

Universidad de Valladolid

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE
TELECOMUNICACIÓN

TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN INGENIERÍA DE TECNOLOGÍAS DE TELECOMUNICACIÓN

**JUEGO SERIO PARA TERAPIAS DE REHABILITACIÓN MOTORA Y
COGNITIVA CON REALIDAD VIRTUAL**

AUTORA:

DÑA. INÉS PINILLA GIMÉNEZ

TUTOR:

DR. D. MARIO MARTÍNEZ ZARZUELA

VALLADOLID, ENERO de 2017

TÍTULO: **Juego serio para terapias de rehabilitación motora y cognitiva con realidad virtual**

AUTORA: **Dña. Inés Pinilla Giménez**

TUTOR: **Dr. D. Mario Martínez Zarzuela**

DEPARTAMENTO: **Teoría de la Señal y Comunicaciones e Ingeniería Telemática**

TRIBUNAL

PRESIDENTE: **Francisco Javier Díaz Pernas**

VOCAL: **Mario Martínez Zarzuela**

SECRETARIO: **Míriam Antón Rodríguez**

SUPLENTE 1: **David González Ortega**

SUPLENTE 2: **Carlos Gómez Peña**

FECHA:

CALIFICACIÓN:

A mis padres y hermanos, por su apoyo incondicional en todo momento.

A mis amigos, por ser mi élite personal.

A Mario, por su confianza y ayuda, y por el ánimo que transmite.

*A Raúl, Luis y Miguel, por hacer que el desarrollo de este proyecto haya
sido una gran aventura.*

*A mis compañeros de carrera, por conseguir hacer de la escuela una
segunda casa.*

Resumen

Este Trabajo Fin de Grado consiste en el desarrollo de un juego serio con realidad virtual para su uso como complemento en terapias de rehabilitación de pacientes que hayan sufrido un accidente cerebrovascular con posteriores secuelas motoras y/o cognitivas.

Primero estudiaremos el ictus, junto con sus causas, los tipos existentes y sus distintas secuelas. A continuación, expondremos la importancia de la rehabilitación en este tipo de pacientes, y cómo los videojuegos de realidad virtual pueden ser un buen complemento de ésta. Tras estudiar las diferentes tecnologías de realidad virtual y elegir cuáles utilizaremos, procederemos a la descripción del juego desarrollado, y ofreceremos un manual de usuario para futuros usos. Finalmente, abordaremos las conclusiones alcanzadas tras todo el proceso y plantearemos las posibles líneas futuras a seguir.

Palabras clave

Ictus, Rehabilitación, Realidad Virtual, Juego Serio, Kinect, Unity.

Abstract

This End-of-Degree Project consists on the development of a serious game with virtual reality for use as a complement in rehabilitation therapies for patients who have suffered a stroke with subsequent motor and/or cognitive sequelae.

First of all, we will study the brain stroke, along with its causes, the existing types and its different sequels. Next, we will expose the importance of rehabilitation in this type of patients, and how virtual reality video games can be a good complement to it. After studying the different virtual reality technologies and choosing which ones we will use, we will describe the game developed, and offer a user manual for future uses. Finally, we will approach the conclusions reached after this process and we will consider the possible future guidelines.

Keywords

Brain Stroke, Rehabilitation, Virtual Reality, Serious Game, Kinect, Unity.

Índice de contenidos

Capítulo 1. Introducción	1
1.1. Motivación	1
1.2. Objetivos	2
1.3. Estructura de la memoria	2
Capítulo 2. Accidente Cerebrovascular	4
2.1. Ictus: Accidente Cerebrovascular	4
2.2. Factores de riesgo	5
2.3. Clasificación según las causas	6
2.3.1. Síndrome Hemorrágico	6
2.3.2. Síndrome Isquémico	8
2.4. Tipos de afectación motora y cognitiva	10
2.5. Rehabilitación	13
2.5.1. Técnicas	14
2.5.2. El uso de la Realidad Virtual en rehabilitación	15
2.5.3. Comparativa: Rehabilitación con Realidad Virtual frente a la tradicional	16
2.5.4. Conclusiones	17
Capítulo 3. Tecnología y Realidad virtual	18
3.1. Captura de movimientos	18
3.1.1. Kinect 2.0	20
3.1.2. Xtion PRO LIVE	20
3.1.3. DepthSense	21
3.1.4. Minoru 3D	22
3.1.5. RealSense	23
3.1.6. Comparativa y elección	24
3.2. Videjuegos: Herramientas de desarrollo	25
3.2.1. Unity	25
3.2.2. Unreal Engine	27
3.2.3. CryEngine	27

3.2.4. Comparativa y elección	28
3.3. Integración de Kinect en Unity	29
Capítulo 4. Sistema desarrollado	30
4.1. Aspectos generales	30
4.2. El juego: “La Isla EPIKa”	31
4.3. Escenas del juego	32
4.4. Escenarios desarrollados	36
4.4.1. La Playa Alivio	36
4.4.2. La Selva Contaminada	40
4.4.3. La Cueva del Volcán	42
4.5. Captura de movimientos	44
4.5.1. Usuario sentado	46
4.5.2. Rotaciones e inclinaciones corporales	47
4.5.3. Desplazamiento en sedestación o bipedestación	49
4.6. Pruebas con pacientes	51
Capítulo 5. Conclusiones y Líneas futuras	52
5.1. Estimación presupuestaria	52
5.2. Conclusiones generales	52
5.3. Líneas futuras	53
Referencias	55
Anexo: Manual de usuario	58
1. Inicio de sesión	58
1.1. Modo de juego en red	59
1.2. Modo de juego en local	60
2. La Playa Alivio	61
3. La Selva Contaminada	67
4. La Cueva del Volcán	71

Índice de figuras

Figura 1. Esquema de las partes del cerebro	7
Figura 2. Vascularización cerebral general	8
Figura 3. Esquema de los territorios vasculares cerebrales	9
Figura 4. Áreas corticales del cerebro humano	10
Figura 5. Ejemplo de un entorno virtual inmersivo	16
Figura 6. Dispositivo Kinect	20
Figura 7. Dispositivo Xtion PRO LIVE	21
Figura 8. Dispositivo DepthSense	22
Figura 9. Dispositivo Minoru 3D	22
Figura 10. Dispositivo RealSense R200	23
Figura 11. Dispositivo RealSense SR300	23
Figura 12. Logo de Unity	26
Figura 13. Logo de Unreal Engine	27
Figura 14. Logo de CryEngine	28
Figura 15. Parte web del juego “La Isla EPIKa”	32
Figura 16. Parte principal del juego “La Isla EPIKa”	32
Figura 17. Escena inicial del juego “La Isla EPIKa”	33
Figura 18. Diagrama de flujo del funcionamiento de la comunicación web en la escena inicial	33
Figura 19. Escena de selección de escenario si se han descargado correctamente las sesiones	34
Figura 20. Escena de selección de escenario si no se han descargado correctamente las sesiones	34
Figura 21. Ejemplo de una pantalla de juego de un escenario	35
Figura 22. Ejemplo de una pantalla de resultados de un escenario	36
Figura 23. Escena de calibración de La Playa Alivio	37
Figura 24. Escena de desplazamiento en La Playa Alivio	38

Figura 25. Escena de recogida de La Playa Alivio	38
Figura 26. Escenario de calibración de La Selva Contaminada	40
Figura 27. Escenario de juego de La Selva Contaminada	41
Figura 28. Resultados de La Selva Contaminada	41
Figura 29. Escenario de juego de La Cueva del Volcán	43
Figura 30. Bifurcación en La Cueva del Volcán	43
Figura 31. Posición y numeración de los <i>joints</i> en el cuerpo humano	45
Figura 32. Rotaciones de los <i>joints</i> en el cuerpo humano	45
Figura 33. Modo de juego sentado con nave espacial	47
Figura 34. Inclinaciones laterales	48
Figura 35. Inclinación delantera	48
Figura 36. Medición del ángulo de los codos respecto a las caderas	50
Figura 37. Proceso de andar continuado	51
Figura 38. Pantalla inicial del juego “La Isla EPIKa”	58
Figura 39. Mensaje de error de falta de datos	59
Figura 40. Mensaje de error de usuario o contraseña erróneos	59
Figura 41. Pantalla de selección de escenarios con la sesión descargada	60
Figura 42. Pantalla de acceso en local	60
Figura 43. Pantalla de selección de escenarios sin la sesión descargada	61
Figura 44. Pantalla de inicio de la calibración de La Playa Alivio	61
Figura 45. Pantalla de calibración de pie de La Playa Alivio	62
Figura 46. Pantalla de calibración sentado de La Playa Alivio	62
Figura 47. Resultados de calibración de La Playa Alivio	63
Figura 48. Pantalla de inicio de La Playa Alivio	63
Figura 49. Pantalla de juego de La Playa Alivio	64
Figura 50. Pantalla de juego sentado de La Playa Alivio	64
Figura 51. Mensaje de golpeo de La Playa Alivio	65
Figura 52. Modo de recogida de objetos de La Playa Alivio	65
Figura 53. Recogida de objetos sentado de La Playa Alivio	66

Figura 54. Mensaje de continuar de La Playa Alivio	66
Figura 55. Resultados de La Playa Alivio	67
Figura 56. Pantalla de inicio de calibración de La Selva Contaminada	67
Figura 57. Calibración sentada de La Selva Contaminada	68
Figura 58. Calibración de pie de La Selva Contaminada	68
Figura 59. Resultados de la calibración de La Selva Contaminada	69
Figura 60. Pantalla de inicio de La Selva Contaminada	69
Figura 61. Pantalla de juego sentado de La Selva Contaminada	70
Figura 62. Pantalla de juego automático de La Selva Contaminada	70
Figura 63. Resultados de La Selva Contaminada	71
Figura 64. Pantalla de inicio de La Cueva del Volcán	71
Figura 65. Mensaje inicial de La Cueva del Volcán	72
Figura 66. Pantalla de juego de La Cueva del Volcán	72
Figura 67. Bifurcación de La Cueva del Volcán	73
Figura 68. Resultados de La Cueva del Volcán	73

Índice de tablas

Tabla 3.1. Comparativa de las características de diferentes cámaras de captura de movimiento	24
Tabla 3.2. Comparativa entre los diferentes motores de juego	28
Tabla 4.1. Parámetros calibrados en el escenario de La Playa Alivio	37
Tabla 4.2. Parámetros configurables por el terapeuta de La Playa Alivio	39
Tabla 4.3. Parámetros calibrados en el escenario de La Selva Contaminada	40
Tabla 4.4. Parámetros configurables por el terapeuta de La Selva Contaminada	42
Tabla 4.5. Parámetros configurables por el terapeuta de La Cueva del Volcán	44
Tabla 5.1. Estimación presupuestaria	52

Capítulo 1. Introducción

Este capítulo pretende introducirnos en este Trabajo de Fin de Grado. Para ello abordaremos las motivaciones que han llevado a su desarrollo y los objetivos que se pretenden alcanzar. Finalmente estructuraremos y explicaremos brevemente los contenidos de la memoria.

1.1. Motivación

La **motivación** de este trabajo radica en la gran cantidad de accidentes cerebrovasculares que acontecen entre la población hoy en día, y en la importancia de una buena rehabilitación para que se eliminen sus secuelas. Esto supone una necesidad de seguimiento continuo de los pacientes para comprobar que realizan los ejercicios correctamente, lo que en algunos momentos no es completamente posible.

En 2014, la **Fundación ASPAYM** (entidad que trabaja para mejorar la calidad de vida de las personas con discapacidad) sacó una demanda tecnológica a través de los premios Desafío Universidad-Empresa buscando una solución óptima a este problema.

En estos premios, empresas y asociaciones de interés público lanzan una demanda de forma anónima y los grupos de investigación de las diferentes universidades concursan para proporcionar la mejor solución técnica que lo resuelva.

La solución ganadora fue propuesta por el **Grupo de Telemática e Imagen** de la **Universidad de Valladolid**, y consistía en desarrollar módulos de realidad virtual que se basaran en el reconocimiento de gestos. De esta manera, un paciente podría realizar su terapia en cualquier ubicación, y sería el propio programa el que determinaría si se ejecutan los movimientos correctamente.

El **primer sistema** que se desarrolló fue **TIDER-3D**: Tele-asistencia Interactiva en Domicilio con Ejercicios de Rehabilitación 3D. Este ofrece la capacidad de que los pacientes realicen sus ejercicios sin necesidad de acudir al centro de rehabilitación.

El **segundo sistema** desarrollado fue el **EPIK**, un juego serio de realidad virtual compuesto por varios módulos que permite evaluar a cada paciente, y desarrollar una terapia completamente personalizada para él.

El **último sistema** de ambos grupos es el que se va a desarrollar en este proyecto, **“La Isla EPIKa”**. Parte de la idea del EPIK, y se enfoca en introducir las ventajas que aportan la jugabilidad y el aumento de la motivación que proporciona ésta al paciente hacia las terapias.

1.2. Objetivos

El **objetivo principal** a alcanzar es el de desarrollar un **juego serio de realidad virtual** que sirva como complemento a una terapia de rehabilitación de pacientes con ictus. Este juego debería ofrecer ejercicios sencillos, especializados en el movimiento de grupos musculares concretos, y que se deban repetir de forma continua al utilizarlo.

El hecho de que los ejercicios estén especializados podrá permitirle al terapeuta definir una **terapia adaptada** a cada paciente, según las secuelas que padezca y el nivel de éstas.

Para ello primero se debe realizar un estudio de la enfermedad, valorando los tipos y posibles casos, para orientar el videojuego hacia el mayor número posible de pacientes.

El **segundo objetivo** es que se pueda implementar con una **tecnología** sencilla y que no suponga, ni un coste elevado, ni una pérdida de tiempo a la hora de preparar al paciente para la rehabilitación.

Tras evaluar las opciones del mercado enfocado en el desarrollo de realidad virtual, nos decantamos por la cámara **Kinect** de Microsoft, ya que no precisa de marcadores corporales, y el motor de juego **Unity**, que facilita la programación y creación de los diferentes escenarios.

Finalmente, nuestro objetivo es centrarnos en crear unos **escenarios intuitivos**, que el terapeuta pueda configurar libremente de forma sencilla, y en los que el paciente se involucre y olvide de estar realizando una terapia.

1.3. Estructura de la memoria

Estructuraremos la memoria en capítulos que abordarán los diferentes pasos realizados para alcanzar nuestro objetivo principal.

En este **primer capítulo** hemos definido las motivaciones que impulsaron este trabajo, a la vez que hemos expuesto las metas de desarrollo planteadas.

En el **segundo capítulo** estudiaremos la **enfermedad cerebrovascular**. A partir de ahora usaremos indistintamente los términos de ictus o *accidente cerebrovascular* (ACV) para referirnos a ella. Veremos las causas que la producen, las zonas cerebrales afectadas en cada sintomatología, y las secuelas más típicas tras sufrirla. Entraremos a fondo en la rehabilitación de los pacientes, las metodologías que se pueden emplear y cómo la realidad virtual empieza a hacerse un hueco entre ellas. Finalmente analizaremos varios estudios sobre su uso en este campo.

En el **tercer capítulo** abordaremos las **tecnologías de realidad virtual**, a nivel de sistemas de captura de movimientos y de desarrollo de videojuegos. Compararemos las más actuales y decidiremos cuáles emplearemos en nuestro desarrollo.

El **cuarto capítulo** muestra el **videojuego** creado remarcando los puntos clave de su desarrollo. Al principio describiremos la forma general del juego, para después centrarnos en los escenarios creados y sus aspectos clave a la hora de rehabilitar a los pacientes.

Finalmente, en el **quinto capítulo**, calcularemos un **presupuesto estimado** del desarrollo de este juego, y trataremos tanto las **conclusiones** que hemos alcanzado tras todo el proceso, como las posibles **líneas futuras** que se ofrecen.

A mayores, incluiremos un **anexo** con un **manual de usuario**, paso a paso, para que se comprenda el funcionamiento del juego y todas las posibilidades que ofrece.

Capítulo 2. Accidente Cerebrovascular

Como hemos expuesto en la introducción, el juego serio con realidad virtual que se pretende desarrollar está enfocado para ser un complemento en la rehabilitación de pacientes con ictus. En este capítulo abordaremos esta enfermedad. Estudiaremos primero sus causas, posteriormente expondremos los diferentes tipos de ictus existentes, y terminaremos determinando, a través del análisis de varios estudios, si la rehabilitación con realidad virtual es útil para los pacientes.

2.1. Ictus: Accidente Cerebrovascular

Se define como *accidente cerebrovascular (ACV) o Ictus* a todo episodio de instauración súbita, aguda o subaguda, en el que, a causa de una lesión primaria o secundaria localizable en cualquier punto del sistema cardiovascular, se produce un **déficit neurológico**, permanente o transitorio, en relación con la zona afectada. [1]

El 20% se deben a **hemorragias primarias** (síndromes hemorrágicos), mientras que el 80% están relacionados con la **isquemia** (síndromes isquémicos); el tejido encefálico isquémico pierde rápidamente la función, pero puede permanecer viable, con posibilidad de recuperarse, durante horas. Un déficit isquémico que se resuelve rápidamente se denomina *ataque isquémico transitorio (AIT)*, pero si es lo suficientemente prologado como para producir un área de necrosis tisular pasa a tratarse de un *infarto cerebral establecido (IC)*, también llamado ictus isquémico.

En los países occidentales, los accidentes cerebrovasculares son la tercera causa más frecuente de muerte y la segunda causa de incapacidad de origen neurológico después de la enfermedad de Alzheimer. A pesar de que su incidencia parece haberse reducido en las últimas décadas, el ictus se mantiene como la principal causa de ingreso en instituciones por pérdida de la independencia en adultos. [1]

Es importante destacar que la identificación y el control de los factores de riesgo vascular son los pilares básicos preventivos de un ictus. Éstos pueden desarrollarse a dos niveles: primario, controlando los factores de riesgo vascular, y en la fase sintomática, tratando a los pacientes que han sufrido accidentes previos. Se calcula que el 50% de los ictus acontecen en el 10% de la población, que debería beneficiarse del adecuado tratamiento de sus **factores de riesgo**. [1]

2.2. Factores de riesgo cerebrovascular

Modificables: [1] [3]

- **Hipertensión arterial (HTA):** Es el principal factor de riesgo modificable para el ictus, tanto en el isquémico como en el hemorrágico, y potencialmente es sobre el que existen mayores posibilidades de prevención.
- **Cardiopatías:** Aumentan el riesgo de ACV, tanto las cardiopatías isquémicohipertensivas como las arritmias cardíacas, en especial la fibrilación auricular asociada a valvulopatía reumática. También es factor el prolapso de la válvula mitral en individuos menores de 45 años y genera, en ausencia de otros factores de riesgo, el 40% de los ACV en estos pacientes. La existencia de una hipertrofia ventricular izquierda es también un alto factor de riesgo.
- **Diabetes mellitus:** Incrementa la posibilidad de ACV entre 2 y 3 veces la de la población normal, aumentando también su gravedad. Del 5 al 30% de los pacientes que sufren un ACV son diabéticos.
- **Alteraciones hematológicas:** Más de una docena de alteraciones hematológicas primarias se han asociado a la ACV de carácter isquémico, entre las que destacan la policitemia, el déficit de antitrombina III, el de proteína C o el de proteína S.
- **Alcoholismo:** Incrementa tanto el riesgo de ACV como la mortalidad al sufrir uno. Este factor incluye tanto la ingesta crónica como la intoxicación aguda.
- **Tabaquismo:** Es un riesgo que aumenta en 3 las posibilidades de ACV. Si se asocia a la hipertensión arterial, el riesgo se incrementa en 20.
- **Hiperuricemia:** El nivel alto de ácido úrico en sangre se relaciona con un mayor riesgo de sufrir cualquier tipo de ACV.
- **Fármacos:** Ciertos fármacos, como la cocaína, las anfetaminas y los anticoagulantes orales, incrementan el riesgo de hemorragia cerebral, mientras que los estrógenos en varones y los anticonceptivos en mujeres predisponen a una isquemia.

No modificables: [1] [2] [3]

- **Antecedentes familiares de ictus.**
- **Accidentes isquémicos transitorios o ictus previos.**
- **Edad:** En realidad es el factor más importante, con una relación estrecha y directamente proporcional al desarrollo de todos los tipos de ACV. Tiene mayor frecuencia en ancianos (65-80 años), pero mayor riesgo de mortalidad en gente joven.
- **Sexo:** Los varones están algo más expuestos, con una relación 1:3/1 frente a las mujeres, pero existe mayor mortalidad en éstas.

- **Otros factores:** La obesidad es un factor pequeño en varones. La raza también, ya que la población negra americana tiene un riesgo mayor de ACV trombótica, mientras que los japoneses tienen una alta prevalencia de hemorragias cerebrales.

2.3. Clasificación según las causas

2.3.1. Síndrome Hemorrágico

Se produce por una **rotura total o parcial de una arteria**, produciendo una hemorragia cerebral que disminuye el flujo sanguíneo que llega a al cerebro. Es responsable de un 10-20% de los ictus establecidos. En general aparece en personas con hipertensión arterial, o personas en tratamiento de anticoagulantes. Tiene un inicio brusco, acompañado de una pérdida de conciencia súbita. [1]

Existen dos tipos diferenciados: hemorragia intracerebral, y hemorragia subaracnoidea.

Hemorragia intracerebral

Suele ser consecuencia de la **rotura de un vaso** arteriosclerótico que ha estado expuesto largo tiempo a la hipertensión arterial o que ha presentado trombosis local e isquemia secundaria. Menos frecuentemente, la **causa** es una **aneurisma o malformación vascular congénita**. Puede aparecer en cualquier localización. Las más graves clínicamente se localizan en proximidad de los ganglios basales, la cápsula interna y el tálamo, y en el cerebelo o el tronco del encéfalo. [4]

En cualquier parte del cerebro, un hematoma disecciona, comprime y desplaza el tejido cerebral adyacente y, si es extenso, aumenta la presión intracraneal. La presión ejercida por los hematomas supratentoriales y el edema acompañante puede causar una herniación transtentorial, comprimiendo el tronco del encéfalo y dando lugar con frecuencia a hemorragias secundarias en el mesencéfalo y la protuberancia. Si la hemorragia se abre al sistema ventricular, la sangre puede alcanzar el espacio subaracnoideo. Los hematomas cerebelosos pueden expandirse hasta bloquear el sistema ventricular, causando una hidrocefalia aguda, o disecar e introducirse en el tronco. En cualquiera de estos casos, aparece estupor o coma. [4]

Síntomas y signos: Es característico que los síntomas comiencen de forma brusca con cefalea seguida de déficit neurológicos progresivos. Los hematomas extensos localizados en los hemisferios producen hemiparesia (parálisis unilateral no completa); cuando se localizan en la fosa posterior producen síntomas de disfunción cerebelosa o del tronco del encéfalo (desviación conjugada de la mirada, respiración estertorosa, pupilas puntiformes y coma). Las hemorragias extensas producen pérdida de conciencia y son mortales en pocos días en más del 50% de los pacientes. En los que sobreviven, el nivel de conciencia

se va restaurando y los déficits neurológicos disminuyen gradualmente. Generalmente, persiste algún grado de afectación, incluyendo disfasia en las hemorragias en el hemisferio dominante, aunque muchos pacientes presentan una recuperación funcional aceptable. Los hematomas pequeños pueden producir déficits focales similares a los de ictus isquémicos. [4]

Hemorragia subaracnoidea (HSA)

Aparece sangre en el espacio subaracnoideo. La **causa** más frecuente es el **traumatismo craneal**. La HSA espontánea suele ser consecuencia de una rotura un aneurisma intracraneal congénito. Menos comúnmente se debe a una malformación arteriovenosa o un trastorno hemorrágico sistémico. Puede aparecer a cualquier edad, pero es más frecuente entre los 40 y 65 años. La mayor parte de los aneurismas se localizan en la arteria cerebral media o anterior y en las ramas comunicantes del polígono de Willis.

Tras una hemorragia subaracnoidea es frecuente un aumento secundario de la presión intracraneal que puede durar varios días o unas pocas semanas. También puede aparecer una hidrocefalia comunicante, que puede contribuir a aumentar la cefalea, la obnubilación y la demencia posthemorrágicas. [4]

Síntomas y signos: Cuando el aneurisma se rompe suele existir **cefalea aguda y grave**. Los pacientes pueden presentar diferentes grados de déficit neurológico y de alteración de la conciencia. [4]

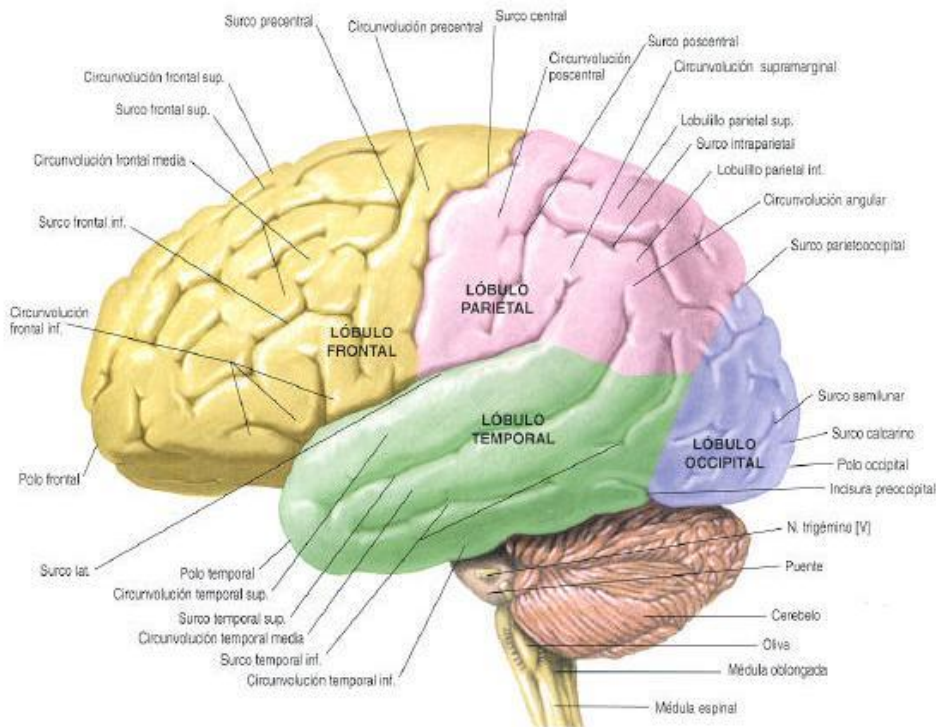


Figura 1. Esquema de las partes del cerebro [5]

2.3.2. Síndrome Isquémico

Trastornos cerebrovasculares causados por **insuficiencia de la circulación cerebral**. Más concretamente, se producen por una obstrucción parcial o total de una arteria, produciendo una disminución del flujo sanguíneo al cerebro, interrumpiendo el suministro de oxígeno, glucosa u otros nutrientes al tejido cerebral afectado, siendo la consecuencia del infarto cerebral. Suponen entre 80-90% del total de los ictus. [2] [4]

Entre las **causas** que lo producen se encuentran las **anomalías congénitas** y la **aterosclerosis**. Los ateromas grandes suelen ser extracraneales, y afectan a las arterias carótidas comunes y vertebrales en su origen (Figura 2). Esto derivará casi siempre en un ictus. La trombosis intracraneal tiene lugar en el tronco de la arteria cerebral media y sus ramas. Si la eficacia de la circulación colateral es buena, puede que el trombo se disuelva antes de llegar a producir una isquemia. [4]

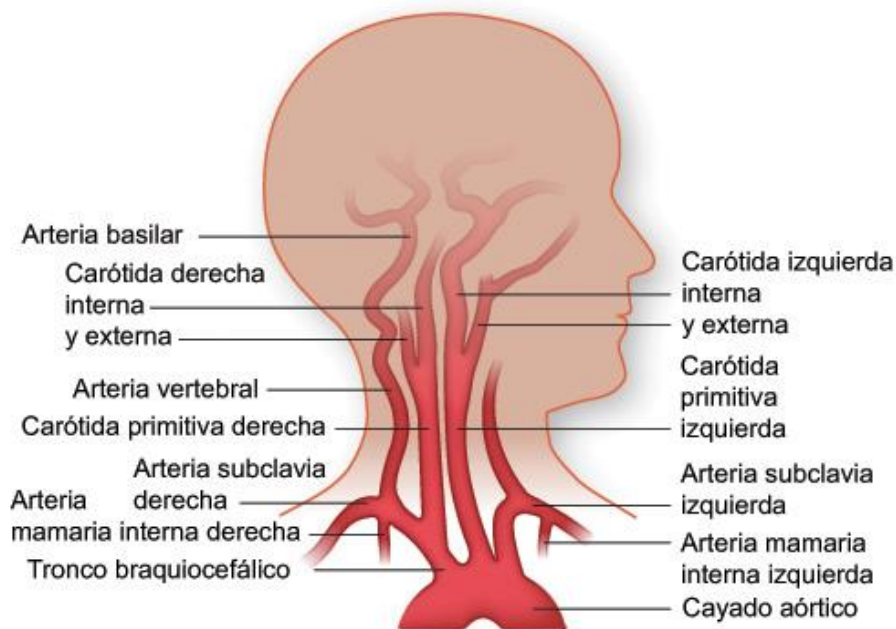


Figura 2. Vascularización cerebral general [6]

Existen dos tipos diferenciados: ataque isquémico transitorio, e infarto cerebral establecido.

Ataque Isquémico Transitorio (AIT)

Se define como una **disfunción cerebral** ocasionada por un déficit vascular, de inicio brusco, con una duración **inferior a las 24 horas**, una recuperación clínica total y ausencia de lesión cerebral residual. El peligro radica en que el 20-50% de estos pacientes, si no son tratados, desarrollarán un ACV en el transcurso de los 5 años siguientes. [1]

Síntomas y signos: Los síntomas de un AIT son idénticos a los del ictus, pero se diferencian en que son **transitorios**. Cuando existe afectación carotídea los síntomas

suelen ser unilaterales. La hemiparesia contralateral, generalmente con parestesias (dolor, entumecimiento o sensaciones extrañas de hormigueo o picor en las extremidades paralizadas o debilitadas), son cuadros típicos, pero también lo son los síndromes incompletos. Si ha sido afectado un lado dominante del cerebro, se podrá desarrollar afasia (lesión inducida en cualquiera de los centros de control del lenguaje del cerebro). Debido a una isquemia vertebrovascular, el paciente puede desarrollar crisis de caída, que son episodios de debilidad de las piernas que desencadenan una caída, en un paciente consciente. [4]

Infarto Cerebral Establecido (IC)

Es un **infarto cerebral** manifestado por déficit neurológicos que implican una lesión establecida. Los síntomas se desarrollan rápidamente, y son máximos en pocos minutos. En estos casos, la arteria cerebral media y sus ramas penetrantes constituyen un punto frecuente de obstrucción (Figura 3).

Síntomas y signos: Dependerán completamente del territorio vascular afectado (Figura 3). La oclusión proximal de la arteria cerebral media da lugar a hemiplejía contralateral (parálisis completa). La afasia aparece cuando está afectado el hemisferio dominante; la apraxia y/o la negligencia sensitiva cuando está afectado el hemisferio no dominante. La oclusión de la arteria carótida interna (Figura 2) origina un infarto similar, excepto porque ocasionalmente da lugar a síntomas visuales ipsilaterales. La oclusión de la arteria cerebral posterior puede afectar zonas de los lóbulos temporal y occipital, hipocampo, tálamo, y la parte superior del tronco del encéfalo, entre otros, causando pérdida hemisensitiva y dolor talámico espontáneo (transmisión de señales falsas que dan lugar a la sensación de dolor). [4]

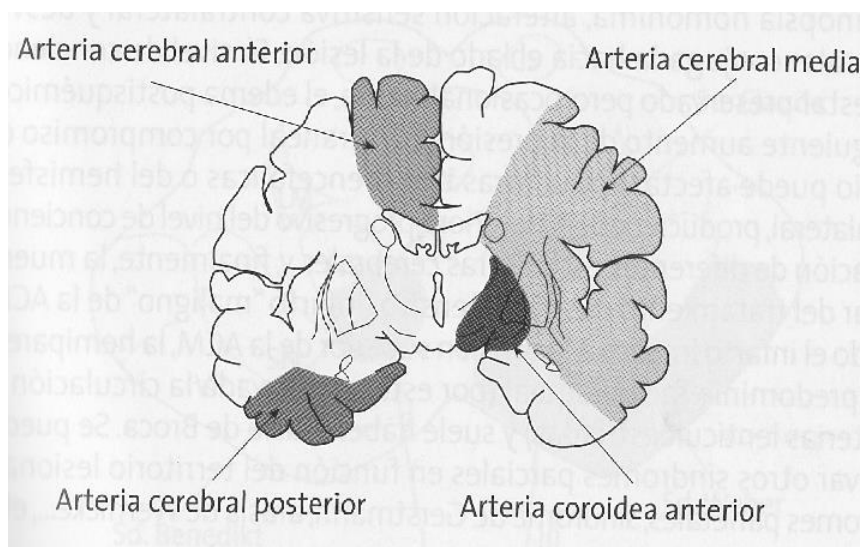


Figura 3. Esquema de los territorios vasculares cerebrales [3]

2.4. Tipos de afectación motora y cognitiva

Los tipos y grados de discapacidad que siguen a un derrame dependen de qué área del cerebro esté dañada (Figura 4). Generalmente, el accidente cerebrovascular puede causar **cinco tipos** de discapacidades: parálisis o problemas para controlar el movimiento; Trastornos sensoriales, incluyendo dolor; Problemas en el uso o comprensión del lenguaje; Problemas con el pensamiento y la memoria; Y trastornos emocionales. [7]

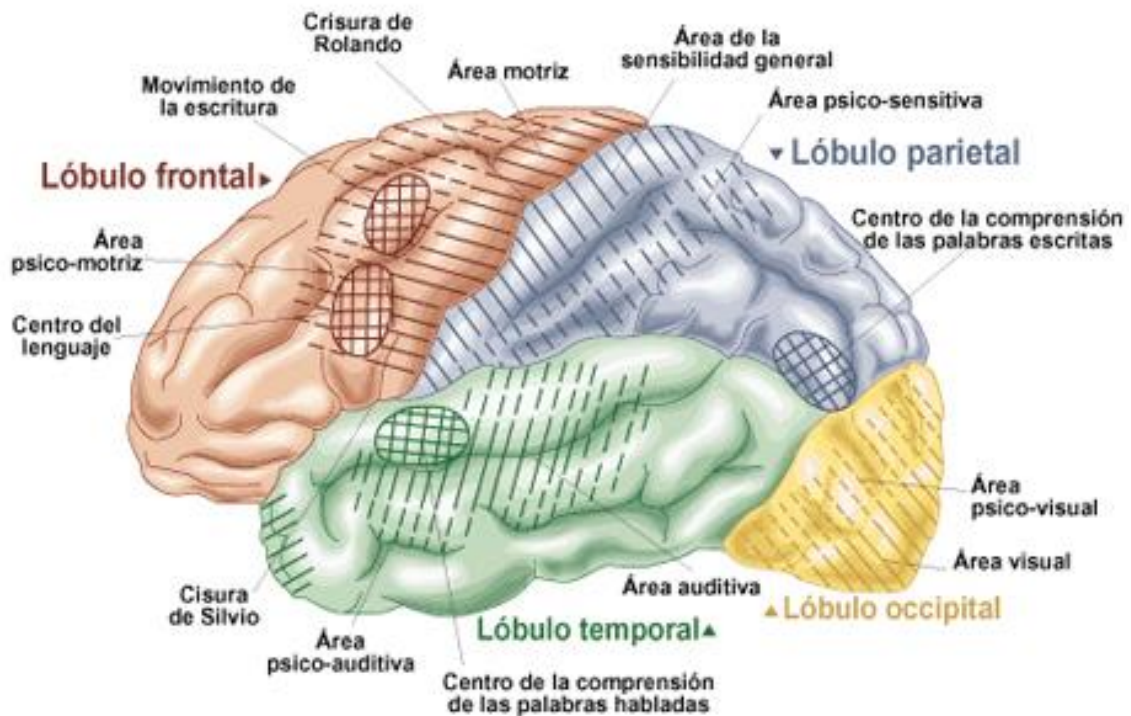


Figura 4. Áreas corticales del cerebro humano [8]

Parálisis o problemas para controlar el movimiento

La parálisis es una de las discapacidades más comunes causadas por un accidente cerebrovascular. Se suele dar en el lado del cuerpo opuesto al lado del cerebro dañado y puede afectar a la cara, un brazo, una pierna o a todo un lado del cuerpo. Esta parálisis unilateral se denomina **hemiplejia** (si la parálisis no es completa se denomina **hemiparesia**). Los pacientes con hemiparesia o hemiplejia pueden tener dificultades con las actividades cotidianas, como caminar o agarrar objetos. [2]

Algunos pacientes con un accidente cerebrovascular tienen problemas con la deglución, llamada **disfagia**, debido al daño a la parte del cerebro que controla los músculos para tragar. [2]

Si el daño se ha producido en una parte inferior del cerebro, el cerebelo, puede afectar la capacidad del cuerpo para coordinar el movimiento, una discapacidad llamada **ataxia**, que conduce a problemas con la postura corporal, el caminar y el equilibrio.

Alteraciones sensoriales, incluyendo dolor

Los pacientes con accidente cerebrovascular pueden perder la capacidad de sentir el tacto, dolor, temperatura o posición. También pueden tener dificultad para reconocer objetos que están sosteniendo, e incluso pueden ser lo suficientemente graves como para causar la pérdida del reconocimiento de su propia extremidad. Algunos pacientes con apoplejía llegan a experimentar dolor, entumecimiento o sensaciones extrañas de hormigueo o picor en las extremidades paralizadas o debilitadas, un síntoma conocido como **parestias**.

La **pérdida de continencia urinaria** es bastante común inmediatamente después de un accidente cerebrovascular y, a menudo, resulta de una combinación de déficits sensoriales y motores. Los pacientes de un accidente cerebrovascular pueden perder la capacidad de sentir la necesidad de orinar o la capacidad de controlar los músculos de la vejiga. Algunos pueden carecer de suficiente movilidad para llegar a un baño a tiempo. También puede ocurrir una pérdida del control intestinal o estreñimiento. La incontinencia permanente después de un accidente cerebrovascular es infrecuente, pero incluso una pérdida temporal del control del intestino o de la vejiga puede ser emocionalmente difícil para los pacientes.

Frecuentemente los pacientes tienen una variedad de síndromes dolorosos crónicos resultantes de un daño inducido por accidente cerebrovascular en el sistema nervioso (**dolor neuropático**). En algunos pacientes, las vías por las que se transmite la información sensorial en el cerebro están dañadas, causando la transmisión de señales falsas que dan lugar a la sensación de dolor en una extremidad o un lado del cuerpo que tiene déficit sensorial. El más común de estos síndromes del dolor se denomina **síndrome del dolor talámico** (causado por un golpe al tálamo, encargado de procesar la información sensorial del cuerpo al cerebro), que puede ser difícil de tratar incluso con medicamentos.

Por último, existe un cierto dolor que se produce después del accidente cerebrovascular que no se debe al daño del sistema nervioso, sino más bien a los problemas mecánicos causados por la debilidad en el miembro paralizado. Los pacientes que tienen un brazo seriamente debilitado o paralizado experimentan generalmente dolor moderado a severo que irradia hacia fuera del hombro. A menudo, el dolor resulta de la falta de movimiento en una articulación que se ha inmovilizado durante un período prolongado de tiempo (como tener el brazo o el hombro en un molde durante semanas) y los tendones y los ligamentos alrededor de la articulación se fijan en una posición. Esto se conoce comúnmente como una **articulación "congelada"**. El movimiento "pasivo" (la articulación es movida o flexionada suavemente por un terapeuta o cuidador en lugar de por el paciente) en la articulación de una extremidad paralizada es esencial para

prevenir la "congelación" dolorosa y permitir un movimiento fácil si la fuerza motora voluntaria regresara.

Problemas en el uso o comprensión del lenguaje: Afasia

Al menos una cuarta parte de los pacientes de un accidente cerebrovascular sufren discapacidades del lenguaje, que incluyen la capacidad de hablar (agrafia), escribir (alexia), y entender el lenguaje hablado y escrito.

Una lesión inducida por un accidente cerebrovascular en cualquiera de los centros de control del lenguaje del cerebro puede afectar gravemente a la comunicación verbal. El daño a un centro de lenguaje situado en el lado dominante del cerebro, conocido como el área de Broca, causa **afasia expresiva**. Las personas con este tipo de afasia tienen dificultad para transmitir sus pensamientos a través de habla o escritura. Pierden la capacidad de expresar las palabras que están pensando y de ponerlas en frases coherentes y gramaticalmente correctas.

Por el contrario, el daño a un centro de lenguaje localizado en la parte posterior del cerebro, llamada área de Wernicke, desemboca en **afasia receptiva**. Las personas con esta condición tienen dificultad para entender el lenguaje oral o escrito y, a menudo, tienen un discurso incoherente. Aunque pueden formar oraciones gramaticalmente correctas, sus enunciados suelen carecer de significado.

La forma más severa de afasia, la **afasia global**, es causada por un daño extenso a varias áreas del cerebro involucradas en la función del lenguaje. Las personas con afasia global pierden casi todas sus habilidades lingüísticas: no pueden entender el lenguaje ni usarlo para transmitir el pensamiento.

Problemas con el pensamiento y la memoria

Un accidente cerebrovascular puede causar daño a partes del cerebro responsables de la **memoria**, el **aprendizaje** y la **conciencia**. Los pacientes pueden haber reducido dramáticamente su capacidad de atención o pueden experimentar déficit en la memoria a corto plazo. También pueden perder su capacidad de hacer planes, comprender el significado de las cosas, aprender nuevas tareas, o participar en otras actividades mentales complejas.

Dos deficiencias bastante comunes resultantes de un accidente cerebrovascular son la **anosognosia**, una incapacidad para reconocer la realidad de los impedimentos físicos resultantes del ictus, y el **abandono**, la pérdida de la capacidad de responder a los estímulos sensoriales afectados en el lado que sufre el accidente cerebrovascular.

Los pacientes de un accidente cerebrovascular que desarrollan **apraxia** (pérdida de la capacidad de llevar a cabo un movimiento deliberado aprendido) no pueden planificar los pasos involucrados en una tarea compleja y actuar sobre ellos en la

secuencia apropiada. También pueden tener problemas siguiendo un conjunto de instrucciones. La apraxia parece ser causada por una interrupción de las conexiones sutiles que existen entre pensamiento y acción.

Trastornos emocionales

Muchas personas tras sobrevivir a un derrame sienten miedo, ansiedad, frustración, ira, tristeza y un sentimiento de dolor por sus pérdidas físicas y mentales. Estos sentimientos son una respuesta natural al trauma psicológico del ictus. Algunos trastornos emocionales y cambios de personalidad son causados por los efectos físicos del daño cerebral.

La **depresión clínica**, que es una sensación de desesperanza que perturba la capacidad de un individuo para funcionar, parece ser el trastorno emocional más comúnmente experimentado por los pacientes de un accidente cerebrovascular. Los signos de depresión clínica incluyen trastornos del sueño, un cambio radical en los patrones de alimentación que pueden conducir a una pérdida o ganancia repentina de peso, letargo, retraimiento social, irritabilidad, fatiga, auto-odio y pensamientos suicidas. La depresión post-accidente cerebrovascular puede ser tratada con medicamentos antidepresivos y psicología.

2.5. Rehabilitación

El **objetivo** de la rehabilitación en pacientes que han sufrido un accidente cerebrovascular es ayudarles a ser lo más independientes posibles y conseguir así mejorar su calidad de vida. La rehabilitación no curará los daños cerebrales, pero sin duda será útil ya que puede ayudar a largo plazo a reaprender habilidades que se pierden cuando parte del cerebro está dañado.

Estas habilidades pueden incluir la **coordinación** de los movimientos de las piernas con el fin de caminar, o realizar cualquier actividad motora compleja. La rehabilitación también se encarga de **enseñar nuevas formas de realizar tareas** para eludir o compensar cualquier discapacidad residual. Los pacientes pueden necesitar aprender a bañarse y vestirse con una sola mano, o **comunicarse** eficazmente cuando su habilidad para usar el lenguaje ha sido dañada.

Una base clara, en la que todos los expertos en rehabilitación están de acuerdo, es que el elemento más importante en cualquier programa de rehabilitación es la **repetición**. Con una práctica repetitiva y bien enfocada a las necesidades del paciente, podremos llegar a obtener los mejores resultados. Para algunos individuos, la rehabilitación será un proceso continuo que durará meses o incluso años después de haber sufrido el ACV. [7]

2.5.1. Técnicas

Existen numerosos enfoques para la rehabilitación de un ACV, algunos de los cuales aún se encuentran en etapa de estudio. El comportamiento en cualquier área, como la función sensorial-motora y cognitiva, es más probable que mejore cuando la actividad motora es **voluntaria, repetitiva y específica** de la tarea.

La rehabilitación del accidente cerebrovascular puede incluir algunas o todas las siguientes actividades, dependiendo de la parte del cuerpo o el tipo de capacidad afectada. [9]

Actividades físicas:

- El **fortalecimiento de las habilidades motoras** implica el uso de ejercicios para ayudar a mejorar la fuerza muscular y la coordinación, y se incluye entre éstas la terapia para ayudar con la deglución.
- El **entrenamiento de la movilidad** puede incluir el aprendizaje de uso de ayudas para caminar, tales como un andador, bastones o un soporte de plástico, para estabilizar y ayudar a los tobillos a apoyar el peso del cuerpo mientras aprende a caminar.
- La terapia inducida por restricciones, también conocida como **terapia de uso forzado**, implica restringir el uso de la extremidad sana mientras se practica el movimiento de la extremidad afectada para ayudar a mejorar su función.
- La **terapia de rango de movimiento** emplea ejercicios y otros tratamientos para ayudar a disminuir la tensión muscular (espasticidad) y recuperar el rango de movilidad.

Actividades físicas asistidas por la tecnología:

- La **estimulación eléctrica funcional** implica el uso de electricidad para estimular los músculos debilitados, haciendo que se contraigan. Esto puede ayudar con la reeducación muscular.
- La **tecnología robótica** emplea dispositivos robóticos para ayudar a los miembros con discapacidad en la realización de movimientos repetitivos, ayudándoles a recuperar la fuerza y la función.
- La **realidad virtual** es una terapia basada en dispositivos que implica interactuar con un entorno simulado en tiempo real. Un ambiente más interesante para un paciente puede mejorar la motivación para la práctica, y conseguir así que la repetición del ejercicio no sea tediosa.
- **Estimulación cerebral no invasiva.** Técnicas como la estimulación magnética transcraneal (TMS) se han utilizado con cierto éxito para ayudar a mejorar una variedad de habilidades motoras.

Actividades cognitivas y emocionales:

- La **terapia para los trastornos de la comunicación** puede ayudar a recuperar las habilidades perdidas en hablar, escuchar, escribir y comprender.
- La **evaluación psicológica** y el tratamiento pueden incluir: la prueba de habilidades cognitivas y el ajuste emocional, consejería con un profesional de salud mental, o participar en grupos de apoyo.
- Los **medicamentos** a veces se usan para tratar la depresión. También se usan medicamentos que afectan el movimiento.

Terapias experimentales:

- Las **terapias biológicas**, como las células madre, están siendo investigadas, pero sólo deben utilizarse como parte de un ensayo clínico.
- **Tratamientos de medicina alternativa**, como masajes, terapia de hierbas y acupuntura, se están evaluando.

En este trabajo nos hemos enfocado, de entre todas las técnicas de rehabilitación expuestas, en la terapia con videojuegos de realidad virtual.

2.5.2. El uso de la realidad virtual en rehabilitación

Realidad virtual es el término con el que se denomina a una interfaz de usuario avanzada para aplicaciones computacionales, que permiten al usuario navegar e interactuar, en tiempo real, con un ambiente tridimensional generado por ordenador, usando dispositivos multisensoriales. [10]

La realidad virtual y los videojuegos interactivos han surgido como **nuevos enfoques** de tratamiento en la rehabilitación del accidente cerebrovascular. Estos enfoques pueden ser ventajosos ya que dan la oportunidad de practicar actividades que no se pueden realizar dentro del entorno clínico. Además, los programas de realidad virtual están diseñados para ser más interesantes y agradables que las terapias tradicionales, alentando que el paciente realice un mayor número de repeticiones de los ejercicios. El uso de programas de realidad virtual diseñados para la rehabilitación aún no son comunes en los contextos clínicos, pero poco a poco se están haciendo un hueco entre las terapias. [11] [12]

Los sistemas de realidad virtual que se utilizan en rehabilitación pueden ser inmersivos o no inmersivos. [13]

- Los **entornos virtuales inmersivos** se ligan a un ambiente tridimensional generado por ordenador en el cual el sujeto interactúa a través de guantes de sensación, cascos de visualización estereoscópica, pantallas interconectadas que

abarcan un amplio campo de visión y cabinas o cuevas virtuales que representan escenarios virtuales en los que se realizan los ejercicios programados (Figura 5).



Figura 5. Ejemplo de un entorno virtual inmersivo [14]

- 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.

2.5.3. Comparativa: Rehabilitación con realidad virtual frente a la rehabilitación tradicional

Durante una sesión de rehabilitación tradicional el paciente hace uso de sus sentidos para tener una realimentación de las tareas que realiza, a través de los ojos, de los sentidos, audición y tacto. Por ello, si queremos que la misma sesión de terapia se desarrolle con realidad virtual, este nuevo mundo simulado debe emular dichas situaciones y proporcionarle al paciente sensaciones similares. De esta forma las habilidades adquiridas en un entorno virtual pueden ser empleadas correctamente al mundo real. [10]

Para comprobar si la rehabilitación con realidad virtual es realmente prometedora frente a la tradicional se **han comparado varios estudios**, en los que se exponen distintos grupos de pacientes a una misma terapia bajo las dos opciones.

1. El primero se enfoca en comprobar qué sucede si se elimina la realimentación de algún elemento en un entorno de realidad virtual. Se compararon a través de un

juego de tenis de mesa. Si el espacio virtual tenía todos los elementos, los sujetos podían centrarse en aprender los movimientos más relevantes para realizar la tarea, y su desempeño en el mundo real mostraba que la práctica servía de base; sin embargo, al eliminar un componente del ambiente virtual, los individuos no podían repetir con el mismo desempeño la tarea en el mundo real. [15]

2. El segundo estudio la actitud de los pacientes frente a la terapia. Se utilizó para la rehabilitación de un grupo de 29 pacientes, 17 mujeres y 12 hombres con edades entre 44 y 85 años. Desde un primer momento la actitud de los pacientes fue completamente positiva. Además, 140 meses después del evento cerebrovascular y el inicio de las terapias, existía una mejora tanto en las habilidades cognitivas como en las motoras. [16]
3. Otro estudio evaluaba la comparación de un programa de rehabilitación clásico con uno basado en realidad virtual en el caso de pacientes con dificultades de movilidad en el hombro. El resultado mostró que la rehabilitación virtual es una buena alternativa para los pacientes ambulatorios o domiciliarios y en otros campos podría usarse en aplicaciones de telesalud. [10] [17]
4. El último estudio se enfocó en evaluar diferentes tecnologías hardware para rehabilitación. El entrenamiento virtual inmersivo mejoró sustancialmente la capacidad de marcha de los pacientes. En la rehabilitación del equilibrio y en la hemiplegia se obtuvieron también prometedores resultados. Finalmente se comprobó que la activación del córtex sensitivo-motor en el hemisferio lesionado y del sistema de neuronas en espejo mejoraba durante estos tratamientos. [18]

2.5.4. Conclusiones

Las terapias de realidad virtual son una alternativa **complementaria** a las terapias tradicionales. Sin embargo, en la actualidad, los estudios son pocos y demasiado pequeños para llegar a una conclusión completamente fiable. La falta de eventos adversos reportados (como mareos, dolor de cabeza o náuseas) sugiere que este enfoque de la terapia es relativamente seguro, aunque esto puede variar dependiendo de las características de la persona, el hardware y el software de la realidad virtual y la tarea. [11]

Capítulo 3. Tecnología y Realidad virtual

En este capítulo se estudiarán las diferentes tecnologías existentes actualmente que permiten desarrollar juegos de realidad virtual enfocados a la rehabilitación. Primero evaluaremos los **sistemas de captura de movimientos**, necesarios para trasladar los ejercicios realizados por los pacientes al juego, y después estudiaremos los principales **motores de juego y herramientas de desarrollo** de software. Finalmente realizaremos una comparativa con la que determinaremos qué dispositivo y qué motor de juego emplearemos en el desarrollo de la parte práctica.

3.1. Captura de movimientos

La captura de movimientos en este contexto se refiere al uso de una tecnología para capturar y almacenar de forma digital el movimiento humano o de objetos. Lo que se analiza a través de los dispositivos son las posiciones, las fuerzas, las velocidades y los impulsos de los movimientos, tomando como referencia variables sacadas en tiempo discreto.

Según para qué se emplee esa información podemos diferenciar entre **varios campos de aplicación** [19]:

- En **videojuegos** se utiliza para dotar a los personajes u objetos de animaciones más realistas, o para interactuar con el propio juego. El uso de técnicas, elementos y dinámicas propias de los juegos y el ocio en actividades no recreativas con el fin de potenciar la motivación, así como de reforzar la conducta para solucionar un problema u obtener un objetivo, se conoce actualmente como **gamificación** [20], y es una aplicación muy típica dentro del mundo de la realidad virtual.
- En **animación** se emplea para crear personajes con movimientos y expresiones corporales más cercanos al mundo real.
- En la **industria militar**, se está comenzando a usar para permitir a los militares interactuar con más partes de su cuerpo, agilizando las maniobras en combate, las cuales requieren velocidad y destreza. Un ejemplo en uso, son los cascos de aviación que capturan el movimiento y permiten interactuar con dispositivos de realidad aumentada.
- En **medicina y deportes**, se utiliza para analizar la locomoción. Sirven tanto para estudiar problemas físicos como para mejorar el rendimiento deportivo.

En nuestro caso, desarrollaremos un videojuego enfocado a la rehabilitación terapéutica.

También es importante evaluar el modo en el que se captura la información del movimiento, ya que dependiendo de qué métodoelijamos, emplearemos unos dispositivos u otros. Actualmente existen **seis tipos de sistemas de captura** [19]:

- **Electromecánica:** la captura de movimientos se realiza utilizando sensores electromecánicos. Para ello es necesario vestir un traje especial cubierto de estos sensores. No mide nunca la posición espacial.
- **Electromagnética:** se dispone de una colección de sensores electromagnéticos que miden la relación espacial con un transmisor cercano. Los sensores se colocan en el cuerpo y se conectan a una unidad electrónica central, casi siempre mediante cables.
- **Óptica:** utilizan los datos recogidos por sensores de imagen para determinar la posición de un elemento en el espacio, utilizando una o más cámaras sincronizadas para proporcionar proyecciones simultáneas. Para que los sensores recojan correctamente las posiciones puede ser necesario colocar marcadores en el cuerpo (pasivos, que reflejan la luz del sensor; o activos, ellos mismos generan la luz), o no ser necesarios.
- **Fibra óptica:** Se fijan sobre distintas partes del cuerpo sensores flexibles de fibra óptica que miden las rotaciones de las articulaciones. Al igual que la técnica electromecánica, no mide la posición espacial.
- **Ultrasonidos:** se utilizan emisores que generan pulsos ultrasónicos (imperceptibles por los seres humanos) que son capturados por uno o varios receptores situados en posiciones conocidas, permitiendo averiguar la posición del emisor en el espacio, e incluso su orientación en algunos casos.
- **Sistemas inerciales:** utilizan unos pequeños sensores (normalmente acelerómetros y giroscopios) que recogen información sobre la aceleración y la velocidad angular del sensor. Conociendo la posición y la velocidad angular inicial e integrando las informaciones que recogen los sensores, es posible determinar la posición, eje de giro y velocidad angular de cualquier sensor.

Tras evaluar cada uno de los métodos, hemos decidido trabajar con **sistemas de captura ópticos sin marcadores**, ya que capturaremos el movimiento de todo el cuerpo y de esta manera evitaremos necesitar nada más que una o varias cámaras, reduciendo el tiempo de preparación del paciente a la hora de iniciar una sesión de terapia.

A continuación, estudiaremos los diferentes sistemas de captura del mercado que cumplen los requisitos elegidos.

3.1.1. Kinect 2.0

Kinect es un dispositivo de entrada de detección de movimiento creado por Alex Kipman y desarrollado por Microsoft para la videoconsola Xbox 360, aunque su uso para PC es posible desde junio del 2011. También permite a los usuarios interactuar con el PC o la videoconsola y controlarlos sin necesidad alguna de establecer contacto físico con periféricos de entrada, gracias a la interfaz natural de usuario (*Natural User Interface*, NUI) que permite el reconocimiento de gestos y comandos de voz.

El primer desarrollo se hizo en 2009, con la **versión 1.0** de este dispositivo. Su funcionamiento se basa en un potente infrarrojo y una cámara que se encarga, primero de escanear la escena, y después de transmitir la información a un microchip, que la traduce y captura los movimientos que se hayan ocasionado. La cámara posee una resolución VGA a 640x480 píxeles por defecto, aunque se puede trabajar a 1280x1024 reduciendo la tasa de refresco.

En 2014, y tras hacer público Microsoft el *Software Developer Kit* (SDK) que permite que se puedan desarrollar aplicaciones para PC que empleen Kinect, salió al mercado la segunda versión de este dispositivo: **Kinect 2.0**. Posee una cámara principal time-of-flight (TOF) de alta resolución que captura más detalles que la Kinect 1.0, con gran precisión y mayor resolución, por lo que permite reproducir una escena en movimiento con tres veces más fidelidad. Además, logra un campo de visión un 60% mayor, y se pueden escanear hasta seis usuarios a la vez y a una menor distancia del dispositivo. Por otro lado, el nuevo sensor de infrarrojos es capaz de reconocer cuerpos en una habitación completamente a oscuras. [21]



Figura 6. Dispositivo Kinect

3.1.2. Xtion PRO LIVE

Xtion fue desarrollado por Asus para introducirse en el mercado de captura de movimientos y competir directamente con Microsoft y su Kinect. Únicamente se puede emplear para PCs.

La **versión inicial** (Xtion) poseía únicamente un sensor de profundidad que trabaja con un campo de visión de 58° horizontales y 45° verticales. Entre sus especificaciones encontramos que su distancia de uso es de 0.8 a 3.5 metros.

La **segunda versión** (Xtion PRO) añade una cámara con una resolución de 1280x1024, y el sensor de profundidad puede trabajar a 640x480 a 30 fps. Es posible reducir a la mitad la resolución para doblar la tasa de fotogramas (320x240 a 60 fps). También cuenta con un SDK para el desarrollo de software llamado *OPEN NI SDK*.

La **versión orientada a desarrolladores** (Xtion PRO LIVE) únicamente añade micrófonos en sus extremos, por lo que reconoce sonidos con el fin de que el usuario controle todo tipo de parámetros con su voz. [22]



Figura 7. Dispositivo Xtion PRO LIVE

3.1.3. DepthSense

Esta cámara de captura de movimientos ha sido desarrollada por la compañía belga SoftKinetic. Cabe destacar que utiliza una tecnología patentada denominada CAPD (*Current Assisted Photonic Demodulation*).

El último modelo es el **DS525**, con una cámara que presenta una resolución de 720p HD. A nivel de distancia, ofrece datos 3D en tiempo real para aplicaciones de alcance cercano, medio o largo. También proporciona datos de profundidad para el análisis de software desde 15 cm a 1 metro (60 fps), con un rango de visión de 74° en horizontal y 58° en vertical. Además, posee una interfaz de usuario natural, y se puede integrar en PCs, monitores, drones y AGVs. [23]

Por otro lado, SoftKinetic permite trabajar con el middleware denominado iisu SDK. Este middleware dispone de interfaces y patrones de gesticulación predefinidos para reducir los ciclos de desarrollo, y es compatible con Windows 7, Windows 8, Linux y Android.



Figura 8. Dispositivo DepthSense

Sólo evaluando el corto rango de alcance, ya podemos **descartar** esta cámara de nuestras opciones.

3.1.4. Minoru 3D

Minoru 3D Webcam es una cámara estereoscópica que emplea tecnología 3D a través de dos cámaras situadas a una distancia la una de la otra similar a la existente entre los ojos de una persona.

Cuenta con dos sensores CMOS VGA de 640x480, dos objetivos de gran angular y de alta calidad, y un micrófono incorporado. Ofrece una imagen de 320x240 a 800x600 píxeles, y es capaz de capturar movimiento a una frecuencia máxima de 30 fps. A parte, precisa de luz natural para funcionar correctamente. Las imágenes en 3D se pueden producir en formato 3D, 2D, y *Picture-in-Picture* (una imagen es mostrada a pantalla completa mientras que otra es mostrada en una ventana menor). Además, posee enfoque manual a partir de una distancia mínima de 10 centímetros, y un campo de visión de 42 grados. [24]



Figura 9. Dispositivo Minoru 3D

3.1.5. RealSense

Realsense es como se conocen a las cámaras desarrolladas por Intel. Vamos a evaluar dos: RealSense R200, y RealSense SR300.

RealSense R200 tiene una cámara RGB que da información del color, y otras dos, una infrarroja y otra estereoscópica, para la profundidad. Con la ayuda de un proyector láser, la cámara hace escaneos 3D para captar escenas y mejorar la fotografía. La cámara a color es capaz de ofrecer RGBA de 32 bits en 1080p a 60 fps con foco fijo. Las dos cámaras de profundidad ofrecen de 30 a 60 fps, y un campo de visión de 70° en horizontal y 59° en vertical. El rango de visión es de 0.5 a 3.5 metros en interiores, pero puede alcanzar los 10 metros al aire libre.

Dispone de un SDK que incluye compatibilidad con Unity. Unity 5.x es de 64 bits, por lo que, si un proyecto se desarrolla en esta plataforma, deberá agregar las bibliotecas correspondientes. Debido a esto no permite el uso de Unity con una licencia profesional.

Esta cámara, sin embargo, no está desarrollada para la captura de usuarios, si no de escenarios 3D. [25]



Figura 10. Dispositivo RealSense R200

RealSense SR300 implementa un sistema de imágenes 3D de luz corta codificada. Tiene un rango de visión de 0.2 a 1.5 metros, y se puede llegar a capturar imágenes de profundidad a 60 fps con una imagen VGA de 640x450, o imágenes de color a 30 fps con FHD 1920x1080. [26]



Figura 11. Dispositivo RealSense SR300

Sólo evaluando el corto rango de alcance, ya podemos **descartar** este modelo de nuestras opciones.

3.1.6. Comparativa y elección

	Kinect 2.0	Xtion PRO LIVE	RealSense R200	Minoru 3D
Resolución	512x424	320x240	640x480	Vía <i>software</i>
FPS máximos	30	30	60	30
Rango	0.5 – 4.5 m	0.8 – 3.5 m	0.5 – 3.5 m	> 0.1 m
Campo de visión	70º H – 60º V	58º H – 45º V	70º H – 59º V	42º H
Software	Kinect for Windows SDK	OpenNI	SDK compatible	Librerías para OpenCV
Tipo	TOF	Luz estructurada	Infrarroja y estereoscópica	Estereoscópico
Precio	200 €	165 €	95 €	30 €

Tabla 3.1. Tabla comparativa de las características de diferentes cámaras de captura de movimiento

Evaluando la tabla 3.1, vamos a ir descartando una a una cada cámara según las especificaciones que tenga nuestro juego.

En primer lugar, necesitamos que capture los movimientos en todo tipo de ambientes para que el juego pueda ser ejecutado no sólo en pantallas de PC, sino también en proyectores, que precisan de poca luz ambiente para verse. Por ello, descartamos Minoru 3D como una opción ya precisa de luz natural para funcionar correctamente.

Por otro lado, hemos comentado que RealSense R200 no está hecha para la captura de usuarios en movimiento, que es precisamente el uso que nosotros necesitamos darle en este proyecto, por lo que también queda descartada.

La decisión finalmente se encuentra entre Kinect 2.0 y Xtion PRO LIVE. Basándonos en el mayor rango de captura, así como el campo de visión, nos decidimos finalmente por **Kinect 2.0**, ya que supera en especificaciones a Xtion PRO LIVE.

A partir de ahora, nos referiremos al sistema de captura de movimiento Kinect 2.0 únicamente como **Kinect**.

3.2. Videojuegos: Herramientas de desarrollo

Un **videojuego** es un juego electrónico en el que una o más personas interactúan, por medio de un controlador, con un dispositivo que muestra imágenes de vídeo. Este dispositivo electrónico puede ser un ordenador, una máquina arcade, una videoconsola o un dispositivo portátil (un teléfono móvil, por ejemplo). Los videojuegos son, año por año, una de las principales industrias del arte y el entretenimiento.

La **creación** de un videojuego consta de dos pasos, diseño y programación, y precisa de numerosas versiones antes de obtener una versión final completamente operativa. El proceso es similar a la creación de software en general, aunque difiere en la gran cantidad de aportes creativos (historia, música...) necesarios. El desarrollo también varía en función de la plataforma objetivo (PC, móviles, consolas), el género (estrategia en tiempo real, RPG, aventura gráfica, plataformas, etc.) y la forma de visualización (2d, 2.5d y 3d).

Para el proceso de **programación** vamos a necesitar emplear una **herramienta de desarrollo** de software que nos facilite el desarrollo, y nos permita obtener los resultados esperados. Entre estos resultados encontramos:

- Obtener el máximo rendimiento gráfico del dispositivo que va a ejecutar el juego, y de sus unidades de procesamiento gráfico para conseguir realismo.
- Una única herramienta que permita el desarrollo de distintos juegos, con varias escenas si fuera necesario.
- Que permita multiplataformidad, es decir, que el juego pueda funcionar en numerosas plataformas: web, dispositivos móviles, etc.
- Tras el estudio de los dispositivos de captura, también nos interesa una herramienta que funcione conjuntamente con Kinect y nos proporcione una información adecuada sobre los movimientos del paciente.

En la actualidad existen tres motores principales de juego que proporcionan herramientas de desarrollo con las capacidades que necesitamos: Unity, Unreal Engine, y CryEngine.

3.2.1. Unity

Es, sin duda, la herramienta de diseño de juegos **más utilizada**. Sus numerosas ventajas hacen que otras herramientas estén siempre un paso por detrás a la hora de desarrollar videojuegos.



Figura 12. Logo de Unity

Entre estas características encontramos que permite **multiplataformidad**: se pueden desarrollar videojuegos para Xbox, PC, Linux, HTML5, iOS, o Android, entre otros. También encontramos que permite trabajar con **lenguaje C#**, lo que facilita el desarrollo notablemente. Además, tiene un motor para diseño de juegos **3D** y otro para juegos **2D**.

Otra característica importante es que posibilita la **importación de objetos** desde 3DS Max, Maya, Softimage, Blender, Modo, ZBrush, Cinema 4D, Cheetah3D, Adobe Photoshop, Adobe Fireworks y Allegorithmic Substance. Los cambios realizados a los objetos creados con estos productos se actualizan automáticamente en todas las instancias de ese objeto durante todo el proyecto sin necesidad de volver a importar manualmente, facilitando así la tarea del programador.

A nivel de **documentación** encontramos una gran cantidad de información sobre el uso del programa en su web. Allí podremos aprender sobre la física, el motor del propio programa, los *scripts* C#, audio, animación, y arquitectura. A esto debemos sumarle la gran cantidad de recursos en vídeo propios que tienen.

Finalmente cabe destacar su **biblioteca de assets** (complementos), donde podemos conseguir elementos muy valiosos (personajes, escenarios, sonidos) por pocos euros e incluso algunos gratis.

A día de hoy se dispone de cuatro **licencias** principales: Personal, Plus, Pro, y Enterprise.

La versión Personal, que es la versión gratuita, muestra una pantalla de bienvenida con el logo de Unity (en juegos independientes) y una marca de agua (en los juegos web) que no se puede personalizar o desactivar.

La versión Plus añade unas pocas funcionalidades, como la capacidad de poner una pantalla de inicio personalizada, y se puede obtener por 35\$ al mes.

La versión Pro se puede adquirir por 125\$ al mes. Esta versión dispone de características adicionales que las versiones gratuita y Plus no ofrece, tales como el renderizado de

texturas, determinación de cara oculta, iluminación global y efectos de post-procesamiento.

Por último, la versión Enterprise está orientada a equipos serios de desarrollo de videojuegos. Esta licencia se adquiere tras ponerse en contacto con Unity, y permite que la plataforma se adapte a las necesidades del equipo. [27]

3.2.2. Unreal Engine

En un inicio, el **juego** Unreal venía con un editor de escenarios que permitía que uno fabricara sus propias armas, personajes, objetos, enemigos, etc. La gente de **Epic Games** se dio cuenta de que ésta era una potente herramienta de desarrollo que podía servir no sólo para el propio juego, sino para desarrollar nuevos. Por ello, perfeccionaron el motor y actualmente podemos optar a la versión número 4 de **Unreal Engine**.



Figura 13. Logo de Unreal Engine

Está desarrollado en C++, y ofrece el desarrollo de juegos **multiplataforma**. También tiene numerosas herramientas adicionales que ayudan al programador.

El entorno de *Unreal Development Kit*, se asemeja bastante al de Unity. Podemos agregar formas geométricas al juego, y luego dotarlas de luces, cámaras, interacción con otros objetos etc.

Si bien no siempre fueron gratuitos, ahora al igual que Unity podemos descargarlo con una licencia personal gratuita. La única diferencia es que se debe pagar el 5% a partir de los primeros 3000\$ ganados. [28]

3.2.3. CryEngine

Es desarrollado por **Crytek**, que es una empresa especializada en hacer videojuegos. Originalmente era un motor de demostración para la empresa Nvidia, pero al demostrar un gran potencial se implementó por primera vez en videojuego.



Figura 14. Logo de CryEngine

CryEngine nos permite desarrollar juegos **multiplataforma** en **C++**. También ofrece, dentro de lo que se denomina CryEngine Sandbox, todo un conjunto de **herramientas para el desarrollo** de videojuegos que van desde: Un sistema de *scripting* visual, la posibilidad de editar pistas de vídeo y audio, sistemas generadores de vegetación, y la posibilidad de trabajar con inteligencia artificial de una forma bastante intuitiva con XML y diagramas de flujo.

Se puede encontrar una gran cantidad de **documentación** sobre el desarrollo en la propia web.

CryEngine Free SDK está pensada para uso personal y no comercial, pero, si nuestro proyecto prosperara, podríamos adquirir en *Steam* una **licencia** de 9\$ al mes. [29]

3.2.4. Comparativa y elección

A partir de todos los datos expuestos sobre cada herramienta de desarrollo, vamos a realizar una comparación y a decidir qué motor de juego empleamos finalmente en nuestro proyecto.

	Unity	Unreal Engine	CryEngine
Multiplataforma	✓	✓	✓
Lenguaje de programación base	C#	C++	C++
Importación de objetos	✓	✓	✓
Documentación	Muy amplia	Amplia	Amplia
Licencias	Gratuita o de pago mensual	Gratuita hasta un beneficio de 3000\$	Gratuita o de pago mensual

Tabla 3.2. Comparativa entre los diferentes motores de juego

Como podemos apreciar, estos motores de juego tienen todos casi las mismas características. Nos decidimos finalmente por **Unity** ya que permite la programación en C# y ofrece una documentación muy amplia de cara al desarrollo de videojuegos. Además, nos permite una completa compatibilidad con la cámara de captura de movimientos elegida: Kinect.

3.3. Integración de Kinect en Unity

La integración de Kinect en Unity se realiza a través de un *plugin* llamado *Kinect for Windows SDK 2.0*. Un *plugin* es aquella aplicación que añade una funcionalidad adicional o una nueva característica al software de un programa. Generalmente, se ejecuta mediante el software principal, con el que interactúa a través de una interfaz. Una de las ventajas que ofrecen estos complementos es que facilitan la colaboración de desarrolladores externos con el software, quienes pueden realizar sus aportes a las funcionalidades extendiendo así sus funciones.

En nuestro caso, necesitamos el *plugin* mencionado anteriormente para que Unity funcione con Kinect y así poder aprovechar la tecnología que nos ofrece tanto el motor de juegos como el sistema de captura de movimientos para poder desarrollar nuestro juego.

Una vez descargado de la página de Kinect e instalado el SDK, podremos acceder a algunos ejemplos y demostraciones muy útiles para empezar a entender cómo funciona la captura de movimientos de nuestra Kinect, así como entender el trato que se da a la información corporal.

Capítulo 4. Sistema desarrollado

Ya explicada previamente la importancia de la rehabilitación motora y cognitiva en los pacientes que han sufrido un *accidente cerebrovascular* (ACV), en este capítulo definiremos la mecánica del juego desarrollado, así como el porqué de cada escenario y su relación directa con la rehabilitación. Dentro de cada escenario se resaltarán también la capacidad de adaptación que posee el juego frente al gran número de limitaciones diferentes que pueden tener los pacientes, gracias a unos parámetros configurables por el terapeuta y la posibilidad de calibrar varios movimientos.

4.1. Aspectos generales

El **objetivo principal** de este videojuego es el de **complementar** la rehabilitación de los pacientes con algún tipo de limitación motora y/o cognitiva debido a un ACV, facilitando la labor del terapeuta a la hora de controlar la correcta ejecución de los diferentes movimientos del usuario.

Para ello el juego emplea la cámara **Kinect**, que junto con el *plugin* para **Unity**, se encargará de animar un avatar siguiendo los movimientos del usuario. De esta forma podemos conseguir que los pacientes ejecuten una serie de ejercicios y que lo vean más como un juego que como una sesión de rehabilitación.

El juego, desarrollado con **Unity** y con el nombre de “La Isla EPIKa”, está basado en diez escenarios, de los cuales para este Trabajo de Fin de Grado se han implementado tres [30]. Cada uno se encarga de rehabilitar uno o varios aspectos motores y/o cognitivos. De esta manera el terapeuta podrá hacer sesiones bien diferenciadas, seleccionando en cada caso los escenarios que considere necesarios según las limitaciones de cada paciente.

Para añadirle al juego una mayor **flexibilidad** y conseguir así que se adapte a las necesidades de cada paciente, se ha añadido también la posibilidad de calibrar los diferentes alcances motores de un usuario, así como un conjunto de parámetros para cada escenario que puede configurar el terapeuta vía web. Tanto la calibración como los parámetros varían según el escenario desarrollado, pero se han establecido de tal manera que sean completamente intuitivos para el terapeuta.

Otra implementación añadida para conseguir que el juego sea practicable por todos los pacientes es la **diferenciación en tiempo real entre sedestación y bipedestación**. En bipedestación y con una libertad de movimientos total por los escenarios, el paciente deberá mover las piernas imitando el gesto de caminar o realizar una inclinación frontal para avanzar, entrenando así el movimiento de las extremidades inferiores o el equilibrio. En sedestación bastará con mover los brazos simulando andar o

de nuevo realizar una inclinación frontal para avanzar, entrenando así el movimiento de las extremidades superiores o nuevamente el equilibrio. De esta manera, aunque el usuario sufra una paraplejia y sólo pueda realizar la rehabilitación sentado, no sólo podrá desplazarse libremente sino que además los escenarios se adaptarán a ello para facilitarle la recogida de los objetos.

4.2. El juego: “La Isla EPIKa”

El juego “La Isla EPIKa” forma parte de una **plataforma de realidad virtual** (“Isla Sirena”) diseñada para la tele-rehabilitación física de personas con movilidad reducida. Está pensado como una **aventura gráfica**, en la que el jugador se mueve por diferentes escenarios consiguiendo puntos y recursos. Para la obtención de estos puntos (llamados *épikos* dentro del juego) deben superarse retos en los que el usuario debe efectuar actividad física y en algunos casos cognitiva.

Para que el paciente se involucre aún más con el juego y no lo vea únicamente como una sesión de rehabilitación, existe una **historia** sobre la que se desarrollan los diferentes escenarios [30]:

“Un astronauta aparece tendido en una playa con una nave en llamas a su lado. Debe sobrevivir hasta que vengan a recogerle. Para ello deberá conseguir agua, comida y refugio. Además, también recogerá muestras de rocas, animales y plantas para analizarlas posteriormente.”

A partir de esta idea base se desarrolla el juego enfocando cada escenario siempre a la rehabilitación de los pacientes, pero consiguiendo gracias a la historia que lo encuentre entretenido.

“La Isla EPIKa” precisa de la implementación de **dos aplicaciones**: una **web** (Figura 15) en la que el terapeuta podrá definir los parámetros y escenarios que debe realizar cada paciente (desarrollada por el equipo Javacoya, perteneciente a ASPAYM Castilla y León), y una aplicación de **usuario**, en la que éste interactúa con los diferentes escenarios (Figura 16) desarrollada en este trabajo.

La aplicación web es tan importante como la de usuario, ya que el paciente no conseguirá ninguna rehabilitación si el terapeuta no le define una sesión adecuada. Por ello el terapeuta deberá primero seleccionar los escenarios que debe completar el paciente, junto con los parámetros de configuración de cada uno y marcar una fecha límite para realizarlo. De esta forma el paciente tendrá unas sesiones adecuadas y se podrá evaluar correctamente si realiza progresos.



Figura 15. Parte web del juego "La Isla EPIKa"



Figura 16. Parte principal del juego "La Isla EPIKa"

4.3. Escenas del juego

La parte del juego implementada con Unity está dividida a su vez en **tres escenas generales**: la escena de inicio (que se encarga de la comunicación web), la escena de selección de escenarios, y cada uno de los escenarios desarrollados.

Escena de inicio

En esta escena (Figura 17) el paciente introducirá sus datos y, si son correctos y hay una conexión correcta con el servidor, se descargarán automáticamente las sesiones predefinidas por el terapeuta. Esta **comunicación con el servidor** se realiza a través de *Web Services* [31] [32], intercambiando la información a través de un conjunto de ficheros XML. En primer lugar, se envía un fichero con el usuario y la contraseña proporcionados

por el paciente. Si ésta es correcta, el servidor contesta enviando un identificador de usuario que reenviamos para finalmente recibir el fichero XML con todos los parámetros de configuración definidos por el terapeuta. Este fichero es el que determinará el nivel de dificultad, y la cantidad y el orden de escenarios que debe realizar el paciente (Figura 18).

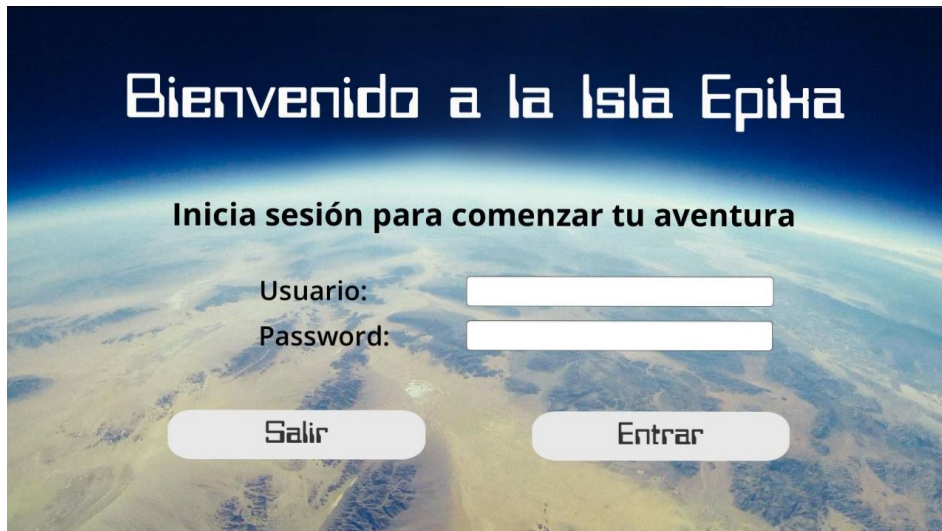


Figura 17. Escena inicial del juego "La Isla EPIKa"

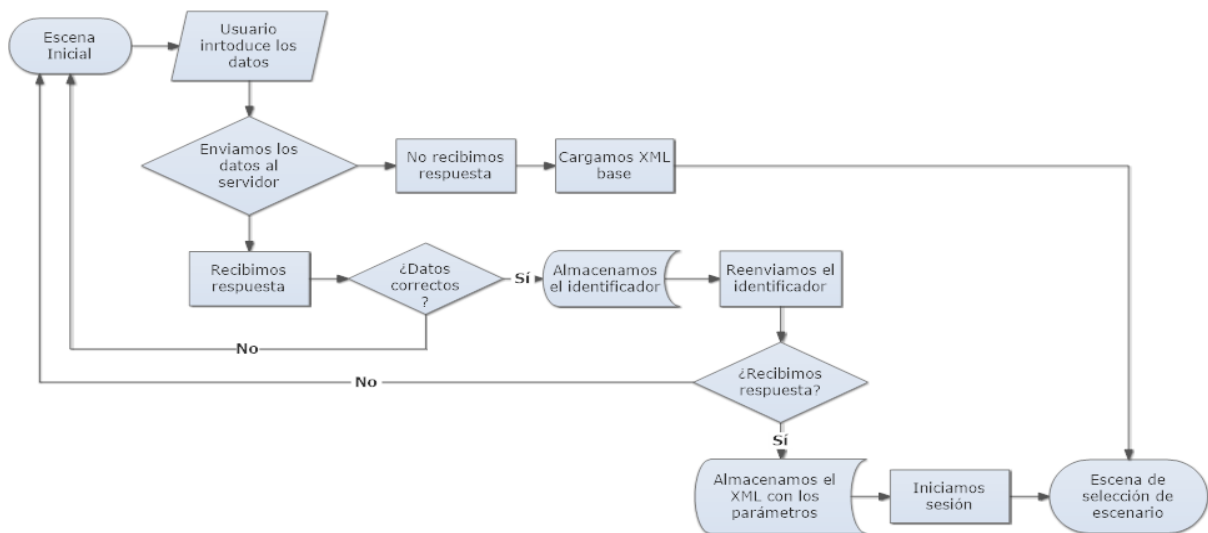


Figura 18. Diagrama de flujo del funcionamiento de la comunicación web en la escena inicial

Si la conexión con el servidor fallara, se permite el acceso del paciente al juego, pero se cargará la última sesión descargada o, de no haber ninguna previa, se cargará una por defecto con los parámetros básicos para que el paciente pueda al menos hacer uso del juego.

Escena de selección de escenarios

Si el usuario se ha descargado correctamente las sesiones del servidor, se mostrarán uno a uno los escenarios elegidos por el terapeuta, en orden según cuál tenga la fecha más próxima de realización (Figura 19). Una vez completado uno, la página mostrará el siguiente escenario con fecha más próxima. De esta forma el paciente realizará en orden las sesiones marcadas. Si por el contrario no ha conseguido obtener sus nuevas sesiones, la página mostrará todos los escenarios desarrollados, para que el paciente acceda libremente al que quiera (Figura 20).



Figura 19. Escena de selección de escenario si se han descargado correctamente las sesiones

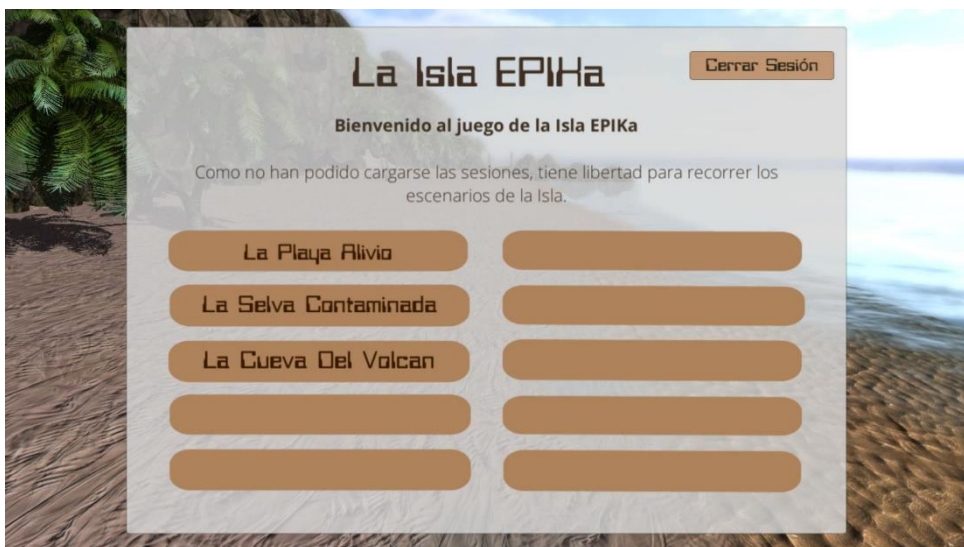


Figura 20. Escena de selección de escenario si no se han descargado correctamente las sesiones

Escenarios: Existen **dos versiones:** con calibración y sin calibración.

Con calibración entrarán primero a la **pantalla de calibración** en la que se dará la opción de calibrar el alcance motor requerido para el juego o cargar uno ya conseguido previamente. Una vez calibrados o cargados los movimientos, se pasará automáticamente al escenario de juego, que se generará según los parámetros previamente definidos por el terapeuta.

Si no tiene calibración pasaremos directamente a este punto al seleccionarlo en la página de selección de escenario.

Los **escenarios de juego** guardan todos el mismo formato: un terreno desarrollado con Unity sobre el que el usuario verá un avatar que representará sus movimientos gracias a la cámara Kinect y el *plugin* de Unity, y donde deberá **recoger objetos** realizando un movimiento que le ayudará a rehabilitar diferentes partes del cuerpo. En cada escenario tenemos un **botón de pausa** y otro de **salir**, que permiten parar y salir del escenario si fuera necesario, además de un panel que muestra el número de objetos recogidos en la sesión en la que se está jugando para que el paciente sepa en cada momento el progreso que lleva (Figura 21). Una vez acabado el tiempo de juego determinado por el terapeuta, o bien si el paciente elige salir del escenario, se mostrará un panel con el número de objetos recogidos en esa sesión, el número total de objetos recogidos en todas las sesiones realizadas y, de haber conseguido un récord de objetos recogidos, también se le mostrará al paciente un cartel de nuevo récord. Tras mostrar los resultados (Figura 22), estos se almacenan en la sesión del paciente, se marca si el escenario se ha completado correctamente, y se envía todo al terapeuta para que evalúe en cuántos intentos ha conseguido el paciente completar el escenario y si ha habido progresos.

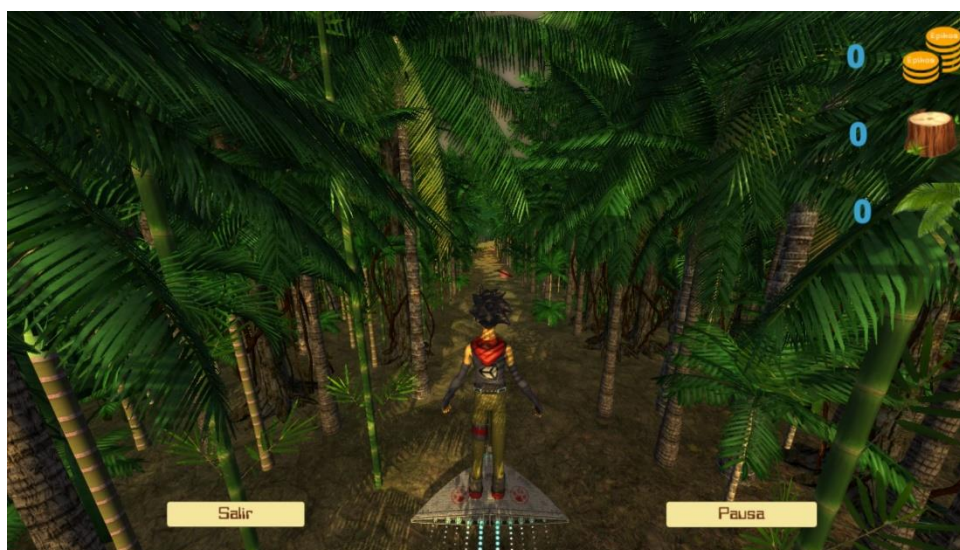


Figura 21. Ejemplo de una pantalla de juego de un escenario

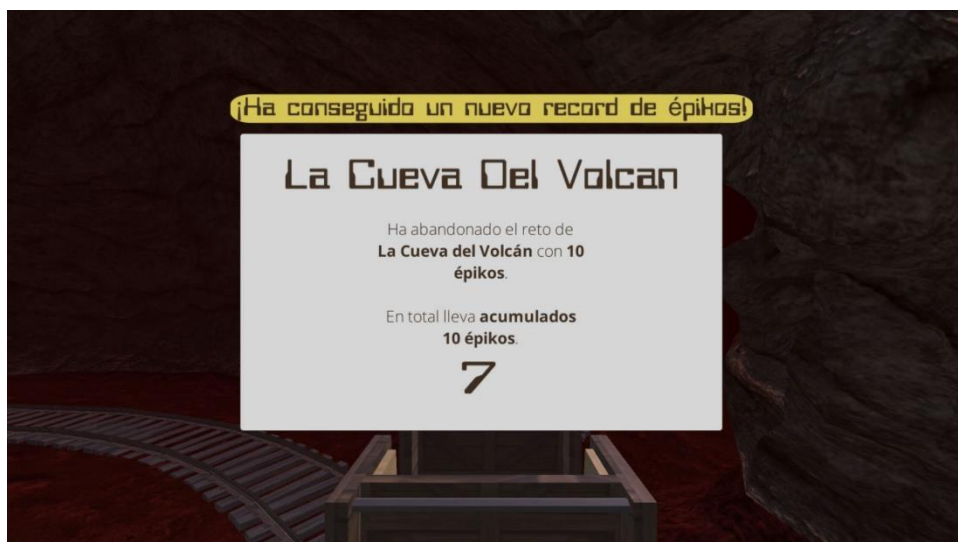


Figura 22. Ejemplo de una pantalla de resultados de un escenario

4.4. Escenarios desarrollados

Los escenarios desarrollados en este Trabajo de Fin de Grado han sido: La Playa Alivio, La Selva Contaminada, y La Cueva del Volcán. En cada uno el paciente tendrá que recoger diferentes objetos realizando un movimiento predeterminado con cada uno, para así rehabilitar diferentes aspectos motores y cognitivos.

4.4.1. La Playa Alivio

Este escenario se centra en la **rehabilitación de las extremidades superiores**, haciendo que el paciente tenga que recoger unos cocos que caerán a sus lados, junto con una parte de **rehabilitación cognitiva**, ya que el paciente tendrá que evitar recoger los plátanos que también caerán.

En el **escenario de calibración** de la playa se medirá el máximo alcance al que el paciente puede llegar estirando ambos brazos a los lados (Figura 23), así como la velocidad máxima de caída a la que el paciente es capaz de recoger el coco. Si el paciente sufriera alguna hemiplejia o hemiparesia severa que le impidiera mover una de las extremidades, el terapeuta puede seleccionar una **restricción** para que en el escenario sólo tenga que recoger objetos a uno de los lados.

Los parámetros que se calibran en esta parte son los indicados en la tabla 4.1.

Parámetro a calibrar	Descripción
Máximo alcance del lado derecho	Calibra cuál es la distancia máxima a la que el usuario puede recoger un objeto que cae a su derecha.
Máximo alcance del lado izquierdo	Calibra cuál es la distancia máxima a la que el usuario puede recoger un objeto que cae a su izquierda.
Velocidad de caída del lado derecho	Calibra cuál es la velocidad máxima a la que el usuario tiene reflejos para recoger un objeto que cae a su derecha.
Velocidad de caída del lado izquierdo	Calibra cuál es la velocidad máxima a la que el usuario tiene reflejos para recoger un objeto que cae a su izquierda.

Tabla 4.1. Parámetros calibrados en el escenario de La Playa Alivio



Figura 23. Escena de calibración de La Playa Alivio

En el **escenario de juego** el paciente verá un avatar, que representará sus movimientos dentro del videojuego, en medio de una playa llena de palmeras (Figura 24). La dinámica del juego trata de que el paciente vaya de palmera en palmera, y que al llegar a cada una la golpee extendiendo o levantando los brazos un número de veces definido por el terapeuta en los parámetros. Una vez golpeada, caerán cocos y plátanos a ambos lados del paciente (o sólo uno si se ha añadido algún tipo de restricción en la calibración). Por cada coco recogido el paciente ganará un *épiko*, mientras que si recoge un plátano lo perderá (Figura 25).



Figura 24. Escena de desplazamiento en La Playa Alivio



Figura 25. Escena de recogida de La Playa Alivio

El nivel de dificultad del escenario variará por completo según cómo defina el terapeuta los parámetros junto con las limitaciones ya existentes del paciente. Los parámetros configurables son los indicados en la tabla 4.2.

Parámetro configurable	Descripción
Tiempo de juego	Determina el tiempo de juego en minutos que el usuario tiene que estar en el escenario para que se considere completado. Si no se supera el tiempo de juego, el paciente deberá repetir el escenario al completo.
Cantidad de palmeras	Controla si el paciente encuentra pocas o muchas palmeras a lo largo de la playa.
Repeticiones por palmera	Define la cantidad de veces que el paciente tiene que recoger cocos en una palmera para que esté completa.
Golpes por palmera	Define la cantidad de veces que el paciente tiene que golpear cada palmera para que empiecen a caer los cocos.
Distancia de recogida	Controla cuánto tiene que estirar el brazo el paciente para recoger los cocos más lejanos, en relación con los valores conseguidos en la calibración. De esta forma se puede forzar al paciente a mejorar su movilidad.
Número de cocos por palmera	Determina cuántos cocos y plátanos caerán cada vez que golpeemos una palmera.
Porcentaje de cocos	Respecto al valor anterior, determina cuántos objetos serán cocos y cuántos serán plátanos. Así se controla la rehabilitación cognitiva a través de un solo parámetro.
Dificultad de la caída	Controla la velocidad de caída de los objetos, para que así el paciente deba emplear su capacidad cognitiva a la hora de decidir más rápidamente si debe cogerlo o no.
Libertad de movimientos del paciente	Es el parámetro que más determina el nivel de dificultad del escenario, ya que establecerá si el paciente debe moverse para avanzar y girar, si únicamente puede moverse a través de una línea recta, o si el movimiento está completamente automatizado. Si el paciente sufre de alguna paraplejia o ataxia, el terapeuta le facilitará la resolución del escenario cambiando este parámetro a movimiento automático.

Tabla 4.2. Parámetros configurables por el terapeuta de La Playa Alivio.

4.4.2. La Selva Contaminada

Este escenario se centra en la **rehabilitación de las extremidades superiores e inferiores**, haciendo que el paciente tenga que recoger dos tipos de objetos: troncos que aparecerán en el suelo y para los que necesitará hacer una sentadilla, y hojas de los árboles para los que necesitará estirar los brazos hacia arriba. También tiene una parte de **rehabilitación cognitiva**, ya que el paciente tendrá que recoger sólo los troncos rojos del suelo y evitar los blancos.

En el **escenario de calibración** de la selva se medirá tanto el máximo alcance al que el paciente puede llegar haciendo una sentadilla y recogiendo troncos a ambos lados, como el máximo alcance estirando los brazos hacia arriba para recoger hojas. Si el paciente sufriera alguna hemiplejia o hemiparesia severa que le impidiera mover una de las extremidades, el terapeuta puede seleccionar en esta escena una restricción para que en el escenario sólo tenga que recoger objetos a uno de los lados (Figura 26).



Figura 26. Escenario de calibración de La Selva Contaminada

Los parámetros que se calibran en este escenario son los indicados en la tabla 4.3.

Parámetro a calibrar	Descripción
Ángulo de las piernas en una sentadilla	Calibra cuál es el máximo ángulo que puede realizar el usuario con las piernas al hacer una sentadilla.
Alcance lateral	Calibra cuál es el máximo alcance del usuario a la hora de recoger un tronco a ambos lados de su cuerpo, mientras realiza una sentadilla.
Alcance de altura	Calibra cuál es el máximo alcance superior del usuario a la hora de recoger una hoja de un árbol.

Tabla 4.3. Parámetros calibrados en el escenario de La Selva Contaminada

En el **escenario de juego** el paciente verá un avatar, que representará sus movimientos dentro del videojuego, en medio de una selva. La dinámica del juego se basa en que el paciente atraviese una selva, y vaya recogiendo los troncos y hojas que irán apareciendo. Por cada hoja o tronco rojo recogido el paciente ganará un *épiko*, mientras que si recoge un tronco blanco lo perderá (Figuras 27 y 28).



Figura 27. Escenario de juego de La Selva Contaminada.

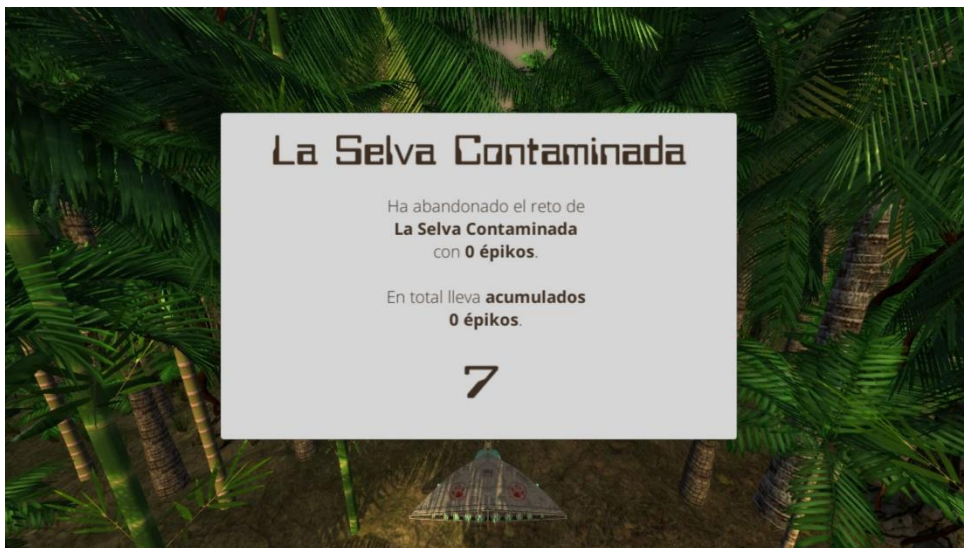


Figura 28. Resultados de La Selva Contaminada.

El nivel de dificultad del escenario variará por completo según cómo defina el terapeuta los parámetros junto con las limitaciones ya existentes del paciente. Los parámetros configurables son los indicados en la tabla 4.4.

Parámetro configurable	Descripción
Tiempo de juego	Determina el tiempo de juego en minutos que el usuario tiene que estar en el escenario para que se dé por completado. Si no se supera el tiempo de juego, el paciente deberá repetir el escenario al completo.
Cantidad de troncos	Controla si el paciente encuentra pocos o muchos troncos a lo largo de la selva.
Cantidad de hojas	Controla si el paciente encuentra pocas o muchas hojas a lo largo de la selva.
Dificultad de recogida de troncos	Determina el alcance lateral al que tiene que llegar el paciente para recoger un tronco, según lo conseguido en el escenario de calibración.
Dificultad de recogida de hojas	Determina el alcance de altura al que tiene que llegar el paciente para recoger una hoja, según lo conseguido en el escenario de calibración.
Libertad de movimientos del paciente	Es el parámetro que más determina el nivel de dificultad del escenario, ya que establecerá si el paciente debe moverse para avanzar y girar, si únicamente puede moverse a través de una línea recta, o si el movimiento está completamente automatizado. Si el paciente sufre de alguna paraplejia o ataxia, el terapeuta le facilitará la resolución del escenario cambiando este parámetro a movimiento automático.

Tabla 4.4. Parámetros configurables por el terapeuta de La Selva Contaminada.

4.4.3. La Cueva del Volcán

Este escenario se centra en la **rehabilitación del equilibrio**, haciendo que el paciente tenga que recoger unos diamantes mediante inclinaciones laterales del tronco, junto con una parte de **rehabilitación cognitiva**, ya que el paciente tendrá que evitar recoger unas gemas rojas que aparecerán también a lo largo del escenario.

Esta escena no precisa de calibración, por lo que se accede directamente al escenario de juego y no se puede restringir el movimiento de los lados.

En el **escenario de juego** el paciente verá un avatar dentro de una vagoneta sobre unos raíles, el cual representará sus movimientos dentro del videojuego. La dinámica se basa en que la vagoneta avanza de forma automática sobre los raíles, y el usuario únicamente tiene que inclinarse hacia delante para iniciar el movimiento, y hacia los lados para recoger los diamantes cuando se pase a su lado (Figura 29). Por cada diamante recogido el paciente ganará dos *épikos*, mientras que si recoge una gema roja perderá uno. Además, en algunas ocasiones, la vagoneta llegará a una bifurcación en la que se detendrá,

y el usuario deberá hacer una nueva inclinación del tronco hacia el lado que desee elegir para continuar (Figura 30).



Figura 29. Escenario de juego de La Cueva del Volcán

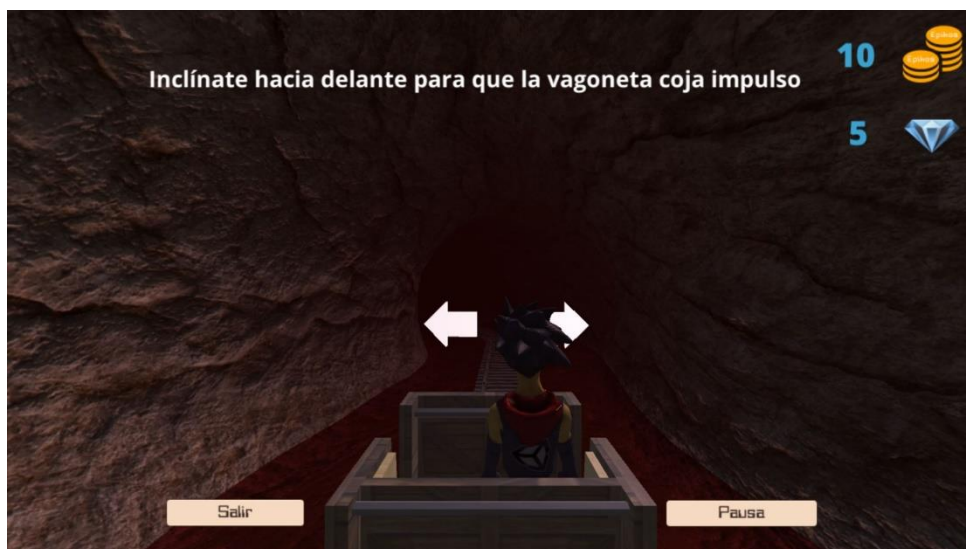


Figura 30. Bifurcación en La Cueva del Volcán

El nivel de dificultad del escenario variará por completo según cómo defina el terapeuta los parámetros junto con las limitaciones ya existentes del paciente. Los parámetros configurables son los indicados en la tabla 4.5.

Parámetro configurable	Descripción
Tiempo de juego	Determina el tiempo de juego en minutos que el usuario tiene que estar en el escenario para que se dé por completado. Si no se supera el tiempo de juego, el paciente deberá repetir el escenario al completo.
Cantidad de diamantes	Controla si el paciente encuentra pocos o muchos diamantes a lo largo de la cueva.
Porcentaje de diamantes	Respecto al valor anterior, determina cuántos objetos serán diamantes y cuántos serán gemas rojas. Así se controla la rehabilitación cognitiva a través de un solo parámetro
Velocidad de la vagoneta	Determina si la vagoneta se desplaza más o menos rápido. De esta forma también se pueden controlar los reflejos del paciente a la hora de recoger diamantes.
Ángulo de inclinación delantera	Ángulo mínimo que debe inclinarse el paciente hacia delante para que la vagoneta se ponga en marcha.
Ángulo de inclinación derecha	Ángulo mínimo que debe inclinarse el paciente hacia la derecha para que se recoja un objeto.
Ángulo de inclinación izquierda	Ángulo mínimo que debe inclinarse el paciente hacia la izquierda para que se recoja un objeto.

Tabla 4.5. Parámetros configurables por el terapeuta de La Cueva del Volcán.

4.5. Captura de movimientos

Como hemos visto a lo largo de los apartados anteriores, este juego no sería útil enfocado a rehabilitación si no fuéramos capaces de capturar los movimientos del paciente y traducirlos en movimientos en un avatar. Para ello, como explicamos en el capítulo 3, empleamos en conjunto la cámara Kinect y un *plugin* para Unity, que nos permite realizar un seguimiento de la posición estimada de los *joints* o articulaciones del paciente. Este *plugin* facilita utilizar en Unity información proporcionada por la API oficial de Microsoft Kinect.

Los *joints* que nos proporciona la API de Kinect son 25, y van desde la cabeza hasta los pies en una jerarquía ya predeterminada (Figuras 31 y 32).

Podemos asumir entonces que empleando estos *joints*, con sus posiciones y rotaciones, se puede establecer si el usuario está realizando ciertas posturas. Así podremos determinar si el paciente está de pie, sentado, o si está realizando algún gesto concreto, como andar o una sentadilla.

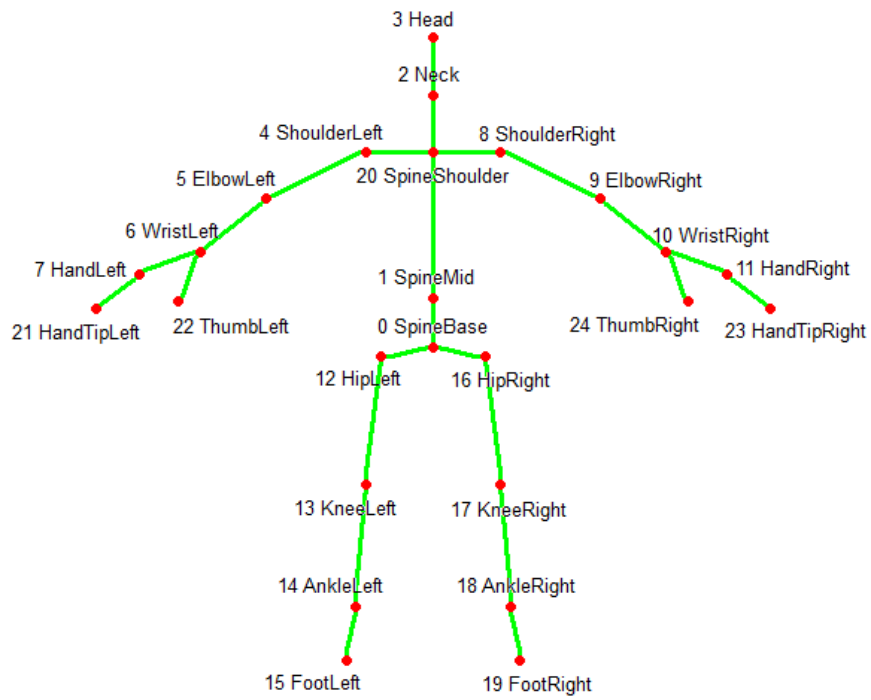


Figura 31. Posición y numeración de los joints en el cuerpo humano [33]

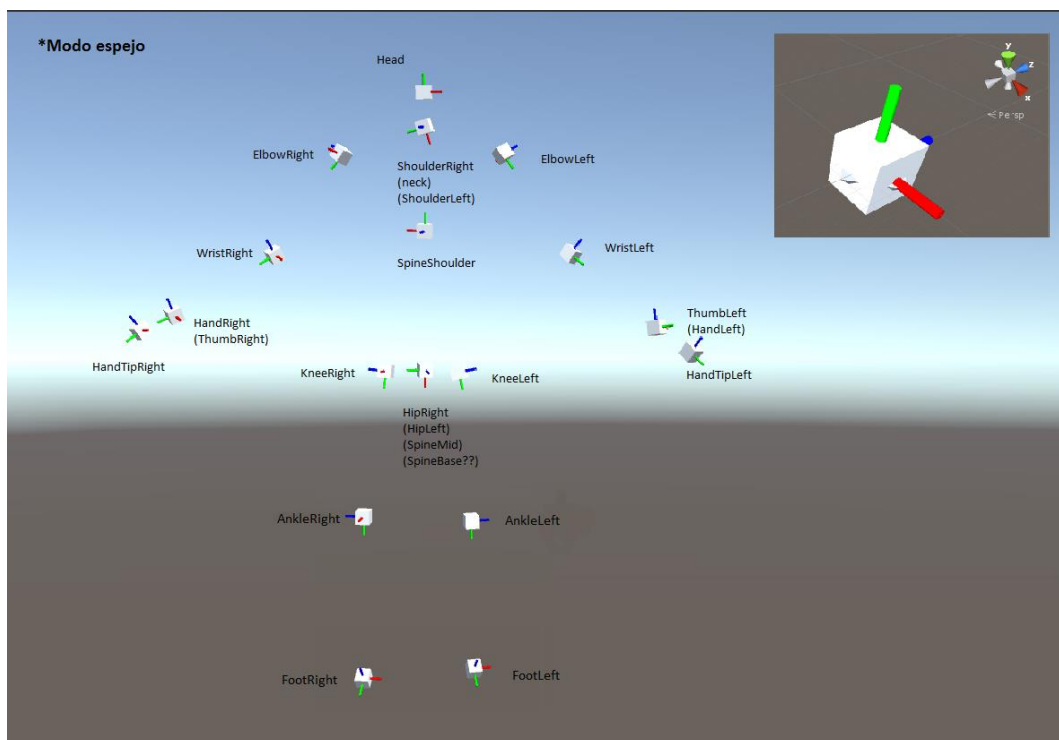


Figura 32. Rotaciones de los joints en el cuerpo humano [34]

4.5.1. Usuario sentado

Comprobamos si el usuario está sentado **midiendo el ángulo de ambas piernas**, y comparándolo posteriormente con un valor que determina a partir de qué ángulo el paciente se supone sentado. (Este valor se ha determinado de forma experimental, tras numerosas pruebas con distintos individuos.)

Para calcular estos ángulos empleamos las **posiciones espaciales** de los *joints* de las caderas (*HipRight* y *HipLeft*), las rodillas (*KneeRight* y *KneeLeft*), y los tobillos (*AnkleRight* y *AnkleLeft*) (Figura 21). Se calcula el ángulo de cada pierna por separado.

En primer lugar, obtenemos de la API de Kinect las posiciones de los tres *joints* de una pierna. Realizando una resta de las coordenadas, calculamos el vector entre el punto de la cadera y la rodilla, y entre la rodilla y el tobillo. Finalmente, empleando el método *Vector3.Angle* proporcionado por la API de Unity [35], obtenemos los ángulos de las rotaciones entre estos dos vectores, y por lo tanto de la pierna del paciente.

El **resultado** obtenido ofrece tres valores, debido a que en otras articulaciones se pueden ejecutar hasta tres tipos de rotaciones (en el eje X, Y o Z), como por ejemplo en el hombro. En el caso de la pierna sólo podemos ejecutar una rotación sobre el eje X (Figura 32), por lo que sólo trabajamos con esa componente de los ángulos obtenidos.

Una vez calculados los dos ángulos de las piernas del paciente, calculamos sus suplementarios y los comparamos con un umbral de 10°: si el ángulo de ambas piernas supera este umbral, el juego interpreta que el paciente está sentado; si el umbral no lo superan ambas piernas, se interpreta que el paciente está de pie.

Este cálculo no se realiza continuamente en cada escenario, debido a que es un factor determinante a la hora de generar ciertos objetos o establecer los valores de dificultad. Por ello se evalúa únicamente al inicio de cada escena de juego. Además, si el paciente está sentado, se simulará que realiza las actividades del juego sobre una nave espacial (Figura 33).



Figura 33. Modo de juego sentado con nave espacial

4.5.2. Rotaciones e inclinaciones corporales

Para ciertos comportamientos del avatar necesitamos conocer el ángulo de rotación del tronco del paciente, o la inclinación delantera o lateral que está ejecutando.

Rotación corporal

Emplearemos las rotaciones corporales para **manejar el punto de visión** del avatar dentro del juego. Para que esto sea posible el terapeuta debe haber elegido entre los parámetros del escenario una libertad de movimientos completa. Esta elección sólo es posible en los escenarios de La Playa Alivio o de La Selva Contaminada, ya que La Cueva del Volcán emplea un movimiento automático a través de un camino predeterminado.

Para calcular la rotación corporal del paciente empleamos también el cálculo de ángulos a partir de las posiciones espaciales de algunos *joints*. En este caso necesitamos la posición de los hombros (*ShoulderLeft* y *ShoulderRight*), y de las caderas (*HipRight* y *HipLeft*) (Figura 31).

Restando las coordenadas de las posiciones de los hombros, y por separado de las caderas, obtenemos dos vectores con los que, tras proyectarlos sobre el plano Y, calcularemos el ángulo que necesitamos. Para ello, al igual que en el apartado anterior, debemos volver a emplear el método *Vector3.Angle* sobre estos vectores. Finalmente, quedándonos únicamente con la coordenada Z del resultado, obtenemos el ángulo deseado (Figura 32).

Esta medición se realiza de forma continuada siempre y cuando haya una libertad de movimientos completa en el escenario de juego. Cuando el ángulo calculado supere

un umbral, que variará dependiendo del escenario, el avatar deslizará su punto de visión hacia la derecha o hacia la izquierda, según la rotación efectuada por el paciente.

Inclinaciones corporales

Mediremos dos tipos de inclinaciones que se traducirán en diferentes acciones. Por un lado, nos interesan las inclinaciones laterales (Figura 34), ya que permitirán recoger los objetos del escenario La Cueva del Volcán. Y por otro, la inclinación hacia delante (Figuras 35), que en La Playa Alivio y La Selva Contaminada permitirá que el avatar avance (siempre y cuando haya una libertad de movimientos total o guiada), y en La Cueva iniciará el movimiento automático de la vagoneta por los raíles.

El cálculo de las inclinaciones se realiza a través del *joint SpineBase*, y sigue el mismo procedimiento para todas, variando únicamente la coordenada final con la que evaluamos el movimiento.

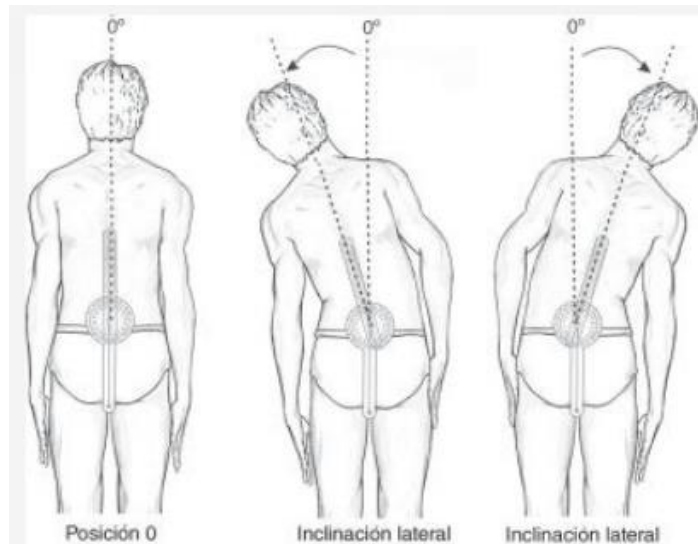


Figura 34. Inclinaciones laterales. [36]

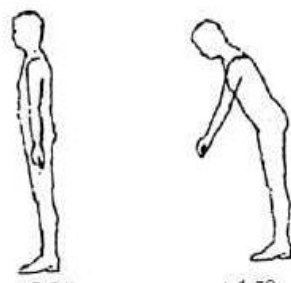


Figura 35. Inclinación delantera

En el escenario La Cueva del Volcán se dará por detectada una inclinación (delantera o lateral) cuando el paciente supere un ángulo umbral determinado para cada tipo, especificado por el terapeuta entre los parámetros de configuración. De esta forma se podrá rehabilitar el equilibrio del paciente de forma controlada.

En el resto de escenarios, la inclinación delantera se dará por detectada cuando supere un ángulo umbral de 7°.

4.5.3. Desplazamiento en sedestación o bipedestación

Para que el paciente pueda elegir cuándo avanzar mientras juega, el terapeuta debe haber elegido entre los parámetros del escenario una libertad de movimientos completa o guiada.

El movimiento que debe realizar el paciente para avanzar variará notablemente si el paciente realiza la actividad sentado o de pie.

Desplazamiento en sedestación

Si el paciente desea avanzar por un escenario deberá **recoger los brazos y moverlos** en un movimiento continuado simulando caminar, o bien realizar una **inclinación corporal hacia delante**. La medición de la inclinación ya la hemos explicado en el punto anterior, por lo que en este nos centraremos en el movimiento de los brazos.

Una vez detectado que el paciente está sentado, el juego evaluará primero los *joints* que determinan el **ángulo que forman los dos brazos**, y los comparará con un umbral para determinar si el paciente los tiene recogidos para ejecutar el movimiento o no.

En primer lugar, obtenemos de la API de Kinect las posiciones espaciales de los *joints* de los hombros (*ShoulderLeft* y *ShoulderRight*), codos (*ElbowLeft* y *ElbowRight*), y muñecas (*WristLeft* y *WristRight*) (Figura 31). Restamos las coordenadas de las posiciones de los *joints* de cada lado para calcular los vectores formados entre cada hombro y codo, y cada codo y muñeca. Una vez tenemos los dos vectores espaciales, empleamos el método *Vector3.Angle* proporcionado por la API de Unity para evaluar los ángulos que forman cada brazo.

Como explicamos anteriormente, este resultado ofrece tres valores, pero para evaluar la rotación de los codos necesitamos únicamente la coordenada X (Figura 32), por lo que descartamos el resto.

Una vez obtenidos los ángulos de ambos brazos, los comparamos con un umbral de 70° para comprobar si el paciente los tiene recogidos lo suficiente para ejecutar correctamente

el movimiento. Si es así, pasamos a evaluar el movimiento. Si no, descartamos que el avatar deba desplazarse.

El **movimiento continuado** de los brazos no podemos comprobarlo sólo con estos dos ángulos. Para ello necesitamos medir el ángulo de los codos con respecto a las caderas (Figura 36). Comprobando la variación de este ángulo detectaremos si el paciente realiza algún movimiento.

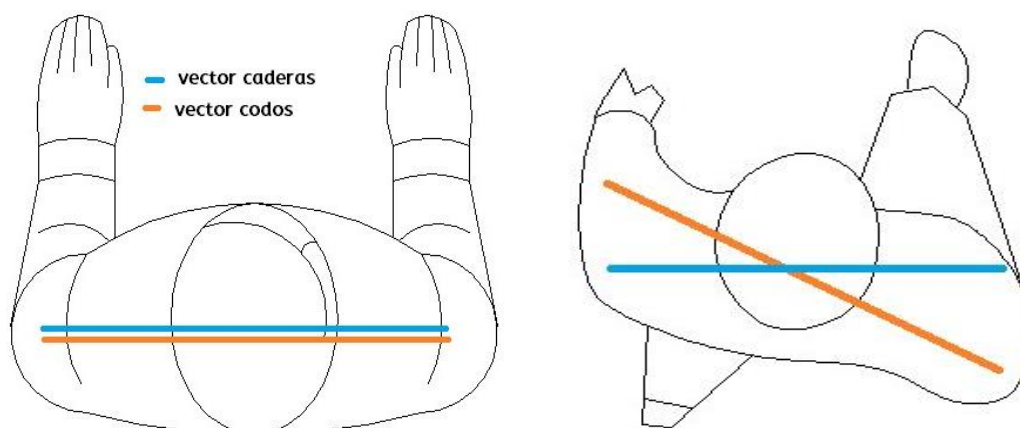


Figura 36. Medición del ángulo de los codos respecto a las caderas [37]

En primer lugar, calculamos los vectores que unen los *joints* de los codos, por un lado, y los de las caderas, por otro, restando las coordenadas de sus posiciones espaciales. Una vez obtenidos los dos vectores los proyectamos sobre el plano Y, y volvemos a hacer uso del método *Vector3.Angle* para calcular los ángulos que forman. En este caso, al haber hecho la proyección, la única coordenada que nos interesa para evaluar el movimiento es la coordenada Z, por lo que descartamos el resto (Figura 32).

Finalmente, para comprobar si el paciente está realizando algún movimiento con los brazos, comparamos cada ángulo obtenido con su predecesor, y evaluamos si existe alguna diferencia notable.

En caso de que se cumplan las dos condiciones, brazos recogidos y movimiento continuado, el avatar avanzará por los escenarios.

Desplazamiento en bipedestación

Si el paciente desea avanzar por un escenario deberá **mover las piernas** en un movimiento continuado simulando caminar (Figura 37), o bien realizar una **inclinación corporal hacia delante**. La medición de la inclinación ya la hemos explicado en el punto anterior, por lo que en éste nos centraremos en el movimiento de las piernas.

Mientras el jugador no esté sentado, el juego evaluará los *joints* que determinan el **ángulo que forman las dos piernas**, y comparará uno con otro para determinar si el paciente está realizando el movimiento de forma continuada.

El ángulo de cada pierna se calcula de la misma manera que para determinar si el paciente está sentado (sección 4.5.1). Una vez obtenidos los ángulos de ambas piernas, los comparamos entre ellos y determinamos qué pierna está levantada. Si se va detectando que las piernas levantadas **se alternan**, se interpretará que el paciente está ejecutando el movimiento de forma continuada y el avatar avanzará por el escenario.

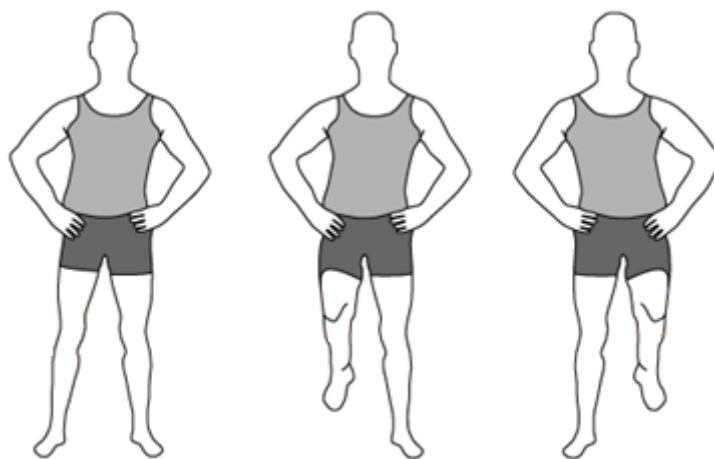


Figura 37. Proceso de andar continuado [38]

4.6. Pruebas con pacientes

Tras cada una de las versiones desarrolladas se han ejecutado pruebas con pacientes en el centro de rehabilitación Ictia, perteneciente a la Fundación ASPAYM. Esto nos ha permitido un mayor enfoque hacia las **necesidades de los pacientes**, y cooperar mano a mano con los fisioterapeutas.

Capítulo 5. Conclusiones y Líneas futuras

En este capítulo mostraremos en primer lugar la estimación presupuestaria que supone crear este juego, y después expondremos las conclusiones obtenidas a lo largo de la realización de este Trabajo de Fin de Grado. Finalmente abordaremos las posibles líneas futuras que ofrece este proyecto.

5.1. Estimación presupuestaria

La inversión necesaria para desarrollar una aplicación de estas características se puede dividir en: gastos de equipamiento, gastos en personal, y otros gastos (de desplazamiento o de instalación del sistema).

En la tabla 6.1 desglosamos y detallamos esta inversión. El gasto en personal lo calcularemos a partir del tiempo empleado en desarrollar la aplicación, obviando la etapa de aprendizaje del software de desarrollo.

	€/Unidad	Unidades	Subtotal (€)
Gastos de equipamiento			1872,00
Cámara Kinect 2.0	150,00	1	150,00
Adaptador de Kinect para Windows	50,00	1	50,00
PC de escritorio con tarjeta gráfica NVIDIA	1200,00	1	1200,00
Licencia de Unity PRO durante 4 meses	472,00	1	472,00
Personal			4480,00
Investigador en formación 4 meses con Seguridad Social	4480,00	1	4480,00
Otros gastos (desplazamiento e instalación del sistema)			220,00
SUBTOTAL			6572,00
Gastos indirectos (15%)			985,80
Importe total			7557,80

Tabla 5.1. Estimación presupuestaria

5.2. Conclusiones generales

El **principal objetivo** de este Trabajo de Fin de Grado era el de desarrollar un juego que ayudase en la rehabilitación de pacientes con ictus empleando la realidad virtual.

Este objetivo se ha cumplido a lo largo de los tres escenarios, ya que hemos comprobado en las pruebas con pacientes que, al no ser una terapia tradicional y plantearse como un juego, realizan los ejercicios de forma repetitiva y completamente voluntaria.

La **primera conclusión** a la que hemos llegado, tras realizar un estudio de la enfermedad, es que en este tipo de pacientes la rehabilitación es una de las partes más importantes y necesarias de la terapia. Ésta debe consistir siempre en ejercicios repetitivos y adaptados a las necesidades de cada paciente. Por ello, los escenarios desarrollados son específicos de ciertos movimientos y obligan al usuario a realizarlos de forma continua.

La **segunda conclusión** relativa a la enfermedad es que cada paciente tiene unas secuelas, y por lo tanto debe haber mucha diferenciación entre las terapias para que las rehabilitaciones obtengan progresos. Esto lo hemos adaptado al juego permitiendo que sea el terapeuta el que defina cada sesión de terapia, escogiendo los escenarios a realizar y definiendo algunos parámetros de configuración de éstos.

Tras estudiar las tecnologías relativas a la realidad virtual, hemos visto que actualmente existen numerosos sistemas de captura de información del movimiento. Esto demuestra la gran utilidad que posee la realidad virtual en muchos ámbitos. En concreto en el terapéutico, podemos elegir entre evaluar el cuerpo entero o sólo una parte, e ir adecuando los ejercicios al estado del paciente en tiempo real. Esto es muy útil, ya que el juego entero calibra las dificultades en función de las capacidades de cada paciente.

La **conclusión final** es que, en nuestro caso, la cámara Kinect junto con Unity ha conseguido resolver todas las necesidades que han ido surgiendo en la etapa de desarrollo. No sólo consigue que el paciente de ictus realice movimientos repetitivos durante varios minutos seguidos, sino que, además, gracias a la capacidad de medirlos, se puede tener una visión de las mejoras que va alcanzando.

Además, este Trabajo de Fin de Grado ha sido la base en la creación y el envío de un **artículo** al “3rd International Conference on Information and Communication Technologies for Ageing Well and e-Health”, como continuación del artículo enviado en 2015, “Virtual Rehabilitation Platform Devised to Increase Self-reliance of People with Limited Mobility”.

5.3. Líneas futuras

El juego “La Isla EPIKa”, como ya se ha comentado en el capítulo 4, pretende ser un juego serio de rehabilitación basado en 10 escenarios. En este trabajo sólo hemos podido desarrollar 3 debido a la limitación de tiempo que comprende un Trabajo de Fin de Grado.

Por ello, sería necesario completar el videojuego añadiendo el resto de escenarios. Éstos ya están definidos por la Fundación ASPAYM [30], pero a la hora de desarrollarlos habría

que enfocarlos desde un punto de vista práctico y realista, adaptando ciertos requisitos o añadiendo nuevos.

También podrían realizarse más pruebas con pacientes en la Fundación ASPAYM, para concluir si lo desarrollado es realmente útil para todos los pacientes de ictus, o si habría que alterar algún escenario y añadir nuevas dificultades.

Enfocado a nuevas tecnologías, sería posible desarrollar el videojuego para el uso de otros dispositivos, y no sólo emplear Kinect. Se podrían añadir escenarios que emplearan cascos de realidad virtual (Oculus Rift), o guantes hápticos que nos permitieran interactuar con el entorno virtual (Glove One). Cualquiera de estos dispositivos ayudaría en la inmersión del paciente en el juego.

También se podría añadir el uso de wearables para complementar la rehabilitación.

Referencias

- [1] A. Martín Zurro, J.F. Cano Pérez, “Atención Primaria: Conceptos, organización y práctica clínica”, Mosby / Doyma Libros.
- [2] “Rutas de cuidados al paciente adulto en urgencias y hospitalización médica”, volumen I, Fuden, primera edición, Mayo 2012.
- [3] A. Camacho Salas, J. González de la Aleja Tejera, J.M. Sepúlveda Sánchez, “Urgencias en neurología, Hospital Universitario 12 de Octubre”, Ergon, segunda edición, 2013.
- [4] Mark H. Beers, M.D., y Robert Berkow, M.D, “El Manual Merk”, MSD.
- [5] *Imagen*: “Psicología. Imágenes del cerebro y sus partes”.
(<http://mimundodelapsicologia.blogspot.com>, fecha de última consulta: Enero 2017)
- [6] *Imagen*: “Sistema circulatorio. Arterias de cabeza y cuello”.
(<http://anatomia-vascular.blogspot.com>, fecha de última consulta: Enero 2017)
- [7] U.S. Department of Health and Human Services, “Post-Stroke Rehabilitation”, 2014.
- [8] Departamento de diversidad biológica y ecológica, Universidad Nacional de Córdoba, “Áreas funcionales de la corteza cerebral”. (<http://www.efn.uncor.edu> , fecha de última consulta: Enero 2017)
- [9] Mayo Clinic, “Stroke rehabilitation: What to expect as you recover”.
(<http://www.mayoclinic.org>, fecha de última consulta: Enero 2017)
- [10] D.E. Guzmán, J. Londoño, “Rehabilitación de miembro superior con ambientes virtuales: revisión”, Revista mexicana de Ingeniería Biomédica, Agosto 2016.
- [11] Kate Laver, Stacey George, Judith E. Deutsch, “Virtual Reality for Stroke Rehabilitation”, Enero 2017.
- [12] Begoña Alfageme, Pedro Sánchez Murcia, “Aprendiendo habilidades con videojuegos”, 2002.
- [13] A. Cabezuelo González, Facultad de Ciencias de la Salud, “Efectividad de la realidad virtual en el tratamiento del accidente cerebrovascular: una revisión sistemática”, Mayo 2016.
- [14] *Imagen*: Rincón de la Tecnología. (<https://rincondelatecnologia.com>, fecha de última consulta: Enero 2017)
- [15] E. Todorov, R. Shadmehr, E. Bizzi, “Augmented feedback presented in a virtual environment accelerates learning of a difficult motor task”, Journal of Motor Behavior, vol. 29, no. 2, pp. 147–158, 1997.
- [16] J. Broeren, A. Bjorkdahl, L. Claesson, D. Goude, “Virtual rehabilitation after stroke”, Studies in Health Technology and Informatics, vol. 139, pp.77–82, 2008.

- [17] H. Sveistrup, J. McComas, M. Thornton, S. Marshall, H. Finestone, A. McCormick, K. Babulic, M. A, “Experimental studies of virtual reality delivered compared to conventional exercise programs for rehabilitation”, *Cyberpsychology Behav*, vol. 6, no. 3, pp. 245–249, 2003.
- [18] M. Bayón, J. Martínez, “Rehabilitación del ictus mediante realidad virtual”, Noviembre 2009.
- [19] Departamento de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, Universidad de da Coruña, “Sistemas Adaptativos y Bioinspirados en Inteligencia Artificial: Captura de movimientos”. (<http://sabia.tic.udc.es>, fecha de última consulta: Enero 2017)
- [20] Gamificación. (<http://www.gamificacion.com/>, fecha de última consulta: Enero 2017)
- [21] Kinect For Developers, “Características Kinect 2.0”. (<http://www.kinectfordevelopers.com>, fecha de última consulta: Enero 2017)
- [22] Asus. “Xtion”, “Xtion PRO”, “Xtion PRO LIVE”. (www.asus.com, fecha de última consulta: Enero 2017)
- [23] SoftKinectic, “DepthSense Cameras”. (<https://www.softkinetic.com>, fecha de última consulta: Enero 2017)
- [24] “Minoru 3D Webcam Users Guide”, Febrero 2009.
- [25] ReconstructMe, “Intel RealSense R200 Review”. (<http://reconstructme.net>, fecha de última consulta: Enero 2017)
- [26] Intel, “Intel RealSense Camera SR300”, Junio 2016.
- [27] Unity. “¿Qué es Unity.” (<https://unity3d.com/es>, fecha de última consulta: Enero 2017)
- [28] Unreal Engine, “Unreal Engine Features”. (<https://www.unrealengine.com>, fecha de última consulta: Enero 2017)
- [29] CryEngine, “Technical Documentation”. (<http://docs.cryengine.com>, fecha de última consulta: Enero 2017)
- [30] S. Garrote Fernández, “Especificaciones del sistema La Isla EPIKa”, 2015-2016.
- [31] Microsoft, “XML Web Services Basics”. (<https://msdn.microsoft.com>, fecha de última consulta: Enero 2017)
- [32] Through the Interface, “Calling a web-service from a Unity3D scene”. (<http://through-the-interface.typepad.com>, fecha de última consulta: Enero 2017)
- [33] *Imagen*: SeaLeft Studios, “Adventures in Motion Capture: Using Kinect Data”. (<http://www.sealeftstudios.com>, fecha de última consulta: Enero 2017)

- [34] *Imagen*: Grupo de Telemática e Imagen de la Universidad de Valladolid, "Rotaciones de los *joints* del cuerpo humano según Kinect".
- [35] Unity Documentation. "Scripting API: Vector3". (<https://docs.unity3d.com>, fecha de última consulta: Enero 2017)
- [36] *Imagen*: Lic. Javier Mazone, "Flexibilidad".
- [37] *Imagen*: Bloques Autocad. (<http://www.bloquesautocad.com>, fecha de última consulta: Enero 2017)
- [38] *Imagen*: Haga calentamiento. (<http://www.hagacalentamiento.com>, fecha de última consulta: Enero 2017)

Anexo: Manual de usuario

En este capítulo desarrollaremos un pequeño manual de usuario sobre el juego expuesto anteriormente. Diferenciaremos entre un modo de juego local y uno vía red, y enfocaremos todas las posibilidades de los diferentes escenarios.

1. Inicio de sesión

Para acceder al inicio de sesión en el juego basta hacer doble *click* sobre el icono de escritorio llamado “La Isla EPIKa”. Una vez se abre el juego, se accede directamente a una pantalla en la que se saluda al jugador y se solicita la introducción de un usuario y una contraseña (Figura 38).

Es necesario la introducción de ambas, ya que si no saltará un mensaje de error (Figura 39).

Tras introducir los datos pueden ocurrir dos cosas: en primer lugar, que la red y el servidor funcionen correctamente, y se nos permite el **acceso al juego**, o bien que algo falle en la comunicación y debamos trabajar en modo local.

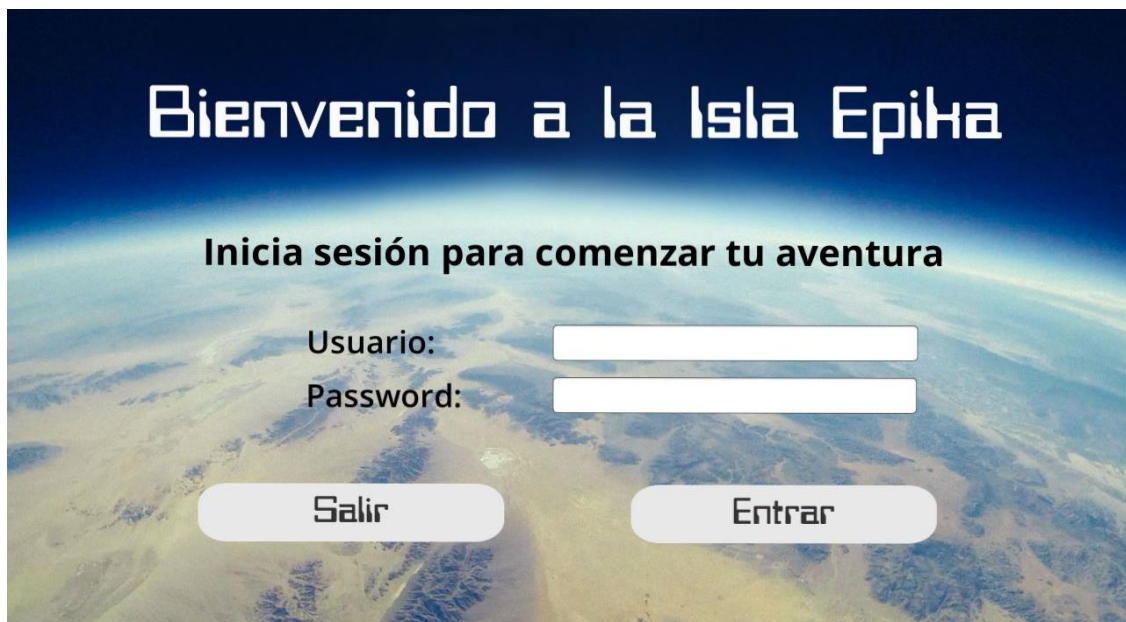


Figura 38. Pantalla inicial del juego “La Isla EPIKa”

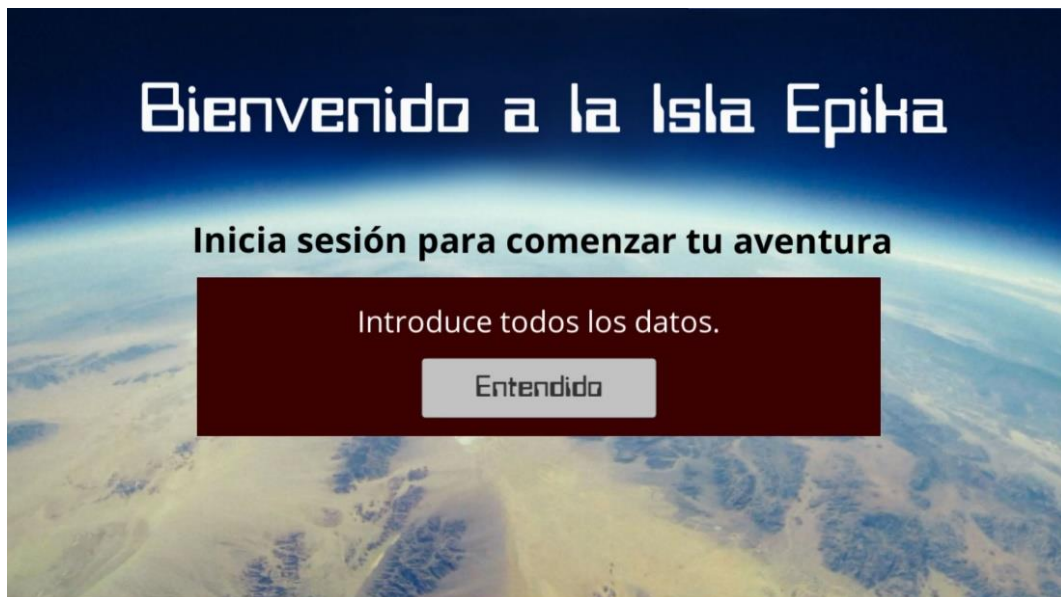


Figura 39. Mensaje de error de falta de datos

1.1. Modo de juego en red

El modo de juego en red evaluará si los datos introducidos son correctos. Si esto no fuera así, mostrará un mensaje de error y se nos volverá a solicitar introducirlos (Figura 40).

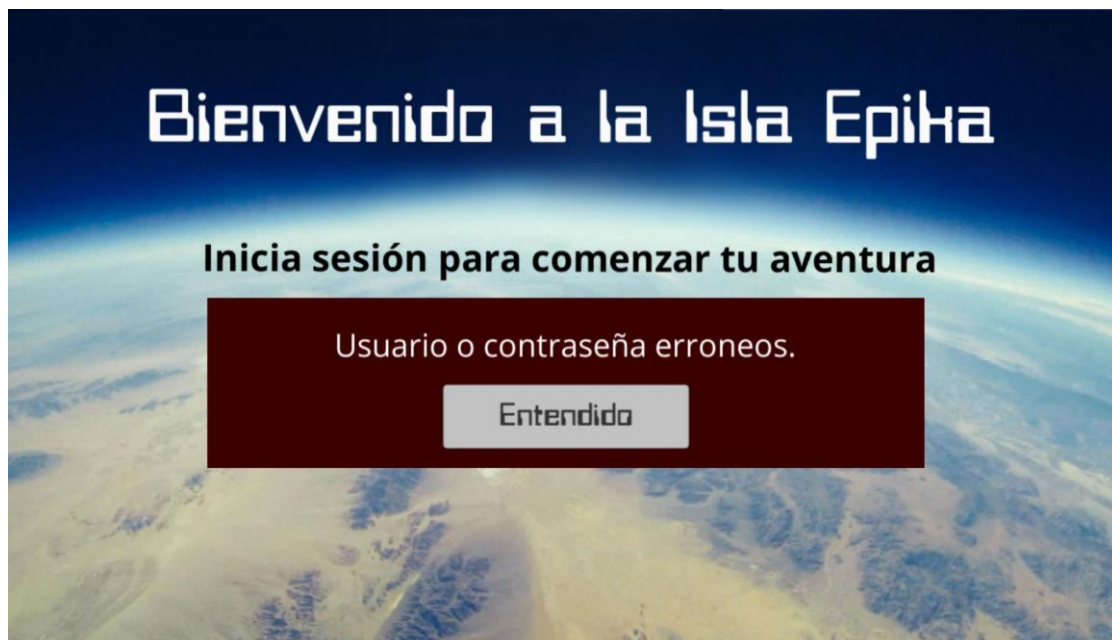


Figura 40. Mensaje de error de usuario o contraseña errneos

Si por el contrario los datos introducidos corresponden a un usuario registrado en el servidor, accederemos a la pantalla de selección de escenario (Figura 41).



Figura 41. Pantalla de selección de escenarios con la sesión descargada

Como explicamos en la sección 4.3, esta pantalla muestra uno a uno los escenarios de una sesión, en el orden en el que se deben realizar. Es decir, hasta que no se complete el tiempo definido por el terapeuta de realización de un escenario, esta escena no mostrará el siguiente escenario.

1.2. Modo de juego en local

En el modo de juego en local, no podemos descargar las sesiones a realizar del servidor. Para evitar que el paciente se quede sin ejecutar ninguna rehabilitación, le indicamos que va a trabajar en local y, tras pedirle que introduzca su nombre, le cargamos la última sesión guardada en el dispositivo (Figura 42). Si no hubiera ninguna, se le generaría otra con los valores de cada escenario por defecto.



Figura 42. Pantalla de acceso en local

Tras acceder, se muestra una pantalla de selección de escenarios en la que el paciente tiene libertad completa para elegir cuál hacer (Figura 43).

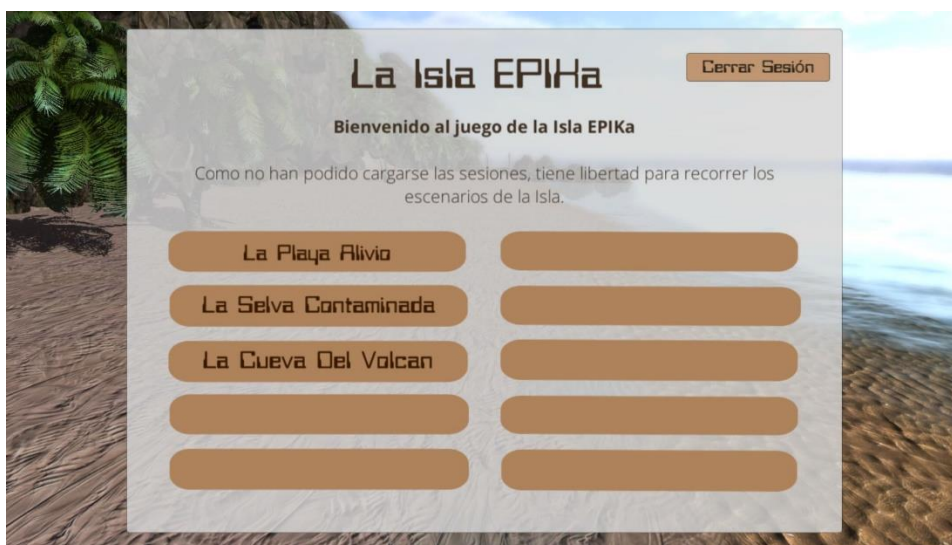


Figura 43. Pantalla de selección de escenarios sin la sesión descargada

Una vez explicados los diferentes inicios de sesión y pantallas de selección de escenario, vamos a pasar a los escenarios concretos.

2. La Playa Alivio

Escenario de calibración

Si seleccionamos La Playa Alivio, veremos que accedemos a una pantalla en la que se nos ofrece calibrar los movimientos de alcance o cargarlos. También podremos elegir si hay algún tipo de restricción lateral en el paciente, de tal manera que los elementos sólo se generen por uno de los lados (Figura 44).



Figura 44. Pantalla de inicio de la calibración de La Playa Alivio

Si elegimos el calibrado, pasaremos a un escenario en el que caen cocos a ambos lados del avatar. Cada vez que uno cae y es recogido, se incrementa la distancia a la que se generan respecto al paciente. La máxima distancia se corresponde con la longitud de los brazos del avatar. Cuando un coco no es recogido, se disminuye su velocidad de caída (Figura 45).



Figura 45. Pantalla de calibración de pie de La Playa Alivio

Cabe destacar que si el usuario está sentado, aparecerá una nave espacial debajo de él, para que proporcione coherencia al juego (Figura 46).



Figura 46. Pantalla de calibración sentado de La Playa Alivio

Una vez calibrado el alcance del paciente, se mostrará un mensaje de resultados con los valores obtenidos y la restricción elegida. Si en vez de calibrar hubiésemos elegido cargar el calibrado de la sesión anterior, pasaríamos directamente a esta pantalla (Figura 47). No

precisa de que ningún botón sea seleccionado, el cambio al siguiente escenario se hace a través de temporizadores.

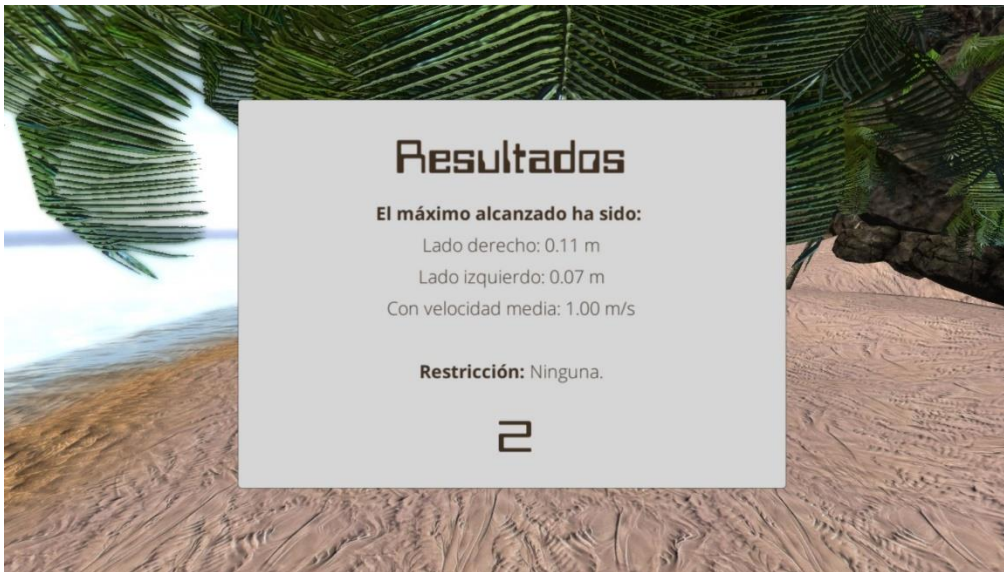


Figura 47. Resultados de calibración de La Playa Alivio

Escenario de juego

Una vez que el programa tiene los datos de calibración, accedemos al escenario de juego. En primer lugar, se mostrará una pantalla con la información sobre el escenario, y se nos indicará que nos pongamos delante de la cámara (Figura 48). Esto sucede porque durante el tiempo en que pasamos al juego, se decide si el paciente está de pie o sentado, lo que causa diferencias en la jugabilidad.



Figura 48. Pantalla de inicio de La Playa Alivio

Una vez detectada la posición del paciente, pasamos al modo juego. En este escenario vamos a tener que desplazarnos con inclinaciones, movimiento de brazos o movimiento de piernas (sección 4.4.1), hasta algunas palmeras para golpearlas y que caigan cocos de ellas (Figura 49).



Figura 49. Pantalla de juego de La Playa Alivio

Si el usuario está sentado, tendrá una nave espacial debajo (Figura 50).



Figura 50. Pantalla de juego sentado de La Playa Alivio

Cada vez que lleguemos a una de las palmeras, ésta se iluminará y nos aparecerá un mensaje en pantalla con el número de veces que debemos golpearla (Figura 51).



Figura 51. Mensaje de golpeo de La Playa Alivio

Cuando el paciente la golpee estirando los brazos el número de veces indicado, pasamos a una pantalla en la que vamos a tener que recoger los cocos que caigan y evitar los plátanos (Figura 52). Si estamos de pie, podremos desplazarnos lateralmente para recoger los cocos. Si estamos sentados, únicamente podremos estirar los brazos y de nuevo parecerá que estamos sobre una nave espacial (Figura 53).



Figura 52. Modo de recogida de objetos de La Playa Alivio



Figura 53. Recogida de objetos sentado de La Playa Alivio

Una vez hayan caído todos los objetos, volveremos a la pantalla de las palmeras y se nos indicará que busquemos otra (Figura 54).



Figura 54. Mensaje de continuar de La Playa Alivio

Finalmente, cuando se complete el escenario, o bien cuando el paciente pulse el botón de salir, se nos mostrará una pantalla con nuestros resultados en el escenario, y un temporizador de diez segundos que nos volverá a redirigir a la escena de selección de escenarios (Figura 55).



Figura 55. Resultados de La Playa Alivio

3. La Selva Contaminada

Escenario de calibración

La escena de calibración de La Selva Contaminada sigue el mismo esquema que el de La Playa Alivio. Cuando accedemos se nos informa del escenario y se nos da la opción de elegir una restricción lateral (Figura 56).



Figura 56. Pantalla de inicio de calibración de La Selva Contaminada

Si elegimos calibrar, pasaremos a un escenario en el que debemos recoger en primer lugar troncos a los lados realizando una sentadilla. Si estamos ya sentados, se generará la nave espacial y simplemente deberemos alargar el brazo (Figura 57). Si no se ha elegido restricción, aparecerán dos troncos a cada lado, mientras que si se ha elegido, sólo aparecerán los dos correspondientes a ese lado. Estos troncos se generarán de uno en uno, y si pasan 30 segundos sin recogerse, se interpretará que el límite de alcance del paciente es ése. Si se recogen los cuatro se le dará el máximo alcance al valor calibrado.

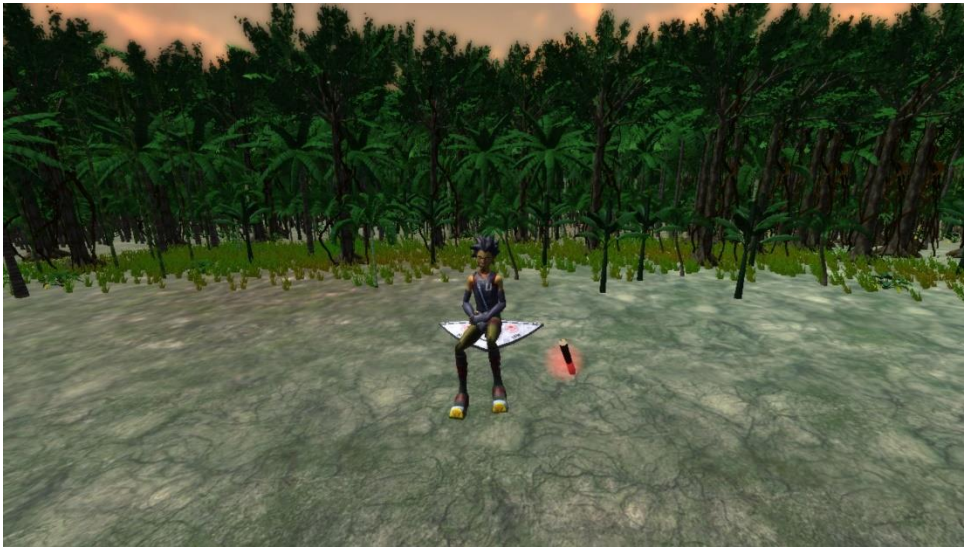


Figura 57. Calibración sentada de La Selva Contaminada

El siguiente parámetro de calibración es el alcance a la hora de recoger hojas de los árboles. Se generan cuatro árboles seguidos, en el caso del modo sin restricción, y sólo dos si la hubiera. Estos funcionarán igual que los troncos, se generan de uno en uno, y tienen un límite de tiempo para la recogida de su hoja (Figura 58).



Figura 58. Calibración de pie de La Selva Contaminada

Una vez que el juego tiene los resultados de la calibración, estos se muestran en un panel de resultados similar al de La Playa Alivio (Figura 59).

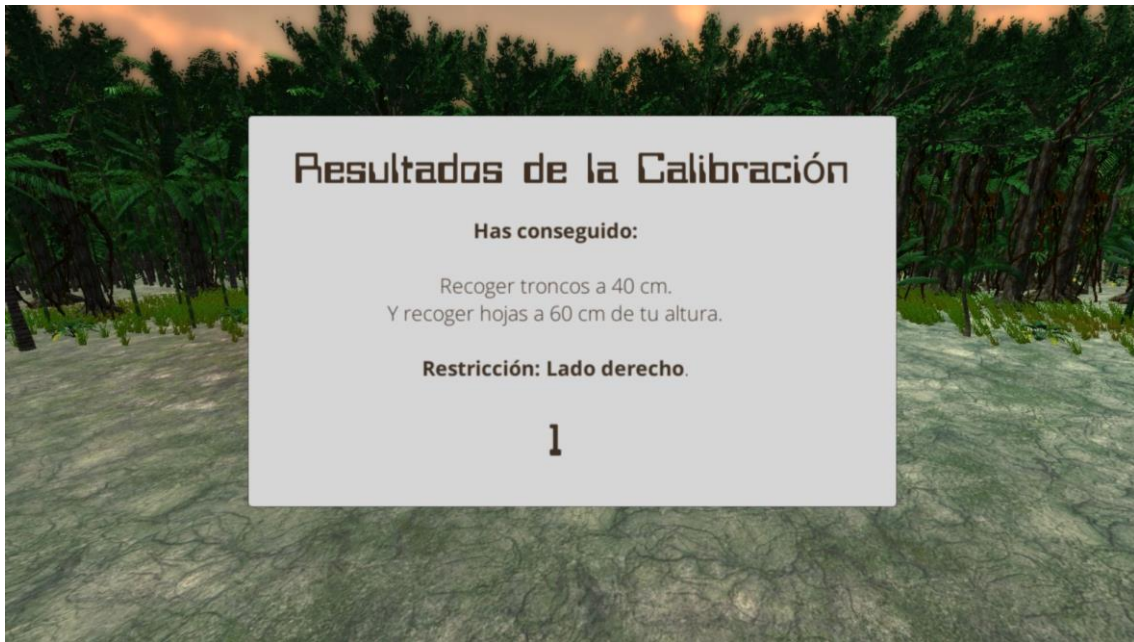


Figura 59. Resultados de la calibración de La Selva Contaminada

Escenario de juego

Al igual que en La Playa Alivio, lo primero que se nos muestra es una descripción del escenario, y se evalúa la posición del usuario (Figura 60).



Figura 60. Pantalla de inicio de La Selva Contaminada

Una vez detectado si el paciente está de pie o sentado, se iniciará automáticamente el juego. En el modo sentado, ya sea un modo de juego libre, guiado o automático, nos aparecerá una nave similar a la del escenario anterior (Figura 61). Si estamos de pie, sin embargo, en modo libre no aparecerá nada, pero en automático veremos una pequeña plataforma en nuestros pies que simula un desplazamiento (Figura 62).



Figura 61. Pantalla de juego sentado de La Selva Contaminada



Figura 62. Pantalla de juego automático de La Selva Contaminada

En este escenario no es preciso cambiar de vista para recoger los objetos, basta que nos dirijamos hacia ellos y realicemos el movimiento necesario para obtenerlos.

Una vez acabado el tiempo o seleccionado el botón de salir, se nos mostrará el resultado alcanzado y tras un temporizador de diez segundos, saldremos del escenario a la pantalla de selección de escenarios (Figura 63).

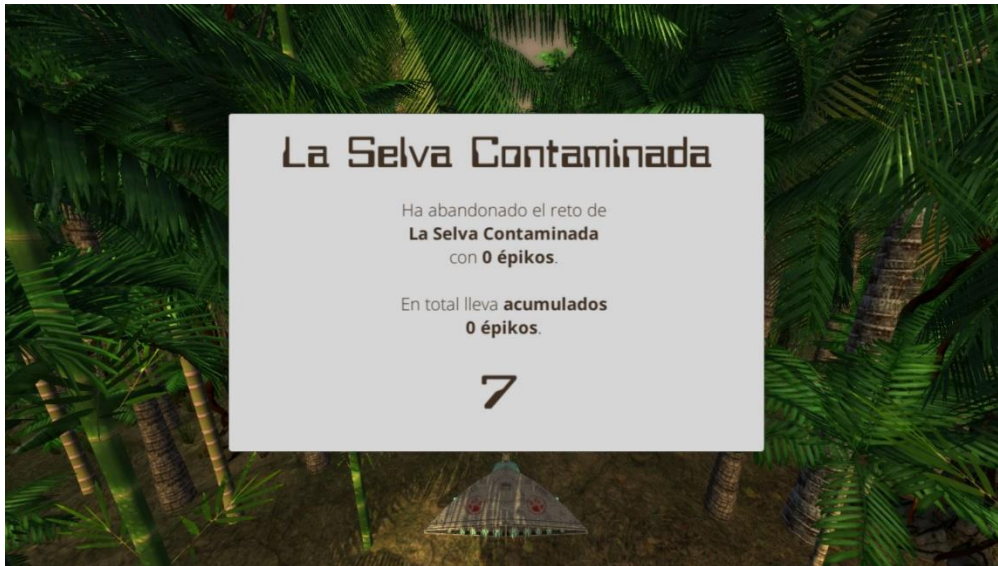


Figura 63. Resultados de La Selva Contaminada

4. La Cueva del Volcán

Como explicamos en la sección 4.4.3, este escenario no necesita calibración ya que es el propio terapeuta el que determina el ángulo de las inclinaciones que debe realizar el paciente.

Escenario de juego

Tras seleccionar el escenario, accederemos a un panel en el que se nos mostrará la información relativa al escenario y se nos solicitará colocarnos delante de la Kinect (Figura 64).

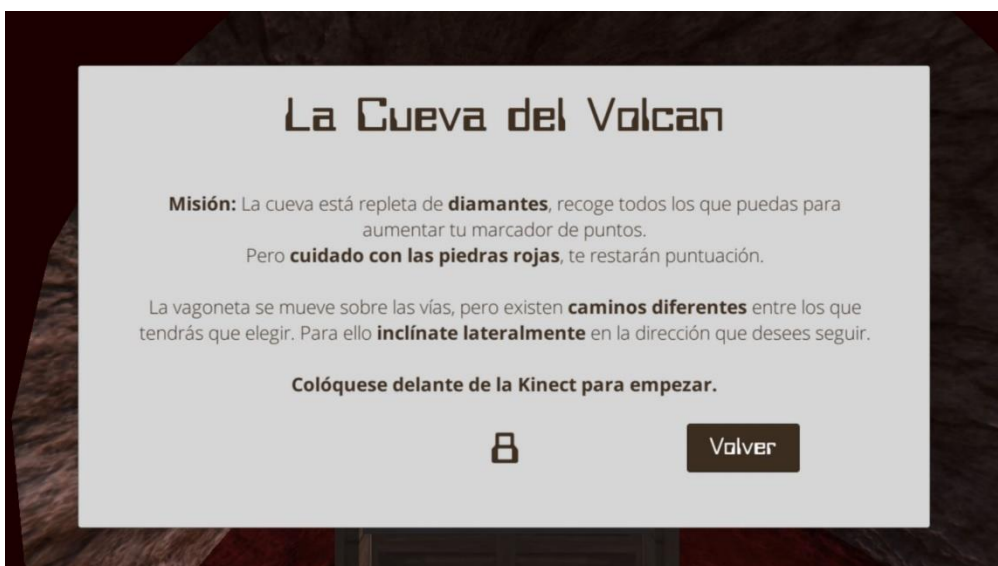


Figura 64. Pantalla de inicio de La Cueva del Volcán

Una vez detectado el paciente, pasaremos al modo juego. Primero, se le pedirá que realice una inclinación delantera para iniciar el movimiento automático de la vagoneta (Figura 65).

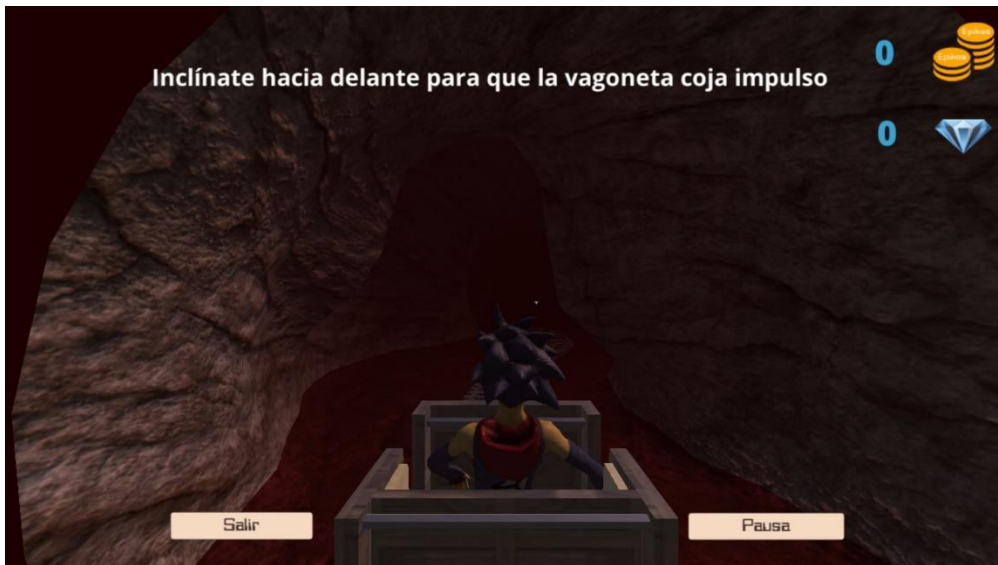


Figura 65. Mensaje inicial de La Cueva del Volcán

Después, mientras ésta se mueve, deberá realizar inclinaciones laterales para recoger los diamantes que aparecen, obviando las gemas rojas (Figura 66).



Figura 66. Pantalla de juego de La Cueva del Volcán

En algunos momentos la vagoneta llegará a una bifurcación, en la que el usuario deberá escoger, nuevamente con inclinaciones laterales, el camino que desea elegir (Figura 67).

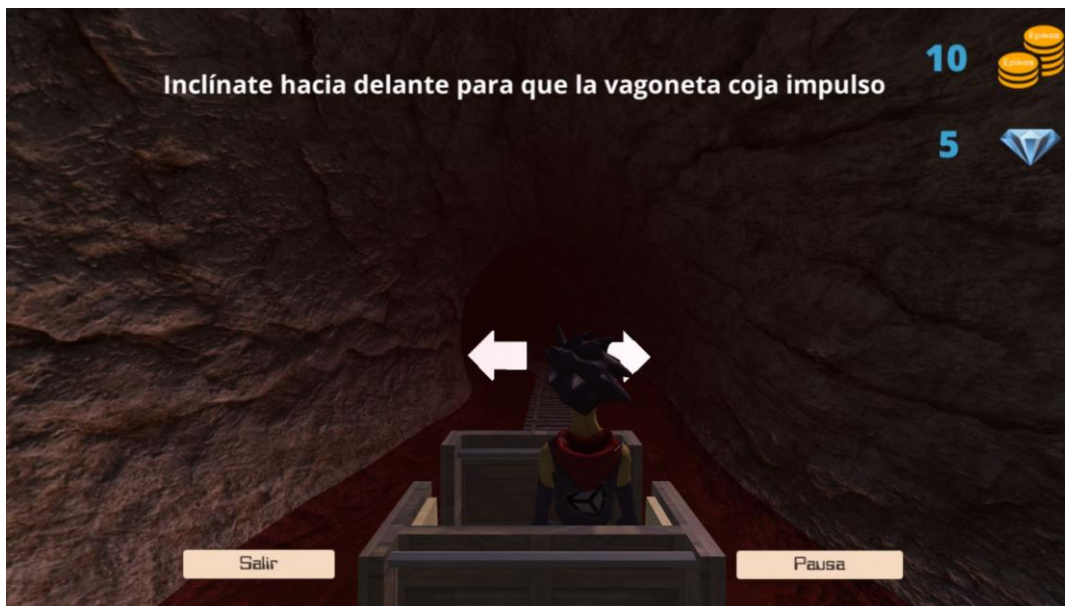


Figura 67. Bifurcación de La Cueva del Volcán

Finalmente, superado el tiempo del escenario o tras seleccionar el botón de salir, se nos mostrará al igual que en los otros escenarios, un panel de resultados (Figura 68).

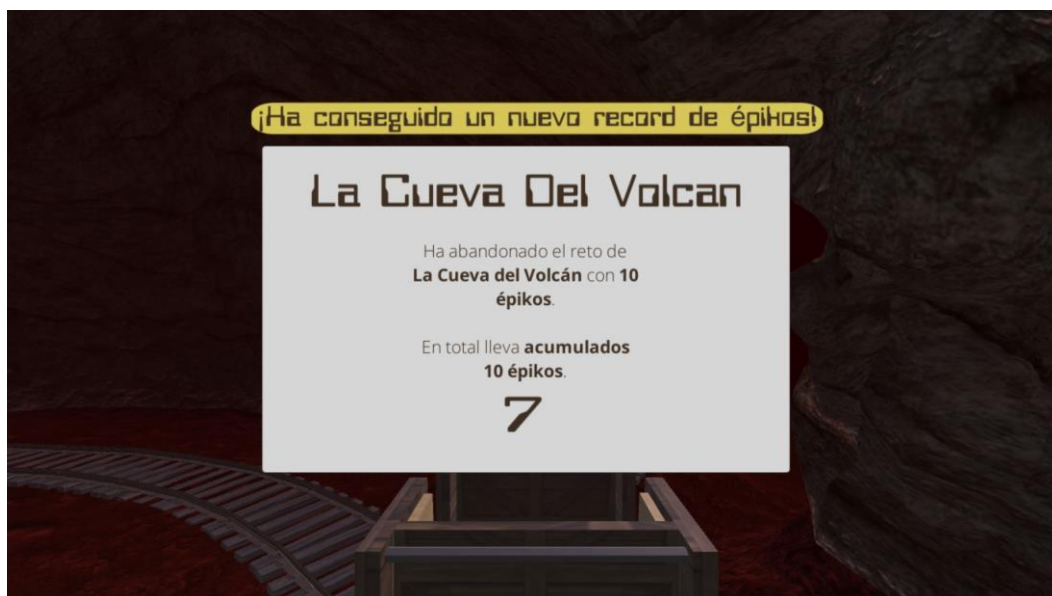


Figura 68. Resultados de La Cueva del Volcán

