alfa de Cronbach de los instrumentos mencionados anteriormente, que fue calculado para cada uno de los cuatro grupos experimentales usando el pre-test, fue siempre mayor que 0.82 (Tabla 2-2). Según Bland and Altman (1997), un valor por sobre 0.6 indica que el criterio usado, basado en el contenido entregado, es aceptable para clasificar a los alumnos.

b) Comportamiento Estudiantil

Con el objetivo de validar si durante las actividades con el videojuego ocurría *flow*, se registraron muestras de alegría, comportamiento disruptivo y solicitudes de ayuda al profesor. Todos los comportamientos se registraron en el momento en que se produjeron, mediante el uso de un *tablet* que permitía el conteo y el registro del momento de ocurrencia de cada evento. El observador que manipulaba el dispositivo fue capacitado observando las sesiones de prueba del videojuego y además contaba con experiencia anterior (Beserra et al., 2014). La persona a cargo de dicha capacitación, actuó también como supervisor en las sesiones y estuvo siempre presente en todas las actividades.

Para la medición de comportamiento, se definió la “alegría” como la expresión positiva y espontánea del alumno al interactuar con el sistema. Por ejemplo, expresiones físicas de emoción o satisfacción, como también, comentarios verbales referidos a la obtención del puntaje máximo en un determinado nivel, el uso del mínimo de elementos para una solución, la satisfacción al superar un nivel de dificultad, entre otros. En el caso del comportamiento “disruptivo”, se consideró como la interrupción intencionada del flujo de la actividad del alumno o de sus pares. Por ejemplo, cuando el estudiante perdía el foco de atención del juego (miraba el celular, hacia afuera del salón, conversaba con otro alumno, entre otros). Finalmente, se contabilizaron las solicitudes de ayuda pedagógica hechas por los estudiantes hacia el profesor.

2.4. Resultados

2.4.1 Datos Cuantitativos

La Tabla 2-2 presenta los resultados del, pre y pos test. La significancia estadística fue medida para cada grupo usando el *t test*, que mostró resultados significativos entre el pre- y post-tests ($\Delta\%$ Grupo), como se muestra en la Tabla 2-2. El último corresponde al promedio del progreso de los estudiantes para cada grupo, calculado para evaluar la diferencia entre los resultados del pre- y post-test. El tamaño del efecto calculado con la *d* de Cohen es mostrada también.

TABLA 2-2: RESULTADOS DEL PRE-TEST Y POST-TEST

Tipo	T-test	Pre-Test		Post-Test		$\Delta\%$ Grupo	Alfa de Cronbach Pre-Test	D de Cohen (tamaño del efecto)
		Media	DS	Media	DS			
Videojuego A	p<0.001	5.32	1.7	6.46	1.2	21.5%	0.83	0.78 (efecto grande)
Videojuego B	p<0.001	5.11	1.4	6.32	1.1	23.8%	0.84	0.94 (efecto grande)
Método tradicional A	p<0.001	5.16	1.5	5.58	0.8	8.1%	0.89	0.34 (efecto leve)
Método tradicional B	p<0.001	5.14	1.4	5.64	1.0	9.7%	0.92	0.40 (efecto medio)

Para comparar estadísticamente los resultados obtenidos entre el pre- y post-tests con los diferentes tipos de grupos de trabajo (Videojuego A, Videojuego B, Método tradicional A, Método tradicional B), fue usado un análisis de covarianza de una vía (ANCOVA). Los resultados indican una diferencia significativa entre los grupos ($F(3, 113) = 5.85$; $p < 0.001$).

Dado que los grupos Videojuego A y Videojuego B trabajaban en las mismas condiciones, se sometió a ambos a un nuevo análisis de covarianza de una vía (ANCOVA), a fin de verificar si el videojuego impactaba de modo distinto en

estos dos grupos. El resultado arrojó que no hubo diferencia significativa entre ambos grupos ($F(1, 54)=0.11$; $p=0.73$), concluyendo que el impacto del videojuego es el mismo, independientemente del grupo experimental. Para los siguientes análisis se considera este resultado, y por lo tanto, de aquí en adelante ambas clases serán consideradas como un solo grupo (Videojuego A+B).

Siguiendo el mismo raciocinio anterior, se sometió a los grupos Método tradicional A y B a un análisis de covarianza de una vía (ANCOVA), a fin de verificar si el trabajo tradicional del colegio, sin tecnología, impactaba de modo distinto en estos dos grupos. El resultado arrojó que no hubo diferencia significativa entre ambos grupos ($F(1, 57)=0.086$; $p=0.76$), concluyendo que el impacto del trabajo tradicional es el mismo, independientemente del grupo experimental. Para los siguientes análisis se considera este resultado, y por lo tanto, de aquí en adelante ambas clases serán consideradas como un solo grupo (Método tradicional A+B).

Un cuarto análisis de covarianza de una vía (ANCOVA) fue realizado con el fin de comparar la efectividad de los dos nuevos grupos experimentales, Videojuego A+B y Método tradicional A+B. El resultado arrojó que hubo diferencia significativa entre ambos grupos ($F(1, 104)=17.69$; $p<0.001$). Analizando la diferencia entre los promedios ajustados obtenidos en esta última ANCOVA (Videojuego A+B / Método tradicional A+B = 0.765) concluimos que cuanto al conocimiento adquirido por los estudiantes, el grupo con videojuego tuvo un impacto superior al grupo con trabajo tradicional sin tecnología.

2.4.2 Datos Cualitativos

En la Figura 2-5, se indica el número de eventos totales por sesión, de alegría y disrupción, que ocurrieron en los respectivos intervalos de tiempo dentro de una sesión. En estos se ve cómo el número de eventos de alegría fueron disminuyendo levemente con el transcurso del tiempo. Se observaba que mientras ocurre una sesión la disrupción aumenta y la alegría disminuye. Aunque al final de la sesión los signos de alegría bajan, esta no influyó en que los alumnos dejaran de trabajar. Los profesores participantes mencionaban a menudo que los estudiantes estaban

muy concentrados trabajando con el video juego en comparación a las clases tradicionales. En la Figura 2-6, se puede inferir que los estudiantes se fueron acostumbrando al videojuego a medida que avanzaban el número de sesiones, por lo tanto, poco a poco perdieron el asombro inicial de la primera sesión, pero esto no incidió en un rechazo al videojuego.

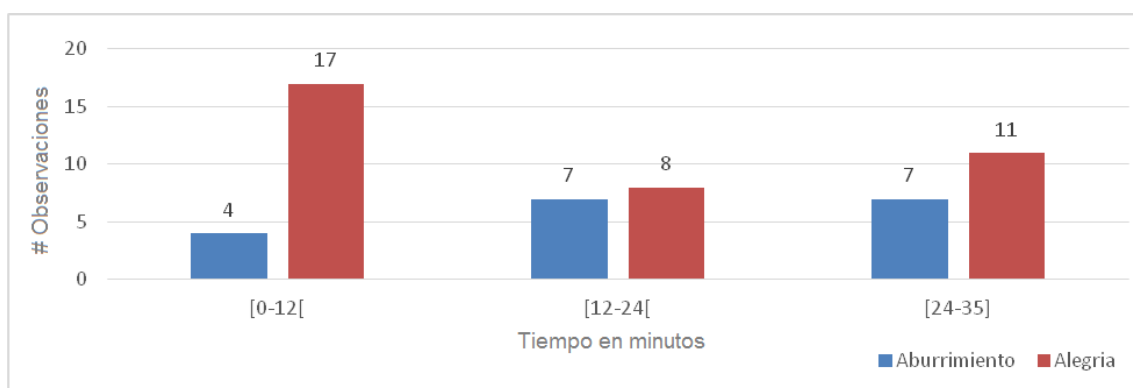


FIGURA 2-5: NÚMERO DE EVENTOS DE ALEGRÍA Y DISRUPCIÓN POR INTERVALOS DE TIEMPO

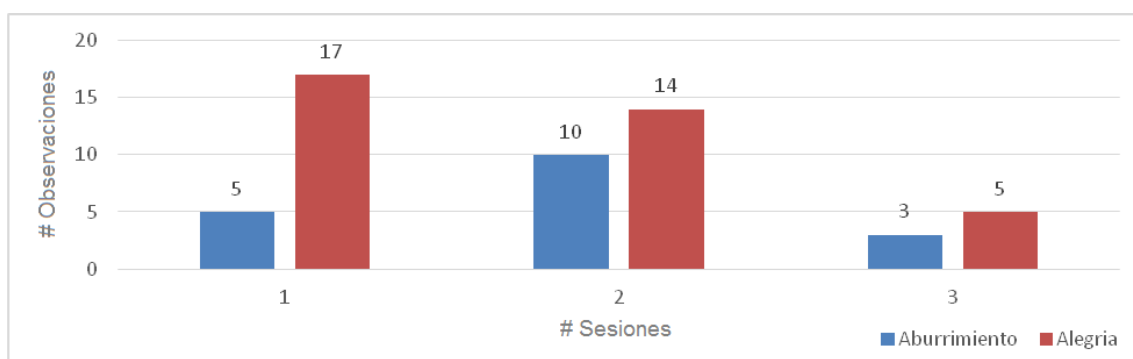


FIGURA 2-6: NÚMERO DE EVENTOS DE ALEGRÍA Y DISRUPCIÓN POR SESIÓN

El segundo comportamiento observado hace referencia a las solicitudes de ayuda que realizaban los alumnos al profesor. Estas solicitudes se dividieron en dos tipos: referente al manejo del software y a la comprensión del contenido curricular. Las solicitudes de ayuda curricular estuvieron presentes en todas las sesiones, pero de manera decreciente a lo largo del experimento, como se puede ver en la Figura 2-7. En cambio, las solicitudes de ayuda referentes al manejo del software ocurrieron

significativamente en la primera sesión, concentrándose en los primeros 10 minutos; más del 70% de las veinte solicitudes.

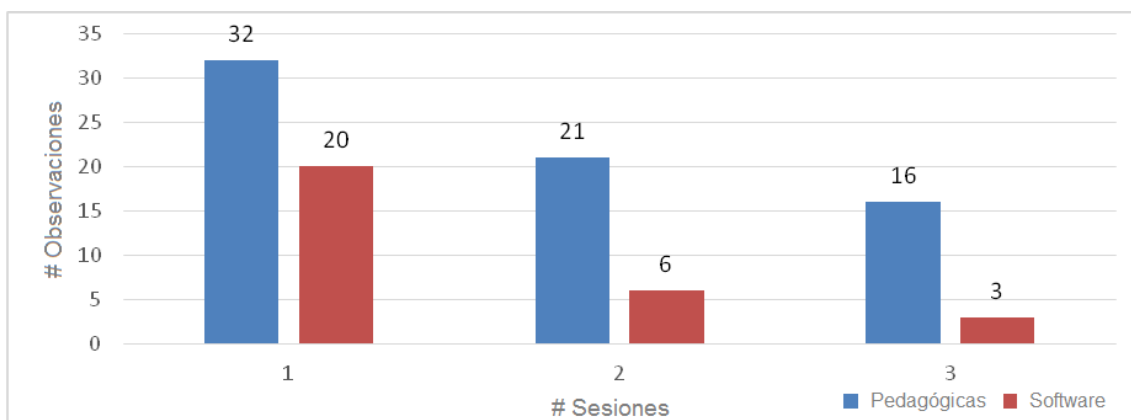


FIGURA 2-7: SOLICITUD DE AYUDA PROFESOR REFERENTES AL CONTENIDO CURRICULAR Y EL SOFTWARE

Se observó en el trabajo experimental que al finalizar cada sesión, los alumnos expresaban interés en que la actividad continuara por más tiempo. Además era recurrente la pregunta por la dirección de la versión web del videojuego. Dado que dicha dirección web no estaba disponible a los alumnos, en la última sesión experimental, muchos estudiantes optaron por continuar jugando aunque el tiempo ya había terminado y correspondía a su momento de descanso entre clases. Todo lo anterior nos hace concluir que se logró *flow*.

2.5. Discusión

El modelo presentado en esta investigación, tiene como finalidad entregar una estrategia para la creación de videojuegos educativos efectivos e intrínsecamente motivantes, los cuales para cumplir dicho objetivo deben alinear la componente lúdica y pedagógica. En este sentido, este modelo contempla tanto la posibilidad de usar mecánicas de juegos populares ya existentes, o mecánicas innovadoras que deben alinearse con los contenidos pedagógicos.

Diferentes mecánicas de juegos pueden ser utilizadas para alinear los contenidos pedagógicos con los elementos lúdicos. Por ejemplo, el uso de una mecánica de

agrupación, donde se forman grupos con un objetivo dado; por ejemplo., en *Candy Crush* o *Bubble Shooter* (ver Tabla 2-3, línea 1 y 2), donde el jugador acumula puntos al agrupar elementos específicos dentro de un área limitada. Esta mecánica puede alinearse pedagógicamente con la noción de secuencias matemáticas o múltiplos, si es que el objetivo dado para realizar las agrupaciones resulta ser un patrón matemático. También, usando la misma mecánica, es posible enseñar formación de compuestos químicos, si es que se definen elementos químicos como las unidades básicas a ser agrupadas. La Tabla 2-3, presentan diferentes ejemplos de mecánicas populares que pueden alinearse con contenidos pedagógicos; esta tabla no es exhaustiva en todas las posibilidades de juegos, mecánicas y contenidos curriculares.

Cabe destacar, que se ha observado que un mismo contenido curricular puede alinearse perfectamente con distintas mecánicas de juego en sus distintas implementaciones. Del anterior, se desprende que según la implementación de la mecánica elegida, el videojuego desarrollado alcanzará promover distintos niveles de adquisición de conocimiento y habilidades en los estudiantes.

TABLA 2-3: MECÁNICAS DE JUEGOS EXITOSOS Y SU POSIBLE USO PEDAGÓGICO

Mecánica del Juego	Nombre y Objetivo del Juego	Contenido Pedagógico Alineado
Agrupación	BubbleShooter Disparar elementos a un conjunto aleatorio para formar grupos de iguales características y retirarlas del juego. https://play.google.com/store/apps/details?id=com.game.BubbleShooter	Secuencias y Múltiplos
Toma de decisiones bajos conocimiento limitado.	Carmen Sandiego Explorar áreas para resolver problemas y acertijos que se presentan en el camino. http://www.carmensandiego.com/hmh/site/carmen/	Historia y Geografía.

Evadir obstáculos mientras recolecta elementos..	Zombie Tsunami Recolectar medallas mientras se avanza evitando obstáculos, para alcanzar la mayor puntuación posible https://play.google.com/store/apps/details?id=net.mobigame.zombietsunami	Agrupar elementos (por vocales o consonantes, por múltiplos, por figuras geométricas, etc.)
Seleccionar un punto en el plano.	Batalla Naval Eliminar todos los barcos enemigos ubicados en una zona cuadrículada oculta, disparando a coordenadas específicas de la cuadrícula. https://play.google.com/store/apps/details?id=com.gsmchoice.battleontheseatablet	Plano cartesiano, Simetrías, Reflexión y Transacciones.
Definir posición y giro de elementos.	Tetris Formar líneas con estructuras geométricas que van apareciendo en un área determinada. https://play.google.com/store/apps/details?id=com.ea.game.tetris2011_row	Traslación y Rotación geométrica
Resolver rompeca - bezas	Unblock Car Sacar un vehículo de un estacionamiento delimitado en 2D, moviendo el resto de los autos que lo bloquean https://play.google.com/store/apps/details?id=com.freedomrecycle.unblockcarfree Lazors Mover bloques y espejos para golpear objetivos. https://play.google.com/store/apps/details?id=net.pyrosphere.lazors Unroll Mover parte de un camino para que una pelota recoja una ruta de un punto a otro. https://play.google.com/store/apps/details?id=com.turbochilli.unrollme&hl=es_419	Óptica, Mecánica de Fluidos.
Tiro al blanco	AngryBirds Eliminar objetivos enemigos (cerdos) usando municiones (pájaros)	Vectores, Fuerza y Lanzamiento

	disparados por una resortera. https://play.google.com/store/apps/details?id=com.rovio.angrybirds	de proyectil.
	Pool Movilizar un conjunto de bolas para que ingresen en zonas predeterminadas impulsando solo una de ellas https://play.google.com/store/apps/details?id=com.forthblue.pool	Geometría y Conservación del momento lineal.
Control de aceleración y empuje.	Bike/Moto Race Avanzar sin caer con una bicicleta/moto por superficies irregulares en 2D https://play.google.com/store/apps/details?id=com.topfreegames.bikeracefreeworld	Cinemática, Dinámica, Sistemas de conservación de energía.
Simulación	Tamagotchi Cuidar y mantener una mascota https://play.google.com/store/apps/details?id=hfm.tamagotchi_en	Biología animal. Procesos celulares.
	Sim City Construir una ciudad, administrando los recursos disponibles http://www.simcity.com/en_US	Procesos de oferta y demanda. Sistemas de tráfico.

2.6. Conclusión

Volviendo a la pregunta de investigación, ¿Es posible desarrollar un proceso de diseño de videojuego educativo que permita lograr una alineación del componente lúdico y el pedagógico? En esta investigación se desarrolló un modelo que consiste en cuatro preguntas claves, además de las restricciones que imponen dos reglas. Para validar el modelo, se desarrolló un videojuego, para la enseñanza de óptica básica, donde se mostró que era posible mejoras significativas de aprendizaje respecto un grupo de control logrando *flow*. Se concluyó que al aplicar el modelo propuesto en el desarrollo de videojuegos, alineando la componente lúdica y pedagógica, se logran juegos pedagógicos efectivos y que a la vez permiten mantener la motivación y el interés del alumno durante el proceso de aprendizaje.

Una de las limitaciones de la investigación, fue que no se obtuvo autorización para realizar una encuesta de inmersión a los alumnos después de haber utilizado el videojuego. Esto se debió a que en ese momento el colegio se encontraba en el período de exámenes finales. Dicha encuesta, hubiera por un lado, apoyado los resultados fruto de la observación, y por otro, ayudado a comprender mejor los elementos que permiten el estado de *flow* de los estudiantes. Una segunda limitación de la investigación es que el contenido curricular no era completo; no se implementaron espejos curvos y formación de imágenes, debido a que no era compatible con la mecánica del juego, y se tendría que haber diseñado otra mecánica alineada con este contenido. De haber tenido ese contenido se hubiera prolongado por una sesión más la actividad.

Queda como trabajo futuro el desarrollo de otros videojuegos educativos en otras áreas del conocimiento. Así mismo se propone el uso de distintas tecnología, como por ejemplo, sistemas basados en *kinect*, realidad aumentada y superficies interactivas, una vez que estas ofrecen nuevas oportunidades para el diseño y el uso otras mecánicas de juego. Se deja también como trabajo futuro la comparación entre videojuegos, con un mismo contenido curricular, que tengan o no los componentes lúdico y pedagógico alineados.

BIBLIOGRAFIA

- Ak, O. (2012). A game scale to evaluate educational computer games. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 46(0), 2477-2481. doi:10.1016/j.sbspro.2012.05.506
- Bellotti, F., Berta, R., Gloria, A. D., & Primavera, L. (2009). Enhancing the educational value of video games. *Comput.Entertain.*, 7(2), 23:1-23:18. doi:10.1145/1541895.1541903
- Bisso, C. & Luckner, J. (1996). Fun in Learning: The Pedagogical Role of Fun in Adventure Education. *The Journal of Experiential Education*, 108-112.
- Bland, J. M., & Altman, D. G. (1997). Statistics notes: Cronbach's alpha. *BMJ*, 314(7080), 572. doi:10.1136/bmj.314.7080.572
- Blind Reference. (2014). Blind Reference. *Educational Technology & Society*. 17 (3).
- Butler, E., Smith, A. M., Liu, Y., & Popovic, Z. (2013). A mixed-initiative tool for designing level progressions in games. *Proceedings of the 26th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, St. Andrews, Scotland, United Kingdom. 377-386. doi:10.1145/2501988.2502011
- Charsky, D. (2010). From edutainment to serious games: A change in the use of game characteristics. *Games and Culture*, 5(2), 177-198. doi:10.1177/1555412009354727
- Connolly, T. M., Boyle, E. A., MacArthur, E., Hainey, T., & Boyle, J. M. (2012). A systematic literature review of empirical evidence on computer games and serious games. *Computers & Education*, 59(2), 661-686. doi:10.1016/j.compedu.2012.03.004
- Cousins, B. (2005). Low-level game design, atoms, measurement and hierarchies. *Presented at: Game Developers Conference Europe*, London, UK.
- Csikszentmihályi, M. (1990). *Flow: The psychology of optimal experience*. Harper & row. New York: Harper & Row.
- Dewey, J. (1938). *Experience and education*. New York: Macmillan.
- Dickey, M. D. (2011). World of warcraft and the impact of game culture and play in an undergraduate game design course. *Computers & Education*, 56(1), 200-209. doi:10.1016/j.compedu.2010.08.005
- Duffy, T. D., & Jonassen, D. H. (1991). Constructivism: New implications for instructional technology? *Educ.Technol.*, 31(5), 7-12.
- Echeverría, A., García-Campo, C., Nussbaum, M., Gil, F., Villalta, M., Améstica, M., & Echeverría, S. (2011). A framework for the design and integration of collaborative classroom games. *Comput.Educ.*, 57(1), 1127-1136. doi:10.1016/j.compedu.2010.12.010
- Echeverría, A., Améstica, M., Gil, F., Nussbaum, M., Barrios, E., & Leclerc, S. (2012). Exploring different technological platforms for supporting co-located collaborative

games in the classroom. *Computers in Human Behavior*, 28(4), 1170-1177.
doi:10.1016/j.chb.2012.01.027

Echeverría, A., Barrios, E., Nussbaum, M., Améstica, M., & Leclerc, S. (2012). The atomic intrinsic integration approach: A structured methodology for the design of games for the conceptual understanding of physics. *Computers & Education*, 59(2), 806-816.
doi:10.1016/j.compedu.2012.03.025

Egenfeldt-Nielsen, S. (2011). What makes a good learning game?: Going beyond edutainment. *eLearn*, 2011(2) doi:10.1145/1943208.1943210

Garris, R., Ahlers, R., & Driskell, J. E. (2002). Games, motivation, and learning: A research and practice model. *Simulation & Gaming*, 33(4), 441-467.
doi:10.1177/1046878102238607

González-González, C., & Blanco-Izquierdo, F. (2012). Designing social videogames for educational uses. *Computers & Education*, 58(1), 250-262.
doi:10.1016/j.compedu.2011.08.014

González-González, C., Toledo-Delgado, P., Collazos-Ordoñez, C., & González-Sánchez, J. L. (2014). Design and analysis of collaborative interactions in social educational videogames. *Computers in Human Behavior*, 31(0), 602-611.
doi:10.1016/j.chb.2013.06.039

Habgood, M. P. J., & Ainsworth, S. E. (2011). Motivating children to learn effectively: Exploring the value of intrinsic integration in educational games. *Journal of the Learning Sciences*, 20(2), 169-206.

Hou, H. (2012). Exploring the behavioral patterns of learners in an educational massively multiple online role-playing game (MMORPG). *Computers & Education*, 58(4), 1225-1233. doi:10.1016/j.compedu.2011.11.015

Hunicke, R., Leblanc, M., & Zube, R. (2004). MDA: A formal approach to game design and game research. *Proceedings of the Challenges in Games AI Workshop*, San Jose, CA. 1-5.

Keller, J. (1983). Motivational design of instruction. In C. M. Reigeluth (Ed.), *Instructional design theories and models: An overview of their current status* (pp. 383-434). Erlbaum: Hillsdale.

Kiili, K. (2005). Digital game-based learning: Towards an experiential gaming model. *The Internet and Higher Education*, 8(1), 13-24. doi:10.1016/j.iheduc.2004.12.001

Kiili, K., de Freitas, S., Arnab, S., & Lainema, T. (2012). The design principles for flow experience in educational games. *Procedia Computer Science*, 15(0), 78-91.
doi:10.1016/j.procs.2012.10.060

Kolb, D. A., Boyatzis, R. E., & Mainemelis, C. (2000). Experiential learning theory: Previous research and new directions. In R. J. Sternberg, & L. F. Zhang (Eds.),

Perspectives on cognitive, learning, and thinking styles (pp. 227-247). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.

Li, D. (2012). Categorization and definition of educational games based on the objectives of education. *Proceedings of the 2012 3rd International Conference on E-Business and E-Government - Volume 04*, 262-265.

Luckin, R., Bligh, B., Manches, A., Ainsworth, S., Crook, C., & Noss, R. (2012). *Decoding learning: The proof, promise and potential of digital education (research report)*. (No. November). London: Nesta.

Norman, D. A. (1993). *Things that make us smart: Defending human attributes in the age of the machine*. Boston, MA, USA: Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc.

Pivec, M., Dziabenko, O., & Schinnerl, I. (2003). Aspects of game-based learning. *3rd International Conference on Knowledge Management, Graz, Austria*, 216-225.

Plass, J. L., Homer, B. D., Kinzer, C., Frye, J. M., & Perlin, K. (2011). Learning mechanics and assessment mechanics for games for learning. *Institute for Games for Learning*, 1(1), 1-20.

Prensky, M. (2001). *Digital game based learning*. New York: McGraw-Hill.

Quinn, C. N. (2005). *Engaging learning: Designing e-learning simulation games*. San Francisco: Pfeiffer.

Rollings, A. & Adams, E. (2003). *Andrew rollings and ernest adams on game design*. Berkeley, CA: New Riders Publishing.

Rose, C. & Nicholl, M. (1997). *Accelerated Learning for the 21st Century*. Delacorte Press.

Rouse, R. (2005). *Game design: Theory & practice*. Plano, TX: Wordware Publishing, Inc.

Sampayo-Vargas, S., Cope, C. J., He, Z., & Byrne, G. J. (2013). The effectiveness of adaptive difficulty adjustments on students' motivation and learning in an educational computer game. *Computers & Education*, 69(0), 452-462. doi:10.1016/j.compedu.2013.07.004

Song, M., & Zhang, S. (2008). EFM: A model for educational game design. *Proceedings of the 3rd International Conference on Technologies for E-Learning and Digital Entertainment*, Nanjing, China. 509-517. doi:10.1007/978-3-540-69736-7_54

Sweetser, P., & Wyeth, P. (2005). GameFlow: A model for evaluating player enjoyment in games. *Comput.Entertain.*, 3(3), 3-3. doi:10.1145/1077246.1077253

Tragazikis, P., & Meimaris, M. (2009). Engaging kids with the concept of sustainability using a commercial video game - A case study.5940, 1-12. doi:10.1007/978-3-642-11245-4_1

Villalta, M., Gajardo, I., Nussbaum, M., Andreu, J. J., Echeverría, A., & Plass, J. L. (2011). Design guidelines for classroom multiplayer presential games (CMPG). *Computers & Education*, 57(3), 2039-2053. doi:10.1016/j.compedu.2011.05.003

Vygotsky, L. S. (1978). *Mind and society: The development of higher mental processes*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

ANEXOS

ANEXO A : DESIGN MODEL FOR PEDAGOGICAL EFFICIENT EDUCATIONAL VIDEOGAMES

ABSTRACT

Educational videogames have become a popular teaching tool in recent years thanks to their ability to motivate students while completing a task. Different studies have developed models and guides for creating videogames that are both fun and educational. Achieving a balance between these two elements (teaching/learning and gaming) is no easy task. With this aim in mind, this study describes a design model for educational videogames based on the idea that a game's metaphor must coincide with the concept it is teaching. This design process was applied to a videogame for teaching optics. In a quasi-experimental comparative study we showed that aligning the gaming and pedagogical elements leads to effective educational games which also motivate students and engage them during the learning process. The study finishes by showing how the mechanics from existing popular games can be aligned with different curricular content.

Keywords

Educational videogames; Game-based learning; Educational videogame design.

1. Introduction

In recent decades, numerous studies have shown the positive effects of educational videogames when compared with more traditional teaching methods. This is both in terms of motivation and attitudes towards learning, as well as in terms of the knowledge acquired (Echeverría, Barrios, Nussbaum, Améstica, & Leclerc, 2012; Luckin et al., 2012). According to Connolly, Boyle, MacArthur, Hainey and Boyle (2012), videogames are not only motivational but also allow activities to incorporate modern theories of effective learning, i.e. activities which encourage active, experimental and context-based learning by focusing on problems and providing instant feedback.

As a consequence, not only have various commercially-available videogames been adapted to educational contexts (Dickey, 2011; González-González, Toledo-Delgado, Collazos-Ordoñez, & González-Sánchez, 2014; Tragazikis & Meimaris, 2009), but they have also been developed specifically for teaching (Bellotti, Berta, Gloria, & Primavera, 2009; González-González & Blanco-Izquierdo, 2012; Hou, 2012). An educational videogame is defined by Li (2012) as “a type of software that has a clear educational purpose and content, helping learners to fulfil learning tasks by engaging them in games”. According to Luckin et al., (2012), a truly successful videogame not only allows students to practice and/or cover curricular contents, but also manages to provide activities which are both fun for children and effective in terms of learning.

Like others, this definition describes an educational videogame as the balance between two elements: teaching/learning and gaming. The first element (teaching/learning) is

directly related to the curricular contents that the videogame wishes to cover. This element must be in line with the student's level of knowledge, taking into account their zone of proximal development, in order to achieve an optimal level of learning (Vygotsky, 1978).

According to Garris, Ahlers y Driskell (2002), the second element (gaming) can be described by the interaction between different components such as fantasy, rules/goals, sensory stimuli, challenge, mystery and control. Ak (2012) suggests that it can be described by the game's mechanics, story, aesthetics and technology; or as Sweester and Wyeths (2005) Game Flow theory proposes, it comprises the elements of concentration, challenge, skills, control, clear goals, feedback and immersion.

Various researchers have therefore defined different elements of videogames and, although there are similarities between their lists of elements, it is the interaction between them that defines the metaphor for the objects in the game with which the player will interact. The optimal relationship between the elements that define this metaphor will ensure that the activity is carried out in a state of flow, i.e. a state of complete absorption or engagement in an activity otherwise known as the optimal experience (Csíkszentmihályi, 1990). During the optimal experience, a person is in a psychological state where he or she is so involved with the goal-driven activity that nothing else seems to matter (Kiili, de Freitas, Arnab, & Lainema, 2012). According to Finneran and Zhang (2005), the flow represents a state of consciousness, during which people are so absorbed in an activity that they demonstrate a high level of performance without being aware of their surroundings.

Based on this comes the premise that in effective educational videogame design, a balance must be found between gaming and teaching/learning (Kiili et al., 2012; Prensky, 2001; Quinn, 2005). Finding the optimal balance between these two variables is no easy task; if the videogame is too heavy on curricular content the students are likely become bored and stop playing. On the other hand, if the game is too heavily focused on the gaming element, the expected learning outcomes will presumably not be achieved.

Furthermore, a smaller range of educational videogames looking to strike the right balance chose to align the two elements, i.e. consistently integrate the teaching/learning objectives with the gaming element so that separating the gaming aspect from the teaching/learning element becomes very difficult, if not impossible. Examples of these include the work by Bellotti et al., (2009) to teach best practices of sea-related behavior; Villalta et al., (2011) to teach ecology using a multiplayer role-play game in the classroom; Echeverría et al., (2012) to teach electrostatics using a collaborative videogame; and Butler, Smith, Liu and Popovic (2013) to teach the concept of numerical fractions.

Considering the growing use of videogames in schools and the potential of educational videogames where the gaming element is aligned with the teaching/learning process, the need arises to study the design process for videogames with these characteristics in order

to guarantee their pedagogical efficiency. Our research question therefore asks “Is it possible to develop a process for educational videogame design which helps to align the gaming element with the teaching/learning process?”

In the following section we describe and analyze the model that was developed for this study. We then present the methodology and the videogame that was developed so as to validate our model. This is followed by the results of our study, before we present the discussions and our conclusions.

2. Model

2.1. Motivation

One of the biggest problems faced by educational videogame design is how to successfully integrate principles of teaching/learning with a game’s mechanics (de Freitas et al., 2012). A faulty integration of the gaming and teaching/learning elements leads to negative experiences for the user and distances the player from the state of flow (Kiili et al., 2012). Figure 1(a) describes how the gaming and teaching/learning elements are combined during the different stages of a game. The point P represents a player. From the activity’s starting point, P1, the player can have two different experiences depending on the relationship between the two elements. At P2, the gaming element prevails over the curricular content, leading the player to dedicate excessive amounts of time and energy to completing the actual game. At the other end, at P3 the teaching/learning element far outweighs the gaming aspect, leading the player towards a state of boredom. Both of these situations stray from the optimal experience, where the two elements are aligned (Figure 1(b)), a state of flow is achieved and the videogame is pedagogically efficient. The aim of this study is to create a model for educational videogame design which aligns the two elements.

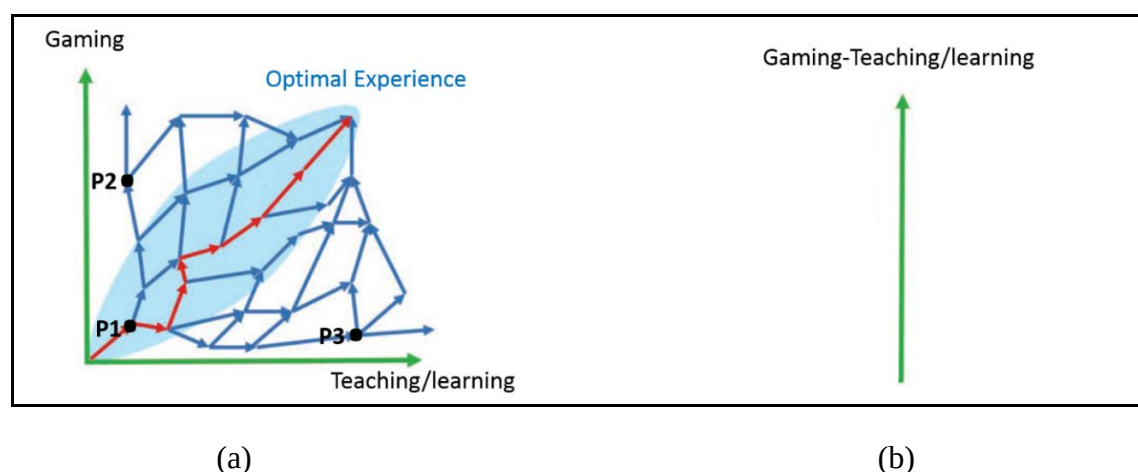


Figure 1. (a) Beginning of the integration of the gaming and teaching/learning elements; (b) alignment of the two elements

2.2. Description of the model (Figure 2)

According to Ak (2012), content is the intended scope of learning which is defined by the curriculum. When developing an educational videogame, the first thing to establish is the concept or curricular content that is to be covered. In order to distribute this content across the different stages of the game, teaching units or a division of the contents needs to be established (Song & Zhang, 2008). This division regularly sees a gradual increase in complexity throughout the game (Sampayo-Vargas, Cope, He, & Byrne, 2013) or presents the students with challenges that adapt to their level of ability (Kiili et al., 2012). From here comes our first design question: “What do you want to teach?”, which helps define both the content and the teaching units.

A game’s metaphor is the abstraction with which the player interacts in the virtual world. It is formed by the context where the game takes place and the objects that can be handled by the player. The elements which comprise the metaphor can be used in different ways (Charsky, 2010), leading to unique gaming experiences (Rollings & Adams, 2003; Rouse, 2005). This possibility of creating different experiences by interacting with different elements makes creating the metaphor a complex process. It is therefore necessary to define which characteristics are fundamental in the definition of the videogame’s metaphor, leading to our second design question: “How do I teach it in a fun way?”.

A videogame is about “what you do” and not “what you see” Egenfeldt-Nielsen (2011). Therefore, when creating the game’s metaphor it is essential to specify the game’s mechanics, i.e. define the set of actions which the player must carry out in order to fulfil a given objective.

According to the constructivist learning theory, a student constructs their knowledge by being mediated (Vygotsky, 1978). If this mediation is achieved using an educational videogame, the player must interact with the elements which comprise the game’s metaphor in order to meet the objective. If the curricular contents are to be learnt, it is essential for them to be aligned with the elements of the videogame (Pivec, Dziabenko, & Schinnerl, 2003). This leads to the first design rule for the proposed model: “The metaphor must be close to the concept”. As a consequence, by interacting with the game’s metaphor, the student will also interact with the concepts so long as they are indistinguishable from one another.

According to Kiili et al. (2012), the aim of educational videogame design is to create an experience which is so interesting that it keeps players engaged for as long and as intensely as possible. Therefore, from Kiili’s work it follows that the aim of an educational videogame is to allow the state of flow to be achieved (Csíkszentmihályi, 1990) during the learning process. It is the entertainment provided by the game which keeps a user engaged and searching for the solution to a problem proposed by the videogame, thus leading to knowledge transfer. The moment of fun must therefore become blurred with the moment of learning. Defining these moments answers the

model's third and fourth questions: "What is the Moment of Learning?" and "What is the Moment of Fun?"

As the moments of knowledge transfer must occur when the player is in a state of flow (Csikszentmihályi, 1990) the model's second rule is: "The Moment of Learning must be aligned with the Moment of Fun" (Figure 1(b)).

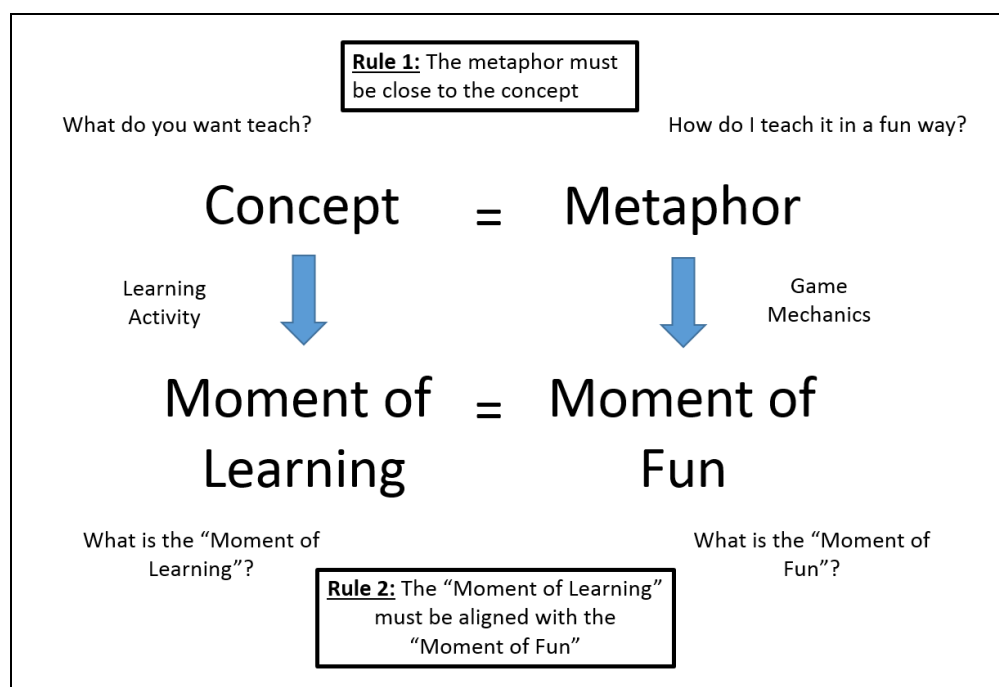


Figure 2. Diagram of the proposed model.

3. Methodology

In order to validate the proposed model as the basis for developing pedagogically-efficient and intrinsically-motivating videogames, it was experimentally proven that the videogame produced a state of flow while also leading to significant learning among the students. This would therefore show that the gaming and teaching/learning elements are aligned and that they follow Rules 1 and 2 in Figure 2.

3.1. Domain

With the aim of validating the model described above, i.e. show that it is possible to align the gaming and teaching/learning elements, a videogame was developed to teach optics. This domain was chosen based on the fact that learning is more significant when the student participates in the process (Pivec et al., 2003), compared to theoretical work which schools are forced to resort to when they do not have the necessary laboratories for a more hands-on approach to learning.

3.2. Applying the model

The first step in our model, Figure 2, is to answer the question: “What do you want to teach?”. In this case, the topic to be taught is the behavior of light waves; specifically reflection and refraction.

The second step in our model, Figure 2, is to answer the question: “How do I teach it in a fun way?”. In order to answer this question, the game’s metaphor must be defined. As was mentioned in the description of the model, the most relevant thing here is the game’s mechanics. In our case, moving mirrors and lenses (Figure 3, Item 1) so that a ray of light (Figure 3, Item 2) changes direction from one point to another pre-determined point, in our case a pre-determined receptacle (Figure 3, Item 3). These game mechanics based on interaction have been successfully employed in other games, such as Unblock Car, Lazors or Unroll (Table 3, Rows 7, 8 and 9) where the player intervenes in the game’s initial configuration in different ways so that a given object changes direction/trajectory and/or its initial position. By doing so, Rule 1: “The metaphor must be close to the concept” is met as the game mechanics (moving objects to achieve a certain trajectory) are blurred with the game’s metaphor and the teaching/learning objective.

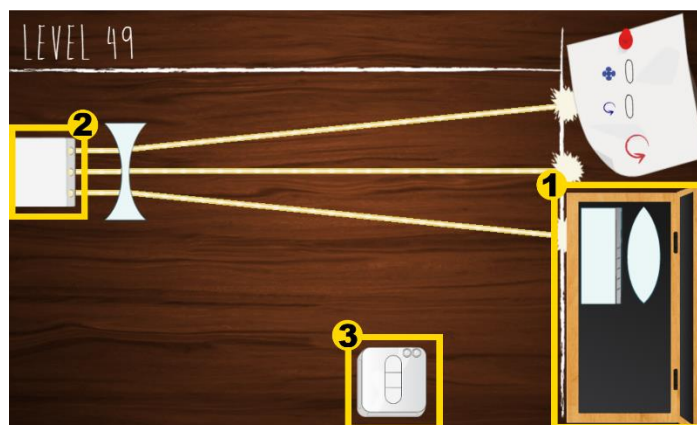


Figure 3. Basic elements of the game

The next step is to answer the question “What is the Moment of Fun?”. As with the game Unblock Car (Table 3, Row 7), where the aim is to get a car out of a car park by moving the other parked cars which are blocking its path, the user can control the mirrors and lenses (in the same way the player can control the cars which are blocking the exit) so that the ray of light (the blocked car) is reflected into the pre-determined receptacle (the exit to the car park).

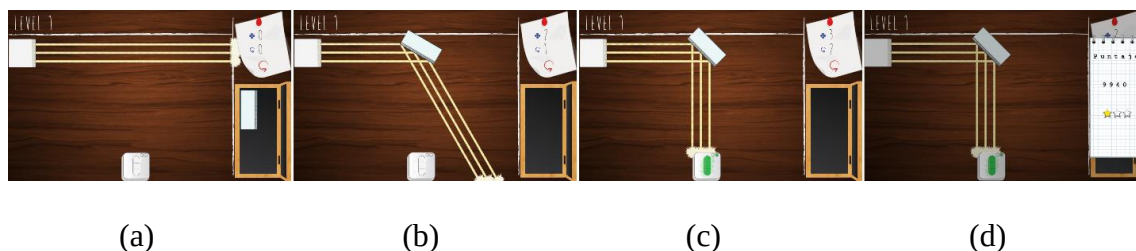


Figure 2. (a) Initial configuration - (b) First moves – (c) – Positive feedback and (d) Final score

In parallel to this, the question “What is the Moment of Learning?” must also be answered. We observed that learning is consolidated when the student has to move the mirrors and lenses (Figure 2a and 2b) in order to meet certain objectives relating to optics required by the videogame (Figure 2c), to get their corresponding score (Figure 2d).

In doing so, Rule 2: “The Moment of Learning must be aligned with the Moment of Fun” is met as the moment of fun is the moment of learning; i.e. carrying out the teaching/learning activity means playing the game.

3.3. Sample

A study was conducted in a private school in Santiago, Chile, comprising four 9th grade classes with a total of 141 children (63 boys and 78 girls) aged between fourteen and fifteen (Table 1). Only students who took part in both assessments (pre- and post-) were classified as participants. The study was conducted with two experimental groups (Game) and two control groups without the use of technology (Traditional Method). The experimental groups used the application described above for a maximum of 35 minutes per session. The traditional groups did regular school work practicing similar exercises using paper and pencil).

3.4. Procedure

Both groups, each with their own methodology (videogame or worksheets), had to complete a total of 65 optical challenges (levels of the game or exercises on the worksheet, respectively). While the students in the Traditional Method group could choose the order of these challenges, the students in the Game group followed the order determined by the videogame. The students from the Traditional Method group were given an answer sheet at the end of each session in order to provide them with feedback. The students who used the videogame, on the other hand, received feedback throughout the session.

The study lasted for a whole month, during which time the school had assigned 4 sessions for teaching optics. Given the availability of the teacher of each group, a total of 3 sessions were evenly distributed across the month for each of the groups.

In order to follow the school's methodology of experimental learning, the teachers delivered a 20 minute lecture to both groups at the end of each session, relating the contents covered in the game or on the worksheet with their practical applications and/or theory. In doing so, it was expected that the students could build prior knowledge based on experimentation and then consolidate this knowledge with the teacher's formal explanation.

Table 1 shows the characteristics of the students. To ensure that the intervention was similar for each student, the mean student attendance was calculated and corresponds to the average number of sessions attended by the students in each class. This value was taken from the data stored in the system after each session. Attendance did not vary significantly between one class and another.

Table 1. Class characteristics

Technology	Classes			
	Game A	Game B	Traditional method A	Traditional method B
Students in the class	38	35	32	36
Participating students	28	28	31	28
Participating girls	16	18	17	18
Participating boys	12	10	14	10
Mean students attendance	2.84	2.68	2.75	2.54
Duration of the activity [weeks]	4	3	4	4

3.5. Instruments

3.5.1. Student Achievement

To determine whether there was a significant difference between the students from the four groups, an instrument was designed containing 10 basic optics exercises in order to identify the skills of the 9th grade students. The maximum duration of this test was 45 minutes. The same instrument was used for the pre- and post-tests. Furthermore, this instrument was carefully reviewed by each of the teachers whose classes participated, so as to confirm both the validity of the pedagogic content and its effectiveness in terms of measuring the acquired knowledge. The instrument was based on multiple-choice exercises as this is the format with which the students are most familiar in the context of school tests.

The coefficient of Cronbach's Alpha for the above mentioned instrument, calculated for each of the four experimental groups using the pre-test was always higher than 0.82 (Table 2). According to Bland and Altman (1997), a value of higher than 0.6 indicates that the criteria used, based on the content delivered, is acceptable for classifying the students.

3.5.2. Student Behavior

With the aim of validating whether or not a state of flow was achieved during the activities when using the videogame, signs of happiness, disruptive behavior and requests for help from the teacher were recorded. All behavior was recorded when it happened, using a tablet which allowed the time of each occurrence to be registered and for these events to be counted. The observer who used the device was trained by observing the videogame's testing sessions and also had previous experience (Blind Reference, 2014). The person in charge of the training also acted as a supervisor during the observations, and was present at all the activities.

To measure behavior, "happiness" was defined as a positive, spontaneous expression by the student when interacting with the system. For example, physical expressions of emotion or satisfaction, as well as verbal comments referring to having gotten the maximum score on a level, used the minimum number of pieces in a solution or passed a difficult level, among others. In the case of "disruptive behavior", this was considered as any intentional interruption of the natural flow of the activity by a student. For example, when the student stopped paying attention to the game (by looking at their cellphone or outside of the classroom, or talking with another student, among others). Finally, the number of requests for help made by the students to the teacher were also counted.

4. Results

4.1. Quantitative Data

Table 2 shows the results of the pre- and post-tests. Statistical significance was measured for each group using a t test, which found significant results between the pre- and post-tests ($\Delta\%$ Group). The latter corresponds to average student progress for each group, calculated to evaluate the difference between the pre- and post-test results. Effect size by Cohen's d is also shown.

Table 2. Pre-test and post-test results.

Type	T-test	Pre-Test		Post-Test		$\Delta\%$ Group	Cronbach's alpha Pre-Test	Cohen's d (effect size)
		Average	SD	Average	SD			
Game A	$p < 0.001$	5.32	1.7	6.46	1.2	21.5%	0.83	0.78 (large effect)
Game B	$p < 0.001$	5.11	1.4	6.32	1.1	23.8%	0.84	0.94 (large effect)
Traditional Method A	$p < 0.001$	5.16	1.5	5.58	0.8	8.1%	0.89	0.34 (low effect)
Traditional Method B	$p < 0.001$	5.14	1.4	5.64	1.0	9.7%	0.92	0.40 (medium effect)

To statistically validate the equivalence between the classes, two analyses were conducted at the beginning of the experimental work using the results from the pre-test. The first of these was an analysis of variance (ANOVA). This showed that there was no significant difference between the average scores of the four classes ($F(3, 114) = 0.16, p = .93$). The second analysis, a Levene's test for equality of variance, also failed to find a significant difference between the classes ($F(3, 111) = 0.54, p = 0.65$). When considered together, both results allowed the assumption to be made that the four classes had an equivalent level of knowledge prior to the intervention. Furthermore, the equivalence between the classes is validated when taking into consideration the other control variables such as being the same age and belonging to the same socioeconomic group. Given the equivalence between the classes, the difference between the results from the pre-test and results from the post-test can be attributed to the intervention carried out with each group using the previously-described videogame.

To statistically compare the results obtained from the pre- and post-tests for the different classes (Game A, Game B, Traditional Method A and Traditional Method B), a one-way analysis of covariance (ANCOVA) was conducted. The results indicate a significant difference between the classes ($F(3, 113) = 5.85, p < .001$).

Given that the classes Game A and Game B worked under the same conditions, both classes (Game A and Game B) were subjected to a new one-way analysis of covariance (ANCOVA), with the aim of verifying whether the videogame had a different impact on these two classes. The result showed that there was no significant difference between the classes ($F(1, 54) = 0.11, p = .73$), leading to the conclusion that the impact of the videogame is the same, regardless of the class. This result is taken into consideration for the following analyses and, therefore, from now on both classes will be considered as a single group (Game A+B).

Following the same rationale as before, both of the Traditional Method groups were also subjected to a new one-way analysis of covariance (ANCOVA), with the aim of verifying whether the traditional school work, without the use of technology, had a different impact on these two classes. The result showed that there was no significant difference between the classes ($F(1, 57) = 0.86, p = .76$), leading to the conclusion that the impact of traditional school work is the same, regardless of the class and, therefore, from now on both classes will be considered as a single group (Traditional Method A+B).

A fourth one-way analysis of covariance (ANCOVA) was conducted, with the aim of comparing the effectiveness of the two new experimental groups (Game A+B and Traditional Method A+B). The result showed that there was a significant difference between the groups ($F(1, 114) = 17.69, p < 0.001$). By analyzing the difference between the adjusted averages from this last ANCOVA (Game A+B / Method Traditional A+B = 0.765), we conclude that in terms of the knowledge acquired by the students, the impact on the videogame group was greater than the traditional method group without using technology.

4.2. Qualitative Data

Figure 4 shows the total number of events (happiness and disruption) per session which occurred within the respective time intervals within a session. Here it can be observed that the number of events relating to happiness decreases slightly over time, while the number of disruptions increases. Although signs of happiness decrease towards the end of the session, this did not stop the students from working. The participating teachers often mentioned that the students were much more concentrated when working with the videogame in comparison to traditional classes. From Figure 5, it can be inferred that the students got used to working with the videogame as the sessions went on and, therefore, little by little they got over the initial surprise of the first session, although this did not have an impact on the rejection of the videogame.

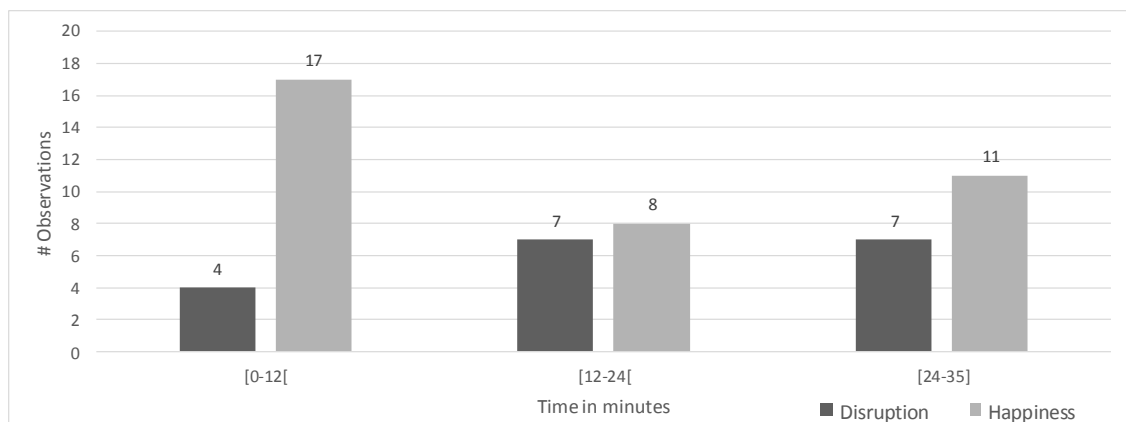


Figure 4. Number of signs of happiness and disruption per time interval

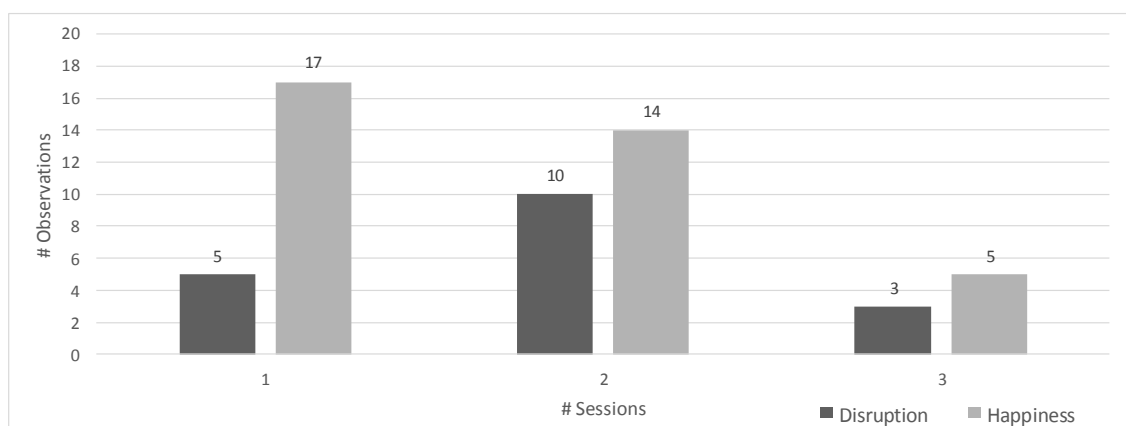


Figure 5. Number of signs of happiness and disruption per session

The second observed behavior refers to requests for help from the teacher by the students. These requests were divided into two types: regarding use of the software and comprehension of the curricular content. The requests for curricular help were present in all of the sessions, although they decreased as the study went on (Figure 6). On the other hand, the requests for help referring to use of the software were heavily concentrated in the first 10 minutes of the first session, with more than 70% of the 20 requests coming in this interval.

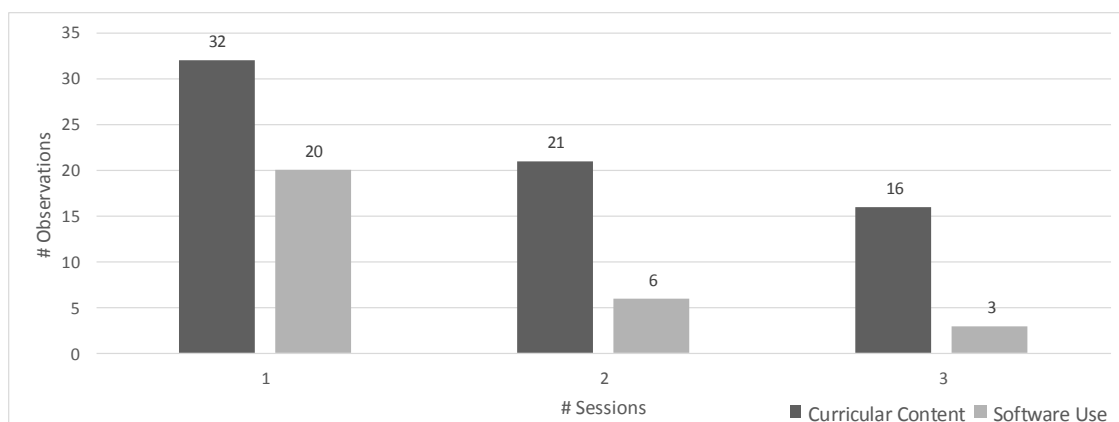


Figure 6. Requests for help from the teacher regarding curricular content and use of software

In the experimental work, it was observed that at the end of each session the students expressed an interest in continuing with the activity. Furthermore, there were frequent requests for the address to the online version of the videogame. Given that the website was not available to the students, at the end of the final session many of the students chose to continue playing even though the time was up and it was their recess. All of this leads us to the conclusion that a state of flow was achieved.

5. Discussion

The aim of the model presented in this study was to provide a strategy for creating effective and intrinsically-motivating educational videogames.; In order to do so, the gaming element must be aligned with the teaching/learning process. In this sense, this model considers both the possibility of using mechanics found in existing popular games, and innovative mechanics that must then be aligned with the curricular content.

Different game mechanics can be used to align the teaching/learning process with the gaming element. An example of this would be to use the grouping mechanics found in games such as Candy Crush or Bubble Shooter (Table 3, Rows 1 and 2), where players score points by grouping together objects within a defined space. In this case, the mechanics could be aligned with the notion of mathematical sequences or multiples, if the objective of forming groups relates to a mathematical pattern. It is also possible to teach chemical compounds using these same mechanics, if the chemical elements are defined as being the basic units that need to be grouped. Table 3 shows different examples of popular game mechanics which can be aligned with curricular content, although it is by no means an exhaustive list. It is worth noting that we have seen how a topic can be aligned with several different game mechanics depending on how they are implemented. Based on this, we conclude that the level of knowledge or skill acquired by students depends on how the game mechanics are implemented and thus how the videogame is developed.

Table 3. Successful game mechanics and their possible alignment with curricular content

Game mechanics	Name and Aim of the Game	Curricular content alignment
Grouping	BubbleShooter Shoot items at a randomly generated set in order to form groups of identical items and make them disappear https://play.google.com/store/apps/details?id=com.game.BubbleShooter	Sequences and multiples
	Candy Crush Change the position of items to form groups of identical items and make them disappear. https://play.google.com/store/apps/details?id=com.king.candycrushsaga	Chemical reactions Chemical compounds
Making decisions based on limited knowledge	Carmen Sandiego Explore different areas in order to solve problems and answer riddles that come up along the way. http://www.carmensandiego.com/hmh/site/carmen/	History, Geography and Math
Avoiding obstacles while collecting items	Zombie Tsunami Collect medals while advancing and avoiding obstacles so as to score as many points as possible. https://play.google.com/store/apps/details?id=net.mobigame.zombietsunami	Collecting groups of items (vowels, consonants, multiples, geometric shapes etc.)
Selecting a point on a map	Battleships Destroy all of the enemy ships located within a hidden grid by shooting at specific coordinates within the grid. https://play.google.com/store/apps/details?id=com.gsmchoice.battleontheseatablet	Cartesian maps, Symmetry, Reflection and Translation
Defining positions and rotation of items	Tetris Form lines using geometric structures which appear within a given space. https://play.google.com/store/apps/details?id=com.ea.game.tetris2011_row	Translation, Geometric rotation
Solving puzzles	Unblock Car Get a vehicle out of a 2D car park by moving the rest of the cars that are blocking it. https://play.google.com/store/apps/details?id=com.freedomrecycle.unblockcarfree	Optics Fluid mechanics

	Lazors Move blocks and mirrors in order to hit targets. https://play.google.com/store/apps/details?id=net.pyrosphere.lazors	
	Unroll Move part of a path so that a ball can follow a route from one point to another. https://play.google.com/store/apps/details?id=com.turbochilli.unrollme&hl=es_419	
Hitting a target	Angry Birds Eliminate enemy targets (pigs) using ammunition (birds) shot with a catapult. https://play.google.com/store/apps/details?id=com.rovio.angrybirds	Vectors, Force, Launching a projectile
	Pool Move a set of balls so that they enter a pre-determined space by applying force to them. https://play.google.com/store/apps/details?id=com.forthblue.pool	Geometry, Conservation of Linear momentum
Controlling acceleration and throttle	Bike/Moto Race Travel without falling off a bicycle/motorcycle on irregular surfaces in 2D. https://play.google.com/store/apps/details?id=com.topfreegames.bikeracefreeworld	Kinematics Dynamics Conservation of energy
Simulation	Tamagotchi Look after and care for a pet https://play.google.com/store/apps/details?id=hfm.tamagotchi_en	Animal biology Cellular processes
	Sim City Build a city by managing the available resources http://www.simcity.com/en_US	Supply/demand Traffic systems

6. Conclusion

Our research question asked “Is it possible to develop a process for educational videogame design which helps to align the gaming element with the teaching/learning process?”. In this study, a model was developed which consisted of four key questions, as well as restrictions that are placed by two rules. In order to validate this model, a videogame was developed to teach basic concepts of optics, where it was shown that achieving a state of flow allowed significant increases in learning when compared with a control group. We conclude that applying the proposed model to the development of videogames, .i.e., aligning the gaming element with the teaching/learning process,

produces pedagogically effective games which also motivates students and engages them during the learning process.

One of the limitations of the study was that authorization was not given to conduct an immersion survey with the students after having used the videogame. This was because the school was in exam period when the study was carried out. This survey would have both added the results from the observations and also helped to understand which elements allow the students to achieve a state of flow. A second limitation of the study was that the contents covered by the videogame were not complete as it did not include curved mirrors or forming images as these were not compatible with the game mechanics and therefore would have required a redesign to include these topics. If the videogame had included those topics, the activity would have required an additional session.

Future work remains to develop more educational videogames for other areas of knowledge. Furthermore, we propose the use of different technologies, such as a Kinect-based systems, augmented reality and interactive surfaces, once these provide the opportunity to design and use other game mechanics. It is also left as future work to compare the impact of different videogames using the same curricular content where the gaming element may or may not be aligned with the teaching/learning process.

7. References.

- Ak, O. (2012). A game scale to evaluate educational computer games. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 46(0), 2477-2481. doi:10.1016/j.sbspro.2012.05.506
- Bellotti, F., Berta, R., Gloria, A. D., & Primavera, L. (2009). Enhancing the educational value of video games. *Comput.Entertain.*, 7(2), 23:1-23:18. doi:10.1145/1541895.1541903
- Bland, J. M., & Altman, D. G. (1997). Statistics notes: Cronbach's alpha. *BMJ*, 314.
- Blind Reference. (2014). Blind Reference. *Educational Technology & Society* (in press).
- Butler, E., Smith, A. M., Liu, Y., & Popovic, Z. (2013). A mixed-initiative tool for designing level progressions in games. *Proceedings of the 26th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, St. Andrews, Scotland, United Kingdom. 377-386. doi:10.1145/2501988.2502011
- Charsky, D. (2010). From edutainment to serious games : A change in the use of game characteristics. *Games and Culture*, 5(2), 177-198. doi:10.1177/1555412009354727
- Connolly, T. M., Boyle, E. A., MacArthur, E., Hainey, T., & Boyle, J. M. (2012). A systematic literature review of empirical evidence on computer games and serious games. *Computers & Education*, 59(2), 661-686. doi:10.1016/j.compedu.2012.03.004
- Csikszentmihályi, M. (1990). *Flow: The psychology of optimal experience* (New York: Harper & Row ed.)
- de Freitas, S., Earp, J., Ott, M., Kiili, K., Ney, M., Popescu, M., . . . Stanescu, I. (2012). Hot issues in game enhanced learning: The GEL viewpoint. *Procedia Computer Science*, 15(0), 25-31. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.procs.2012.10.054
- Dickey, M. D. (2011). World of warcraft and the impact of game culture and play in an undergraduate game design course. *Computers & Education*, 56(1), 200-209. doi:10.1016/j.compedu.2010.08.005
- Echeverría, A., Barrios, E., Nussbaum, M., Améstica, M., & Leclerc, S. (2012). The atomic intrinsic integration approach: A structured methodology for the design of games for the conceptual

- understanding of physics. *Computers & Education*, 59(2), 806-816. doi:10.1016/j.compedu.2012.03.025
- Egenfeldt-Nielsen, S. (2011). What makes a good learning game?: Going beyond edutainment. *eLearn*, 2011(2) doi:10.1145/1943208.1943210
- Finneran, C. M., & Zhang, P. (2005). Flow in computer-mediated environments: Promises and challenges. *Communications of the Association for Information Systems*, 15, 82-101.
- Garris, R., Ahlers, R., & Driskell, J. E. (2002). Games, motivation, and learning: A research and practice model. *Simulation & Gaming*, 33(4), 441-467. doi:10.1177/1046878102238607
- González-González, C., & Blanco-Izquierdo, F. (2012). Designing social videogames for educational uses. *Computers & Education*, 58(1), 250-262. doi:10.1016/j.compedu.2011.08.014
- González-González, C., Toledo-Delgado, P., Collazos-Ordoñez, C., & González-Sánchez, J. L. (2014). Design and analysis of collaborative interactions in social educational videogames. *Computers in Human Behavior*, 31(0), 602-611. doi:10.1016/j.chb.2013.06.039
- Hou, H. (2012). Exploring the behavioral patterns of learners in an educational massively multiple online role-playing game (MMORPG). *Computers & Education*, 58(4), 1225-1233. doi:10.1016/j.compedu.2011.11.015
- Kiili, K., de Freitas, S., Arnab, S., & Lainema, T. (2012). The design principles for flow experience in educational games. *Procedia Computer Science*, 15(0), 78-91. doi:10.1016/j.procs.2012.10.060
- Li, D. (2012). Categorization and definition of educational games based on the objectives of education. *Proceedings of the 2012 3rd International Conference on E-Business and E-Government - Volume 04*, 262-265.
- Luckin, R., Bligh, B., Manches, A., Ainsworth, S., Crook, C. & Noss, R. (2012). *Decoding learning: The proof, promise and potential of digital education (research report)*. (No. November). London: Nesta.
- Pivec, M., Dziabenko, O., & Schinnerl, I. (2003). Aspects of game-based learning. *3rd International Conference on Knowledge Management, Graz, Austria*, 216-225.
- Prensky, M. (2001). *Digital game based learning*. New York: McGraw-Hill.
- Quinn, C. N. (2005). *Engaging learning: Designing e-learning simulation games*. San Francisco: Pfeiffer.
- Rollings, A., & Adams, E. (2003). *Andrew rollings and ernest adams on game design*. Berkeley, CA: New Riders Publishing.
- Rouse, R. (2005). *Game design: Theory & practice*. Plano, TX: Wordware Publishing, Inc.
- Sampayo-Vargas, S., Cope, C. J., He, Z., & Byrne, G. J. (2013). The effectiveness of adaptive difficulty adjustments on students' motivation and learning in an educational computer game. *Computers & Education*, 69(0), 452-462. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.compedu.2013.07.004
- Song, M., & Zhang, S. (2008). EFM: A model for educational game design. *Proceedings of the 3rd International Conference on Technologies for E-Learning and Digital Entertainment*, Nanjing, China. 509-517. doi:10.1007/978-3-540-69736-7_54
- Sweetser, P., & Wyeth, P. (2005). GameFlow: A model for evaluating player enjoyment in games. *Comput.Entertain.*, 3(3), 3-3. doi:10.1145/1077246.1077253
- Tragazakis, P., & Meimaris, M. (2009). Engaging kids with the concept of sustainability using a commercial video game - A case study. 5940, 1-12. doi:10.1007/978-3-642-11245-4_1
- Villalta, M., Gajardo, I., Nussbaum, M., Andreu, J. J., Echeverría, A., & Plass, J. L. (2011). Design guidelines for classroom multiplayer presentational games (CMPG). *Computers & Education*, 57(3), 2039-2053. doi:10.1016/j.compedu.2011.05.003
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind and society: The development of higher mental processes*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

ANEXO B: CARTA DE RECEPCIÓN

Manuscript ID JCAL-14-201 - Journal of Computer Assisted Learning

1 mensaje

liesbeth.kester@ou.nl <liesbeth.kester@ou.nl>

4 de septiembre de 2014, 8:01

Para: vagner.beserra@gmail.com

Cc: vagner.beserra@gmail.com, mn@ing.puc.cl, jfcaiceo55@gmail.com, csquared64@gmail.com

04-Sep-2014

Dear Mr. Beserra:

Your manuscript entitled "A design process for pedagogically balanced educational videogames" by Beserra, Vagner; Nussbaum, Miguel; Caiceo, José; Caballero, Camila, has been successfully submitted online. You have confirmed that no substantial part of this manuscript has been published elsewhere or is under consideration for publication.

If you are reading this as a co-author: please contact the Editorial Office as soon as possible if you disagree with being listed as a co-author for this manuscript.

Your manuscript ID is JCAL-14-201.

Please mention the above manuscript ID in all future correspondence or when emailing or calling the office with questions.

You can view the status of your manuscript at any time by logging in to <http://mc.manuscriptcentral.com/jcal>. Use the login details you created at submission. Then select "Author Center". Please use the "edit account" tab on this page if you need to report changes to your postal or email address.

Thank you for submitting your manuscript to the Journal of Computer Assisted Learning.

Liesbeth Kester
Associate Editor, Journal of Computer Assisted Learning