



ugr | Universidad
de Granada

TRABAJO FIN DE MÁSTER
MÁSTER UNIVERSITARIO EN DESARROLLO DE SOFTWARE

Realidad Virtual como técnica analgésica en procedimientos médicos

Revisión de los factores que aumentan el efecto analgésico y
desarrollo de un juego aplicado

Autor

Marina Torres Anaya

Directores

Pedro Cano Olivares
Germán Arroyo Moreno



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍAS INFORMÁTICA Y DE
TELECOMUNICACIÓN

—
Granada, septiembre de 2015

Realidad Virtual como técnica analgésica en procedimientos médicos

Revisión de los factores que aumentan el efecto analgésico y
desarrollo de un juego aplicado

Autor

Marina Torres Anaya

Directores

Pedro Cano Olivares
Germán Arroyo Moreno

Realidad Virtual como técnica analgésica en procedimientos médicos: Revisión de los factores que aumentan el efecto analgésico y desarrollo de un juego aplicado

Marina Torres Anaya

Palabras clave: Realidad Virtual, Analgesia, Procedimientos médicos, Juego con fines analgésicos, Factores analgésicos

Resumen

Los juegos serios en Realidad Virtual se emplean como técnicas analgésicas para pacientes con dolor dando resultados según estudios realizados por diversos autores. Existen características o factores de los juegos utilizados que pueden modificar la cantidad de analgesia producida.

En este trabajo se realiza una revisión de los factores de los juegos en Realidad Virtual que están relacionados con la analgesia y se proponen nuevos factores pertenecientes al ámbito de los juegos que podrían mejorar la analgesia producida al paciente. Se realiza entonces un diseño de un juego en Realidad Virtual respetando estos factores previamente establecidos. Este juego es posteriormente desarrollado con la intención de proporcionar una herramienta para aplicar los resultados obtenidos en futuras investigaciones sobre la analgesia con Realidad Virtual.

Virtual Reality as an analgesic technique on medical procedures: Analgesic effect increasing factors review and applied game development

Marina, Torres Anaya

Keywords: Virtual Reality, Analgesic, Medical procedures, Game for analgesic purposes, Analgesic factors

Abstract

Serious games in Virtual Reality are used as analgesic techniques for patients in pain giving results according to studies by different authors. There are game characteristics or factors that can change the amount of analgesia produced.

This paper reviews the factors in Virtual Reality games that are related to the analgesia and proposes new factors within the scope of the games that may improve analgesia. A Virtual Reality game is then designed in accordance to these previously established factors. This game is later on developed with the intention to provide a tool for applying the results on future research of analgesia with Virtual Reality.

Yo, **Marina Torres Anaya**, alumna del **Máster en Desarrollo de Software** de la **Escuela Técnica Superior de Ingenierías Informática y de Telecomunicación de la Universidad de Granada**, con DNI 76422567F, autorizo la ubicación de la siguiente copia de mi Trabajo Fin de Máster en la biblioteca del centro para que pueda ser consultada por las personas que lo deseen.

Fdo: Marina Torres Anaya

Granada a 11 de septiembre de 2015.

D. **Pedro Cano Olivares**, Profesor del Área de Lenguajes y Sistemas Informáticos del Departamento de Lenguajes y Sistemas Informáticos de la Universidad de Granada.

D. **Germán Arroyo Moreno**, Profesor del Área de Lenguajes y Sistemas Informáticos del Departamento de Lenguajes y Sistemas Informáticos de la Universidad de Granada.

Informan:

Que el presente trabajo, titulado *Realidad Virtual como técnica analgésica en procedimientos médicos: Revisión de los factores que aumentan el efecto analgésico y desarrollo de un juego aplicado*, ha sido realizado bajo su supervisión por **Marina Torres Anaya**, y autorizamos la defensa de dicho trabajo ante el tribunal que corresponda.

Y para que conste, expiden y firman el presente informe en Granada a 11 de septiembre de 2015.

Los directores:

Pedro Cano Olivares **Germán Arroyo Moreno**

Yo, **Marina Torres Anaya**, alumna del **Máster en Desarrollo de Software** de la **Escuela Técnica Superior de Ingenierías Informática y de Telecomunicación de la Universidad de Granada**, con DNI **76422567F**, declaro explícitamente que el trabajo presentado es original, entendido en el sentido que no he utilizado ninguna fuente sin citarla debidamente.

Fdo: Marina Torres Anaya

Granada a 11 de septiembre de 2015.

Índice general

1. Introducción	19
1.1. Juegos serios en Realidad Virtual como método analgésico	19
1.2. Objetivo del proyecto	19
1.3. Estructura de la memoria	20
2. Especificación y contexto	21
2.1. Métodos analgésicos	21
2.2. Analgesia mediante Realidad Virtual	21
2.2.1. Casos de aplicación	22
2.3. Antecedentes	22
3. Planificación	27
4. Análisis	31
4.1. Factores analgésicos	31
4.1.1. Factores analgésicos directos	31
4.1.2. Factores analgésicos relacionados con el juego	33
4.2. Problemas notificados en el proyecto Analgesia	34
4.3. Evaluación de los factores en proyectos	36
5. Diseño	39
5.1. Diseño del juego: Maneki-neko	39
5.1.1. Resumen	39
5.1.2. Jugabilidad	39
5.1.3. Flujo del juego	41
5.1.4. Modo multijugador	41
5.2. Herramientas y dispositivos	41
5.2.1. Unity	41
5.2.2. Blender	42
5.2.3. Leap Motion	42
5.2.4. Oculus Rift	42
5.3. Evaluación de factores analgésicos	43

6. Implementación	45
6.1. Contenido y funcionalidades desarrolladas	45
6.2. Problemas resueltos	48
6.2.1. Reubicación del personaje	48
6.2.2. Movimiento del personaje	49
6.2.3. Sistema de ayuda de visualización	49
6.3. Métodos de interacción	49
6.4. Niveles de dificultad	50
6.4.1. Dificultad progresiva	50
6.4.2. Dificultad variable	51
6.5. Unity Prefabs	51
7. Pruebas	53
7.1. Pruebas realizadas	53
7.2. Comentarios sobre los resultados obtenidos	54
8. Conclusiones y trabajos futuros	57
8.1. Conclusiones	57
8.2. Trabajos futuros	57
Bibliografía	62

Índice de figuras

2.1. Captura del proyecto Analgesia. Juego de pintar.	23
2.2. Captura del proyecto Analgesia. Juego de clasificar.	23
2.3. Captura del proyecto Analgesia. Juego de apilar.	24
2.4. Captura del proyecto SnowWorld.	24
2.5. Captura del proyecto Street Luge.	25
3.1. Flujo de trabajo con SCRUM.	27
3.2. Gráfico BurnDown	30
4.1. Esquema de la relación entre factores principales que afectan en el resultado analgésico y la experiencia del paciente.	32
5.1. Diagrama conceptual del juego propuesto.	40
6.1. Escenario de dificultad baja.	46
6.2. Escenario de dificultad media.	46
6.3. Personajes que el jugador puede controlar.	47
6.4. Objetos guía que el jugador debe recoger.	47
6.5. Habilidad de flotar.	47
6.6. Métodos de interacción disponibles	48

Índice de cuadros

3.1. Tareas realizadas	29
4.1. Evaluación de factores en proyectos relacionados.	37
5.1. Evaluación de los factores analgésicos	43
6.1. Controles asignados para las acciones del jugador	50
7.1. Resultado de las pruebas realizadas	54

Capítulo 1

Introducción

1.1. Juegos serios en Realidad Virtual como método analgésico

La analgesia es vital en numerosos procedimientos médicos en los que el paciente sufre dolores agudos, como ocurre en el caso de quemados graves.

Los juegos serios se han comenzado a utilizar en procedimientos médicos con el objetivo de producir analgesia a aquellos pacientes que sufren dolores agudos. Estos juegos pretenden sustituir o complementar otras formas analgésicas como los métodos farmacológicos u otros mecanismos basados en la distracción o atención.

Los juegos basados en Realidad Virtual suponen un gran avance en este objetivo puesto que facilitan la inmersión y la presencia del paciente consiguiendo mejores resultados analgésicos, como se observa en estudios que se citarán a lo largo de este trabajo.

1.2. Objetivo del proyecto

Partiendo de un estudio del arte y una revisión de posibles mejoras a tener en cuenta para los entornos virtuales aplicados a procedimientos médicos con fines analgésicos, se realizará una evaluación de proyectos similares que se utilizan actualmente.

A modo de ejemplo de aplicación del resultado del estudio anterior, se diseña y desarrolla un juego en un entorno de Realidad Virtual. Para la implementación del juego propuesto se tendrán en cuenta dos objetivos fundamentales. En primer lugar, desarrollar un juego estable basándose en el diseño realizado con el fin de utilizarse para posteriores estudios comparativos con juegos elaborados en proyectos similares. Y en segundo lugar, se pretende facilitar posibles incorporaciones o modificaciones futuras puesto que se busca mejorar la sensación analgésica tras los resultados de futuros estudios psicológicos.

Para abordar los objetivos, se propone un enfoque distinto al actualmente utilizado para la selección y diseño de juegos empleados en tratamientos analgésicos con Realidad Virtual. Este nuevo enfoque aborda el problema no solo desde el punto de vista psicológico si no que intenta incluir ideas provenientes del diseño de juegos y otros estudios relacionados como los métodos de interacción. Estas aportaciones pueden mejorar la experiencia del paciente puesto que, como se verá en el desarrollo del trabajo, están relacionadas con la sensación analgésica.

Los objetivos a alcanzar con este trabajo son:

1. Análisis del estado del arte en técnicas analgésicas y factores que influyen en el resultado analgésico.
2. Estudio comparativo de proyectos basados en Realidad Virtual con fines analgésicos.
3. Propuesta y justificación de un diseño de juego según el análisis realizado.
4. Desarrollo de un prototipo del juego propuesto.
5. Validación del prototipo para una posterior evaluación psicológica.
6. Redacción de la memoria del trabajo.

1.3. Estructura de la memoria

La memoria se divide en tres bloques formado cada uno por varios capítulos:

Investigación y planificación. A lo largo de los capítulos 2, 3 y 4 se realiza un estudio del arte de proyectos con fines analgésicos basados técnicas de realidad virtual. Se exponen los factores que afectan al resultado analgésico y se realiza una evaluación de los proyectos anteriores en base a estos.

Desarrollo del juego. Una vez concretados los factores, se propone un juego con el objetivo de mejorar los resultados analgésicos obtenidos con juegos de proyectos anteriores. En los capítulos 5 y 6 se especifica el diseño del juego propuesto y se detallan algunas características de la implementación.

Conclusiones. Por último, en los capítulos 7 y 8 se comentan, en primer lugar, los resultados obtenidos según las pruebas realizadas y, en segundo, las conclusiones del proyecto y trabajos futuros.

Capítulo 2

Especificación y contexto

2.1. Métodos analgésicos

La analgesia se consigue mediante técnicas de distracción debido a que se utiliza parte de la atención limitada que tiene el ser humano [1] y que normalmente destinaría a la atención del dolor [2, 3]. Este método resulta efectivo puesto que el dolor requiere atención por parte del individuo [4].

También se han estudiado eficazmente técnicas analgésicas mediante métodos de distracción básicos [5] como visualización de contenido multimedia, juegos en ordenador o consolas, respiraciones profundas... Sin embargo, la técnica analgésica más parecida a la basada en Realidad Virtual es la técnica de hipnosis. En ambas técnicas el paciente experimenta un mundo alternativo al real. Según estudios realizados [6], con técnicas de hipnosis se consigue una reducción de más del 75 % del dolor.

Otra alternativa analgésica muy utilizada son los medicamentos. Éstos se han utilizado con relativa eficacia para reducir el dolor [7].

2.2. Analgesia mediante Realidad Virtual

Es fácil concluir que la Realidad Virtual es una buena alternativa, en el caso general, a pesar de la gran cantidad de métodos para conseguir efectos analgésicos.

En primer lugar, el consumo de medicamentos analgésicos de forma repetida reduce gradualmente el efecto analgésico que proporcionan, es decir, se desarrolla tolerancia, necesitando en cada tratamiento una mayor dosis para alcanzar el mismo efecto analgésico. Además, este tipo de sustancias crean adicción y dependencia [8].

Estudios afirman que el tratamiento con RV es eficaz en un sector más amplio de la población que el tratamiento mediante hipnosis [9], a pesar de que éste puede ser más eficaz en determinados casos. Por este motivo es más interesante desarrollar un buen sistema de RV ya que con él se puede tratar

a gran parte de la población.

En concreto, el tratamiento con Realidad Virtual ha probado ser efectivo consiguiendo una reducción del 35-50 % en el dolor que sufren los pacientes con respecto al tratamiento usual [2, 10]. Además, durante los estudios con RV, los pacientes afirman, no sólo sufrir menos dolor, sino pasar menos tiempo pensando sobre el dolor y, en algunas ocasiones, divertirse más durante el tratamiento [11, 12].

2.2.1. Casos de aplicación

Los métodos analgésicos basados en Realidad Virtual han demostrado ser eficaces en pacientes con dolores graves. Uno de los grandes referentes en este campo, Hunter G Hoffman [2], indica que los pacientes que sufren una mayor intensidad en el dolor afirman sentir una reducción del 41 % en la intensidad del dolor con métodos de Realidad Virtual.

Hoffman también afirma que la Realidad Virtual puede utilizarse para procesos prolongados, como el caso de tratamientos de quemados. En un estudio que se realizó a lo largo de 5 días no se observaron reducciones en la efectividad de la analgesia producida mediante estas técnicas.

A pesar de que muchos estudios se centran en pacientes que sufren dolor causado por quemados graves, estas técnicas analgésicas mediante RV son aplicables a pacientes que sufran dolores con una causa distinta a los quemados. Por ejemplo, los métodos de RV se han aplicado a adolescentes con cáncer [13], a niños durante un procesos de venopunción [14] e incluso se pueden aplicar para reducir el prurito [15].

2.3. Antecedentes

Previos a este trabajo, se han desarrollado y aplicado diferentes entornos de Realidad Virtual para producir analgesia.

El proyecto Analgesia se llevó a cabo en la Universidad de Granada con Miguel Ángel Muñoz García como investigador principal[16]. El proyecto consistió en el desarrollo y aplicación de un instrumento basado en realidad virtual, como técnica analgésica adjunta en procedimientos médicos. La aplicación obtuvo unos resultados positivos que se reflejan en los datos obtenidos de las pruebas realizadas. Estos datos se están estudiando e interpretando actualmente con mayor detenimiento para obtener una lectura completa del campo psicológico del proceso analgésico.

Este proyecto, diseñado en su mayor parte desde un punto de vista psicológico, supone un buen punto de partida con una base psicológica sólida para este Trabajo de Fin de Máster. No obstante, existen otros antecedentes de aplicaciones de métodos analgésicos mediante técnicas de Realidad Virtual. Algunas de estas aplicaciones son Snow World [17], Ice-cream Factory [18] y Street Luge [19].

Analgesia

En este proyecto, el paciente se sumerge en un recorrido virtual que tiene como objetivo alcanzar un estado de calma y tranquilidad para posteriormente participar en un juego. Los entornos son cálido, neutro o frío, teniendo en cada uno de ellos tres posibles juegos (con la misma dinámica en los tres entornos). Los juegos empleados son los siguientes:

- Pintar: en este juego se presenta un lienzo (de arena mostrado en la imagen 2.1, papel o nieve, dependiendo del entorno seleccionado) donde el usuario puede pintar trazos. Se plantean dibujos orientativos que el usuario puede seleccionar, aunque se deja total libertad al usuario para pintar pudiendo o no seguir estas sugerencias.

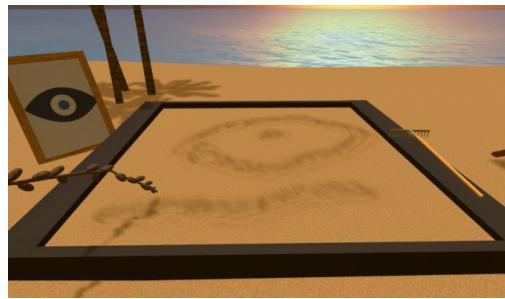


Figura 2.1: Captura del proyecto Analgesia. La imagen muestra el juego de pintar dentro del entorno cálido.

- Clasificar: el usuario tiene que clasificar objetos (llamas de fuego, globos o copos de nieve mostrados en la imagen 2.2) que caen sobre la palma de su mano virtual en dos cajas según la forma de los mismos.



Figura 2.2: Captura del proyecto Analgesia. La imagen muestra el juego de clasificar dentro del entorno frío.

- Apilar: en este juego el usuario tiene que colocar ciertos objetos (piezas, cubos como se aprecia en la imagen 2.3 o bloques de hielo) en un tablero. Al igual que en el juego de pintar, se propone un ejemplo de colocación a modo orientativo.

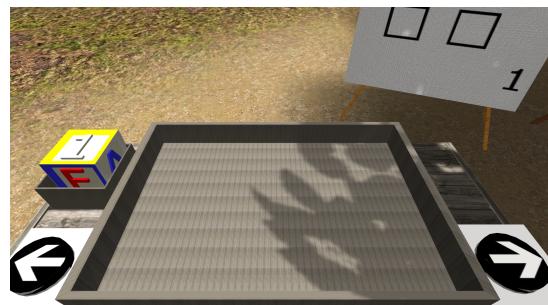


Figura 2.3: Captura del proyecto Analgesia. La imagen muestra el juego de apilar dentro del entorno neutro.

SnowWorld

Este juego tiene una mecánica sencilla. El usuario se desplaza de forma automática por un camino con paredes de hielo donde puede disparar bolas de nieve a muñecos de nieve, igloos, robots y pingüinos que se encuentran a lo largo del recorrido. En la imagen 2.4 se puede ver el mundo virtual por el que se mueve al usuario.



Figura 2.4: Captura del proyecto SnowWorld. Imagen por Stephen Dagadakis, copyright Hunter Hoffman.

Street Luge

Basado en el trineo de asfalto, un deporte de inercia. El usuario conduce por una carretera tumbado sobre un monopatín, ver la imagen 2.5.

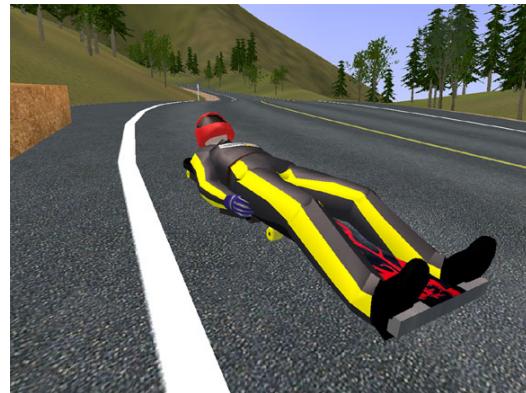


Figura 2.5: Captura del proyecto Street Luge. Cortesía de la imagen: www.5DT.com.

Capítulo 3

Planificación

El desarrollo del proyecto se gestiona con Metodologías Ágiles basadas en SCRUM [20] cuyo flujo general de trabajo se muestra en la figura 3.1. En esta imagen se muestra cómo las tareas generales que forman el llamado Product Backlog, se priorizan y subdividen en tareas fácilmente estimables en tiempo. Estas tareas estimadas, a su vez, son priorizadas y asignadas a un Sprint para su desarrollo.

Para este proyecto el tiempo elegido para cada Sprint no superará las dos semanas siendo una semana lo que más se utilizará. El número total de Sprint se estima en 10 Sprint de aproximadamente 25 horas de desarrollo cada uno.

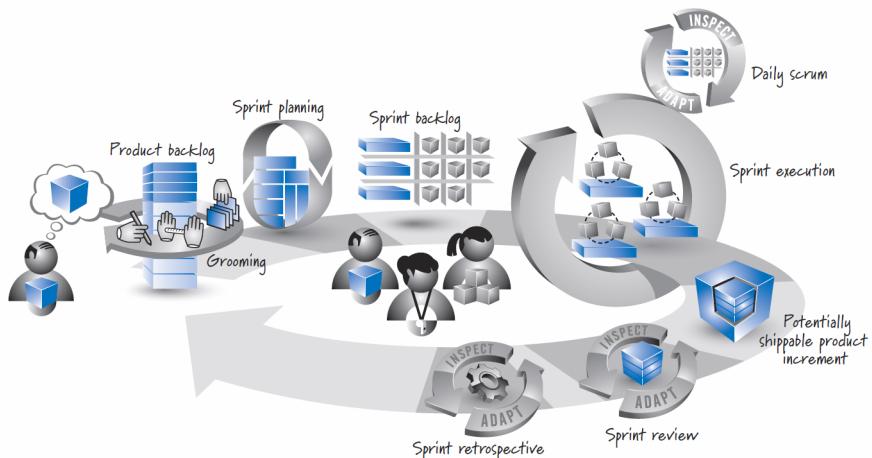


Figura 3.1: Flujo de trabajo con SCRUM. Imagen cortesía de [20].

A continuación se detallan las tareas del Product Blacklog para este proyecto:

-
- Investigación previa
 - Redacción de la memoria
 - Búsqueda de documentación
 - Diseño, desarrollo y pruebas del juego

Estas tareas generales no siempre se delimitan entre ellas, ni se realizan de forma individual o exclusiva, ya que un Sprint puede contener tareas pertenecientes a distintos elementos del Product Backlog.

Al aplicar esta metodología, el producto final (el juego propuesto) será funcional desde etapas tempranas del desarrollo e irá incrementando su valor en cada Sprint que se realice. De esta forma, al concluir el trabajo se obtendrá una versión funcional y jugable con un grado de madurez que dependerá del tiempo empleado en su desarrollo.

En la tabla 3.1 se muestra el listado de las tareas que se han realizado a lo largo de este trabajo con los tiempos estimados y tiempos dedicados de cada una de ellas.

Tarea	Estimado (h)	Dedicado (h)	Sprint
Investigación	98		
Investigación Psicológica	30	25	Investigación
Investigación Juegos y RV			
Buscar artículos	15	10	Investigación
Leer artículos	25	18	Investigación
Otras investigaciones			
Estudiar herramientas	25	20	Investigación
Redactar la memoria	65.5		
Esquematizar	6	6.5	Sprint 1: Esquematización de ideas
Redactar Capítulo 1 introducción	2.5	2.5	Sprint 3: Desarrollar análisis
Redactar Capítulo 2 especificación	6	5	Sprint 2: Desarrollar parte teórica
Redactar Capítulo 4 análisis	8	9	Sprint 3: Desarrollar análisis
Redactar Capítulo 3 Planificación	2.5	2.5	Sprint 2: Desarrollar parte teórica
Redactar antecedentes	2	2	Sprint 2: Desarrollar parte teórica
Redactar estructura de la memoria	0.5	0.75	Sprint 9: Completar contenidos
Redactar diseño (juego y evaluación)	8	6	Sprint 4: Desarrollar diseño del juego
Redactar diseño (herramientas)	1.5	1.5	Sprint 9: Completar contenidos
Revisar y corregir	8	10	Sprint 10: editar y correcciones
Editar	3	3	Sprint 10: editar y correcciones
Hacer imágenes	3	1.75	Sprint 10: editar y correcciones
Redactar implementación	6	5.5	Sprint 9: Completar contenidos
Redactar Pruebas e integración	4	4	Sprint 9: Completar contenidos
Redactar conclusiones y trabajo futuro	4	3	Sprint 9: Completar contenidos
Cambiar subtítulo	0.5	0.5	Sprint 9: Completar contenidos
Abstract	3	3.5	Sprint 10: editar y correcciones
Documentación	7.5		
Ver artículos seleccionados	5	4.5	Sprint 1: Esquematización de ideas

Leer TFM's similares	0.5	0.5	Sprint 1: Esquematización de ideas
Leer artículos sobre interacción	2	1	Sprint 4: Desarrollar diseño del juego
<hr/>			
Juego propuesto RV			
<hr/>			
Diseño			
Diseñar juego	6	6.5	Sprint 4: Desarrollar diseño del juego
Diagrama conceptual	1.5	1.5	Sprint 5: diseño software - gestos
Diseñar métodos de interacción	4	4.75	Sprint 4: Desarrollar diseño del juego
Implementación			
Demo de interacción	7	5.5	Sprint 4: Desarrollar diseño del juego
Prototipo de técnicas de interacción	4	2	Sprint 5: diseño software - gestos
Modelado y animación			
Modelado personajes	6	6	Sprint 8: Funcionalidad y modelado
Modelado y configuración de objetos	8	8.5	Sprint 8: Funcionalidad y modelado
Animar	3	5	Sprint 8: Funcionalidad y modelado
Pantallas GUI			
Creación y diseño	4	4.5	Sprint 7: UI - Flow
Funcionalidad	4	3.5	Sprint 7: UI - Flow
Interacción UI	3	3	Sprint 7: UI - Flow
Implementar juego			
Crear flujo del juego	4	4	Sprint 7: UI - Flow
Crear proyecto en Unity	3	3	Sprint 6: núcleo del juego
Crear escena base de juego	3	1.5	Sprint 6: núcleo del juego
Scripts base	5	4	Sprint 6: núcleo del juego
Gestión de partidas guardadas	4	4.5	Sprint 8: Funcionalidad y modelado
Modo multijugador	5	5	Sprint 8: Funcionalidad y modelado
Modulo de dificultad variable	2	2	Sprint 7: UI - Flow
Interacción con joystick y teclado	4	5	Sprint 9: Completar contenidos
Sonido	4	3	Sprint 8: Funcionalidad y modelado
Pruebas			
FeedBack modificaciones	2	2	Sprint 9: Completar contenidos
Revisiones de Pedro	1.5	1.5	Sprint 9: Completar contenidos
Bug Suelo	0.5	0.5	Sprint 9: Completar contenidos
Otras configuraciones			
Estudiar posibilidades de integración	2	1	Sprint 5: diseño software - gestos
Configuración de las Oculus	2.5	5	Sprint 9: Completar contenidos
Optimizar proyecto para oculus	6	3	Sprint 9: Completar contenidos
<hr/>			
Últimos ajustes	2.5		
<hr/>			
Créditos del juego	1	1	Sprint 10: editar y correcciones
Build	0.5	0.5	Sprint 10: editar y correcciones
Realizar entrega	1	1	Sprint 10: editar y correcciones

Cuadro 3.1: Tareas realizadas

Durante el desarrollo del proyecto se han utilizado diagramas BurnDown típicos de SCRUM. En estos diagramas se muestran la cantidad de trabajo pendiente en horas y las horas dedicadas para cada día, permitiendo comprobar fácilmente si el ritmo de trabajo es el adecuado. En la imagen 3.2 se muestra el diagrama resultante para los últimos meses de desarrollo del proyecto.

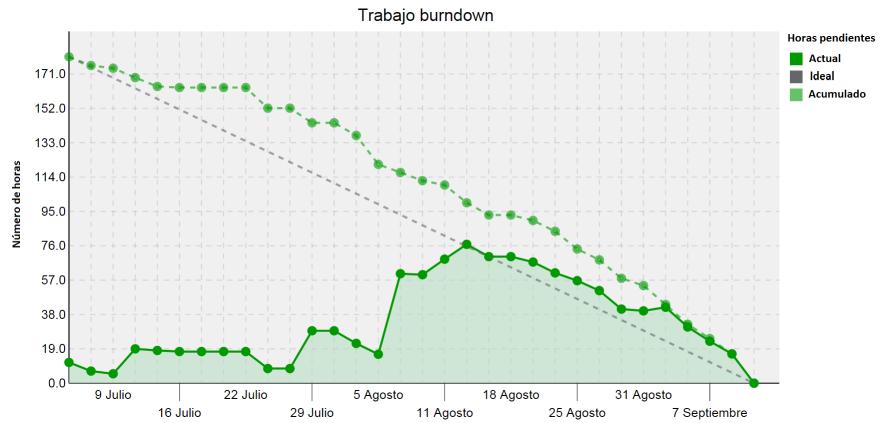


Figura 3.2: Gráfico BurnDown de los últimos meses del proyecto.

Una de las mayores dificultades a la hora de estimar el tiempo de cada tarea ha sido el desconocimiento de algunas de las herramientas utilizadas. Por ejemplo, tanto Unity como Blender han requerido horas de estudio previo que son de difícil estimación. Teniendo en cuenta que el objetivo de los Sprints realizados con SCRUM consiste en incrementar el valor del producto, este tipo de tareas de preparación deberían ser reducidas puesto que no suponen una mejora potencial del proyecto resultante. Para abordar esta dificultad, las horas de estudio de herramientas se han contabilizado dentro de las tareas para las que se realizaba dicha preparación. Por este motivo, muchas de las tareas de “Implementación” han resultado tener un tiempo dedicado distinto al estimado.

Capítulo 4

Análisis

En este capítulo se expondrán los factores tomados en consideración tanto del ámbito psicológico como del de juegos. A partir de estos factores se indicarán las características a tener en cuenta para el juego a proponer. La imagen 4.1 esquematiza esta relación entre los factores detallados a continuación y la sensación analgésica.

4.1. Factores analgésicos

En el proceso de tratamiento del dolor con Realidad Virtual existen diversos elementos relacionados con el efecto analgésico. Estos elementos o factores pueden modificar los resultados analgésicos obtenidos, ya sea mediante una influencia directa o mediante la modificación de otros factores también relacionados con la analgesia.

4.1.1. Factores analgésicos directos

Como se indica en la imagen 4.1, los factores que se han encontrado en relación directa con la analgesia son la presencia, la interacción, la inmersividad, el movimiento y las características técnicas del equipo de Realidad Virtual.

Presencia

La sensación de presencia está relacionada de forma positiva con la cantidad de dolor que se reduce (con el efecto analgésico) [11], por lo tanto es una de los factores fundamentales a conseguir. No obstante, la presencia no puede incrementarse o disminuirse directamente si no que se considera una consecuencia de otros factores que la modifican. Por esto, a pesar de ser el factor más importante para el resultado analgésico, no se incluye en los factores que se consideran necesarios en el juego a desarrollar.

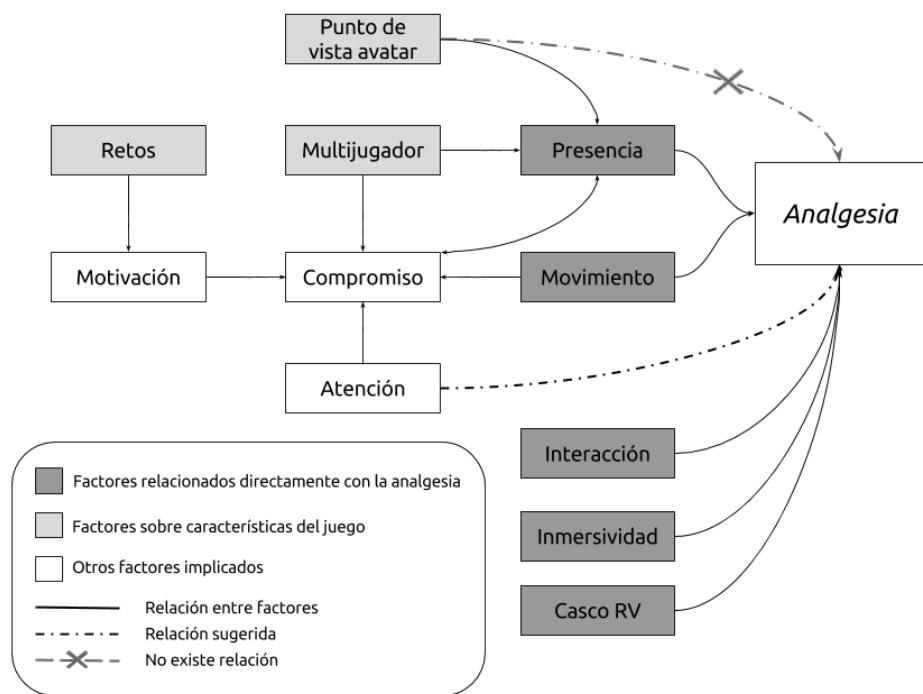


Figura 4.1: Esquema de la relación entre factores principales que afectan en el resultado analgésico y la experiencia del paciente. La imagen es una versión modificada de [21] que representa el modelo centrado en el compromiso en juegos.

Interacción

Según estudios realizados [22], los pacientes indican haber obtenido un porcentaje mayor de reducción del dolor (tiempo pensando en el dolor, intensidad del dolor y malestar producido por el dolor) cuando el entorno de Realidad Virtual es un **entorno interactivo**.

Inmersividad

Un equipo de realidad virtual **inmersivo** ayuda a obtener mejores resultados analgésicos que otras tecnologías de realidad virtual menos inmersivas [5]. Es decir, es más probable que se obtenga mejor resultado analgésico visualizando el mundo virtual con un casco de realidad virtual que con una proyección en una pantalla.

Calidad del equipo de Realidad Virtual

Se han realizado estudios que afirman que la calidad del casco de realidad virtual utilizado en cuando a características técnicas, como la resolución de la pantalla, influye en la magnitud de analgesia producida [23]. Una mejor **calidad del dispositivo de realidad virtual** implica, según estos estudios, una mayor reducción del dolor (tiempo pensando en el dolor, intensidad del dolor y malestar producido por el dolor) e incluso mayor diversión durante el tratamiento. También se relaciona la calidad del casco de Realidad Virtual con la cantidad de pacientes que muestran una reducción clínicamente significativa en la intensidad del dolor.

Esta relación entre características del equipo de RV y el efecto analgésico se han afirmado en otros estudios [24]. En ellos se indica, además, que la **calidad y consistencia del sonido**, al igual que la del casco de RV, aumenta la analgesia.

Movimiento

La **participación del cuerpo mediante movimientos** durante el tratamiento con Realidad Virtual está relacionada con una mayor tolerancia al dolor [25]. En el estudio realizado, se prueba la resistencia al frío al realizar movimientos amplios de brazos frente a movimientos de manejo de un ratón obteniendo un mayor tiempo de exposición al frío en el primer caso.

Por otro lado, el movimiento también ayuda a incrementar el nivel de compromiso de los pacientes en el juego y conseguir una mayor sensación de presencia [21].

4.1.2. Factores analgésicos relacionados con el juego

El tratamiento del dolor con Realidad Virtual pretende en primera instancia captar la atención del paciente y es por esto que el juego utilizado

durante el proceso deberá ser un juego que entreteenga y que consiga que el paciente quiera continuar jugando. Los siguientes factores podrían relacionarse con el efecto analgésico, ya que con ellos se modifican factores analgésicos anteriores, ver imagen 4.1.

Juego multijugador

Los niveles de presencia y compromiso (o implicación) en el juego aumentan cuando se **juega contra otro jugador real**, más aún si se trata de un amigo en lugar de un desconocido [26].

Punto de vista del avatar

El punto de vista del jugador puede modificar la sensación de presencia, aunque no influye sobre la analgesia. En principio, con un juego en primera persona se consigue una mayor sensación de presencia, sin embargo, se ha comprobado que el aumento en la presencia conseguido mediante el punto de vista en primera persona no implica un aumento significativo en la sensación analgésica [27].

Para el fin de la analgesia mediante Realidad Virtual el punto de vista en primera persona no solo podría no considerarse una característica necesaria, si no que podría tener resultados negativos en ciertos tipos de juegos. El punto de **vista en tercera persona** proporciona algunos beneficios en entornos de Realidad Virtual [28]. Por ejemplo, al contrario que la primera persona, el punto de vista en tercera persona facilita el cálculo de distancias por el usuario dentro del entorno y permite al jugador anticipar y extrapolar la trayectoria de movimientos en el juego.

Atención constante

Algunos autores concluyen que cabría la posibilidad de que para conseguir el efecto analgésico es suficiente con **distraer y captar la atención** [27], sin depender de otros factores. Lo que sí está claro por el funcionamiento del efecto analgésico, es que el juego empleado necesita poder captar la atención del jugador de forma continua, independientemente de si se consideran o no otros factores.

4.2. Problemas notificados en el proyecto Analgesia

Tras los resultados obtenidos del proyecto Analgesia, se pueden resaltar algunos aspectos del entorno y del juego en Realidad Virtual utilizados que no funcionaron como se esperaba. Estos problemas creaban dificultades a los pacientes reduciendo la sensación de presencia que se podría alcanzar.

Estas aportaciones se incluyen como factores analgésicos en este proyecto ya que los estudios que se realizaron indican que son necesarios para obtener un buen nivel de presencia y por tanto de sensación analgésica.

Dinamismo del entorno

Algunos usuarios afirmaron experimentar una falta de **dinamismo en el entorno**, siendo éste muy estático, con poco detalle o poco atractivo.

Incongruencias en sentidos

El tipo de interacción de usuario en los juegos propuestos implicaba manipulación de objetos en el entorno de Realidad Virtual. Sin embargo el paciente no podría sentir estos objetos, debido a la interacción mediante un dispositivo de reconocimiento de gestos. Esta falta de congruencia puede provocar una pérdida significante de presencia. En [29] se reportan sensaciones de presencia mayores cuando el usuario obtiene información de la realidad mediante el **sentido del tacto acorde** al entorno de Realidad Virtual que está observando.

En los estudios realizados en el proyecto Analgesia, los usuarios también indicaron que en algunos momentos del proceso el nivel del volumen era demasiado alto en los sonidos de ambientación, interrumpiendo la concentración durante el juego.

Interacción

Los métodos de interacción elegidos mediante manipulación de objetos dificultan la interacción del usuario ya que muchos usuarios afirmaron tener problemas para manejar estos objetos. La interacción por tanto no resultaba ser **señilla** para los usuarios.

Como se ha comentado en apartados anteriores, la vista en primera persona puede dificultar el cálculo de distancias entre objetos siendo conveniente (en caso de mantener este tipo de interacción) incluir **ayudas de visualización** de información de distancias y posición [30] para orientar al usuario.

Niveles de dificultad y motivación

En un artículo sobre los juegos de rehabilitación [31], se indica que es necesario tratar un fallo del usuario en el juego de forma positiva y **recompensar la participación** de los jugadores. También se afirma que modificar los **niveles de dificultad en función de las capacidades** del jugador es importante para evitar frustraciones o aburrimiento durante el juego así como proporcionar **objetivos claros** y mostrar al usuario si se están alcanzando o no.

En los juegos propuestos no se motivaba al usuario a alcanzar los objetivos o a participar en el juego. Tampoco se incluían niveles de dificultad adaptados ni respuestas al éxito o fracaso en alcanzar un objetivo.

4.3. Evaluación de los factores en proyectos

Tras la revisión de estudios y factores analgésicos, se ha elaborado una lista de los factores previamente comentados (ver tabla 4.1). Estos factores son los que se consideran necesarios para el desarrollo del juego con fines analgésicos.

Factores como “Multijugador”, “Punto de vista del avatar” y “Recompensas” son fácilmente evaluables puesto se tratan de características no subjetivas. Sin embargo, otros como “Inmersividad”, “Atención constante”, “Calidad equipo RV” o “Calidad del sonido” pueden ser difíciles de cuantificar y requieren un estudio más avanzado y elaborado para ser evaluados con una métrica posiblemente difícil de definir. Sin embargo, se incluyen en la lista puesto que la literatura indica que son factores importantes para el resultado analgésico. Debido a las limitaciones de este trabajo, este estudio avanzado para evaluar estos factores no se ha realizado y se ha optado por indicar apreciaciones que se pueden tener en consideración referentes a estos factores como problemas reportados o características propias del factor en cuestión (por ejemplo, en “Ayudas de visualización” se indican visualización de sombras y movimiento de la cámara).

Por otro lado, algunos de los factores no han sido evaluados por requerir información no disponible sobre el juego del proyecto.

Factor	Analgésia	SnowWorld	StreetLuge
Entorno interactivo	No, solo se interactúa con elementos muy limitados en una zona concreta	Sí, elementos interactivos por todo el escenario	No, el juego no incluye elementos con los que interactuar salvo el vehículo
Inmersividad ¹	Sí	Sí	Sí
Calidad equipo RV ¹	Mejorable, existe una nueva versión compatible del equipo utilizado en las pruebas realizadas	Desconocido	Desconocido
Calidad del sonido ¹	Se encontraron desajustes del sonido en las pruebas realizadas	Desconocido	Desconocido
Movimiento	Sí, movimiento de una mano	No, interacción mediante ratón	No, se utiliza un mando o joystick
Multijugador	No	No	Desconocido
Punto de vista avatar	1 ^a persona	1 ^a persona	1 ^a persona
Atención constante ¹	No	Sí	Sí
Dinamismo en el entorno	No, escenario estático	Sí, el escenario cambia con el tiempo debido al movimiento del avatar	Sí, el escenario cambia con el tiempo debido al movimiento del avatar
Sentido del tacto acorde	No, no se sienten objetos que se manipulan directamente	Sí, el cuerpo virtual no manipula los objetos directamente	Sí , el cuerpo virtual no manipula los objetos directamente
Interacción sencilla ¹	No, dificultades en la interacción en cuanto a la manipulación de objetos	Sí, interacción sencilla de dos movimientos: desplazar puntero y lanzar una bola de nieve	Sí
Ayudas de visualización ¹	Únicamente ayuda la sombra proyectada por los objetos	No, aunque el estar siempre en movimiento facilita el entender el entorno 3D	No, aunque el estar siempre en movimiento facilita el entender el entorno 3D
Dificultad variable según nivel del usuario	No, en algunos juegos el ejemplo orientativo incrementa de dificultad pero no depende de la capacidad del usuario	Desconocido	No, aunque se plantean distintos niveles de dificultad
Objetivos claros ¹	No, solo se muestran ejemplos para orientar posibles acciones	Sí, se trata de alcanzar a los elementos del recorrido con las bolas de nieve	Sí, objetivo de terminar el recorrido
Recompensas	No, no se muestra ninguna información al usuario al conseguir objetivos o participar en el juego	Desconocido	Desconocido

Cuadro 4.1: Evaluación de factores en proyectos relacionados.

¹Este factor no ha sido evaluado con una métrica exacta, en su defecto se comentan apreciaciones y consideraciones relacionadas.

Capítulo 5

Diseño

En este capítulo se propone un juego con la intención de abordar todos los factores analgésicos previamente comentados. Este diseño tiene carácter orientativo, no siendo aplicado estrictamente en el desarrollo posterior, que es en realidad un juego reducido.

5.1. Diseño del juego: Maneki-neko

5.1.1. Resumen

Maneki-neko, es un juego en el que controlamos a un personaje que tiene que rescatar a sus compañeros atravesando zonas a modo de laberinto o recorrido con obstáculos en las que necesitará emplear distintas habilidades.

5.1.2. Jugabilidad

El objetivo del juego consiste en encontrar a todos los compañeros perdidos, que se encuentran al final de cada uno de los recorridos. El juego consta de los siguientes elementos:

- Niveles: en cada nivel el jugador tiene que alcanzar la posición de un compañero perdido para rescatarlo. Para lograr éxito en un nivel el jugador debe tener en cuenta:
 - Movilidad: el personaje se desplaza rodando por el escenario.
 - Obstáculos: a lo largo del recorrido el personaje debe superar obstáculos. Estos podrían ser agujeros, pinchos, escaleras, fuego, objetos que debe empujar o cualquier otro elemento que dificulte el paso obligando al usuario a interactuar o utilizar una habilidad.
 - Habilidades: en el transcurso del juego, el personaje aprende nuevas habilidades, como flotar o saltar, que puede emplear para superar los obstáculos.

- Objetos guía: a lo largo del escenario de cada nivel el jugador tiene que recoger una cantidad de objetos guía ya que una vez obtenidos podrá alcanzar a su compañero para rescatarlo. Estos objetos guía marcan el camino hacia el compañero.
- Dificultad: la dificultad base del escenario depende de los obstáculos que tenga. Otro factor de dificultad es el de la posición de los objetos guía que debe recoger el personaje. Estos objetos guía aparecen en distintas posiciones de forma automática dependiendo del número de escenarios que el jugador haya terminado anteriormente.
- Personajes: el juego comienza con el personaje inicial, sin embargo, una vez rescatado un compañero, el jugador puede elegirlo como personaje para continuar la aventura. Cada personaje puede tener asociada alguna habilidad o característica física distinta que afecte a la forma de desplazarse por el escenario.

Además de estos elementos, el juego incluye ayudas para visualizar los futuros efectos de las acciones que el usuario realiza. Independientemente del tiempo que el personaje tarde en alcanzar la velocidad deseada, se mostrará al jugador una respuesta a su acción de forma inmediata.

En la imagen 5.1 se muestran un diagrama con las relaciones entre los distintos componentes del juego a nivel conceptual.

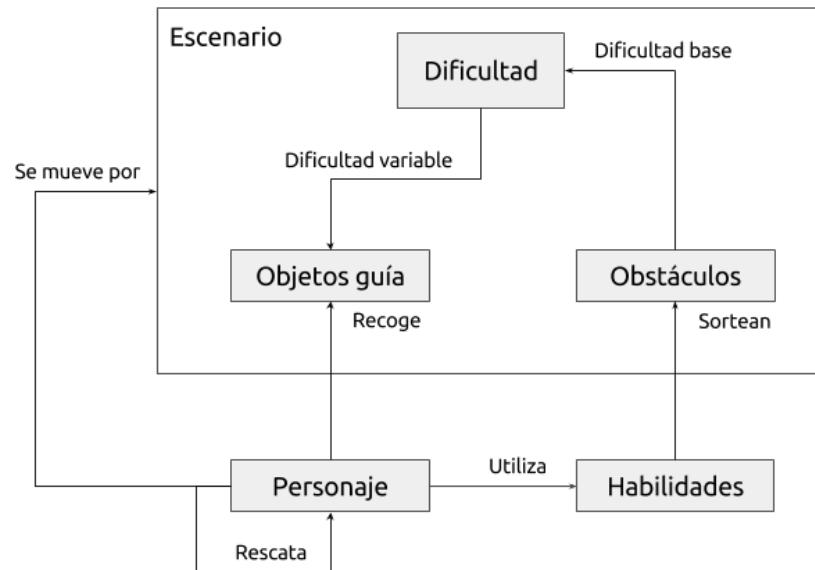


Figura 5.1: Diagrama conceptual del juego propuesto.

5.1.3. Flujo del juego

Al comenzar el juego Maneki-neko, se muestra la pantalla de inicio en la que el supervisor podrá elegir entre uno o dos jugadores. Después, puede cargarse un perfil ya creado para el jugador principal o crear uno nuevo.

Comienza el nivel correspondiente a la partida. En el nivel el jugador se desplaza utilizando las acciones de las que dispone para alcanzar el objetivo recogiendo los objetos guía que encuentre por el camino. Si el personaje que controla el jugador cae fuera del escenario, aparecerá en una posición anterior para que pueda continuar la partida.

Una vez que el jugador recoge la cantidad mínima de objetos guía, se abrirá una jaula en la que se encuentra el compañero a rescatar. Cuando el personaje alcanza al compañero lo rescata y finaliza el nivel correspondiente. Comienza entonces un nuevo nivel con dificultad superior.

En cualquier momento durante el juego, el jugador puede ir a la pantalla de ajustes en la que podrá modificar el volumen de la música o cambiar de personaje con el que quiere jugar el escenario.

5.1.4. Modo multijugador

El juego permite que dos jugadores compitan o colaboren en las misiones. De esta manera, un amigo puede acompañar al paciente a su tratamiento médico y participar en el juego, situación que aumenta la sensación de presencia, como se comenta en el capítulo 4. El modo multijugador se plantea para dos jugadores (el paciente y el acompañante) pero podría ampliarse a más jugadores sin modificar la mecánica propuesta.

En el modo competitivo, el jugador que alcance al compañero que tienen que rescatar ganará la partida. Los objetos guía que se recogen se cuentan individualmente.

En el modo cooperativo, los dos jugadores recogen objetos guía que se contabilizan conjuntamente para posteriormente alcanzar ambos al compañero a rescatar.

5.2. Herramientas y dispositivos

A lo largo del proceso de desarrollo del software de este proyecto se emplearán herramientas que han sido elegidas por las facilidades y resultados que proporcionan. A su vez, para la ejecución del juego resultante, se recomendará el uso de dispositivos específicos para realidad virtual que mejoran el resultado analgésico debido a su capacidad inmersiva.

5.2.1. Unity

La plataforma de desarrollo utilizada, Unity, está pensada especialmente para la creación de juegos 3D. La integración de motores físicos, objetos

ya elaborados y configurables de forma sencilla, junto con otras facilidades, hacen que esta plataforma sea ideal para el desarrollo del juego propuesto en un tiempo reducido.

Además, Unity, frente a otras herramientas similares, facilitará la integración del juego implementado en el proyecto Analgesia para su posterior prueba y estudio psicológico, ya que éste se desarrolló utilizando esta misma herramienta.

5.2.2. Blender

Un programa especializado en el modelado, iluminación, renderizado, animación, texturización y otras herramientas para la creación de visualizaciones 3D. En el marco de proyecto, Blender se utiliza para la creación de modelos y texturas que posteriormente se importan a Unity.

Blender ha sido la opción elegida frente a otras opciones, puesto que es software libre y se adapta perfectamente a las necesidades de modelado del proyecto.

5.2.3. Leap Motion

En el proyecto Analgesia, se utiliza Leap Motion como dispositivo de interacción. Para este proyecto se ha considerado ampliar las posibilidades incluyendo otros dispositivos básicos (teclado, joystick y ratón) pero se mantiene el uso de Leap Motion puesto que con este tipo de interacción se podrían conseguir tres de los factores analgésicos indicados en la tabla 4.1: Movimiento, sentido del tacto acorde e interacción sencilla.

Leap Motion es el dispositivo elegido para la interacción en el juego. Se ha considerado esta opción por un lado, por la fácil integración que Unity proporciona para Leap Motion y por otro lado, debido a la precisión de 0.7 mm [32] que se obtiene con Leap Motion frente a otros dispositivos similares.

5.2.4. Oculus Rift

El proyecto está pensado y adecuado al uso de las gafas de realidad virtual Oculus Rift como herramienta de visualización aunque siempre pueden utilizarse otras formas de visualización como pantallas, cuevas de realidad virtual, cascos de realidad virtual, etc. Oculus Rift proporciona la sensación de inmersión al paciente mientras juega aislando visualmente del posible tratamiento al que esté siendo sometido. Oculus Rift es, al igual que Leap Motion, un dispositivo fácilmente integrable con Unity por lo que mejorará los resultados obtenidos con esta plataforma de desarrollo en un tiempo reducido.

5.3. Evaluación de factores analgésicos

En la tabla 5.1 se muestra una evaluación de los factores analgésicos para el juego diseñado. Al igual que en las evaluaciones realizadas a otros proyectos en la sección 4.3 algunos de los factores listados no se han medido ni cuantificado por tratarse de factores subjetivos aunque se realizan comentarios que pueden ayudar a entender características del juego diseñado.

Factor	Maneki-neko
Entorno interactivo	Sí, elementos interactivos repartidos por el escenario
Inmersividad ¹	Sí
Calidad equipo RV ¹	Sí, desarrollado para la versión actual del equipo de RV
Calidad sonido ¹	Se ha pretendido que la música sea agradable y alegre y se han incluido efectos de sonido a distintos elementos
Movimiento	Sí, movimiento de una mano
Multijugador	Sí, dos jugadores cooperativo y competitivo
Punto de vista avatar	3 ^a persona
Atención constante ¹	Sí, mientras se juegan los distintos escenarios
Dinamismo en el entorno	Sí, objetos no estáticos
Sentido del tacto acorde	Sí, la interacción no consiste en manipulación de objetos físicamente
Interacción sencilla ¹	Sí, gestos concretos y fáciles de realizar
Ayudas de visualización ¹	Sí, se incluyen ayudas para visualizar de forma inmediata los futuros efectos de las acciones
Dificultad variable según nivel del usuario	Sí, existen elementos que modifican el nivel según la actuación del jugador
Objetivos claros ¹	Sí, cada fase tiene un objetivo final y objetivos intermedios que sirven como guía
Recompensas	Sí, al completar objetivos el jugador obtiene nuevos niveles y personajes

Cuadro 5.1: Evaluación de los factores analgésicos

¹Este factor no ha sido evaluado con una métrica exacta, en su defecto se comentan apreciaciones, consideraciones o comentarios de los usuarios que han probado el juego desarrollado (ver capítulo 7).

Capítulo 6

Implementación

Como resultado del proyecto se presenta una versión en fase beta del juego diseñado. Esta versión tiene una cantidad de escenarios, personajes y habilidades limitados pero puede jugarse sin ningún tipo de restricción puesto que se han implementado todas las funcionalidades planteadas en el capítulo 5.

Los objetivos propuestos para el juego en el capítulo 1 consistían, en resumen, en desarrollar un juego estable basándose en el diseño anterior y facilitar posibles incorporaciones o modificaciones futuras. Para alcanzar estos objetivos, el desarrollo del software se ha basado en gran medida en componentes, permitiendo así una fácil reutilización de las partes del juego para crear nuevos contenidos y niveles.

6.1. Contenido y funcionalidades desarrolladas

Para la versión presentada se ha elaborado el siguiente contenido, pudiendo servir de ejemplo para futuras aportaciones.

- Escenarios: a modo de ejemplo se han elaborado dos escenarios de dificultades baja, imagen 6.1, y media, imagen 6.2. En el primer escenario el jugador no necesita utilizar la habilidad de salto ni la de flotar mientras que en el segundo, de mayor dificultad, el jugador necesita emplear estas habilidades para poder alcanzar el objetivo final.
- Personajes: el jugador puede elegir entre dos personajes, un gato y un oso panda, imagen 6.3.
- Objeto guía: en la imagen 6.4 se puede ver el objeto guía utilizado a modo de ejemplo en ambos escenarios.
- Habilidad flotar: para poder sortear algunos obstáculos el jugador puede hacer flotar a su personaje, ver imagen 6.5.

- Selección de método de interacción: se permite al jugador y al acompañante elegir entre distintos dispositivos de interacción como se muestra en la imagen 6.6. Teniendo en cuenta que el dispositivo Leap Motion sólo está disponible para el jugador principal.

También se han implementado otras funcionalidades útiles como son cargar y guardar partidas y ajustar el volumen de la música del juego.

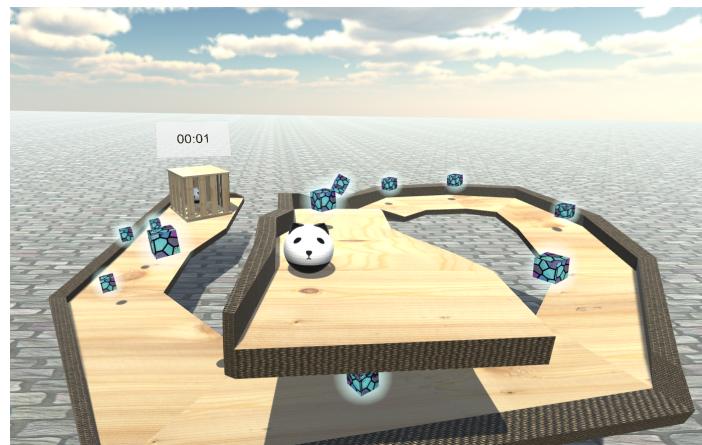


Figura 6.1: Escenario de dificultad baja.

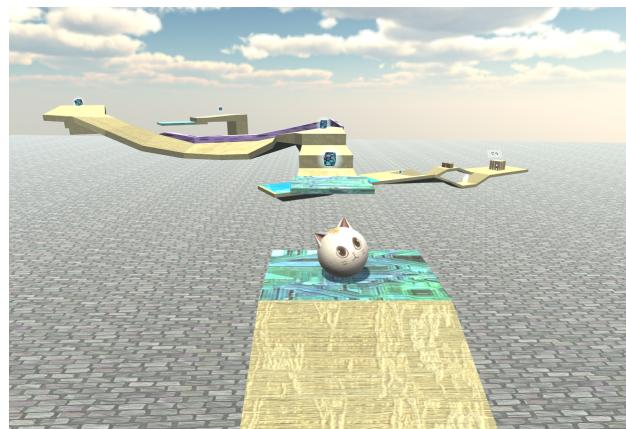


Figura 6.2: Escenario de dificultad media.



Figura 6.3: Personajes que el jugador puede controlar.

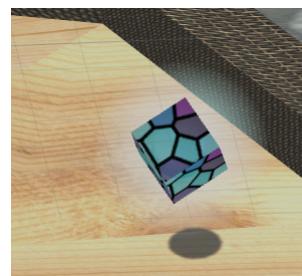


Figura 6.4: Objetos guía que el jugador debe recoger.



Figura 6.5: Habilidad de flotar, permite superar obstáculos.

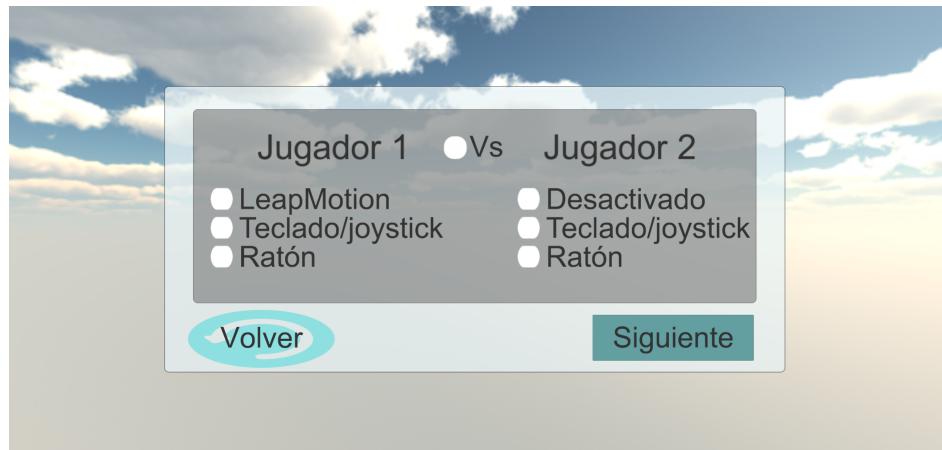


Figura 6.6: Métodos de interacción disponibles: Leap Motion, teclado, ratón o joystick.

6.2. Problemas resueltos

6.2.1. Reubicación del personaje

Uno de los problemas resueltos en esta fase de implementación es el de detectar cuándo un personaje necesita ser recolocado en el camino por salirse del mismo. Este problema se ha resuelto con dos elementos:

- En primer lugar, junto con el modelo del escenario, se crean una serie de planos completamente translúcidos que limitan la zona por la que el usuario puede desplazar al personaje, bordeando el recorrido. De esta manera, el personaje es recolocado en el camino en el momento en que se detecte que atraviesa uno de estos planos.
- En segundo lugar, se ha establecido un sistema para calcular la posición en la que debe de recolocarse. Este sistema guarda cada cierto tiempo la posición que tiene el personaje y a la que volverá en caso de necesitar restablecer la posición. Para evitar recolocar al personaje en una posición no válida, fuera del camino, este algoritmo solo guarda la posición en caso de que el personaje esté en contacto con el suelo. Por otro lado, se intenta evitar que la posición guardada esté demasiado cerca del obstáculo que el jugador no ha conseguido superar. Este resultado se consigue al almacenar siempre dos posiciones anteriores y utilizar la más antigua para restablecer la posición en caso necesario.

6.2.2. Movimiento del personaje

Por otro lado, el sistema de movimiento del personaje se ha basado exclusivamente en fuerzas. Todos los movimientos que el personaje realiza (a excepción de la habilidad de flotar) son causados por fuerzas aplicadas sobre él mismo. Incluso cuando se pretende limitar la velocidad máxima de movimiento del personaje, se utilizan fuerzas opuestas evitando alterar el estado natural del objeto. De esta forma se consigue un movimiento realista con rozamiento y choques desiguales entre objetos a los que se les ha aplicado distintas fuerzas.

6.2.3. Sistema de ayuda de visualización

Para facilitar la interpretación de las distancias entre objetos y sus trayectorias de movimiento, se ha incluido un sencillo sistema de ayuda. Este sistema, válido para todos los dispositivos, consiste en iluminar el camino en la misma dirección a la que el usuario aplica la fuerza mediante la interacción. De esta manera, aunque el personaje tarde en comenzar a moverse en esa dirección, debido a otras fuerzas que se le hayan aplicado con anterioridad, el usuario recibe una respuesta inmediata sobre la acción que realiza. Esta ayuda también facilita el cálculo de la trayectoria que tendrá el personaje tras aplicarse la fuerza correspondiente.

6.3. Métodos de interacción

Durante el juego, el jugador dispone de varias acciones con las que interactuar. Todas las interacciones se pueden realizar mediante el dispositivo de reconocimiento de gestos Leap Motion. En la tabla 6.1 se muestran los gestos con Leap Motion propuestos para cada una de las acciones, así como teclas y botones asignados para otros dispositivos.

La magnitud de la fuerza que se aplica sobre el objeto del personaje se consigue al interpretar la magnitud de las acciones que realiza el jugador con el dispositivo correspondiente. Por ejemplo, con el dispositivo Leap Motion cuanto más aleje la mano en una dirección mayor fuerza se aplicará sobre el personaje y, por lo tanto, mayor aceleración se conseguirá.

Para poder interpretar el valor de la fuerza aplicada es necesario realizar una conversión del sistema de unidades utilizado en cada dispositivo o, en el caso del teclado y el joystick, realizar un ajuste para poder equiparar la aceleración del personaje a la aceleración que se suele conseguir con los otros dispositivos. A cada dispositivo se le ha asociado de un modo empírico un valor de sensibilidad que modificará el impacto que se tiene sobre los movimientos del personaje, pretendiendo equiparar la velocidad de movimiento conseguida con todos los dispositivos. Para el dispositivo Leap Motion este factor de sensibilidad es de 0.5. Para control mediante ratón también se

Acción	Leap Motion	Teclado	Joystick	Ratón
Cambiar personaje	Desplazar índice de izquierda a derecha y al contrario	-	-	-
Subir/bajar volumen	Desplazar índice de abajo a arriba y al contrario	-	-	-
Salir de ajustes	Extender palma	-	-	-
Mostrar ajustes	Mano cerrada, índice y pulgar extendidos	-	-	-
Mover personaje	Desplazar mano horizontalmente	Teclas de dirección	Teclas de dirección	Desplazar ratón
Saltar	Subir posición de la mano	Tecla espacio	Botón de acción primario	Botón izquierdo
Flotar	Cerrar mano	Tecla control izquierdo	Botón de acción secundario	Botón derecho

Cuadro 6.1: Controles asignados para las acciones del jugador

aplica un valor más bajo, de 0.05, mientras que para teclado y joystick es de 20. Con un valor alto de sensibilidad, se aplica una fuerza mayor para el movimiento del personaje, mientras que un valor bajo reduce la magnitud de la fuerza aplicada y por tanto el personaje se desplazará de una forma más lenta.

6.4. Niveles de dificultad

A parte de la dificultad que pueda tener el recorrido de cada escenario según su diseño, se incluyen dos formas de controlar la variación de la dificultad a lo largo de distintos escenarios. Una progresiva acorde al nivel de jugador y otra que varía dependiendo del resultado obtenido en el escenario inmediatamente anterior.

6.4.1. Dificultad progresiva

Para cada escenario se incluyen una cantidad de objetos guía. Cada objeto tiene asignado un nivel de dificultad. De esta forma, el total de objetos disponibles en cada escenario para un jugador no es fijo, si no que varía dependiendo de cuántos escenarios haya completado el jugador anteriormente. Cada vez que el jugador completa un escenario éste sube de nivel, teniendo que enfrentarse a objetos guía más difíciles de alcanzar. Esta funcionalidad

se ha implementado fácilmente en Unity etiquetando cada objeto guía colocado en el escenario con el nivel de dificultad correspondiente. Al comenzar el escenario, se muestran únicamente los objetos que tienen el mismo nivel o inferior al del jugador principal. En la versión beta desarrollada se utilizan hasta tres niveles de dificultad.

6.4.2. Dificultad variable

Cuando un jugador completa un escenario, se calcula, en base a su actuación anterior, el número mínimo de objetos guía que deberá conseguir antes de poder alcanzar el final del escenario, el rescate del compañero. Para su cálculo se utilizada una fórmula sencilla:

$$\text{ceil}(\text{totalActual} \cdot \text{indiceAnterior} \cdot 0.8)$$

De esta forma el índice (con valor de 0 a 1) de objetos alcanzados en el escenario pasado, *indiceAnterior*, modifica el nivel exigido para la recolección de objetos del siguiente escenario. Para el cálculo también se tiene en cuenta el número de objetos totales disponibles en el nuevo escenario, *totalActual*, que depende, como ya se ha comentado, del nivel del jugador.

6.5. Unity Prefabs

A lo largo de la fase de implementación se ha tenido en cuenta la necesidad de facilitar la futura incorporación de nuevos elementos al juego y la creación de nuevos niveles sin necesidad de conocer la mecánica interna. Como resultado, se han creado Prefabs de Unity [32], objetos reutilizables con los que generar copias que pueden configurarse en conjunto de forma sencilla.

Los Prefabs creados contienen componentes básicos, el motor y la mecánica del juego. Pueden colocarse en cualquier escena evitando tener que configurar, adaptar o modificar código del funcionamiento del juego. Entre los Prefabs creados se incluyen los siguientes elementos:

- Personajes del jugador principal y jugador secundario junto con el control de movimiento y acciones.
- Cámara y luces de la escena y su configuración.
- Métodos de interacción con Leap Motion y otros dispositivos.
- Ventana de ajustes del juego.
- Control de eventos en el juego.
- Objetos guía.
- Otros objetos y efectos que interactúan con el jugador.

Capítulo 7

Pruebas

7.1. Pruebas realizadas

A continuación se muestran los resultados de las pruebas de uso realizadas a 6 usuarios con distinta experiencia como jugadores.

El número de usuarios que han participado en las pruebas es reducido debido, por un lado, a que tanto las gafas Oculus como el dispositivo Leap Motion son dispositivos que requieren cierto cuidado por lo que las pruebas debían de estar supervisadas y atendidas en todo momento, y por otro lado, y también relacionado con el motivo anterior, debido a la falta de tiempo para buscar más usuarios que puedan participar en las pruebas.

La evaluación, cuyo resultado se muestra en la tabla 7.1, se ha enfocado exclusivamente en la utilización del dispositivo Leap Motion no teniendo en cuenta valores de presencia y otros factores debido a que estos requieren de un estudio más complejo y con fundamentos psicológicos. A su vez, las limitaciones del trabajo en tiempo no han permitido la realización de un estudio de usabilidad completo.

Los parámetros medidos son los siguientes:

- Experiencia en juegos. Indica la frecuencia a la que el usuario suele jugar a otros juegos. Los valores asignados son:
 - 1 - Rara vez
 - 2 - Muy ocasionalmente
 - 3 - Ocasionalmente
 - 4 - Frecuentemente
 - 5 - Muy frecuentemente
- Edad aproximada: indica de forma aproximada la edad del usuario. Las edades indicadas son desde 15 hasta más de 50.
- Dispositivos más frecuentes: indica el tipo de dispositivo al que el usuario está más acostumbrado en experiencias con juegos.

- Manejo con Leap Motion. La evaluación consiste en un valor que hace referencia al éxito en el manejo mediante Leap Motion durante el juego.
 - 1 - No se ha conseguido dominar la interacción.
 - 2 - Control con dificultad.
 - 3 - Control adecuado, con aprendizaje progresivo.
 - 4 - Control fluido, con aprendizaje rápido.
 - 5 - Control muy exacto, con aprendizaje casi inmediato.
- Prefiere Leap Motion: indica si el usuario manifiesta preferir jugar al juego con Leap Motion frente al resto de los dispositivos incluidos.
- Finaliza el juego con Leap Motion: indica si el usuario ha sido capaz de concluir satisfactoriamente el juego utilizando este dispositivo.

Usuario	Us. 1	Us. 2	Us. 3	Us. 4	Us. 5	Us. 6
Experiencia en juegos	2	3	4	1	1	5
Edad aproximada	25	15	20	50+	50+	30
Dispositivos más frecuentes	Joystick	Joystick	Teclado y ratón	Teclado y ratón	Teclado y ratón	Teclado, ratón y joystick
Manejo con Leap Motion	5	4	5	1	1	5
Prefiere Leap Motion	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No
Finaliza el juego con Leap Motion	Sí	Sí	Sí	No	No	Sí

Cuadro 7.1: Resultado de las pruebas realizadas

7.2. Comentarios sobre los resultados obtenidos

Tras las pruebas, algunos de los usuarios realizaron comentarios:

“Con Leap Motion es más entretenido.” - Usuario 1, comparando interacción mediante Leap Motion frente a teclado.

“Se puede acabar perdiendo la noción de la posición del cuerpo, salvo si se apoya parte del brazo sobre la mesa.” - Usuario 1, con respecto a la inmersión con las gafas Oculus Rift.

El usuario 1, a pesar de no tener una gran experiencia en juegos, consiguió adaptarse de forma prácticamente inmediata a la interacción con Leap Motion. Este usuario no había tenido experiencias inmersivas antes por lo que le llamó la atención la desconexión con su entorno.

“Me resulta más fácil utilizar joystick, aunque me divierte más jugar con Leap Motion.” - Usuario 2, comparando interacción mediante Leap Motion frente a joystick.

El usuario 2 consideró Leap Motion como algo novedoso y que le gustaría seguir utilizando en juegos.

“Muy divertido.” - Usuario 3, al utilizar Leap Motion después del teclado.

El usuario 3 mostró una gran atención en el tránscurso del juego y se centró en obtener todos los objetos guía presentados en los escenarios. Es un jugador frecuente que se adaptó sin dificultad alguna a la interacción con Leap Motion.

“Con el ratón resulta complicado.” - Usuario 5, ha probado Ratón y Leap Motion.

El usuario 5 expresó no estar familiarizado con este tipo de juego por lo que la interacción con el ratón, a pesar de estar acostumbrado a él, resultó ser dificultosa. Por razones circunstanciales, el usuario 5 realizó la prueba en un ordenador con bajas prestaciones obteniendo un tiempo de respuesta a sus acciones demasiado alto. No obstante, el usuario mostró interés en preferir Leap Motion para este juego si se disponía de un equipo adecuado.

“El control con Leap Motion me parece incómodo.” - Usuario 6, probando el juego sólo con este dispositivo.

El usuario 6, con el perfil de jugador muy frecuente, muy acostumbrado a dispositivos comunes, se centró en obtener todos los objetos guía e interactuar con todos los elementos y obstáculos presentados. A pesar del éxito, este usuario indicó no sentirse cómodo con este tipo de interacción.

Resumiendo los resultados obtenidos, 4 de 6 usuarios prefieren la interacción con Leap Motion para este juego en concreto. Además, el aprendizaje de los usuarios ha sido muy bueno tanto para perfiles de jugadores desde muy ocasionales a muy frecuentes. 4 de los 5 jugadores que se han adaptado bien a este dispositivo, lo prefieren. No parece haber indicios de relación entre dispositivos frecuentes y el aprendizaje o preferencia con Leap Motion. Sí parece haber haber indicios de que tanto usuarios con muy poca experiencia en juegos como usuarios con gran experiencia no prefieren utilizar este nuevo dispositivo.

Tras las pruebas realizadas, se indican algunos apuntes a modo personal con respecto a la interacción para el fin analgésico. En concreto, el uso de teclado y de ciertos joysticks, como los mandos a dos manos, pueden ser un impedimento por el hecho de requerir del uso de ambas manos (teclas de dirección y teclas de habilidades). Si el paciente está sometido a tratamientos que requieren la posición de tumbado, con las manos a cada lado del cuerpo, o que requieren la disponibilidad de una de las manos, esta alternativa no es viable. Por otro lado, el ratón necesita una superficie estable que podría no estar disponible en algunos de los procedimientos médicos. Además, a diferencia del Leap Motion, todos estos métodos de interacción requieren del contacto físico con los dispositivos por parte del paciente, lo cual supondría un problema en pacientes que sufren quemaduras o heridas en las manos.

Capítulo 8

Conclusiones y trabajos futuros

8.1. Conclusiones

Este proyecto ha permitido llevar a la práctica nuevas tecnologías y herramientas como Unity, LeapMotion y Oculus Rift presentadas a nivel teórico durante la docencia del Máster cursado.

El estudio realizado de factores analgésicos aporta una visión más completa sobre la influencia de los juegos en realidad virtual que los estudios enfocados desde el punto de vista exclusivamente psicológico.

En este proyecto se ha desarrollado un juego completamente funcional que respeta los factores analgésicos presentados en el análisis previo. El juego implementado puede ser a día de hoy una herramienta útil para la realización de pruebas y estudios psicológicos centrados tanto en la analgesia como en métodos de interacción, ya que este juego supone una diferencia con sus antecedentes debido a que incorpora nuevos factores analgésicos además de los factores usuales contemplados en otros estudios.

Aunque las pruebas se han realizado con una cantidad muy limitada de usuarios, parecen indicar una buena respuesta en cuanto a su jugabilidad por parte de usuarios de distintas edades y distinta experiencia como jugadores.

Como última conclusión, SCRUM ha supuesto una herramienta apropiada para gestionar este proyecto con metodologías ágiles. La fase de desarrollo del juego se ha podido adaptar al funcionamiento de SCRUM consiguiendo una gran productividad y ajustándose al tiempo disponible para cada una de las tareas definidas inicialmente en el Product Backlog.

8.2. Trabajos futuros

Dado que el campo de aplicación del proyecto pertenece al campo de la psicología, el estudio final sobre el resultado en el aumento de analgesia

se realizará posteriormente por un grupo de psicólogos con experiencia en proyectos similares. Como trabajo futuro, junto a este estudio, se realizarán modificaciones y aportaciones al juego que se encuentra actualmente en fase beta.

La incorporación de nuevos escenarios jugables y personajes al juego, Maneki-neko, es una aportación necesaria en trabajos futuros porque permitirá alargar la experiencia de juego consiguiendo cubrir todo el tiempo necesario para los procedimientos médicos. Otra aportación al juego consistiría en una mejora de la vista en el modo multijugador, una funcionalidad que no ha dado tiempo a desarrollar. Actualmente, en la versión beta, la única vista presente es la que controla el jugador principal. Se plantea la posibilidad de crear un servidor local para poder sincronizar dos ejecuciones del juego, una por jugador. Otra opción posible consistiría en división de la imagen entre dos monitores, siendo uno de ellos la vista para el jugador principal con las gafas Oculus Rift. Sin embargo esta solución es dependiente del hardware. Una última alternativa sería la adaptación del juego del segundo jugador de forma que su vista coincida con la del jugador principal.

Por otro lado, se espera que los resultados de estudios psicológicos puedan determinar el éxito o fracaso de los factores propuestos para este juego. Tras estos descubrimientos el juego puede adaptarse para cumplir en mayor medida los factores que parezcan dar resultados o incluso nuevos factores que puedan aparecer durante el estudio.

Desde proyectos anteriores ya se presentaba la problemática con los métodos de interacción. Gracias a que el juego permite varios dispositivos, se podrá utilizar para estudiar la efectividad analgésica obtenida con cada dispositivo.

Debido a las limitaciones de las pruebas realizadas, sería necesario realizar un estudio de usabilidad completo con un mayor número de participantes.

En el capítulo 7 se comenta a nivel de nota personal algunas de las diferencias que entre control con cada uno de los dispositivos de interacción incluidos en el proyecto. También se indican posibles indicios sobre la preferencia y el manejo de distintos usuarios. Como trabajo futuro se plantea la realización de un estudio formal sobre la preferencia de los usuarios y la posible relación con la experiencia del usuario en juegos.

Como posible interpretación de los resultados en las pruebas, se considera que el diseño de un escenario sencillo a modo de tutorial es esencial para aquellos usuarios que no tengan experiencia previa en juegos.

Bibliografía

- [1] Daniel Kahneman. *Attention and effort*. Citeseer, 1973.
- [2] Hunter G Hoffman, Gloria T Chambers, Walter J Meyer III, Lisa L Arceneaux, William J Russell, Eric J Seibel, Todd L Richards, Sam R Sharar, and David R Patterson. Virtual reality as an adjunctive non-pharmacologic analgesic for acute burn pain during medical procedures. *Annals of Behavioral Medicine*, 41(2):183–191, 2011.
- [3] Kevin D McCaul and James M Malott. Distraction and coping with pain. *Psychological bulletin*, 95(3):516, 1984.
- [4] Chris Eccleston and Geert Crombez. Pain demands attention: A cognitive-affective model of the interruptive function of pain. *Psychological bulletin*, 125(3):356, 1999.
- [5] Kevin M Malloy and Leonard S Milling. The effectiveness of virtual reality distraction for pain reduction: a systematic review. *Clinical psychology review*, 30(8):1011–1018, 2010.
- [6] Guy H Montgomery, Katherine N DuHamel, and William H Redd. A meta-analysis of hypnotically induced analgesia: How effective is hypnosis? *International Journal of Clinical and Experimental Hypnosis*, 48(2):138–153, 2000.
- [7] Ronald Melzack. The tragedy of needless pain. *Sci Am*, 262(2):27–33, 1990.
- [8] Amy Chang Berger and Jennifer L Whistler. How to design an opioid drug that causes reduced tolerance and dependence. *Annals of neurology*, 67(5):559–569, 2010.
- [9] DR Patterson, HG Hoffman, A Garcia Palacios, and MJ Jensen. Analgesic effects of posthypnotic suggestions and virtual reality distraction on thermal pain. *Journal of abnormal psychology*, 115(4):834, 2006.
- [10] Björn van Twillert, Marco Bremer, and Albertus W Faber. Computer-generated virtual reality to control pain and anxiety in pediatric and

- adult burn patients during wound dressing changes. *Journal of Burn Care & Research*, 28(5):694–702, 2007.
- [11] Hunter G Hoffman. Virtual-reality therapy. *SCIENTIFIC AMERICAN-AMERICAN EDITION-*, 291:58–65, 2004.
 - [12] Hunter G Hoffman, David R Patterson, Eric Seibel, Maryam Soltani, Laura Jewett-Leahy, and Sam R Sharar. Virtual reality pain control during burn wound debridement in the hydrotank. *The Clinical journal of pain*, 24(4):299–304, 2008.
 - [13] Jonathan Gershon, Elana Zimand, Melissa Pickering, Barbara Olasov Rothbaum, and Larry Hodges. A pilot and feasibility study of virtual reality as a distraction for children with cancer. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 43(10):1243–1249, 2004.
 - [14] Jeffrey I Gold, Seok Hyeon Kim, Alexis J Kant, Michael H Joseph, and Albert-SkipRizzo. Effectiveness of virtual reality for pediatric pain distraction during iv placement. *CyberPsychology & Behavior*, 9(2):207–212, 2006.
 - [15] Vera Leibovici, Florella Magora, Sarale Cohen, and Arieh Ingber. Effects of virtual reality immersion and audiovisual distraction techniques for patients with pruritus. *Pain Research & Management: The Journal of the Canadian Pain Society*, 14(4):283, 2009.
 - [16] Miguel Ángel Muñoz-García. Desarrollo y aplicación de un instrumento basado en realidad virtual, como técnica analgésica adjunta en procedimientos médicos. CEI2013-P-8, CEI BioTic UGR - II convocatoria ‘Compromiso con la investigación y el desarrollo’, 2013.
 - [17] Hunter G Hoffman, Azucena Garcia-Palacios, David R Patterson, Mark Jensen, Thomas Furness III, and William F Ammons Jr. The effectiveness of virtual reality for dental pain control: a case study. *CyberPsychology & Behavior*, 4(4):527–535, 2001.
 - [18] Engle Angela Chan, Joanne WY Chung, Thomas KS Wong, Angela SY Lien, and Jiu Yung Yang. Application of a virtual reality prototype for pain relief of pediatric burn in taiwan. *Journal of clinical nursing*, 16(4):786–793, 2007.
 - [19] Fifth Dimension Technologies. Virtual reality pain distraction system (vrpds). <http://www.5dt.com/products/ivrpds11.html>, 2011. [Online; accessed 2015-07-23].
 - [20] Kenneth S Rubin. *Essential Scrum: A practical guide to the most popular Agile process*. Addison-Wesley, 2012.

- [21] Nadia Bianchi-Berthouze, Whan Woong Kim, and Darshak Patel. Does body movement engage you more in digital game play? and why? In *Affective Computing and Intelligent Interaction*, pages 102–113. Springer, 2007.
- [22] Regina Wender, Hunter G Hoffman, Harley H Hunner, Eric J Seibel, David R Patterson, and Sam R Sharar. Interactivity influences the magnitude of virtual reality analgesia. *Journal of cyber therapy and rehabilitation*, 2(1):27, 2009.
- [23] Hunter G Hoffman, Eric J Seibel, Todd L Richards, Thomas A Furness, David R Patterson, and Sam R Sharar. Virtual reality helmet display quality influences the magnitude of virtual reality analgesia. *The Journal of Pain*, 7(11):843–850, 2006.
- [24] Sam R Sharar, Gretchen J Carrougher, Dana Nakamura, Hunter G Hoffman, David K Blough, and David R Patterson. Factors influencing the efficacy of virtual reality distraction analgesia during postburn physical therapy: preliminary results from 3 ongoing studies. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 88(12):S43–S49, 2007.
- [25] Marcin Czub and Joanna Piskorz. How body movement influences virtual reality analgesia? In *Interactive Technologies and Games (iTAG), 2014 International Conference on*, pages 13–19. IEEE, 2014.
- [26] Niklas Ravaja, Timo Saari, Marko Turpeinen, Jari Laarni, Mikko Salminen, and Matias Kivikangas. Spatial presence and emotions during video game playing: Does it matter with whom you play? *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 15(4):381–392, 2006.
- [27] Lynnda M Dahlquist, Linda J Herbert, Karen E Weiss, and Monica Jimeno. Virtual-reality distraction and cold-pressor pain tolerance: does avatar point of view matter? *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, 13(5):587–591, 2010.
- [28] Patrick Salamin, Daniel Thalmann, and Frédéric Vexo. The benefits of third-person perspective in virtual and augmented reality? In *Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology*, pages 27–30. ACM, 2006.
- [29] Martin Usoh, Kevin Arthur, Mary C Whitton, Rui Bastos, Anthony Steed, Mel Slater, and Frederick P Brooks Jr. Walking; walking-in-place; flying, in virtual environments. In *Proceedings of the 26th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, pages 359–364. ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., 1999.

- [30] Jean Sreng, Anatole Lécuyer, Christine Mégard, and Claude Andriot. Using visual cues of contact to improve interactive manipulation of virtual objects in industrial assembly/maintenance simulations. *Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions on*, 12(5):1013–1020, 2006.
- [31] James William Burke, MDJ McNeill, DK Charles, Philip J Morrow, JH Crosbie, and SM McDonough. Augmented reality games for upper-limb stroke rehabilitation. In *Games and Virtual Worlds for Serious Applications (VS-GAMES), 2010 Second International Conference on*, pages 75–78. IEEE, 2010.
- [32] Frank Weichert, Daniel Bachmann, Bartholomäus Rudak, and Denis Fisseler. Analysis of the accuracy and robustness of the leap motion controller. *Sensors*, 13(5):6380–6393, 2013.

