

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS DE TELECOMUNICACIÓN**



GRADO INGENIERÍA BIOMÉDICA

TRABAJO FIN DE GRADO

**DISEÑO DE UN ENTORNO DE REALIDAD VIRTUAL
PARA REHABILITACIÓN COGNITIVA EN
PACIENTE CON ICTUS**

AITOR GARRIDO MADRIGAL

2020

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS DE TELECOMUNICACIÓN



GRADO INGENIERÍA BIOMÉDICA

TRABAJO FIN DE GRADO

DISEÑO DE UN ENTORNO DE REALIDAD VIRTUAL
PARA REHABILITACIÓN COGNITIVA EN
PACIENTE CON ICTUS

Autor

AITOR GARRIDO MADRIGAL

Tutor

ÁLVARO GUTIERREZ MARTÍN

2020

Resumen

El ictus es una enfermedad cerebrovascular que afecta a los vasos sanguíneos que suministran sangre al cerebro. La consecuencia es que las células nerviosas del área del cerebro afectada no reciben oxígeno, por lo que no pueden funcionar y mueren transcurridos unos minutos. Una vez pasado el episodio, comienza la etapa de recuperación y superación personal, ya que la mayoría de las personas suelen quedar con algún tipo de secuela, física o cognitiva. Esto crea un cambio de la situación personal, en ocasiones radical, condicionando la vuelta a la vida cotidiana.

Es en esta última fase en la que se desarrolla este TFG. Se conoce que la realización de ejercicios en entornos virtuales en pacientes en fase subaguda y crónica post-ictus puede mejorar la habilidad para realizar tareas motrices y actividades de la vida diaria.

El entorno de realidad virtual desarrollado consta de un supermercado donde el paciente tendrá que llevar a cabo una serie de actividades con el fin de mejorar la parte cognitiva. Cada una de las actividades desarrolladas en el entorno están orientadas a trabajar un área del cerebro, es decir, permiten mejorar diferentes aspectos del paciente como pueden ser la memoria, la planificación, el déficit de atención o la negligencia visual. Gracias a la realidad virtual, los pacientes se sienten más motivados, la adherencia al tratamiento aumenta y el nivel de atención se incrementa durante el proceso de rehabilitación cognitiva.

Para lograr esta tarea, se usará la plataforma de desarrollo de juegos Unity 3D. Es un entorno con un aspecto ecológico, realista, a diferencia de los entornos utilizados hoy en día para este tipo de rehabilitación. En este entorno se integrarán los diferentes aspectos a trabajar mencionados anteriormente, agrupados en diferentes niveles de dificultad. Con esto se conseguirá que los pacientes trabajen en un modelo realista y funcional, que les pueda ayudar posteriormente en su día a día.

Por último, la plataforma tendrá un sistema de recopilación de datos interno que mide el tiempo de simulación, el número de fallos cometidos por el paciente y el número de ayudas que solicita para completar la tarea. Estos parámetros serán recogidos y procesados por SQLite. El personal médico puede acceder a esta base de datos en tiempo real para visualizar los resultados, ver la evolución del paciente y elaborar un diagnóstico diferencial.

Palabras clave: Realidad virtual, rehabilitación cognitiva, Unity, ictus, enfermedad cerebrovascular

Abstract

Stroke is a cerebrovascular disease that affects the blood vessels that supply blood to the brain. The consequence is that the nerve cells in the affected brain area do not receive oxygen, so they cannot function and die within a few minutes. Once the episode is over, the recovery and self-improvement stage begins, since most people tend to be left with some kind of sequel, physical or cognitive. This creates a change in the personal situation, sometimes radical, conditioning the return to everyday life.

It is in this last phase in which this BSc Thesis is developed. It is known that performing exercises in virtual environments in subacute and chronic post-stroke patients can improve the ability to perform motor tasks and activities of daily living.

The virtual reality environment developed consists of a supermarket where the patient will have to carry out a series of activities in order to improve the cognitive part. Each of the activities carried out in the environment are aimed at working an area of the brain, allowing different aspects of the patient to be improved, such as memory, planning, attention deficit or visual neglect. Thanks to virtual reality, patients feel more motivated, adherence to treatment increases and the level of care increases during the process of cognitive rehabilitation.

To accomplish this task, the Unity 3D game development platform will be used. It is an environment with an ecological, realistic aspect, unlike the environments used today for this type of rehabilitation. In this environment, the different aspects to work mentioned above will be integrated, grouped into different levels of difficulty. With this we will get patients to work on a realistic and functional model, which can help them later in their day to day.

Finally, the platform will have an internal data collection system that measures the simulation time, the number of failures made by the patient, and the number of aids requested to complete the task. These parameters will be collected and processed by SQLite. Medical personnel can access this database in real time to view the results, see the evolution of the patient and prepare a differential diagnosis.

Keywords: Virtual reality, cognitive rehabilitation, Unity, ictus, stroke.

Índice general

Resumen	III
Abstract	IV
Índice General	V
Glosario	1
1. Escenario clínico	2
1.1. Contexto	2
1.2. Objetivos	3
1.3. Organización del documento	4
2. Enfermedades cerebrovasculares	5
2.1. El ictus	5
2.2. Factores de riesgo del ictus	5
2.2.1. Factores de riesgo del ictus de tipo no modificable	6
2.2.2. Factores de riesgo del ictus de tipo modificables	6
2.3. Epidemiología del ictus	6
2.4. Vida después del ictus	8
2.5. Complicaciones y secuelas tras un ictus	8
2.6. Rehabilitación tras un ictus	8
2.6.1. Tratamientos tradicionales del ictus	9
2.6.1.1. Tratamientos para ictus isquémicos	9
2.6.1.2. Tratamientos para ictus hemorrágicos	9
3. Realidad virtual	10
3.1. Realidad virtual en medicina	11
3.1.1. Tecnología VR para entrenamiento quirúrgico	11
3.1.2. Realidad virtual para el tratamiento de fobias	12
3.1.3. Realidad virtual para tratamiento de trastornos	12
3.1.4. Realidad virtual para la rehabilitación de pacientes	13
4. Herramientas utilizadas en el desarrollo	16
4.1. Unity	16
4.2. SQLite	18

5. Implementación de la plataforma de rehabilitación	20
5.1. Menú principal	21
5.2. Menú secundario	22
5.3. Escena supermercado	27
5.4. Escena de pago	30
5.5. Escena de resultados y base de datos	32
6. Validaciones clínicas	34
6.1. Participantes	34
6.2. Realización de las pruebas y resultados	34
7. Conclusiones	36
Bibliography	41
A. Impacto	43
B. Presupuesto económico	45
C. Manual de usuario	47
D. Manual de desarrollador	49

Glosario

ECV: Enfermedad cerebrovascular.

TOAST: Criterios para definir un ictus.

Angiopatia amiloide: Afección en la cual las proteínas llamadas amiloides se acumulan en las paredes de las arterias cerebrales.

Dislipidemia: Alteración de los niveles de lípidos en la sangre.

Lecho vascular: Circuito de alto flujo, con baja resistencia capaz de acomodar grandes incrementos en el flujo.

Ictus hemorrágico: Se produce cuando un vaso sanguíneo se rompe y sangra en el cerebro, comprimiendo y afectando así al tejido de células del cerebro rápidamente.

Parenquima encefálico: Tejido constituido principalmente por neuronas, células gliales y vasos sanguíneos.

RV: Realidad virtual.

Fibrinolisis: Degradación de las redes de fibrina formadas en el proceso de coagulación sanguínea, evitando la formación de trombos.

Angiografía: Prueba radiológica diagnóstica para obtener información muy precisa del estado de sus arterias (vasos sanguíneos).

Dispositivo háptico: instrumentos encargados de simular respuestas táctiles.

Daño cerebral adquirido: Afectación de las estructuras encefálicas en personas.

Técnica laparoscópica: Alternativa mínimamente invasiva a la cirugía abierta convencional en la que se utiliza una pequeña cámara llamada laparoscopio para ver dentro del abdomen.

Paresia: Parálisis parcial o debilitamiento de la contractilidad de la musculatura.

Hemiparesia: Disminución de la fuerza motora o parálisis parcial que afecta un brazo y una pierna del mismo lado del cuerpo

Capítulo 1

Escenario clínico

1.1. Contexto

La enfermedad cerebrovascular o ictus es uno de los motivos más frecuentes de asistencia neurológica urgente, representa una de las primeras causas de muerte e invalidez en los adultos y supone un enorme coste tanto humano como económico. Un reciente estudio prospectivo ha establecido que la incidencia bruta de ictus en la población mayor de 18 años es de 174 casos cada 100.000 habitantes y se incrementa de forma progresiva con la edad. Las tasas de prevalencia ajustadas por edad son del 7,3% para los varones, del 5,6% para las mujeres y del 6,4% al considerar ambos sexos. El ictus representa en España la segunda causa de muerte tras la cardiopatía isquémica y es la primera causa de muerte por entidades específicas en la mujer [1].

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), el ictus representa la primera causa de discapacidad física en las personas adultas y la segunda de demencia. En diferentes encuestas, se puede observar que en el 13% de las personas con dependencia, ésta está causada por la enfermedad cerebrovascular, y de estas enfermedades, un tercio presentaba un grado de dependencia moderada, el 50% dependencia grave, y el 16% dependencia absoluta.

Por otra parte, se estima que el ictus consume el 3-4% del gasto sanitario en los países desarrollados, y que más del 70% de los costes sanitarios directos durante el primer año se producen durante la hospitalización. Teniendo en cuenta el progresivo envejecimiento de la población y que las tres cuartas partes de los ictus afectan a pacientes mayores de 65 años, es previsible un incremento de su incidencia en los próximos años.

Los avances en el tratamiento del ictus tienen como ejes fundamentales la atención neurológica precoz, el ingreso en las unidades de ictus, la aplicación del tratamiento fibrinolítico en el infarto cerebral y el tratamiento rehabilitador. De todos ellos, el tratamiento rehabilitador tiene una ventana terapéutica más amplia, ya que se puede aplicar tanto en ictus isquémicos como hemorrágicos, mejora el pronóstico funcional incluso varios meses después de producido el ictus y reduce los costes asociados a la enfermedad.

Se conoce que la práctica reiterada e intensiva de tareas motrices relevantes para el paciente con ictus promueve la recuperación funcional y estimula la realización

autónoma de las habilidades entrenadas. Como parte de este entrenamiento motor orientado a tareas, existen terapias que utilizan sistemas de realidad virtual, las cuales han sido empleadas en pacientes con daño cerebral, inicialmente en fase experimental, y posteriormente como coadyuvante de los tratamientos convencionales. A pesar de que es posible que faciliten fenómenos de reorganización cortical y neuroplasticidad, todavía no bien esclarecidos, su utilización continúa siendo relativamente limitada. Estos sistemas, en virtud de su cada vez mayor accesibilidad y portabilidad, permiten extender el tratamiento al domicilio e intensificar el programa de ejercicios con los beneficios que esto supone desde el punto de vista funcional. Además, los avances en el campo de la telemedicina permitirán al clínico valorar desde el hospital en tiempo real los progresos realizados y modificar o ajustar un programa individualizado de ejercicios en función de los objetivos alcanzados por el paciente.

1.2. Objetivos

Para el desarrollo de este TFG se cuenta con la ayuda y supervisión de doctores del Hospital Universitario La Paz. Al inicio del TFG se nos presentaron los actuales sistemas que utilizan para la rehabilitación cognitiva de pacientes tras un suceso de ictus. Aunque estos sistemas pueden ayudar a trabajar aspectos como la memoria, se plantean como sistemas básicos y poco realistas. Es por ello que existe una cierta preocupación por parte de los doctores para la integración de los pacientes en actividades que se llevan a cabo a diario, por ejemplo ir a comprar a un supermercado.

El objetivo de los neurólogos es poder contar con un sistema de realidad virtual a través del cual los pacientes con ictus sean capaces de trabajar diferentes áreas del cerebro. En concreto, la propuesta de los médicos es enfrentar a los pacientes a un entorno realista en el que poder realizar una serie de actividades, permitiendo a los pacientes trabajar en el proceso aspectos como la memoria, planificación, déficit de atención, velocidad o negligencia visual, es decir, aspectos relacionados con la rehabilitación cognitiva.

A partir de los puntos expuestos anteriormente, se pueden establecer los siguientes objetivos del proyecto:

1. Desarrollo de un entorno de realidad virtual no inmersiva donde los pacientes puedan realizar diferentes tareas.
2. Utilización de la plataforma Unity3D y el motor de visualización para proporcionar una presentación visual fluida e interactiva.
3. Desarrollo de un sistema que permita trabajar la planificación del paciente, es decir, llevar a cabo una serie de actividades antes de realizar una actividad final.
4. Desarrollo de un sistema en el que el paciente pueda trabajar la memoria.
5. Desarrollo de un sistema en el que el paciente pueda trabajar la velocidad y capacidades motrices.

6. Desarrollo de un sistema que permita trabajar al paciente los procesamientos numéricos.
7. Desarrollo de un sistema que recoja los resultados obtenidos durante la realización de la actividad.
8. Ayudar a los médicos a asignar la vía de tratamiento correcta en función de los perfiles clínicos y resultados de las simulaciones.
9. Desarrollo e implementación de una base de datos.
10. Implementación del entorno desarrollado en los dispositivos con los que se va a trabajar.

1.3. Organización del documento

Los capítulos del TFG están organizados de la siguiente manera:

- En el Capítulo 2 se describe la enfermedad del ictus, sus factores de riesgo y su impacto en la sociedad española. Por otro lado, se definen las principales secuelas en estado post-ictus y los tratamientos tradicionales que se aplican en medicina para combatir la enfermedad.
- En el Capítulo 3 se expone la incidencia de la realidad virtual dentro de la medicina y posteriormente su utilidad para la rehabilitación de enfermedades cerebrovasculares. Asimismo, se enumeran los diferentes sistemas de RV utilizados a día de hoy en medicina.
- En el Capítulo 4 se describen las herramientas utilizadas para hacer el desarrollo del TFG.
- En el Capítulo 5 se expone la implementación del sistema de realidad virtual para desarrollar la plataforma de rehabilitación cognitiva.
- En el Capítulo 6 realizan las validaciones técnicas.
- Por último, en el Capítulo 7 se lleva a cabo una discusión del TFG, así como una conclusión del mismo.

Capítulo 2

Enfermedades cerebrovasculares

2.1. El ictus

Se denomina ECV o ictus al trastorno circulatorio cerebral que ocasiona una alteración transitoria o definitiva de la función de una o varias partes del encéfalo. Hay diferentes tipos de ictus según la naturaleza de la lesión, el isquémico y el hemorrágico. El ictus isquémico se debe a una falta de aporte de sangre a una determinada zona del parénquima encefálico, mientras que el ictus hemorrágico se debe a la rotura de un vaso sanguíneo encefálico con extravasación de sangre fuera del lecho vascular. El 85 % de los ictus son isquémicos, mientras que el resto son hemorrágicos. Debido a los distintos subtipos de ictus, las diferencias en el perfil evolutivo, las características de la topografía, y las diferencias en el mecanismo de producción y en la etiología, se utilizan numerosos términos para describir las ECV [2]. Es fundamental clasificar los accidentes cerebro-vasculares para realizar un correcto tratamiento y una correcta prevención secundaria. Para la clasificación de los distintos subtipos de ictus isquémicos se utilizan los criterios TOAST: lacunares (20 %), aterotrombóticos (25 %), cardioembólicos (25 %) y de causa indeterminada (30 %) [3].

2.2. Factores de riesgo del ictus

Un factor de riesgo puede definirse como la característica biológica o hábito que permite identificar a un grupo de personas con mayor probabilidad que el resto de la población general para presentar una determinada enfermedad a lo largo de su vida. La importancia de los factores de riesgo radica en que su identificación permitirá establecer estrategias y medidas de control en los sujetos que todavía no han padecido la enfermedad (prevención primaria), o si ya la han presentado prevenir o reducir las recidivas (prevención secundaria). Las técnicas de estudio epidemiológico han permitido identificar un gran número de factores de riesgo para el ictus, lo que refleja la heterogeneidad de este síndrome. Las enfermedades vasculares cerebrales, además de su elevada frecuencia, son responsables de una alta mortalidad y morbilidad, provocando en muchos de las supervivientes secuelas invalidantes de por vida. Por ello, uno de los aspectos esenciales en el abordaje de la patología vascular cerebral y

objetivo sanitario de máxima importancia se basa en la prevención, lo que exige la identificación y control de los factores de riesgo [4].

Los factores de riesgo se han clasificado como modificables, y no modificables. Es importante detectar pacientes con factores no modificables ya que, aunque éstos no se puedan tratar, identifica sujetos de alto riesgo en los que la coexistencia de factores modificables exige su control enérgico, y son candidatos a otras terapéuticas preventivas.

2.2.1. Factores de riesgo del ictus de tipo no modificable

Son denominados también marcadores de riesgo. Se trata de aspectos intrínsecos a la persona que no pueden ser modificables de forma externa. En concreto:

- **Edad:** la edad constituye el factor de riesgo no modificable más importante. Ambos tipos de ictus son más frecuentes en personas de edad avanzada.
- **Sexo:** La relación del sexo con el riesgo está modulada por la edad. En general, la incidencia de los ictus suele ser ligeramente mayor en hombres. Sin embargo, en edades por encima de 70-75 años es mayor en mujeres debido, principalmente, a la mayor esperanza de vida de estas.
- **Raza/Etnia:** Diferentes estudios han demostrado que personas de origen afroamericanos o hispanoamericanos tienen mayor incidencia y mortalidad por ictus. Este efecto parece estar mediado por el efecto de otros factores de riesgo como hábitos de vida o alimentación.
- **Genética:** Algunas enfermedades transmitidas de forma genética (como puede ser la angiopatía amiloide) pueden asociarse a una mayor incidencia del ictus.

2.2.2. Factores de riesgo del ictus de tipo modificables

El 80% de los ictus puede prevenirse controlando este grupo de factores. Los factores de riesgo modificables son los mismos para todas las edades. Sin embargo, la prevalencia de estos factores no es la misma en los diferentes grupos de edad. Por ejemplo, la hipertensión, la enfermedad cardíaca (incluida la fibrilación auricular) y la diabetes mellitus son los factores de riesgo más comunes entre las personas de mayor edad. Por el contrario, entre pacientes jóvenes, los factores de riesgo más comunes son la dislipidemia, el tabaquismo y la hipertensión.

2.3. Epidemiología del ictus

En España las enfermedades vasculares cerebrales (EVC) son una causa muy frecuente de morbilidad y hospitalización, constituyendo la segunda causa de mortalidad en la población general, y la primera en las mujeres. Además, suponen un gasto socio-sanitario muy elevado, el cual se estima que va a incrementarse en

los próximos años debido al envejecimiento de la población y a que el número de casos de ictus aumenta con la edad. Según los datos de la Encuesta de Morbilidad Hospitalaria del Instituto Nacional de Estadística del año 2011 registraron 116.017 casos de accidentes cerebrovasculares (ACV) y 14.933 de isquemia cerebral transitoria, lo que correspondería, respectivamente, a una incidencia de 252 y 32 episodios por cada 100.000 habitantes respectivamente [5].

En el año 2002, el coste de hospitalización por cada ACV se estimó en 3.047 D. El importe asistencial total a lo largo de la vida de un paciente con ictus se calcula en 43.129 D. Internacionalmente, los costes directos del infarto cerebral constituyen el 3% del gasto sanitario nacional. La hipertensión arterial fue el factor de riesgo cardiovascular (FRCV) más prevalente, tanto en los ictus isquémicos como los hemorrágicos, seguida de la dislipidemia y la diabetes mellitus. La enfermedad arterial periférica y la hipertensión arterial fueron los factores de riesgo cardiovascular más asociados a los episodios aterotrombóticos, la fibrilación auricular a los ictus cardioembólicos, y la obesidad y la hipertensión arterial a los lacunares. En España, como demuestran varios estudios, está lejos de conseguir un control óptimo de los factores de riesgo cardiovasculares, sobre todo en la prevención secundaria de las EVC. Según el estudio ICTUSCARE, la consecución de los valores recomendados fue del 17,6% en el caso de la hipertensión arterial, del 29,8% en el colesterol-LDL, del 74,9% en el hábito tabáquico y del 50,2% en la diabetes mellitus(ver Figura 2.1).

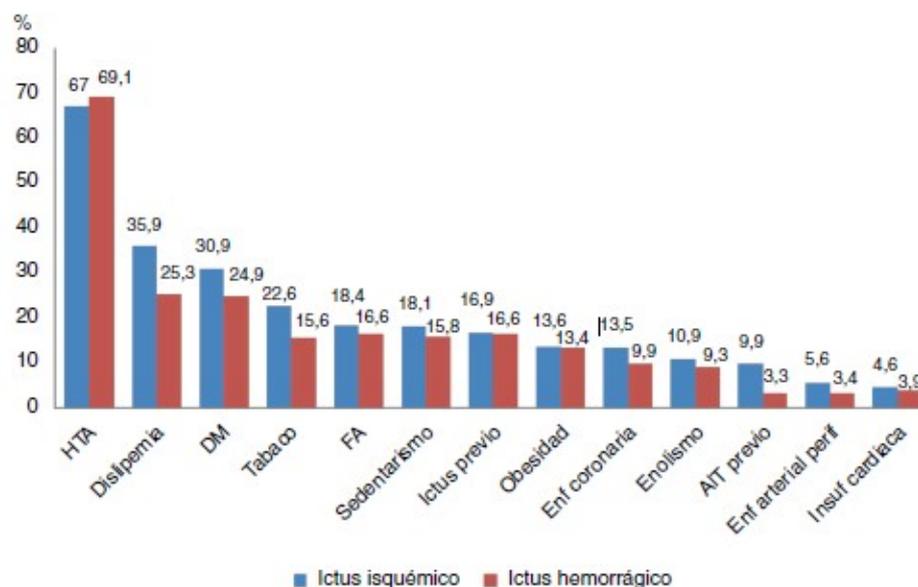


Figura 2.1: Prevalencia de los factores de riesgo vascular según la clasificación del ictus(isquémico/hemorrágico). [5]

2.4. Vida después del ictus

Después de un ictus, un tercio de las personas tiene una recuperación satisfactoria, otro tercio queda con secuelas graves y el otro tercio de los ictus son fatales [6]. La tercera parte de los fallecimientos ocurre durante el ingreso hospitalario y el resto, en los meses siguientes.

El principal factor que determina el alcance de las secuelas posteriores a un ictus es su gravedad inicial, que está relacionada con el tamaño de la arteria obstruida y del área del cerebro lesionada.

Otro de los factores principales es la edad del paciente, ya que las personas mayores tienen una capacidad limitada de recuperación y con frecuencia tienen otras enfermedades que pueden complicar la evolución después de un ictus. De todas formas, es más importante la edad biológica que la cronológica, es decir, una salud previa buena favorece a la recuperación del ictus con independencia de la edad del paciente.

2.5. Complicaciones y secuelas tras un ictus

Las personas que han tenido un ictus pueden padecer algunas complicaciones y secuelas, entre las cuales podemos encontrar:

- Pérdida de fuerza, falta de coordinación o pérdida del control de movimiento, lo que puede llevar a una propensión a caerse.
- Alteraciones del estado de ánimo.
- Trastornos visuales. A veces, se produce una pérdida de visión de la mitad del campo visual.
- Trastorno en el lenguaje.
- Deterioro cognitivo: disminución de la memoria, atención, orientación, dificultad en la planificación y organización en las tareas.

2.6. Rehabilitación tras un ictus

La rehabilitación es un proceso limitado en el tiempo, cuyo objetivo es prevenir complicaciones y reducir el déficit neurológico a fin de conseguir la máxima capacidad funcional posible para facilitar la autonomía personal y la reintegración familiar y socio-laboral [1].

Tras la fase aguda, la neurorrehabilitación representa la única oportunidad de mejora para los pacientes que presentan una secuela tras el ictus y, a diferencia de la fibrinólisis, se estima que podría aplicarse aproximadamente al 40 % de todos los ictus (isquémicos y hemorrágicos). La neurorrehabilitación se ha definido como el conjunto de métodos que tiene por finalidad recuperar las funciones neurológicas perdidas o

disminuidas como consecuencia de un daño cerebral. En los pacientes que han sufrido un ictus, los métodos empleados aprovechan la plasticidad cerebral para mejorar o normalizar los déficit neurológicos y funcionales.

2.6.1. Tratamientos tradicionales del ictus

El tipo de tratamiento va a depender en gran medida del tipo de ictus sufrido. Es por ello que podemos encontrar tratamientos para ictus isquémicos como tratamientos para ictus hemorrágicos

2.6.1.1. Tratamientos para ictus isquémicos

En el tratamiento de un ictus isquémico se distinguen dos fases diferenciadas [1]:

- En un primer momento el objetivo fundamental es restablecer el flujo sanguíneo cuanto antes para conseguir que la lesión cerebral tenga el mínimo impacto posible.
- En la segunda etapa el objetivo es evitar que el paciente vuelva a tener un ictus, con lo que se administra un tratamiento preventivo ajustado a la causa del ictus.

Durante las primeras horas del ictus el tiempo es crucial ya que, de media, cada minuto que pasa mueren dos millones de neuronas. Por eso, los tratamientos que permiten recuperar el flujo sanguíneo se deben utilizar hasta 24 horas después del ictus. Estos tratamientos se denominan tratamientos revasculizadores, y los más importantes son:

- Trombólisis endovenosa: Consiste en administrar a través de la vena una medicación que disuelve el trombo. Actualmente, uno de los fármacos más utilizados es el glutamato.
- Trombectomía mecánica: Este tratamiento se utiliza cuando un trombo ha obstruido una de las arterias más grandes que lleva el flujo sanguíneo al cerebro. Consiste en introducir catéteres por la arteria de la ingle para llegar a la arteria cerebral ocluida y destaparla.

2.6.1.2. Tratamientos para ictus hemorrágicos

En los ictus hemorrágicos si el sangrado está cerca de la superficie del cerebro se puede realizar una intervención quirúrgica para evacuar la sangre o tratar la lesión que haya provocado el sangrado, como es el caso de malformaciones vasculares. También es posible que el paciente necesite una angiografía para reparar el vaso sanguíneo dañado. Por ejemplo, en caso de que la hemorragia sea secundaria a un aneurisma, este se puede tapar mediante la colocación de unos alambres o mediante la colocación de unas pinzas mediante cirugía. Estas intervenciones dejan la pared del vaso lesionado fuera de la circulación, con lo que se evita que pueda volver a sangrar.

Capítulo 3

Realidad virtual

La realidad virtual es un sistema o interfaz informático que genera en tiempo real una representación de una realidad perceptiva, sin soporte objetivo, que existe solo dentro del ordenador. Esta virtualidad supera barreras espacio-temporales y configura un entorno en el que la información y la comunicación se muestran accesibles desde perspectivas hasta ahora desconocidas en cuanto a volumen y posibilidades. Constituye una tecnología cuya principal característica es la posibilidad de interacción y un feedback sensorial del sujeto con un entorno virtual multidimensional, altamente motivante, en el que desenvolverse en actividades o tareas comparables a situaciones reales, permitiendo una gradación en la intensidad y en la dificultad de éstas, y ofreciendo información en tiempo real de los objetivos alcanzados [7].

Cuando se utiliza la RV, los ambientes y los objetos virtuales proporcionan al usuario información visual (que puede presentarse a través de un dispositivo instalado en la cabeza, un sistema de proyección, o una pantalla plana), información auditiva, táctil, olfativa, y movimiento. Existe una gran variedad de interfaces para interactuar con el entorno virtual, que comprenden desde dispositivos comunes (ratón, teclado, joystick), hasta dispositivos complejos con sistemas de captura de movimientos o dispositivos hápticos que pueden proporcionar un feedback táctil y darle al usuario la sensación de que está manipulando objetos reales. El entorno de RV generado, depende del equipo y del programa informático utilizado. [8]

Los ambientes virtuales pueden variar en el grado de inmersión por parte del usuario. El término de inmersión se define como el grado de percepción por parte del usuario de encontrarse físicamente en el mundo virtual en lugar de en el mundo real. Teniendo en cuenta este aspecto, existen 2 tipos de dispositivos/sistemas de RV:

- Realidad virtual inmersiva: El usuario está integrado totalmente dentro del ambiente virtual, viendo solo las imágenes generadas por el ordenador, bloqueándose el resto del mundo físico.
- Realidad virtual no inmersiva: Sistemas de RV semi-inmersivos o no inmersivos, en los cuales el usuario percibe parte del mundo real y parte del mundo-entorno virtual. No hay una inmersión total en el entorno virtual. Los entornos virtuales no inmersivos se diferencian de los anteriores por su bajo coste y el no necesitar de otros dispositivos o hardware adicionales al propio ordenador. A través de una ventana de escritorio se interacciona con el mundo virtual simplemente con

un sencillo mando, un teclado o un ratón. Esto hace que estos sistemas resulten más accesibles y rápidamente aceptados por parte de los usuarios.

3.1. Realidad virtual en medicina

Durante la última década, la aplicación de la tecnología RV se ha expandido de la industria del entretenimiento a la medicina clínica. Investigadores y médicos han explorado los efectos de la simulación de realidad virtual en la rehabilitación física, el manejo del dolor, el entrenamiento quirúrgico, la educación anatómica y el tratamiento de los trastornos psiquiátricos. En comparación con los métodos tradicionales, la tecnología RV se considera una herramienta rentable y eficiente en las áreas mencionadas [9].

Aunque los dispositivos de realidad virtual tienen una estructura similar, las discrepancias en los requisitos de hardware y software a menudo surgen debido a los diferentes campos de aplicación. Además, diferentes investigadores enfatizan diferentes modelos de utilización de la investigación. Por ejemplo, los simuladores de realidad virtual para educación se centran en el entorno 3D y los recursos de red. Los simuladores de realidad virtual para el entrenamiento quirúrgico se centran en la interacción con los dispositivos de operación y la estructura anatómica virtual. Los simuladores de realidad virtual para trastornos psicológicos se centran en el control de las emociones y la retroalimentación. El objetivo principal de este capítulo es discutir la aplicación de la tecnología RV en medicina clínica, así como las aplicaciones comúnmente utilizadas.

3.1.1. Tecnología VR para entrenamiento quirúrgico

Durante décadas, la adquisición de habilidades técnicas en el quirófano bajo la supervisión de cirujanos senior ha sido la única forma en que los médicos junior pueden recibir capacitación quirúrgica [10]. A medida que pasan los años, las oportunidades para adquirir las habilidades técnicas necesarias se vuelven cada vez más limitadas debido a los mayores costes, las preocupaciones éticas y la disminución de las horas de trabajo de los residentes. La consecuencia real e inmediata de estas políticas ha sido una reducción continua en la experiencia práctica y la experiencia quirúrgica independiente para los alumnos [11]. En estas circunstancias, la capacitación en realidad virtual se ha convertido en un requisito previo esencial para los médicos junior antes de que se les permita participar activamente en operaciones reales.

En comparación con los modelos de aprendizaje que existen a día de hoy para la enseñanza de médicos, las simulaciones de realidad virtual son más realistas debido a las estructuras anatómicas muy intuitivas que se muestran en los gráficos 3D. Los alumnos pueden interactuar con todas las estructuras anatómicas, incluidas la piel, los músculos, los huesos, los nervios y los vasos sanguíneos. Los cambios que ocurren después de cada paso quirúrgico son muy similares a los de la realidad. El rendimiento total se puede registrar, comparar y analizar, haciendo que los datos estén permanentemente disponibles para los alumnos [10]. Desde una perspectiva

diferente, la supervisión senior y la participación del paciente ya no son necesarias durante el período de capacitación y adquisición de habilidades básicas, ya que las simulaciones de VR pueden proporcionar un entorno virtual controlado necesario para satisfacer estos requisitos fuera del quirófano. Múltiples aspectos de las habilidades de desempeño psicomotor de un aprendiz pueden medirse directamente mediante la evaluación objetiva del desempeño ofrecida por las simulaciones.

Un ejemplo sería la técnica laparoscópica, en donde podemos encontrar los siguientes entornos de realidad virtual inmersiva más usados [12]:

- LapSim (Surgical Science, Suecia)
- Lap Mentor (Sistema 3D, EE. UU.)
- MIST-VR (entrenador virtual quirúrgico mínimamente invasivo, realidad virtual, Mentice AB, Suecia)
- Simendo (Simendo, Holanda)

3.1.2. Realidad virtual para el tratamiento de fobias

Con un sistema inmersivo de Realidad Virtual tenemos la capacidad de generar cualquier tipo de entorno o situación. En el caso del tratamiento psicológico de traumas y fobias se beneficia de esta tecnología sin poner en peligro al paciente [13].

En este sentido se recrea virtualmente una situación de estrés que va aumentando progresivamente y de manera controlada para diagnosticar y tratar la fobia o trauma. Con este sistema el paciente se va adaptando a las situaciones incómodas en realidad virtual para después aplicarlo a la vida real [13]. Este sistema permite recrear escenarios de ciertas fobias que son de difícil acceso en vivo como por ejemplo el miedo a volar. Además, cuenta con un terapeuta que es el que controla los estímulos en tiempo real en el momento de la reacción a la fobia.

Todo esto se consigue utilizando gafas de realidad virtual, y creando un entorno de realidad virtual inmersiva. [14].

3.1.3. Realidad virtual para tratamiento de trastornos

Saber cómo reaccionar a ciertos estímulos o interactuar con otras personas son situaciones comunes que nos pueden resultar de lo más triviales. Las personas que sufren de autismo y más en concreto el síndrome de Asperger, se caracteriza por la dificultad de interacción social, dificultad en abstracción de conceptos o la interpretación de emociones tanto ajenas como propias del paciente [15].

La realidad virtual y la realidad mixta pueden ayudar al entrenamiento de ciertas habilidades comunicativas en un entorno controlado. Saber interactuar con otras personas o aprender ciertas acciones como cruzar la calle pueden llevarse a un simulador construido con esta tecnología, al tiempo que se está exhaustivamente controlado por los médicos para monitorizar la respuesta a los estímulos. Ya que este síndrome se detecta a muy temprana edad, es muy fácil empezar a entrenar estas

habilidades como una manera de jugar. Psious es una de las compañías pioneras a nivel mundial en el desarrollo de esta tecnología con fines terapéuticos. La empresa barcelonesa ofrece simulaciones 3D inmersivas diseñadas para tratar gran variedad de trastornos mentales.

Para llevar esto a cabo, un equipo multidisciplinar de psicólogos, artistas 3D e ingenieros trabajan en conjunto para crear la primera plataforma inmersiva online del mercado, centrada en poner al alcance de cualquier persona este tipo de tratamiento. Esta empresa cuenta con su propio entorno virtual inmersivo, T-Room, para diagnóstico e intervención del autismo, que ha conseguido discriminar con un 90 % de precisión un niño TEA de uno normotípico, en su primera fase de investigación [15].

3.1.4. Realidad virtual para la rehabilitación de pacientes

La RV empieza a utilizarse en la rehabilitación/terapia física con el objetivo de mejorar la función motora. En la actualidad, esta tecnología se aplica cada vez más en patologías de origen neurológico (ictus, enfermedad de Parkinson, lesiones medulares, parálisis cerebral infantil, entre otros), mejorando de manera muy positiva las evaluaciones, las intervenciones, así como la motivación de los pacientes para alcanzar el más alto nivel de mejora funcional [8].

En estos últimos años se han publicado un gran número de artículos utilizando la RV en pacientes con ictus, con el objetivo de valorar la validez, así como la dificultad/facilidad en el uso de los diferentes dispositivos de RV.

Se conoce que la práctica reiterada e intensiva de tareas motrices relevantes para el paciente con ictus promueve la recuperación funcional y estimula la realización autónoma de las habilidades entrenadas. Como parte de este enfoque de entrenamiento motor orientado a tareas, existen terapias que utilizan sistemas de realidad virtual que han sido empleadas en pacientes con daño cerebral, inicialmente en fase experimental, y posteriormente como coadyuvante de los tratamientos convencionales. A pesar de que es posible que faciliten fenómenos de reorganización cortical y neuroplasticidad, todavía no bien esclarecidos, su utilización continúa siendo relativamente limitada. Estos sistemas, en virtud de su cada vez mayor accesibilidad y portabilidad, permiten extender el tratamiento al domicilio e intensificar el programa de ejercicios con los beneficios que esto supone desde el punto de vista funcional. Además, los avances en el campo de la telemedicina permitirán al clínico desde el hospital valorar en tiempo real los progresos realizados y modificar o ajustar un programa individualizado de ejercicios en función de los objetivos alcanzados por los pacientes [7].

Dentro de los dispositivos de realidad virtual inmersiva, podemos destacar los siguientes:

- Sistema Interactive Rehabilitation Exercise (IREXs): Este sistema consta de un ordenador desde el cual se desarrolla el programa, una pantalla grande en la que se representa en forma de avatar la imagen del paciente que es captada por una videocámara, y un guante de datos que proporciona al paciente plena libertad de movimiento para la realización de los ejercicios virtuales programados (ver Figura 3.1).

Debido a estas características, en la última década la aplicación de la tecnología VR se ha expandido de la industria del entretenimiento a la medicina clínica. Investigadores y médicos han explorado los efectos de la simulación de realidad virtual en la rehabilitación física, el manejo del dolor, el entrenamiento quirúrgico, la educación anatómica y el tratamiento de los trastornos psiquiátricos. En comparación con los métodos tradicionales, la tecnología VR se considera una herramienta rentable y eficiente en las áreas mencionadas [16].

- Rutgers Master II-ND: es un prototipo de guante cibernético que consta de unos cilindros neumáticos en la palma de la mano, de manera que al ser activados aplican una fuerza sobre los cuatro primeros dedos. Se pueden realizar con éste ejercicios de presión y pinza, asistidos y resistidos, en un entorno virtual simulado (ver Figura 3.1).



(a)



(b)

Figura 3.1: (a) Sistema IREX (b) Sistema de rehabilitación Rutgers Master II-ND [7].

- Rutgers Ankle Rehabilitation System: consiste en unas plataformas de fuerza robóticas, con seis grados de libertad de movimiento que se acoplan a tobillos y pies, registrando las fuerzas y siguiendo los movimientos de éstos. El paciente las utiliza a modo de joystick al tiempo que interactúa con una situación virtual que se le presenta en la pantalla de un ordenador en forma de ejercicio (ver Figura 3.2).
- CyberGloves: es un guante de datos compuesto de licra y cables de fibra de vidrio para cada dedo que posee 18 o 22 sensores de ángulo de la articulación distribuidos a lo largo de los dedos, la palma de la mano y la muñeca. Cada fibra posee un emisor de luz al principio y un sensor al final, de modo que se pueden determinar los giros por la intensidad de luz recibida. Permite realizar ejercicios de recorrido articular a diferente velocidad con todos los dedos a la vez o con cada dedo de la mano por separado. El software proporciona en tiempo real información visual y numérica que se utiliza como feedback para alcanzar el objetivo marcado con el ejercicio (ver Figura 3.2).

Entre los sistemas no inmersivos de realidad virtual cabe mencionar las consolas comerciales de bajo coste (Nintendo Wiis y Sony Playstation 2 Eye Toys).

*(c)**(d)*

Figura 3.2: *(c)* Sistema de rehabilitación Rutgers Ankle *(d)* Guante CyberGlove [7].

Capítulo 4

Herramientas utilizadas en el desarrollo

Este capítulo establece una primera aproximación a los principales objetivos del TFG; crear un entorno de realidad virtual no inmersiva de bajo coste, que permita la rehabilitación del paciente, así como un seguimiento de la evolución del mismo durante las sesiones. Es por ello que para el desarrollo del entorno se utiliza Unity3d, debido a su gran capacidad para la creación de videojuegos, así como otras características que se expondrán en el punto 4.1. Para el seguimiento del paciente se usara SQLite, una plataforma ligera y, lo mas importante para su elección, de dominio local, sin tener que acceder a la nube para ver los registros del paciente. El resto de ventajas y características que proporciona SQLite se documentan en el punto 4.2 de este capítulo.

4.1. Unity

La primera versión de Unity se lanzó en la Conferencia Mundial de Desarrolladores de Apple en 2005. Fue construido exclusivamente para funcionar y generar proyectos en los equipos de la plataforma Mac y obtuvo el éxito suficiente como para continuar con el desarrollo del motor y herramientas. Unity 3 fue lanzado en septiembre de 2010 y su principal objetivo fue proporcionar las herramientas necesarias de desarrollo a empresas tanto de gama alta como independientes, con el fin de captar el interés de los desarrolladores. La última versión de Unity, Unity 5, lanzada a principios de 2015, se anunció en Game Developers e incluye añadidos como Mecanim animation, soporte para DirectX 11 y soporte para juegos en Linux y arreglo de bugs y texturas.

La elección de Unity como plataforma de desarrollo se debe a las ventajas que ofrece con respecto a otras alternativas, como pueden ser Unreal Engine y Godot, en cuanto a documentación, plataformas soportadas, lenguaje de programación utilizado, curva de aprendizaje así como los recursos adicionales que proporciona. En concreto:

- Uno de los principales puntos fuertes de Unity es la cantidad de documentación disponible ya sean manuales y tutoriales que se pueden encontrar en su página oficial como en otras páginas de internet. Además, cuenta con una comunidad muy activa que responden y plantean multitud de preguntas.

- Otra de las ventajas de Unity es la rapidez con la que se puede empezar a trabajar, es una herramienta muy versátil para el prototipado y además tiene una curva de aprendizaje muy fácil tanto por la estructura de su editor como por el uso de un lenguaje de programación sencillo como puede C#.
- También tenemos gran variedad de contenido de terceros, tanto para encontrar props, personajes, scripts, música o proyectos completos en la tienda oficial (ya sean de pago o algunos gratuitos y de gran calidad) como para encontrar plugins de terceros que nos facilitan la integración de características en nuestro juego como puede ser el uso de Facebook, Google Play Services, etc.
- Unity también nos ofrece una gran variedad de plataformas de publicación siendo el más completo en este aspecto. Además, Unity nos ofrece una gran variedad y calidad de herramientas para la realización de animaciones y de cinemáticas dentro de nuestro juego.

A continuación se enumeran las principales características de Unity3D:

- Editor de Unity: permite agrupar rápidamente todas las escenas en un espacio de trabajo, mediante el uso de un editor intuitivo y fiable (es posible organizar y controlar diferentes escenas desde un solo editor).
- Desarrollo de videojuegos de gran calidad, en pocos pasos, que se adaptan a todo tipo de resoluciones, proporcionando un control absoluto de las escenas creadas.
- Posibilita la publicación en numerosas plataformas, sin realizar ninguna tarea de implementación extra.
- Herramientas dedicadas para la creación de contenido 2D y 3D.
- Importación de modelos y animaciones realizadas con otras aplicaciones 3D, como pueden ser Blender, Maya, 3ds Max, Modo, Cinema 4D, etc., en el que Unity realizará y actualizará los cambios en todo el proyecto.
- Construcción rápida de escenas (niveles de juego) para añadir nuestros objetos 2D y 3D.
- Control exhaustivo de los recursos consumidos, con una ventana
- Integración con los motores de físicas de NVIDIA(r) PhysX(r) y Box2D.
- Iluminación de sombras en tiempo real, además de proporcionar una herramienta llamada «Particle System», encargada de simular líquidos, llamas o nubes mediante el uso de pequeñas imágenes 2D en la escena.

Además, proporciona las siguientes ventajas:

- Soporta OpenGL ES 3.0 (plataforma Android).
- Es multiplataforma.
- Permite la programación utilizando una gran variedad de lenguajes de scripts.

- Permite llamar a funciones personalizadas escritas en C/C++.
- Proporciona una API para acceder a diversos datos de entrada y de ajustes de Android.
- Documentación muy completa en la página del fabricante
- Orientado a componentes, que permitan aumentar los módulos de un videojuego.
- Dispone de una modalidad de licencia gratuita que nos permite desarrollar juegos desde el primer momento sin coste alguno, con acceso a recursos para facilitar esta tarea

4.2. SQLite

SQLite es la plataforma que se utilizará para crear en Unity una base de datos que registre la actividad del paciente de forma local.

SQLite es una biblioteca escrita en lenguaje C que implementa un sistema de gestión de bases de datos transaccionales SQL auto-contenido, sin servidor y sin configuración. El código de SQLite es de dominio público y libre para cualquier uso, ya sea comercial o privado. Actualmente es utilizado en gran cantidad de aplicaciones incluyendo algunas desarrolladas como proyectos de alto nivel.

Las principales características de SQLite son:

- SQLite es un sistema completo de bases de datos que soporta múltiples tablas, índices, triggers y vistas. No necesita un proceso separado funcionando como servidor ya que lee y escribe directamente sobre archivos que se encuentran en el disco duro. El formato de la base de datos es multiplataforma e indistintamente se puede utilizar el mismo archivo en sistemas de 32 y 64 bits.
- La base de datos se almacena en un único fichero a diferencia de otros DBMS que hacen uso de varios archivos. SQLite emplea registros de tamaño variable de forma tal que se utiliza el espacio en disco que es realmente necesario en cada momento.
- El código fuente está pensado para que sea entendido y accesible por programadores promedio. Todas las funciones y estructuras están bien documentadas.
- Existe un programa independiente de nombre `sqlite` que puede ser utilizado para consultar y gestionar los ficheros de base de datos SQLite. También sirve como ejemplo para la escritura de aplicaciones utilizando la biblioteca SQLite.

SQLite usa un sistema de tipos inusual. En lugar de asignar un tipo a una columna como en la mayor parte de los sistemas de bases de datos SQL, los tipos se asignan a los valores individuales.

Cada uno de los datos almacenados en una base de datos SQLite implementa alguno de los siguientes tipos:

- NULL, un valor nulo.

- INTEGER, un entero con signo que se almacena en 1, 2, 3, 4, 5, 6 o 8 bytes de acuerdo a la magnitud del valor.
- REAL, un número de coma flotante (real), almacenado en 8 bytes.
- TEXT, una cadena de texto almacenada con las codificaciones UTF-8, UTF-16BE o UTF-16-LE.
- BLOB, datos en formato binario, se almacenan exactamente como se introdujeron. aplicación.

Las principales ventajas que ofrece SQLite son:

- Tamaño: SQLite tiene una pequeña memoria y una única biblioteca es necesaria para acceder a bases de datos, lo que lo hace ideal para aplicaciones de bases de datos incorporadas.
- Rendimiento de base de datos: SQLite realiza operaciones de manera eficiente y es más rápido que MySQL y PostgreSQL.
- Portabilidad: se ejecuta en muchas plataformas y sus bases de datos pueden ser fácilmente portadas sin ninguna configuración o administración.
- Estabilidad: SQLite es compatible con ACID, reunión de los cuatro criterios de Atomicidad, Consistencia, Aislamiento y Durabilidad.
- SQL: implementa un gran subconjunto de la ANSI – 92 SQL estándar, incluyendo sub-consultas, generación de usuarios, vistas y triggers.
- Interfaces: cuenta con diferentes interfaces del API, las cuales permiten trabajar con C++, PHP, Perl, Python, Ruby, Tcl, Groovy, Qt ofrece el plugin sqlite, etc.
- Costo: SQLite es de dominio público, y por tanto, es libre de utilizar para cualquier propósito sin costo y se puede redistribuir libremente.

Por último, cabe destacar que hay un gran número de aplicaciones que utilizan esta plataforma tales como Photoshop LightRoom, Adobe Reader, Mac OS-X, Firefox, Android o Solaris.

Capítulo 5

Implementación de la plataforma de rehabilitación

Para poder llevar a cabo una rehabilitación cognitiva exitosa, se han implementado diferentes actividades a realizar dentro del juego: realizar la lista de la compra, sistema de compra dentro del supermercado y una posterior escena de pago. De esta forma el paciente podrá trabajar aspectos de memoria, planificación, velocidad, entre otros. Para hacer una plataforma completa, contaremos con una serie de menús principales entre los cuales el paciente se puede ir moviendo, regulando la dificultad y el tipo de escena que se desee para completar la simulación. Según lo que elija el paciente, tendrá que elaborar una lista de la compra con una serie de artículos que vienen por defecto en la escena. Esta lista de la compra con los elementos seleccionados por el paciente aparecerá en la escena del supermercado, teniendo que completarla para finalizar la simulación. El nivel de dificultad escogido es importante ya que determinara el numero de artículos que debe elegir el paciente y determinara el tiempo que aparece la lista en pantalla dentro de la escena del supermercado. Además, cada vez que el usuario acaba la actividad, los resultados se guardan en tiempo real en la base de datos creada con SQLite.

Es importante destacar que, para evitar situaciones de estrés por parte del paciente, todos los menús y todas las escenas implementadas se han desarrollado para que sean lo mas intuitivas posibles, incorporando mensajes que ayudan a la comprensión del juego. Además, no se establece un tiempo mínimo para que el paciente tenga que realizar la actividad, sino que este dispone de todo el tiempo que necesite para completar la simulación. Lo importante es ver una evolución del paciente sin tener en cuenta los resultados obtenidos. Por último, durante todo la actividad, se irán mostrando mensajes interactivos a medida que el paciente vaya completando tareas, ya sea porque lo ha completado de forma exitosa o porque ha cometido un error. De esta forma, el paciente siempre sabrá la dirección para completar la simulación de forma satisfactoria.

Para crear una plataforma de rehabilitación funcional se han implementado hasta un total de 6 escenas encadenadas que son: menú principal, menú secundario, escena del supermercado, escena de pago, escena de visualización de resultados y base de datos

5.1. Menú principal

La primera vista que se tiene del juego es la que se presenta en la Figura 5.1: Esta pantalla es un menú de inicio de sesión en donde se pueden llevar a cabo varios



Figura 5.1: Menú inicio de sesión

procesos. En primer lugar, en caso de que se quiera inicializar la simulación para la rehabilitación del paciente, se deberá introducir un nombre y un DNI, los cuales figurarán luego en la base de datos. En segundo lugar, si el personal médico quiere acceder al registro de los pacientes puede acceder a través del botón “Base de Datos” incorporado como se ve en la Figura 5.1, Esta opción abrirá la aplicación SQLite con los correspondientes registros de los pacientes. Por último, se ha incorporado un botón de salir, que permite al personal médico salir del juego. En el caso de que se quiera iniciar sesión para que el paciente lleve a cabo la actividad, se debe introducir de forma obligatoria un nombre y DNI, como ya se ha mencionado con anterioridad, de forma que, si alguno de estos dos campos permanece vacío, no se podrá acceder al interior del juego. Una vez introducidas las credenciales, pasaremos a un segundo menú, que es el menú principal(ver Figura 5.2. En este menú, podemos encontrar las siguientes características. En primer lugar, un botón de cierre de sesión, con el cual se accede de nuevo al menú de inicio de sesión, con el fin de cambiar entre pacientes. Posteriormente, un botón que permite acceder a una ventana de configuración básica dentro del juego, como puede ser el sonido, el brillo o algunos ajustes de control (ver Figura 5.3).

Por último, un botón de inicio del juego, el cual permite al usuario acceder al menú secundario y empezar con la actividad.



Figura 5.2: Menú principal

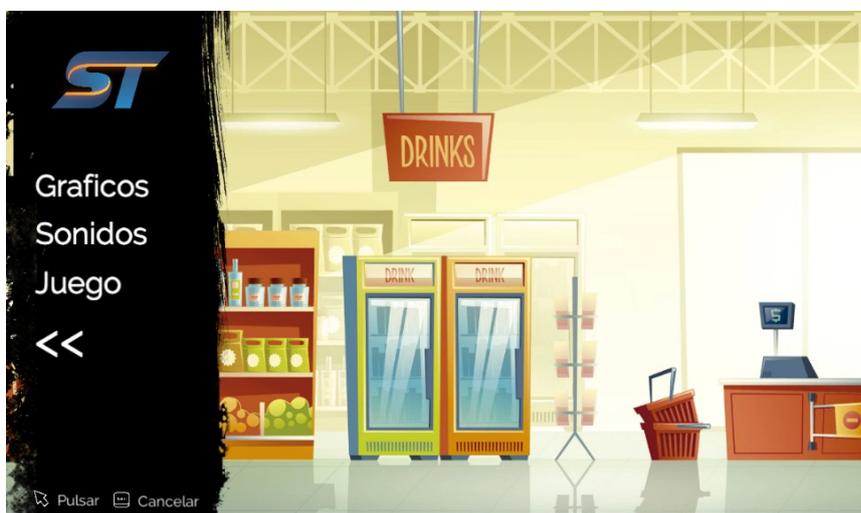


Figura 5.3: Ventana de opciones

5.2. Menú secundario

Como se puede ver en la Figura 5.4, este menú consta de 4 apartados, cada uno de ellos configurado como un botón: Dificultad, Evento, Hacer Lista e Ir al menú.

En el apartado de Dificultad, se selecciona el nivel con el que el paciente llevará a cabo la actividad (Ver Figura 5.5). Si se quiere aumentar o disminuir la dificultad solo hay que presionar los botones de izquierda o derecha y confirmar ese nivel. Seleccionar un nivel u otro influye a la hora de hacer la compra. A mayor nivel, más artículos hay que incluir en la lista, y menor es el tiempo que la lista de la compra aparece en la escena del supermercado. Las características de cada nivel son las siguientes:

- Nivel 1: Se seleccionan 4 alimentos y el tiempo de la lista es indefinido. Con esto conseguimos que el paciente tome un primer contacto con el juego.
- Nivel 2: En este nivel se deben seleccionar 5 alimentos, y el tiempo que aparece



Figura 5.4: Captura del menú secundario

la lista en pantalla es de 1 minuto.

- Nivel 3: Para este nivel, el paciente debe seleccionar 6 alimentos y la lista de la compra permanece en pantalla por 45 segundos.
- Nivel 4: En este último nivel, se seleccionan 7 alimentos y el tiempo que la lista permanece en activo es de 30 segundos



Figura 5.5: Captura del apartado de seleccionar un nivel

Una vez seleccionado el nivel de dificultad es cuando comienza la fase de rehabilitación del paciente. El primer aspecto que se va a trabajar es la planificación, es decir, llevar a cabo una serie de actividades antes de realizar una actividad final. En este caso la primera actividad que tiene que hacer el paciente es seleccionar el evento en el que va a estar ambientado el juego (ver Figura 5.6). Consta de 4 escenarios: un desayuno, una comida, una barbacoa y un cumpleaños. Para seleccionar uno u otro sigue la misma estructura que el apartado de niveles.

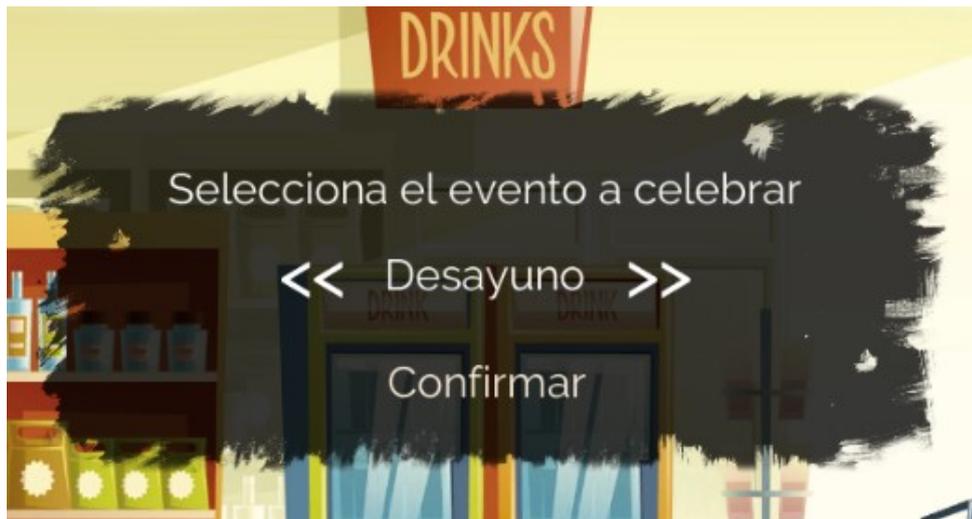


Figura 5.6: Captura del apartado de seleccionar un escenario

Una vez se tiene seleccionado el nivel de dificultad y el escenario, se procede a hacer la lista de la compra, que corresponde a la segunda actividad. Si directamente se hace la lista, por defecto se seleccionan “Nivel 1” y el evento “Desayuno”. Este entorno es dinámico ya que va cambiando dependiendo del nivel y escenario que se seleccione (ver Figura 5.7). Los elementos de la pantalla se adaptan al nivel y al escenario que se hayan seleccionado con anterioridad.

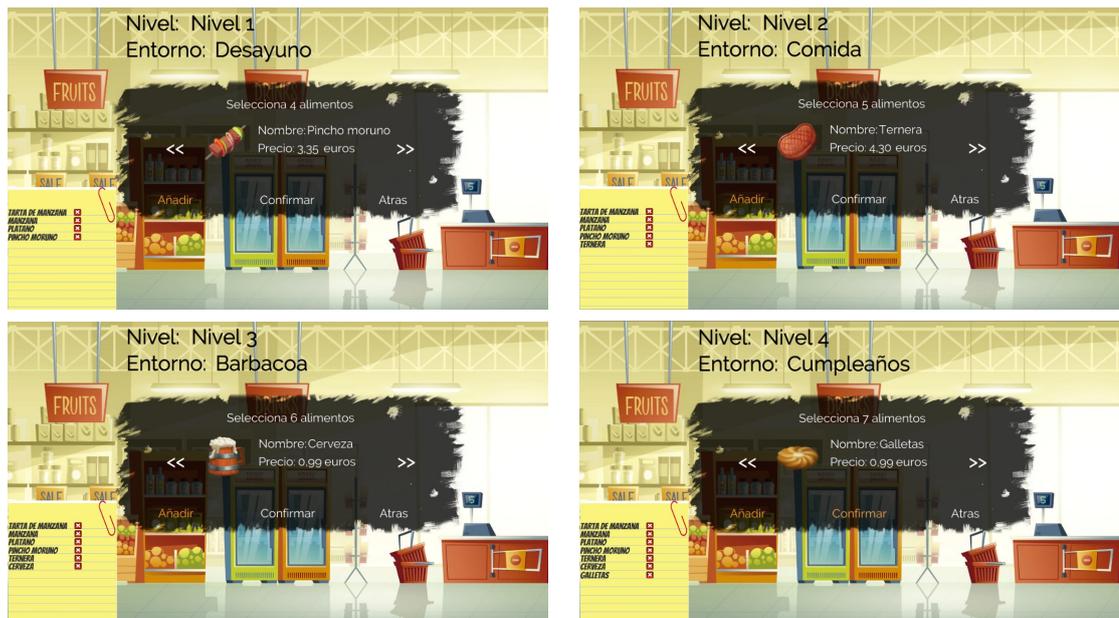


Figura 5.7: Captura de la ventana de 'Hacer lista' con todos los eventos posibles.

Para hacer la lista, el paciente dispone de hasta 39 alimentos. Estos alimentos están compuestos por una imagen, un nombre y un precio, permitiendo al paciente tener una perspectiva clara de lo que se está viendo en todo momento. El paciente puede ir seleccionando el alimento que considere oportuno para cada escenario seleccionado previamente. Pulsando en el botón 'Añadir', el nombre de dicho alimento aparece en la lista amarilla de la esquina inferior izquierda. En caso de querer quitar un alimento de la lista, basta con hacer click sobre la cruz roja que se encuentra al lado del nombre del alimento (ver Figura 5.8). Todo esto se consigue a partir de unas listas creadas que se van actualizando a medida que añadimos o quitamos objetos de la lista. En concreto, se dispone de dos listas. La primera es una lista que contiene los nombres de los alimentos seleccionados. La segunda lista contiene los precios de los artículos de la primera.



Figura 5.8: Lista de la compra con botones para eliminar los artículos.

El botón “Atrás” hace que el usuario vuelva al menú secundario, reseteando los valores de las listas a sus valores iniciales, es decir, vaciarlas.

El botón confirmar tiene una doble funcionalidad. En primer lugar guarda la lista definitiva en una variable estática (static) para que estos valores se puedan ir traspasando entre las diferentes escenas y así poder utilizarlos más adelante. En segundo lugar, hace la suma de todos los valores que constituyen la lista de los precios de los productos y guarda el resultado dentro de una variable, también estática, para así poder utilizarlo en la escena de pago. Además, este botón es accesible únicamente cuando el paciente cumple con los requisitos establecidos en cada nivel, apareciendo un mensaje en pantalla si tienes más o menos artículos de los que corresponde. Esta restricción permite que el paciente esté obligado a seleccionar una serie de alimentos correspondientes, evitando que inicie el juego con la lista de la compra vacía.

5.3. Escena supermercado

En esta escena ya entra en juego el desarrollo de las capacidades motrices del paciente, así como el trabajo de memoria mencionado anteriormente. Lo primero que se va a encontrar el paciente nada más inicializar la simulación dentro del supermercado, es un panel con los controles básicos del juego (ver Figura 5.9).



Figura 5.9: Panel de controles

Una vez el paciente le da a comenzar, empieza el juego. En esta escena, se han creado una serie de variables que recogen datos relevantes de la simulación que se podrán visualizar en escenas posteriores, tales como el tiempo de simulación dentro del supermercado, el número de fallos cometidos y el número de ayudas solicitadas por el paciente. Todas ellas se declaran como variables estáticas. El paciente tendrá que moverse por el supermercado intentando encontrar cada uno de los alimentos seleccionados en la escena anterior. Para ello, el paciente está simulado como un controlador en primera persona, que cuenta con una cámara y un cuerpo rígido que le proporciona físicas al personaje dentro del juego, permitiéndole interactuar con el entorno. A su vez, todo el entorno está constituido por una malla que le provee de colisiones para que el personaje no atraviese los elementos del supermercado. Para poder encontrar cada uno de los artículos de la lista, el supermercado tiene repartidos por el entorno unos puntos de interacción en los cuales se pueden encontrar diferentes alimentos (ver Figura 5.10).

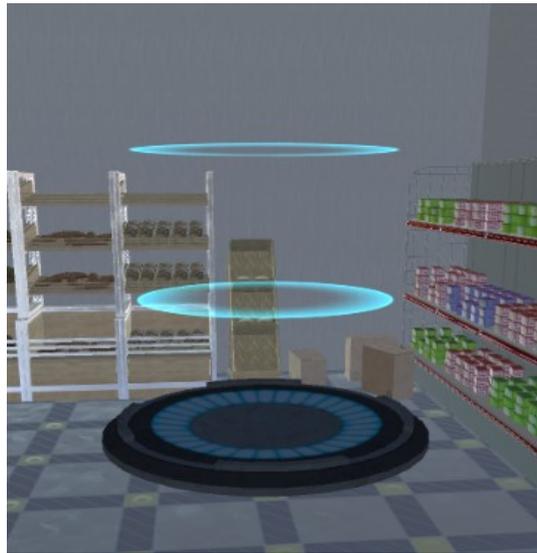


Figura 5.10: Puntos de interacción del supermercado

Cuando el controlador se sitúa encima de cada uno de los puntos de interacción, aparece un menú con los diferentes artículos que compone dicho punto de interacción, tal y como se puede apreciar en la Figura 5.11.



Figura 5.11: Menú de alimentos

Cada uno de los alimentos presentes en estos menús, se modelan como botones que interactúan con la lista de la compra. Al hacer click sobre un artículo, se compara el nombre del artículo que compone el botón con los nombres que compone la lista de la compra. Si coinciden, el paciente ha encontrado el alimento, aparece un mensaje interactivo con los elementos que quedan por encontrar, se tacha de la lista de la compra y se deshabilita el botón de ese alimento para evitar errores dentro del juego. Por el contrario, si ese alimento no coincide, aparece un mensaje de error, y se suma un fallo al contador que se había creado anteriormente(ver Figura 5.12).

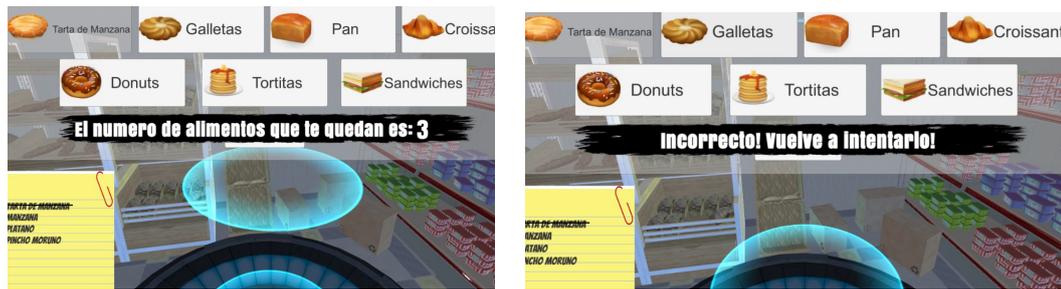


Figura 5.12: Mensajes interactivos de acierto o fallo

También se ha implementado un menú de pausa (ver figura 5.13), desde donde el cual se puede salir completamente del juego, volver al menú principal o reanudar la simulación. Dentro de este menú, el tiempo se para por lo que puede ser útil si el paciente necesita un descanso o surge alguna urgencia. figura 5.13.

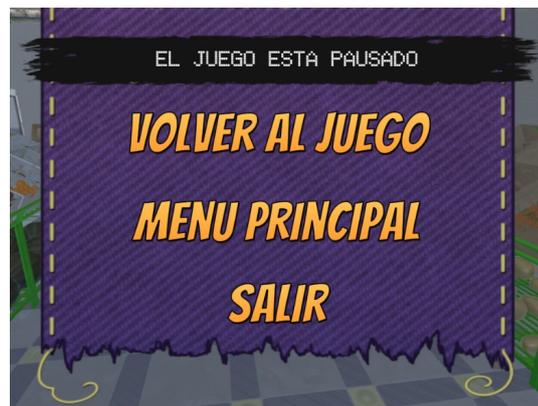


Figura 5.13: Menú de pausa

Como ya se mencionó anteriormente, el juego consta de varios niveles. Por cada nivel, el tiempo que la lista de la compra aparece en pantalla se ve reducido. El principal objetivo de hacer que la lista desaparezca es que el paciente pueda trabajar el aspecto de la memoria. En caso de que el paciente sea incapaz de recordar los alimentos restantes, éste puede solicitar que la lista aparezca durante un tiempo de 30 segundos. Transcurrido ese tiempo desaparece y se incorpora al contador de ayudas creado al principio del juego. Con el fin de evitar que el paciente solicite de manera indefinida la lista y trabaje de forma exitosa la memoria, se han aplicado una serie de restricciones de tiempo sobre la ayuda, teniendo que esperar 1 minuto una vez que la lista desaparece.

Cada vez que el paciente encuentra un artículo, éste se marca como “encontrado”. Si el paciente encuentra todos los artículos correspondientes a cada nivel, se le permitirá acceder al punto de interacción que simula la caja registradora y pasar a la escena de pago.

5.4. Escena de pago

En esta escena se quiere trabajar las partes del lóbulo parietal que intervienen en los procesamientos numéricos. Para ello se ha simulado una caja registradora en la que el paciente debe seleccionar el precio justo de la suma de los artículos que componen la lista de la compra, tal y como se puede apreciar en la Figura 5.14.



Figura 5.14: Escena pago

Durante esta escena se crea una variable que mide el tiempo que tarda el paciente en completar el pago de los productos. El precio total calculado en la escena de la lista de la compra se recupera y se muestra por pantalla para que el paciente en todo momento vea cuanto ha de pagar, tal y como sucede en la vida real. El dinero de esta escena está simulado como botones que a medida que se pulsan van sumando las cantidades correspondientes a la moneda o billete seleccionado. El paciente deberá ir sumando hasta llegar a la cantidad reflejada en "Total a pagar". A partir de aquí pueden surgir 2 opciones. Que el paciente se haya equivocado a la hora de sumar y haya dado al botón de pagar, en cuyo caso aparecerá un mensaje por pantalla indicando que se ha equivocado en el proceso (ver Figura 5.15). Además, por tratarse de un fallo, se le sumará un error al contador de errores cometidos durante la simulación.



Figura 5.15: Fallo durante el proceso de pago

En segundo lugar, que el paciente sume correctamente y por lo tanto al dar al botón de pagar aparecerá un mensaje interactivo de finalización de la actividad, permitiendo posteriormente acceder a la visualización de los resultados (ver Figura 5.16).

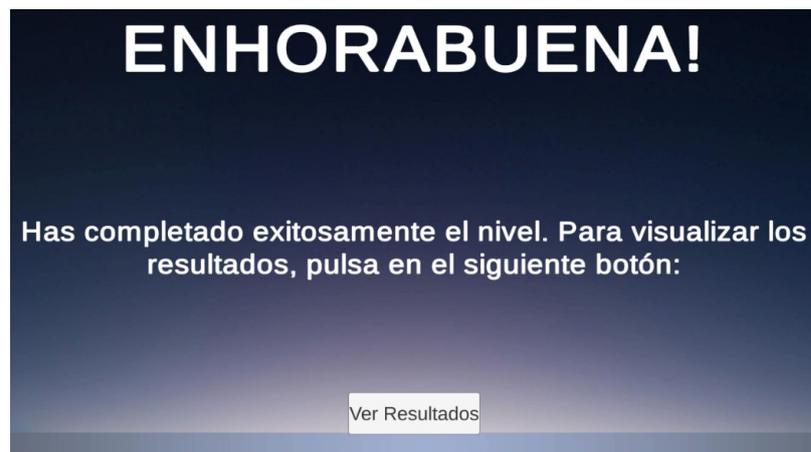


Figura 5.16: Mensaje interactivo tras completar pago exitosamente

5.5. Escena de resultados y base de datos

Como ya se ha mencionado anteriormente, la base de datos que se ha creado se desarrolla utilizando SQLite, la cual se puede conectar localmente a Unity, permitiendo trabajar al personal médico desde el mismo escritorio. Esta base de datos consta de dos tablas. En la primera tabla se registrarán los resultados obtenidos por cada uno de los pacientes, en los diferentes niveles. La segunda tabla, recogerá los tiempos de sesión (en segundos) de cada paciente, organizados por días, de tal modo que permita al personal médico visualizar el tiempo de rehabilitación empleado con este sistema de realidad virtual. Para rellenar la primera tabla, partimos de la escena de resultados (ver Figura 5.17, la cual recoge las principales variables medidas durante la actividad, como pueden ser el tiempo que emplea el paciente durante la simulación (siendo la suma del tiempo que emplea en la escena del supermercado y en la escena de pago, medido en segundos), el número de fallos cometidos por el paciente y el número de ayudas solicitadas.

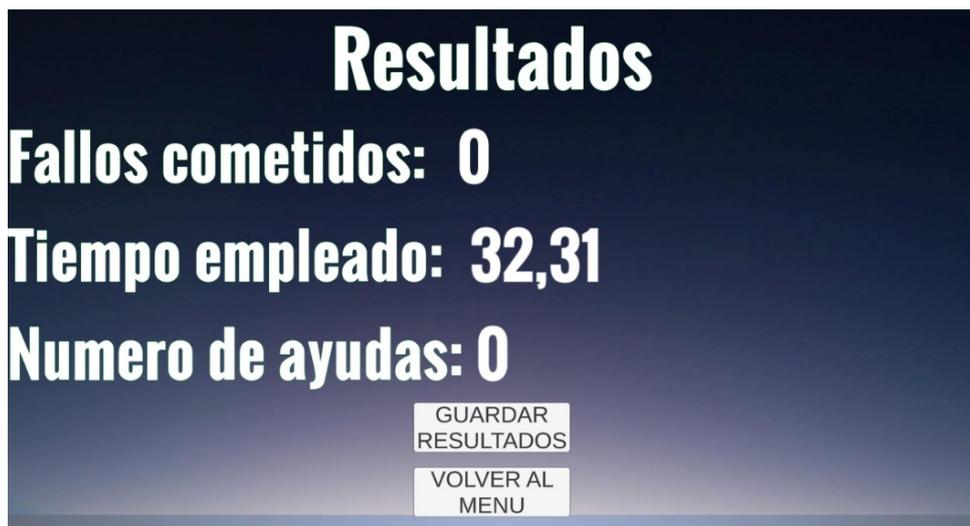
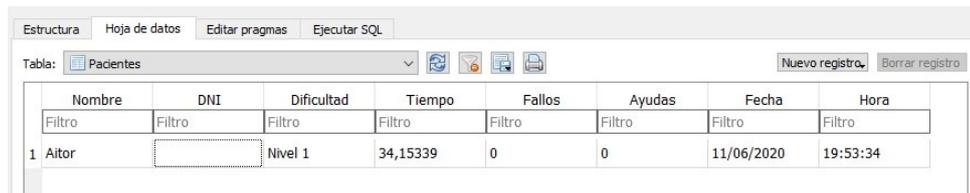


Figura 5.17: Escena resultados

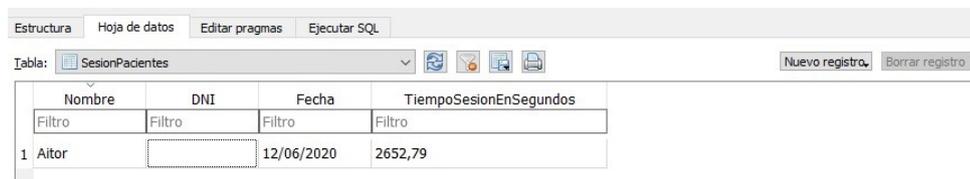
Por otro lado, el botón “Guardar resultados”, recupera el nombre y el DNI introducidos en la primera escena para incluirlos en la base de datos. Además, este botón calcula la fecha y la hora a la que se ha realizado la simulación, para así poder realizar un seguimiento de la actividad del paciente. Una vez calculado todo, se introduce en la base de datos (ver Figura 5.18), y se puede volver al menú principal para acceder a otra actividad. Es importante decir que dentro de la base de datos, el personal médico puede ordenar la tabla según el parámetro que desee de cada columna, con el fin de tener los pacientes ordenados y que sea más accesible e intuitiva para el personal médico.



	Nombre	DNI	Dificultad	Tiempo	Fallos	Ayudas	Fecha	Hora
	Filtro	Filtro	Filtro	Filtro	Filtro	Filtro	Filtro	Filtro
1	Aitor		Nivel 1	34,15339	0	0	11/06/2020	19:53:34

Figura 5.18: Base de datos con los resultados de los pacientes

Cuando el usuario inicia sesión, un reloj interno se activa. Este reloj permanece activo durante toda la simulación del paciente, parándose únicamente cuando se cierra sesión. En ese momento, se inserta en la tabla el nombre del paciente, su DNI, la fecha en la que se lleva a cabo y el tiempo que ha permanecido dentro del juego en segundos (ver Figura 5.19).



	Nombre	DNI	Fecha	TiempoSesionEnSegundos
	Filtro	Filtro	Filtro	Filtro
1	Aitor		12/06/2020	2652,79

Figura 5.19: Base de datos con el tiempo de sesión de los pacientes

Capítulo 6

Validaciones clínicas

El objetivo principal, una vez desarrollado el entorno de realidad virtual, era incorporar la plataforma dentro de los equipos de rehabilitación del Hospital Universitario la Paz. Sin embargo, debido a la pandemia acontecida por el virus COVID-19, esta tarea no se ha podido llevar a cabo y, por lo tanto, no se ha podido probar en pacientes con ictus. Es por ello que, para comprobar el funcionamiento del entorno desarrollado, se han realizado las pruebas con personas ajenas al hospital.

6.1. Participantes

Para la validación del proyecto han participado 4 personas de diferentes grupos de edad, con la intención de observar las diferencias existentes a la hora de realizar la actividad a medida que avanza la edad. Las características de cada paciente son las que se muestran a continuación:

- Varón español de 22 años sin ningún problema motor o cognitivo
- Mujer española de 30 años sin ningún problema motor o cognitivo
- Mujer española de 55 años, con una discapacidad el 73 % de su cuerpo, pero sin ningún problema cognitivo.
- Mujer española de 77 años. Padece Alzheimer desde hace 4 años.

6.2. Realización de las pruebas y resultados

Todas las pruebas se llevaron a cabo en un mismo día, desde casa. El ordenador se conectó a una pantalla, y el paciente tuvo que llevar a cabo cada uno de los niveles implementados en el sistema de realidad virtual. Los resultados obtenidos se pueden visualizar en la Figura 6.1.

	Nombre	DNI	Dificultad	Tiempo	Fallos	Ayudas	Fecha	Hora
	Filtro	Filtro	Filtro	Filtro	Filtro	Filtro	Filtro	Filtro
1	Alberto		Nivel 1	44,09	0	0	10/06/2020	16:09:32
2	Alberto		Nivel 2	135,24	0	0	10/06/2020	16:13:12
3	Alberto		Nivel 3	178,42	0	1	10/06/2020	16:20:19
4	Alberto		Nivel 4	219,31	0	2	10/06/2020	16:27:23
5	Ainhoa		Nivel 1	75,33	0	0	10/06/2020	17:02:07
6	Ainhoa		Nivel 2	157,21	0	1	10/06/2020	17:09:55
7	Ainhoa		Nivel 3	204,30	0	3	10/06/2020	17:17:23
8	Ainhoa		Nivel 4	300,27	0	5	10/06/2020	17:26:51
9	Maria Jesus (hija)		Nivel 1	100,29	0	0	10/06/2020	17:49:32
10	Maria Jesus (hija)		Nivel 2	180,12	0	1	10/06/2020	17:57:02
11	Maria Jesus (hija)		Nivel 3	237,55	0	3	10/06/2020	18:07:38
12	Maria Jesus (hija)		Nivel 4	329,44	0	6	10/06/2020	18:18:19
13	Maria Jesus (madre)		Nivel 1	409,55	4	0	10/06/2020	19:09:41
14	Maria Jesus (madre)		Nivel 2	789,21	7	6	10/06/2020	19:50:32
15	Maria Jesus (madre)		Nivel 3	1496,56	14	10	10/06/2020	20:30:59
16	Maria Jesus (madre)		Nivel 4	2150,01	19	20	10/06/2020	21:21:12

Figura 6.1: Base de datos con los resultados de los pacientes

Como se puede observar, a medida que avanza la edad, los sujetos tardan más tiempo en poder realizar la actividad. Esto es debido a que las capacidades tanto motoras como cognitivas se van deteriorando con la edad. Sin embargo, en donde realmente se encuentra un punto de inflexión es con la paciente de 77 años, la cual encuentra grandes dificultades para completar la simulación. Para que pudiera completar cada uno de los niveles preciso de mucha ayuda y supervisión, tal y como muestra la tabla, ya que, al ser una paciente con Alzheimer, presenta una gran dependencia y un nivel de déficit de atención bastante elevado. Por otro lado, cabe destacar que para que este paciente terminase la actividad, cada vez que completaba un nivel se procedía a un descanso para así evitar situaciones de estrés, permitiendo que el paciente estuviera más concentrado en la simulación y disminuyendo el nivel de déficit de atención.

En conclusión, aunque no se haya podido probar en pacientes con ictus del Hospital Universitario la Paz, la paciente con Alzheimer es una gran aproximación para extrapolar los resultados y las sensaciones del TFG. Una vez acabada la sesión se pudo observar un elevado grado de satisfacción por parte de la paciente y un gran deseo de poder llevar a cabo de nuevo la actividad. Es por ello que, implementando este sistema de realidad virtual en las plataformas de rehabilitación, se pueden lograr resultados muy beneficiosos en un futuro.

Capítulo 7

Conclusiones

Las conclusiones del TFG se pueden derivar a partir del análisis de la consecución de los objetivos:

Objetivo 1: Desarrollo de un entorno de realidad virtual no inmersiva donde los pacientes puedan realizar diferentes tareas.

En concreto se han desarrollado hasta 3 diferentes actividades como son la realización de la lista de la compra, la escena del supermercado y la fase final de pago. Esto permite trabajar al paciente en diferentes actividades de la vida cotidiana a partir de un entorno de realidad virtual.

Objetivo 2: Utilización de la plataforma Unity3D y el motor de visualización para proporcionar una presentación visual fluida e interactiva.

Todo el entorno se desarrolla utilizando las principales herramientas que proporciona Unity3D, permitiendo elaborar un entorno realista, fluido y dinámico.

Objetivo 3: Desarrollo de un sistema que permita trabajar la planificación del paciente

Se ha desarrollado un sistema de planificación tipo lista de la compra, en la cual el paciente libremente debe elegir que acontecimiento quiere realizar, y a partir de ahí, seleccionar los artículos correspondientes a dicha cita. Esto le permite al paciente enfrentarse a retos que ocurren a diario, con familiares o amigos.

Objetivo 4: Desarrollo de un sistema en el que el paciente pueda trabajar la memoria.

En la escena del supermercado, dependiendo del nivel seleccionado, la lista de la compra aparecerá un tiempo específico. De esta manera, al no tener la lista en pantalla, el paciente deberá hacer uso de la memoria para acordarse de que elementos componen la lista de la compra y así poder finalizar la simulación, ayudando a mejorar este aspecto cognitivo del paciente.

Objetivo 5: Desarrollo de un sistema en el que el paciente pueda trabajar la velocidad y capacidades motrices.

Para el desarrollo del entorno, se ha implementado un reloj interno que mide la velocidad a la que el paciente realiza las actividades, por lo que, dependiendo de la evolución del paciente, se podrá observar si esta persona es capaz de completar las actividades en mas o menos tiempo. Por otro lado, el sistema del supermercado esta dotado con un personaje en primera persona, con una serie de controles sobre el movimiento y la cámara de este personaje. El paciente deberá ser capaz de coordinar ambos aspectos, trabajando de esta forma el sistema locomotor.

Objetivo 6: Desarrollo de un sistema que permita trabajar al paciente los procesamientos numéricos.

Como ya se ha mencionado, se ha implementado un entorno que simula una caja registradora. En esta escena el paciente deberá ser capaz de realizar procedimientos matemáticos simples como son las sumas para obtener el precio final, permitiendo así al paciente adaptarse a un proceso de la vida real como es el pago en una caja de un supermercado.

Objetivo 7: Desarrollo de un sistema que recoja los resultados obtenidos durante la realización de la actividad.

Objetivo 8: Ayudar a los médicos a asignar la vía de tratamiento correcta en función de los perfiles clínicos y resultados de las simulaciones.

Objetivo 9: Desarrollo e implementación de una base de datos.

Al finalizar la actividad, se recogen en una pantalla final los principales resultados obtenidos y el nivel en el que se han desarrollado. Estos resultados son el tiempo

empleado durante la simulación, el número de fallos cometidos, el número de ayudas solicitadas y la fecha en la que se ha llevado la actividad. Una vez se vuelve al menú principal, estos datos son introducidos en una base de datos que recogen a su vez que paciente ha llevado a cabo la simulación. Gracias a esto, el personal médico es capaz de analizar todos los datos del paciente durante las sesiones, permitiendo ver la evolución del paciente, y asignar el tratamiento que crean oportuno en función de los datos recogidos.

Objetivo 10: Implementación del entorno desarrollado en los dispositivos con los que se va a trabajar.

El objetivo era implementar el ejecutable del sistema de RV en las plataformas que utilizan los profesionales del Hospital Universitario la Paz para la rehabilitación de pacientes con ictus. Sin embargo, las circunstancias acontecidas por la pandemia del COVID-19, ha imposibilitado la realización de la tarea en el tiempo previsto, por lo que este objetivo quedaría pendiente para un trabajo futuro.

Es interesante ver los principales beneficios de la realidad virtual para pacientes que hayan sufrido un ictus así como los resultados obtenidos por los principales sistemas de realidad virtual utilizados a día de hoy.

La gran mayoría de los ensayos realizados a día de hoy en pacientes que han sufrido ictus incluyen un número limitado de personas, en fase subaguda, con paresia no muy grave del miembro superior y sin un deterioro cognitivo severo. Además, las sesiones se llevan a cabo durante 4 semanas, de 3 a 4 días a la semana

El primer sistema que se va a analizar es el sistema IREX el cual ha presentado resultados muy favorables para pacientes post-ictus. Para el estudio de la efectividad se escogió un grupo de personas que estaban realizando un tratamiento de rehabilitación convencional y se les propuso llevar a cabo una serie de ejercicios virtuales de marcha y equilibrio usando el sistema IREX. Como resultado se comprobó que la práctica continuada en este sistema por parte de los pacientes mejoraba sus actividades de la vida diaria o capacidades motoras como el equilibrio. A su vez, gracias al uso de resonancia magnética se observó una activación de la corteza del hemisferio lesionado al mismo tiempo que los pacientes recibían la terapia. Otro trabajo que incluye el sistema IREX es para la rehabilitación del miembro superior el cual atribuye mejoras funcionales gracias a la reorganización cortical del hemisferio lesionado [7].

Se ha sugerido que el feedback sensorial asociado a estos ejercicios en entornos virtuales activarían los sistemas de neuronas en espejo, los cuales serían capaces de guardar una memoria de la representación del movimiento a realizar [17].

Por otro lado, se utilizaron los sistemas Cyber-Gloves y los Rutgers Master II en ensayos para la rehabilitación del miembro superior, concluyendo que se producen mejorías en la capacidad de presión y disminuyen los tiempos necesarios para realizar algunas actividades manuales [18].

Por último, se analiza el sistema Rutgers Ankle Rehabilitation System, el cual se

ha empleado en programas de entrenamiento virtual para la recuperación efectiva de la capacidad de marcha, durante cuatro semanas, para un grupo de pacientes crónicos post-ictus. Gracias a este sistema, los participantes consiguieron aumentar la velocidad de marcha, la longitud de paso y el perímetro de marcha en relación con el momento anterior al del entrenamiento, permitiendo que estas ganancias se conserven con el tiempo [19].

En cuanto al estudio sobre la eficacia y la efectividad del uso de estos sistemas para las terapias en pacientes post-ictus, se puede concluir que existe un grado de evidencia a favor de la efectividad del entrenamiento del miembro superior en entornos virtuales inmersivos frente a no hacer ningún tratamiento, así como una clara efectividad de este tipo de tratamientos frente a los sistemas de rehabilitación en tratamientos convencionales [20]; Para ello, se llevó a cabo un estudio con dos grupos de pacientes, en los cuales el primero solo recibió un tratamiento convencional y al segundo se le adicionó una serie de ejercicios en realidad virtual. En este segundo grupo, las ganancias fueron mucho mayores en cuando a capacidades motrices del miembro superior, aunque no se concluyó una mayor independencia en las actividades de la vida diaria [21].

Aparte, se puede concluir que los sistemas de realidad virtual resultan eficaces para la rehabilitación del equilibrio de pacientes con daño cerebral adquirido. Además, en pacientes con hemiparesia crónica y limitación previa para la marcha, la práctica reiterada de ejercicios en entornos virtuales inmersivos ha conseguido mejorías funcionales clínicamente significativas, contribuyendo a una recuperación efectiva de la capacidad de marcha en estos pacientes. Se concluye que es la práctica repetitiva de ejercicios con el miembro inferior la que podría estimular mecanismos de potenciación sináptica y plasticidad [22].

En resumen, los ejercicios de realidad virtual en pacientes que hayan sufrido un ictus pueden inducir fenómenos de plasticidad y de reorganización cortical. Utilizando la resonancia magnética se ha podido observar que la implementación de este tipo de sistemas en las terapias ayuda a la activación de la corteza del hemisferio lesionado. Estos sistemas son muy útiles para trabajar aspectos de la rehabilitación como pueden ser el equilibrio, la negligencia visual, la marcha, entre otros aspectos. A su vez, el bajo coste de las consolas y su accesibilidad proporciona grandes ventajas para su uso en terapias, ya sea desde el hospital o a domicilio.

Actualmente, la evidencia sobre la efectividad de los tratamientos con realidad virtual todavía resulta moderada. Se cree que estos sistemas pueden ayudar a mejorar las capacidades motoras o cognitivas, pero no se concluye, como se ha mencionado anteriormente, que se pueda conseguir una mayor independencia en las actividades de la vida diaria por parte de los pacientes. Este es el principal objetivo y en lo que se resume el TFG. El entorno de realidad virtual desarrollado pretende abordar todos estos beneficios aplicados a actividades que una persona puede realizar en su día a día, como puede ser ir a comprar a un supermercado, de forma que trabaje capacidades cognitivas y motoras, todo dentro de un mismo sistema. Se pretende que los pacientes que utilicen este sistema, al final de la rehabilitación, sean capaces de realizar de manera independiente tareas que son indispensables en la vida cotidiana, consiguiendo así una integración satisfactoria en el mundo actual.

Para finalizar se debe hablar de los posibles trabajos futuros. El sistema que se ha desarrollado es un sistema de realidad virtual no inmersivo, con el cual únicamente se pueden trabajar aspectos relacionados con la parte cognitiva del paciente. El siguiente paso sería convertir esta plataforma en un sistema de realidad virtual inmersivo, de tal modo que los pacientes puedan trabajar a su vez la parte motora. Por otro lado, el desarrollo de este TFG está orientado a pacientes post-ictus. Sin embargo, se podría extender para otras enfermedades relacionadas con el cerebro como puede ser el Alzheimer. Aparte, el juego está limitado a 4 niveles de dificultad, pero se podrían ir añadiendo más dificultades así como otras actividades dentro del entorno para que los pacientes puedan seguir trabajando. Además, se puede desarrollar una escena que muestre la base de datos dentro del juego, sin necesidad de tener que acceder desde la propia aplicación SQLite. Esta pantalla podría incorporar botones que filtren la base de datos según los parámetros que se consideren oportunos, así como borrar aquellos datos que el personal médico considere innecesarios. A su vez, sería útil seguir depurando la escena del supermercado, incorporando elementos que hagan un entorno más realista, como pueden ser otros puntos de interacción que queden mejor integrados dentro del supermercado, personas que simulen cajeros, entre otros elementos. Por otro lado, el control del personaje dentro del juego está programado con los botones WASD y el ratón, pero se podrían configurar de tal modo que el paciente esté más cómodo, simplemente utilizando el ratón y el botón izquierdo del mismo. Finalmente, se podrían modificar los estilos utilizados, los menús o los paneles de interacción, con el fin de que quede un entorno visualmente uniforme.

References

- [1] P.; Martínez-Vila E.; John Meyer M.; Teasell R. Murie-Fernández, M.; Irimia. Neurorrehabilitación tras el ictus. *Neurología*, 25(3):189–196, 2010.
- [2] Joaquín Ustrell-Roig, Xavier; Serena-Leal. Ictus. diagnóstico y tratamiento de las enfermedades cerebrovasculares. *Revista Española de Cardiología*, 60(7):753–769, 2007.
- [3] M T Alzamora; Morientes N Vila; Capdevila M Vicheto Capdevila, M Sorribes; Sas. Abordaje de los ictus: colaboración entre atención primaria y especializada. 31(7):34–38, 2005.
- [4] E Martínez-Vila. Factores de riesgo del ictus. *An. sist. sanit. Navar*, 23(3):25–31, 2000.
- [5] Martín; Martorell Esperanza; Pedragosa Àngels Brea, Angel;Laclaustra. Epidemiología de la enfermedad vascular cerebral en España. *Clinica e Investigacion en Arteriosclerosis*, 25(5):211–217, 2013.
- [6] Otman Fernández; Rodríguez Tania Elena Hernández; Barroso Yanneris Parada Barrera, Yoany Mesa; Concepción. Calidad de vida en pacientes post-ictus: factores determinantes desde la fase aguda. *Revista Habanera de Ciencias Medicas*, 15(4):508–524, 2016.
- [7] Ñ J Martí. Rehabilitación del ictus mediante realidad virtual. 44(3):256–260, 2010.
- [8] S Vi. Realidad virtual con fines terapéuticos en pacientes con ictus: revisión sistemática. 31(4), 2016.
- [9] Fei; Shi Dongquan; Shi Jianping; Tian Zongjun; Yang Jiquan; Wang Xingsong; Jiang Qing Li, Lan; Yu. Application of virtual reality technology in clinical medicine. *American Journal of Translational Research*, 9(9):3867–3880, 2017.
- [10] Thomas L.; Ferran Nicholas A. Stirling, Euan R.B.; Lewis. Surgical skills simulation in trauma and orthopaedic training. *Clinical Psychology Review*, 9:126, 2014.
- [11] Leonard S. Malloy, Kevin M.; Milling. Effectiveness of virtual reality training in orthopaedic surgery. *Arthroscopy - Journal of Arthroscopic and Related Surgery*, 32(1):224–232, 2016.
- [12] Greg R.; Arulampalam Tan Alaker, Medhat; Wynn. Virtual reality training in laparoscopic surgery: A systematic review & meta-analysis. *International Journal of Surgery*, 29:85–94, 2016.

-
- [13] Leila; Matthew J; Maria Rus-calafell Valmaggia, Lucia R; Latif. Virtual reality in the psychological treatment for mental health problems. 2016.
- [14] Aplicaciones de la realidad virtual en la medicina y la salud. url<https://editeca.com/realidad-virtual-medicina/>, 2019.
- [15] La terapia con realidad virtual para tratar trastornos mentales. url<https://www.redcenit.com/la-terapia-con-realidad-virtual-para-tratar-trastornos-mentales/>, 2019.
- [16] Zorash; Chen Vincent J; Gold Jeffrey I. Li, Angela; Montaña. Virtual reality and pain management: current trends and future directions. *Pain Management*, 1(2):147–157, 2011.
- [17] Brass M Bekkering H Mazziotta JC Rizzolatti G Iacoboni M, Woods RP. Cortical mechanism of human imitations. *Science*, 8:286–2526, 1999.
- [18] Boian R Burdea G Adamovich S Merians AS, Poizner H. Sensorimotor training in a virtual reality environment: Does it improve functional recovery poststroke? *Neurorehabil Neural Repair*, 67:20–252, 2006.
- [19] Deutsch J Mirelman A, Bonato P. Effects of training with a robot-virtual reality system compared with a robot alone on the gait of individuals after stroke. *Stroke*, 74:40–169, 2008.
- [20] Goude D Rydmark M Sunnerhagen KS Broeren J, Claesson L. Virtual rehabilitation in an activity centre for community dwelling persons with stroke. *Cerebrovasc Dis*, 96:26–289, 2008.
- [21] Levin M Henderson A, Korner-Bitensky N. Virtual reality in stroke rehabilitation: A systematic review of its effectiveness for upper limb motor recovery. *Top Stroke Rehabil*, 61:14–52, 2007.
- [22] Miltner WH Taub E Weiller C Liepert J, Bauder H. Treatment induced cortical reorganization after stroke in humans. *Strok*, 6:31–1210, 2000.

Apéndice A

Impacto

La enfermedad cerebrovascular o ictus es uno de los motivos más frecuentes de asistencia neurológica urgente, representa una de las primeras causas de muerte e invalidez en los adultos y supone un enorme coste tanto humano como económico. Un reciente estudio prospectivo ha establecido que la incidencia bruta de ictus en la población mayor de 18 años es de 174 casos cada 100.000 habitantes y se incrementa de forma progresiva con la edad. Después de un ictus, un tercio de las personas tiene una recuperación satisfactoria, otro tercio queda con secuelas graves y el otro tercio de los ictus son fatales. La tercera parte de los fallecimientos ocurre durante el ingreso hospitalario y el resto, en los meses siguientes. El ictus es una enfermedad cerebrovascular de gran impacto en la sociedad actual, y por ende, debe ser tratada con urgencia. Es por ello que el objetivo de este TFG es desarrollar un sistema de realidad virtual que permita la rehabilitación e integración de los pacientes en la vida cotidiana, de tal forma que estas personas vuelvan a ser en gran parte independientes.

- **Impacto Social:** Este TFG tiene un impacto directo en aquellas personas que hayan sufrido un accidente de tipo cerebrovascular, en concreto en pacientes postictus. Estos se pueden beneficiar de la plataforma de rehabilitación desarrollada permitiendo obtener mejoras en aspectos cognitivos como la memoria o la planificación. Se ofrecen más detalles sobre el impacto social en el Capítulo 3.1.4, donde se habla como afecta la realidad virtual en pacientes con ictus. Además, en el Capítulo 2.1 se habla mas en profundidad del ictus y su impacto en la sociedad.
- **Impacto económico:** En el Capítulo 3.1.4 ya se establece que los entornos de realidad virtual son altamente accesibles y de un coste bajo. Con la implementación de este proyecto se pueden conseguir abaratar los costes relacionados con los procesos de rehabilitación de los pacientes. Además, tiene un impacto sobre el número de horas de trabajo del personal médico, ya que la plataforma es prácticamente automática, por lo que los tiempos de tratamiento se ven reducidos, permitiendo que el personal médico pueda atender a varios pacientes al mismo tiempo.
- **Impacto ético:** El desarrollo de este TFG es totalmente ético ya que esta pensado en mejorar de forma directa la calidad de vida de los pacientes que usen la plataforma.

- **Impacto medioambiental:** El desarrollo de este TFG no produce impacto sobre el medioambiente.

Apéndice B

Presupuesto económico

Debido a las circunstancias acontecidas desde el mes de marzo por la pandemia generada por el COVID-19, todo el trabajo desarrollado se ha tenido que realizar fuera de las instalaciones que proporciona la Universidad Politécnica de Madrid, es decir, todo se ha trabajado de forma telemática. Es por ello que no se ha producido ningún gasto en cuanto a equipos utilizados de la universidad. A partir de aquí, podemos establecer 2 tipos de gastos. Los gastos que derivan de recursos humanos y los gastos derivados en la adquisición de entornos para el desarrollo de la plataforma de realidad virtual.

- **Costes derivados de recursos humanos**

Para analizar estos costes vamos a considerar los salarios de las personas involucradas en el desarrollo del proyecto: un mánager del proyecto y un estudiante de ingeniería biomédica. Estos costes se pueden visualizar en la tabla B.1.

- **Costes derivados de adquisición de productos**

Para el desarrollo de este entorno, se establece en la tabla B.2 las adquisiciones realizadas para el funcionamiento de la plataforma. Los costes totales se calculan por el producto de la depreciación coste por mes y el tiempo de uso.

Apéndice C

Manual de usuario

En este anexo se establece todo lo necesario para que la persona que vaya a utilizar la plataforma aprenda a como descargar y utilizar el entorno de simulación. Tanto el ejecutable generado con Unity3d como la base de datos creada con SQLite funcionan igual para cualquiera de las 3 plataformas principales (Windows, MAC y Linux), por lo que se lleva a cabo una descripción general del proceso de instalación y uso de los programas.

Descarga de la base de datos

En primer lugar, se procede a explicar el proceso de instalación de la base de datos, en este caso se ha utilizado SQLite. En el navegador se procede a buscar DB Browser for SQLite y desde la página oficial se descarga la versión que le resulte mas cómoda al usuario (lo más recomendable es tener actualizada la versión, por lo que tener la ultima versión de esta aplicación es la mejor opción, en este caso la de 2020). Posteriormente se elige la plataforma y se descarga. Una vez descargado, comienza el proceso de instalación. Siguiendo los pasos que indica el instalador se tendrá SQLite en el dispositivo de una forma rápida e intuitiva.

Descarga e instalación del sistema de realidad virtual

En segundo lugar, se procede a instalar el ejecutable que se genera con Unity3d de la plataforma de realidad virtual. Este ejecutable se presenta como un archivo en formato zip. Se debe descomprimir en la carpeta que el usuario crea conveniente, pero lo mas recomendable es tener el ejecutable “Supermercado Virtual” en el escritorio de forma que su accesibilidad sea rápida.

Utilización de la plataforma

El usuario debe hacer doble click en el ejecutable que ha descomprimido en el punto anterior. Una vez dentro se le presenta una primera pestaña en la que debe iniciar sesión con el nombre del paciente y su respectivo DNI. No puede iniciar sesión hasta que estos dos campos estén correctamente formulados. Una vez dentro, deben seleccionar el botón jugar y seleccionar un nivel. A partir de aquí, es el paciente el que toma el control. Una vez el paciente finaliza la simulación, en la pantalla final debe guardar los resultados antes de volver a la pantalla inicial para iniciar el siguiente nivel. Cuando finalice la sesión, el usuario se debe situar en el menú principal y seleccionar

“Cerrar sesión”. De esta forma, se vuelve a la pantalla principal de inicio de sesión.

Utilización de la base de datos

Para poder visualizar los datos de los pacientes registrados en el programa de realidad virtual para rehabilitación cognitiva, únicamente hay que pulsar sobre el botón “Estadísticas” situado en la pantalla de inicio de sesión. Al pulsar, inmediatamente se abrirá la base de datos, presentando una interfaz como se muestra en la Figura C.1.

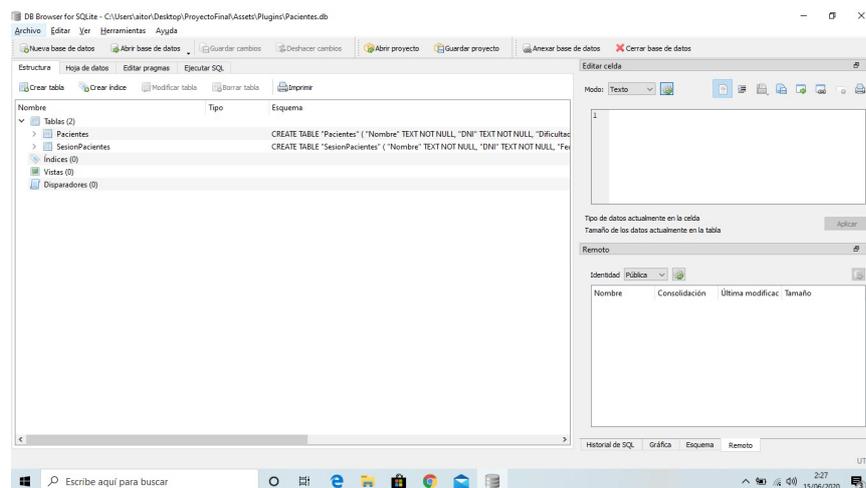


Figura C.1: Interfaz de la base de datos

Una vez dentro solo hay que seleccionar “Hoja de datos” para poder ver el contenido de las tablas (el contenido de las tablas se ha desarrollado en el capítulo Implementación, en la sección de la base de datos 5.5). Para poder cambiar entre las tablas, solo hay que pulsar donde pone “Tabla”, y cómodamente se puede elegir cual se quiere visualizar. Por último, cabe destacar que los pacientes registrados se pueden ordenar en SQLite pulsando sobre el parámetro que se desee. Por ejemplo, si se quiere ordenar por nombre, solo hay que pulsar encima del campo “Nombre”, ordenándose automáticamente.

Apéndice D

Manual de desarrollador

En este anexo se desarrolla todo lo necesario que se necesita para la continuación de este proyecto de realidad virtual. En primer lugar, se procede al proceso de instalación de Unity3d. Primero se debe acceder a la pagina oficial de Unity3d y seleccionar el plan que la persona considere necesario para llevar a cabo el proyecto. Desde la plataforma se descargará Unity Hub, que sirve para crear y organizar los diferentes proyectos del usuario, En segundo lugar, para acceder a los archivos, el usuario deberá acceder a la carpeta GitHub mediante el enlace <https://github.com/AiThor22?tab=repositories>. EL proyecto está en formato zip, así que el usuario lo debe descomprimir donde crea conveniente. Una vez descargado todo, se accede a Unity y se añade el proyecto.

El código principal que lleva el funcionamiento de toda la plataforma es “ListaCompra.cs”, el cual se abre con Visual Studio. El código esta documentado y organizado según las diferentes escenas desarrolladas para el funcionamiento de la actividad, de tal forma que el usuario puede seguir de forma detallada como funciona la plataforma desde el propio código.

Dentro de la carpeta “Escenas” se pueden encontrar todas las escenas implementadas en el sistema de realidad virtual. Consta de 6 escenas.

La primera escena es “Bienvenida”, es el menú de inicio de sesión y acceso a la base de datos, donde las variables se declaran en la línea 16 del código, y el desarrollo de las funciones en la línea 449.

La segunda escena es el menú principal. La única función que se desarrolla es la relacionada con el cierre de sesión, permitiendo guardar en la base de datos el tiempo de sesión del paciente. Todo este código a partir de la línea 507 del código “ListaCompra”

En tercer lugar, tenemos el menú secundario. Esta es la escena donde se trabaja la planificación del paciente y cuyas variables se declaran en las líneas 24-75, y las funciones en las líneas 529-1008.

En cuarto lugar, encontramos la escena del supermercado. Las variables están declaradas en las líneas 100-165 y la parte funcional se encuentra en las líneas 1105-1533.

La quinta escena es la pantalla de pagos. Todo lo respectivo a esta escena se encuentra desarrollado en las líneas 77-98 y 1012-1100.

Por último, encontramos la escena de resultados, la cual se desarrolla en las líneas

166-181 y 1534-1618.

La carpeta “Imágenes usadas” esta compuesta por los diferentes backgrounds y elementos utilizados para el desarrollo del juego.

La carpeta AssetsImplementados, esta compuesta por los diferentes escenarios que se usan para el desarrollo de menús y la escena del supermercado, así como las imágenes para la representación de los alimentos.

En cuanto a la base de datos, en primer lugar, se debe acceder a la página oficial de SQLite y desde ahí descargar la última versión disponible de la aplicación, seleccionando los archivos precompilados para la plataforma en la que se desarrolle la actividad. Después, se procede a descargar DB Browser for SQLite, que permite la creación de bases de datos para Unity3d. La base de datos creada en este proyecto se encuentra incorporada en la página GitHub. Para que funcione correctamente la base de datos, se deben incorporar los archivos que se muestran en la figura D.1 así como la base de datos, y meterlos en la carpeta Plugings.

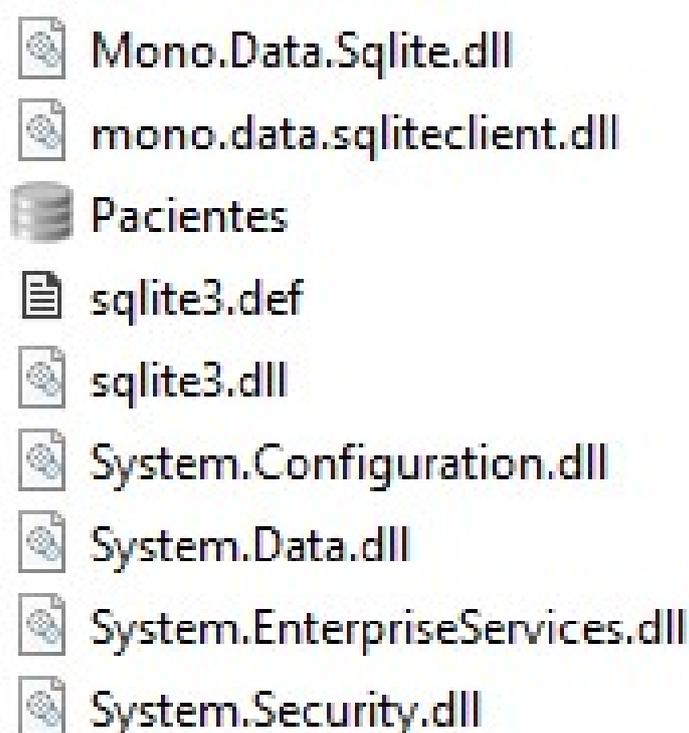


Figura D.1: Archivos necesarios para funcionamiento de la base de datos

Una vez se tiene todo, se puede llevar la conexión con la base de datos como se muestra en la línea 1601 del código.

Los requisitos mínimos para el correcto funcionamiento de Unity3d en pc son:

- Windows 7, Windows 8 o windows 10
- Procesador: Core 2 duo o superior

- Memoria: 1GB de memoria RAM
- Gráficos: DirectX11 Compatible GPU con 512MB Video RAM
- Almacenamiento: 100MB de espacio disponible
- Tarjeta de sonido: DirectX compatible Tarjeta de sonido