



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



DESARROLLO Y VALIDACIÓN DE UN SISTEMA DE REHABILITACIÓN VIRTUAL DE BAJO COSTE APLICABLE A LA RECUPERACIÓN DE MÚLTIPLES DÉFICITS MOTORES

Autora:

Nuria Martínez Soriano

Director:

José Antonio Gil Gómez

MÁSTER EN INTELIGENCIA ARTIFICIAL, RECONOCIMIENTO DE FORMAS E IMAGEN DIGITAL

Trabajo de Investigación

Fecha: Septiembre 2013

Agradecimientos

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que han colaborado y han hecho posible este proyecto, en especial a José Antonio Gil por la gran oportunidad y confianza que ha depositado en mí, además del apoyo mostrado durante todo este periodo de trabajo, pues gracias a él he conseguido cumplir uno de mis mayores sueños.

También agradecer a todos los profesores del máster MIARFID por haberme transmitido sus conocimientos durante todo el curso, ya que gracias a ellos he podido lograr todas mis metas.

Finalmente, dar las gracias a mis familiares y amigos por las muestras de apoyo dadas durante toda mi carrera hasta el momento, sobre todo a mis padres, que aunque hemos estado durante años a kilómetros de distancia, han hecho de esta experiencia única que sea una de las mejores de mi vida.

Muchas gracias a todos.

Índice general

| | |
|---|----|
| Abstract | 10 |
| Resumen..... | 11 |
| Glosario de Términos | 12 |
| 1. Introducción | 17 |
| 1.1. Prólogo | 17 |
| 1.2. Objetivos | 18 |
| 1.3. Justificación | 19 |
| 2. Estado del Arte | 20 |
| 2.1. Introducción | 20 |
| 2.2. Sistemas de Tracking..... | 22 |
| 2.3. Sistemas para Rehabilitación Virtual..... | 24 |
| 2.4. Periféricos de Última Generación para Rehabilitación Virtual | 29 |
| 3. Materiales y Métodos | 34 |
| 3.1. Introducción | 34 |
| 3.2. Hardware..... | 34 |
| 3.2.1. Descripción del Hardware | 34 |
| 3.2.2. Costes del Sistema..... | 38 |
| 3.3. Métodos | 38 |
| 3.3.1. Introducción | 38 |
| 3.3.2. Software de Desarrollo..... | 38 |
| 3.3.3. Descripción del Videojuego..... | 41 |
| 3.4. Diseño del Estudio..... | 67 |
| 3.4.1. Introducción | 67 |
| 3.4.2. Validación de la Adecuación del Sistema | 68 |
| 3.4.3. Caso de estudio: Intervención Clínica | 71 |
| 3.4.4. Medidas de Evaluación..... | 72 |
| 4. Resultados | 75 |
| 4.1. Introducción | 75 |
| 4.2. Resultados Grupo Adultos..... | 75 |
| 4.3. Resultados Grupo Niños..... | 77 |
| 4.4. Resultados Caso de Estudio..... | 78 |
| 5. Discusión y Conclusiones..... | 80 |

| | |
|------------------------|----|
| 6. Trabajo Futuro..... | 83 |
| Anexo 1..... | 84 |
| Referencias..... | 85 |

Lista de Tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1: Coste del Sistema ACT | 38 |
| Tabla 2: Medidas área de juego Cabeza..... | 54 |
| Tabla 3: Medidas área de juego Tronco/Pies..... | 54 |
| Tabla 4: Medidas área de juego Manos | 54 |
| Tabla 5: Medidas área de juego para dos jugadores | 57 |
| Tabla 6: Características grupo adultos | 69 |
| Tabla 7: Características grupo niños | 69 |
| Tabla 8: Media y desviación típica edades..... | 70 |
| Tabla 9: Cuestionario SEQ | 73 |
| Tabla 10: Resultados SEQ - Adultos..... | 75 |
| Tabla 11: Medias y desviación típica SEQ - Adultos | 76 |
| Tabla 12: Resultados SEQ - Niños..... | 77 |
| Tabla 13: Medias y desviación típica SEQ - Niños | 77 |
| Tabla 14: Resultados TUG | 79 |

Lista de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1: Aplicación de RA que proyecta insectos | 21 |
| Figura 2: Arquitectura del módulo herramienta de Telerehabilitación | 21 |
| Figura 3: Casco con sensor inercial | 23 |
| Figura 4: Sensor G4 de BioTrack..... | 23 |
| Figura 5: Plataforma CAREN; (0-4) indican las traslaciones y rotaciones | 24 |
| Figura 6: Guantes para RVM | 25 |
| Figura 7: Sistema CAREN | 25 |
| Figura 8: Sistema Tracking mediante LEDs..... | 26 |
| Figura 9: Movimiento y control postural (izq); Equilibrio y estabilidad (der) | 26 |
| Figura 10: ARMEO | 26 |
| Figura 11: Gesture Therapy..... | 27 |
| Figura 12: Formas de usar CyWee Z..... | 27 |
| Figura 13: Systema VirtualRehab | 28 |
| Figura 14: Telerehabilitación con BioTrack | 28 |
| Figura 15: Bicicleta estática para Nintendo Wii | 29 |
| Figura 16: Dance Dance Revolution | 30 |
| Figura 17: Wiimote..... | 31 |
| Figura 18: Posturas básicas (izq); Wii Balance Board (der) | 31 |
| Figura 19: EyeToy | 32 |
| Figura 20: PlayStation Move & Cámara Eye..... | 32 |
| Figura 21: Componentes de Kinect | 36 |
| Figura 22: Puntos de seguimiento..... | 37 |
| Figura 23: Sistema de coordenadas X,Y,Z..... | 37 |
| Figura 24: Entorno Visual Studio 2010 | 39 |
| Figura 25: Ejecución de XNA | 40 |
| Figura 26: Modo un jugador (izq); Modo dos jugadores (der)..... | 42 |
| Figura 27: Representación del jugador | 43 |
| Figura 28: Colocación de Microsoft Kinect..... | 43 |
| Figura 29: Incorrecta iluminación | 44 |
| Figura 30: Centro de área para un jugador | 45 |
| Figura 31: Centro de área para dos jugadores..... | 46 |
| Figura 32: Área de juego rectangulares | 47 |
| Figura 33: Fases de "A la Caza del Tesoro"..... | 47 |
| Figura 34: Imágenes de flujo de juego | 48 |
| Figura 35: Diagrama de Flujo del Juego | 49 |
| Figura 36: Mensaje "Kinect desconectada" | 49 |
| Figura 37: Mensajes "Kinect no encuentra al usuario" para dos jugadores | 50 |
| Figura 38: Paciente Rojo localizado..... | 50 |
| Figura 39: ID Paciente para un jugador..... | 51 |
| Figura 40: Manejo con cabeza | 52 |
| Figura 41: Manejo con ambas manos | 53 |
| Figura 42: Manejo con ambos pies | 53 |

| | |
|---|----|
| Figura 43: Dificultad para un jugador..... | 55 |
| Figura 44: Objetos de ACT | 56 |
| Figura 45: Configuración para dos jugadores..... | 57 |
| Figura 46: Referencia área mano | 61 |
| Figura 47: Descanso | 61 |
| Figura 48: Resultados - Un jugador | 62 |
| Figura 49: Resultados - Dos jugadores colaborativo | 63 |
| Figura 50: Resultados - Dos jugadores competitivo..... | 63 |
| Figura 51: Fichero ET para un jugador – Manejo manos | 66 |
| Figura 52: Fichero ET para dos jugadores – Manejo manos | 66 |
| Figura 53: Gráfico ET - Mano izquierda..... | 67 |
| Figura 54: ACEPAR..... | 71 |
| Figura 55: Active STS | 72 |

Abstract

Many people are affected by problems caused by acquired brain damage, causing serious difficulties in their activities of daily living. Simple tasks as grabbing or moving objects can be challenging for these people. Traditional rehabilitation has been used for many years to reduce the impact caused by these problems in those affected people.

The technology of virtual reality systems applied in the rehabilitation field is booming. In fact, it is getting the concept of Virtual Rehabilitation. Devices or peripherals are increasingly capable of being adapted to the rehabilitative needs for each patient. One of the main problems or disadvantages of some peripherals are their cost, their availability or their installation on the environment.

In this study we will see in detail the features of the Virtual Motor Rehabilitation system developed called "A la Caza del Tesoro" (ACT). The integrated device used in the system is Microsoft Kinect®, whose advantages are its low cost, availability, portability and easy adaptation on the environment. Thanks to Kinect, an accurate tracking system can be applied to the patient. This system is able to detect their position and movements without placing any device to the person who is using Kinect. The game is part of the TAR system (Technologies for Active Rehabilitation).

The purpose of this project is the development and validation of the adequacy of the system ACT. Thanks to the Kinect interface, ACT allows the ability to interact with different parts of the body, that is, the ones that the patient needs to rehabilitate: head, trunk, hands or feet. Therefore, the specialist can configure for each patient/session customized parameters according to their needs. Besides all this, I must highlight that another objective of this project is to achieve the patient's personal motivation towards their rehabilitation because it is another of the problems that patients emotionally face every day.

Resumen

Muchas son las personas afectadas por problemas originados por daño cerebral adquirido, dificultando gravemente sus actividades de la vida cotidiana. Tareas tan sencillas como coger o mover objetos pueden ser un reto para estas personas. Desde hace tiempo se usa rehabilitación tradicional para ayudar a disminuir el impacto que causan estos problemas en las personas afectadas.

La tecnología de sistemas de Realidad Virtual aplicada en el campo de rehabilitación está en auge, generando el concepto de Rehabilitación Virtual (RHBV). Cada vez son más los dispositivos o periféricos capaces de ser adaptados a las necesidades rehabilitadoras para cada paciente. Algunos de los principales problemas o inconvenientes de varios periféricos son su coste, su disponibilidad o su instalación en el entorno.

En este estudio se verá con detalle las funcionalidades del sistema de Rehabilitación Virtual Motora desarrollado llamado "A la Caza del Tesoro" (ACT). El dispositivo integrado que se utiliza es Microsoft Kinect®, cuyas ventajas son su bajo coste, disponibilidad, portabilidad y fácil adaptación en el entorno. Gracias a Kinect se le puede aplicar al paciente un preciso sistema de tracking que permite detectar su posición y movimiento, además de que no se necesita colocar ningún dispositivo a la persona. El sistema ACT forma parte del sistema TAR (Technologies for Active Rehabilitation).

El objetivo de este proyecto es el desarrollo y la validación de la adecuación del sistema ACT. Además este sistema permite, gracias al interfaz de Kinect, la posibilidad de interactuar con distintas partes del cuerpo: cabeza, tronco, manos o pies. Por lo tanto el especialista podrá configurar de forma personalizada para cada paciente/sesión los parámetros acorde a su necesidad. Además de todo esto, destacar que otro de los objetivos a cumplir es lograr la motivación personal del paciente de cara a su rehabilitación, pues es otro de los problemas a los que se enfrentan anímicamente los pacientes día a día.

Glosario de Términos

Descripción de términos y siglas que aparecen en el estudio:

- **ACT:** A la Caza del Tesoro

- **ACV:** Accidente Cerebrovascular

Llamamos ACV a cualquier trastorno producido en la circulación cerebral en donde se deja de recibir sangre y oxígeno. Se clasifican en dos tipos: Isquémico, cuando se produce un bloqueo del flujo sanguíneo en una parte del cerebro; Hemorrágico, cuando se genera una rotura de una arteria o vena del cerebro. Cada año 15 millones de personas sufren ACV a nivel mundial, de las cuales 5 millones mueren y el resto quedan con grandes secuelas [7].

- **Anosognosia**

Es cuando un afectado con problemas neurológicos niega su propia patología neurológica, sin tener ni idea de cuáles son sus verdaderos déficits funcionales neurológicos [3].

- **API:** Application Programming Interface

Biblioteca de funciones y métodos (o procedimientos) escritos en un lenguaje de programación concreto que se ofrece para su uso dentro del desarrollo software, utilizado como una capa de abstracción. En castellano se conoce como interfaz de programación de aplicaciones (IPA).

- **CAREN:** Computer Assisted Rehabilitation Environment

- **DCA:** Daño Cerebral Adquirido

Daño o lesión en el cerebro que es causado después del nacimiento a causa de algún accidente o enfermedad entrando de lleno en la vida de un ser humano. DCA puede tener como consecuencias problemas de deterioro físico, cognitivo, emocional, o problemas de conducta. Los más frecuentes son el Traumatismo Craneoencefálico (TCE) y el Accidente cerebrovascular (ACV).

- **EBaVIR:** Easy Balance Virtual Rehabilitation

- **Entomofobia**

Hablamos de entomofobia cuando una persona tiene fobia a todos los insectos.

➤ **Esclerosis Múltiple**

Enfermedad del sistema nervioso central que afecta al cerebro, al tronco del encéfalo y a la médula espinal. Causan movilidad reducida a los afectados. Se desconocen las causas de esta enfermedad [39].

➤ **GRAIL:** Gait Real-time Analysis Interactive Lab

➤ **Hemiparesia**

La hemiparesia es causada por una lesión o daño cerebral, producida normalmente, por falta de oxígeno en el cerebro produciendo una disminución de movimiento sin llegar a ser parálisis. Es un grado menor que la hemiplejía [17].

➤ **Hemiplejía**

La hemiplejía es causada por accidente cerebrovascular o enfermedades que afecten a la espina dorsal o los hemisferios cerebrales. Es un trastorno que afecta a la mitad ipsilateral del cuerpo dejándola paralizada. Es más grave que la hemiparesia, ya que causa parálisis total [18].

➤ **Ictus**

Es sinónimo de Accidente Cerebrovascular.

➤ **IDE:** Integrated development environmet

➤ **Mini-mental State Examination (MMSE):** Mini prueba del estado mental

Método o prueba utilizado en clínicas para detectar o evaluar el deterioro cognitivo, sobre todo en población de ancianos. Consiste en una prueba rápida (5-10 minutos) compuesta por 11 cuestiones abarcando cinco funciones cognitivas superiores: orientación, retención, atención y cálculo, memoria y lenguaje. Con una puntuación mayor a 27 se considera normal pero por debajo de 24 sugiere una demencia (máxima puntuación 30)[13].

➤ **RA:** Realidad Aumentada

La RA se cumple cuando, ya sea de forma directa o indirecta, se ve el entorno físico real mezclado con pequeños elementos virtuales, añadiendo información o con la posibilidad de interactuar con ellos.

➤ **RV:** Realidad Virtual

Es una forma de representar la realidad mediante imágenes sintéticas creadas por ordenador con el fin de conseguir una sensación de realismo interactuando a través de un canal sensorial determinado y en tiempo real. La RV puede ser de dos tipos: inmersiva o no inmersiva [38].

➤ **RHBV:** Rehabilitación Virtual

La RHBV es el uso de las técnicas empleadas de rehabilitación tradicional mediante ejercicios de simulación aplicando la tecnología de RV o RA en un entorno seguro y configurable.

➤ **RVM:** Rehabilitación Virtual Motora

Es la RHBV aplicada a las técnicas de rehabilitación motoras.

➤ **SDK:** Software Development Kit

Se trata de un conjunto de herramientas para permitir desarrollar aplicaciones software para un sistema en concreto. Suelen incluir códigos de ejemplo, entre otras documentaciones para facilitar al programador su aprendizaje y su mejor adaptación a la API que incluye.

➤ **SEQ:** Suitability Evaluation Questionnaire

➤ **SFQ:** Short Feedback Questionnaire

➤ **STABLE:** Stability And Balance Learning Environment

➤ **TAR:** Technologies for Active Rehabilitation

➤ **TCE:** Traumatismo Craneoencefálico

TCE es la perturbación en la función neurológica u otra evidencia de patología cerebral a causa de una fuerza traumática externa (accidentes, golpes, caídas, etc.), que ocasiona un daño físico en el encéfalo. Constituye uno de los problemas de salud más importantes, causando un gran número de muertes, o graves secuelas, generando deterioro físico o funcional, imposibilitando el avance académico, profesional y social del ser humano. Se clasifica en leve, moderado y grave [21].

➤ **TUG:** Test Up&Go

➤ **T-WREX:** Therapy Wilmington Robotic Exoskeleton

➤ **VS:** Visual Studio

- **WBB:** Wii Balance Board
- **XNA:** Xbox New Architecture

1. Introducción

1.1. Prólogo

En el siguiente estudio se expone el desarrollo de un videojuego como sistema de Rehabilitación Virtual Motora (RVM) y su posterior validación realizada por los especialistas, que es aplicada a un número concreto de pacientes afectados por daño cerebral (DC), en donde se evaluará la adecuación del sistema desde el punto de vista de usabilidad, seguridad de uso, etc. El videojuego desarrollado dentro del sistema desarrollado en este estudio, está integrado en el sistema TAR (Technologies for Active Rehabilitation), donde se encuentran otros sistemas con diferentes finalidades de entrenamiento de RVM.

El DC puede ser causado por distintas formas, con diferentes grados de gravedad y con varios tipos de discapacidades, es decir, que cada persona debe ser tratada acorde sus necesidades. El DC puede haber sido causado por lesiones vasculares, ictus, enfermedades infecciosas, tumores, traumatismos craneoencefálico (TCE), etc, siendo éste último el más frecuente de todos y principal causa de muchas muertes al año. Son muchas las personas afectadas con DC donde han derivado problemas motores o cognitivos, impidiendo y restringiendo así sus actividades de la vida diaria. Mediante rehabilitación tradicional, los problemas de control motor tales como – hemiplejía, hemiparesia, falta de coordinación motora, problemas de equilibrio, movimientos incontrolados, alcance limitado – pueden adquirir una mejora bastante considerable para ayudar al paciente a resolver sus problemas frente a sus actividades cotidianas y, también muy importante, una mejoría de su estado tanto físico como psicológico.

Unas de las desventajas que acompañan a la rehabilitación tradicional, para que se consigan realizar bien los ejercicios de forma completa, son la desmotivación por parte del paciente y la necesidad de realizar una constante supervisión por parte del especialista para la corrección de los movimientos durante el ejercicio de rehabilitación. Veremos que, con este estudio y métodos empleados, estos problemas se ven paliados considerablemente.

Ya son muchos los sistemas realizados implicando la Realidad Virtual (RV) o la Realidad Aumentada (RA) en el mundo de la rehabilitación, consiguiendo mejorar funciones que los pacientes tienen afectadas. RV es la tecnología interactiva en tiempo real que representa una realidad perceptiva dentro de un entorno virtual sustituyendo al mundo real. Si unimos el concepto de rehabilitación tradicional con la de RV, conseguimos el término de Rehabilitación Virtual (RHBV), donde el paciente podrá hacer sus ejercicios de rehabilitación mediante un entorno interactivo y más ameno. En este estudio nos centramos en concreto en la RVM, ya que el sistema desarrollado entrena los problemas físicos de los pacientes.

El proyecto desarrollado trata de cumplir la función de RVM frente a los pacientes mediante el sistema “A la Caza del Tesoro” (ACT), proporcionando varias formas de manejo mediante distintas partes del cuerpo, siendo éstas cabeza, tronco, y cualquier extremidad (inferiores o superiores), gracias al sensor de movimiento de Microsoft Kinect®.

Durante el trabajo desarrollado dentro de esta tesis de máster, se empezó con una primera versión del sistema ACT, donde en principio se centraba en un sistema de RVM utilizando solo las extremidades superiores. Esta primera versión ha dado lugar a una publicación en el ámbito científico centrada en el campo de la neurorehabilitación celebrada en marzo del 2013 dentro del congreso “Internacional Conference on Recent Advances in Neurorehabilitation (ICRAN)” [27]. Gracias a las posibilidades que ofrece Kinect, se ha podido extender la usabilidad del sistema con la posibilidad de manejo con otras partes del cuerpo, logrando así un sistema más completo.

1.2. Objetivos

El objetivo principal del proyecto es el de desarrollar un sistema de Rehabilitación Virtual Motora (RVM), su posterior validación en un centro clínico evaluando la adecuación del sistema, es decir, su usabilidad, facilidad, seguridad de uso, etc; y finalmente, analizar y diferencias los resultados obtenidos tanto con pacientes adultos como con niños.

Entonces, acorde con la RVM, el objetivo propio del sistema ACT es reducir los problemas de coordinación motora y los síntomas de trastorno del equilibrio, disminuir la inestabilidad y el riesgo de caídas de pacientes con ictus subagudo o crónico. Para cumplir estas metas, se ha de trabajar en otros subobjetivos que el sistema ACT debe proporcionar:

- Motivar e implicar a los pacientes, incrementando la adherencia a su tratamiento.
- Conseguir un progreso más eficaz y rápido en los resultados del paciente comparado con sistemas de rehabilitación tradicionales, reforzando la inclusión de Realidad Virtual (RV) en el mundo de la rehabilitación.
- Disminuir el tiempo de recuperación y mejora de los pacientes.
- Posibilidad de personalizar el tratamiento para cada paciente/sesión de forma individual dentro del sistema desarrollado. De esta forma, con la calibración ajustada al paciente, el sistema se adaptará a las capacidades del mismo. Esta razón es porque no habrá dos pacientes con los mismos problemas o de la misma gravedad y cada uno tiene sus limitaciones. Además, gracias a los ajustes del sistema se pueden plantear retos alcanzables a los pacientes.
- Seguimiento de la progresión de cada paciente. El sistema se encargará de registrar de forma automática los movimientos del paciente en cada sesión, así de esta forma se logra:

- Al ser de forma automática, el registro de los movimientos se realizan de manera objetiva sin que entre en juego la capacidad de apreciación de un especialista.
- Una vez generados los datos, los especialistas serán capaces de revisar con todo detalle el trayecto y progresión de los movimiento realizados por el paciente en cada sesión. Será una forma de comprobar su evolución.

Otro de los objetivos está relacionado con la interfaz elegida para el manejo del sistema, Microsoft Kinect, ya que dentro de las clínicas que aplican RVM se desea toda la comodidad y sencillez posible para que los pacientes estén a gusto en el entorno de rehabilitación y que el periférico no les suponga un reto, siendo Kinect una opción que cumple estos requisitos además de ser un producto de bajo coste. Se estudiará y valorará atentamente la eficacia que Kinect implica dentro del tratamiento de los pacientes.

1.3. Justificación

La necesidad de desarrollo de sistemas de RHBV para ayudar a millones de personas afectadas por daño cerebral con múltiples déficits motores y cognitivos, es día tras día una labor imprescindible y de gran ayuda de cara a la recuperación física y mental para estas personas.

Hasta ahora, no son muchos los sistemas de RHBV que usan dispositivos o periféricos de bajo coste. El desarrollo de este proyecto nace con la idea de responder a las necesidades de RVM que todavía no están del todo explotadas, mediante el uso de herramientas de bajo coste y que además, sirva para tratar múltiples déficits motores. Gracias a la tecnología y la infinidad de funcionalidades que ofrece el sensor Microsoft Kinect, puede permitir el desarrollo de un sistema lo bastante completo para tratar los diferentes problemas a los que se enfrentan muchas personas.

Una nueva alternativa que no suelen incorporar otros sistemas de RHBV, es la integración de un modo multijugador. El sistema desarrollado en este proyecto permite la opción de modo multijugador, preparado para adaptar a pacientes que tengan diferentes déficits y/o con distintos estados. Esta característica puede ser muy útil de cara a la motivación de pacientes.

Se pretende realizar una evaluación de la adecuación y usabilidad del sistema tanto con adultos como con niños, ya que, en la mayoría de los estudios realizados con sistemas de RHBV han sido solamente con adultos. Se quiere demostrar que un sistema de RVM puede ser válido tanto para adultos como para niños con diferentes edades y patologías.

2. Estado del Arte

2.1. Introducción

A finales de los años 70, se empezó a emplear la Realidad Virtual (RV) para realizar simuladores de vuelo. Durante los años 80 creció la idea de aportar la RV a distintos campos y ser desarrollado con fines comerciales, en donde se crearon una amplia gama de productos o herramientas como gafas de visión estéreo, electroguantes que permitían controlar con una mano un instrumento musical, software de construcción, etc. Hoy en día podemos encontrar la RV en muchos ámbitos tales como la educación, los videojuegos, en el campo militar, en la medicina, para la arquitectura, arte, etc [38]. Uno de los pioneros en investigar en el campo de la RV fue *Burdea* (1993) [8], mostrando los conceptos que abarca la RV, además de hablar de sistemas y aplicaciones, y de sus variadas modalidades sensoriales: visuales, auditivas, olfativas, táctiles, etc.

Gran parte de la población sufre diversos problemas, como problemas neurológicos, parkinson, fobias, ansiedad, depresión, entre otras demencias que necesitan ser tratadas de manera eficaz, para conseguir la adquisición de las habilidades a entrenar, y evitar lo máximo posible una recuperación o mejora tediosa, pues pueden llegar a ser procesos de muchos meses o incluso años. El avance de la tecnología ha permitido que en los últimos años la inclusión de RV, y también de Realidad Aumentada (RA), crezcan de forma considerable dentro del campo de medicina y dentro de éste, en las terapias rehabilitadoras, causando grandes éxitos en la población y resultados beneficiosos, convirtiéndose en una rama de investigación actual sobre el término de Rehabilitación Virtual (RHBV). Podemos diferenciar entre Rehabilitación Motora y Rehabilitación Cognitiva, la primera referida a problemas físicos y la última a problemas psicológicos o mentales.

Por ejemplo, gracias a la RA y una simple cámara web se han desarrollado aplicaciones y juegos que permiten realizar ejercicios para fines motores o cognitivos, mezclando el entorno real con componentes virtuales. El sistema que desarrolló *Atif et al.* (2010)[4] llamado AR-REHAB, permite realizar rehabilitación motora para pacientes con daño cerebral adquirido (DCA), cuyo objetivo consiste en coger y mover objetos hacia donde le indique el sistema, de la forma más parecida a los movimientos utilizados dentro de la vida cotidiana. *Botella et al.* (2005)[6] detalla todo lo relacionado con la RA implicada a ayudar de manera psicológica, como por ejemplo a problemas de entomofobia, donde gracias a una cámara web y un patrón perceptivo o plantilla, proyecta el animal o insecto virtual como muestra la Figura 1.



Figura 1: Aplicación de RA que proyecta insectos

Dentro de la RHBV, *Burdea* (2003)[9], nos expone los beneficios y los retos que conlleva la inclusión de RV en las terapias rehabilitadoras, como por ejemplo las ventajas económicas de algunos dispositivos o periféricos, la mayor flexibilidad del especialista, la interactividad de los pacientes con el sistema y a su vez la motivación que genera, etc. Por otro lado, plantea que uno de los retos que se quiere conseguir en un sistema de RV para rehabilitación es el de poder ajustar los parámetros a pacientes concretos de forma individualizada, es decir que aunque hayan pacientes con distinto grado de discapacidad o de distintos problemas, todos ellos puedan aprovechar el mismo sistema. Otra cosa que explica son los tipos de RHBV existentes, clasificados en tres grupos: musculoesquelético, posterior al accidente cerebrovascular (ACV) y cognitivo. También habla de la posibilidad de llevar la rehabilitación al hogar del paciente para conseguir una mejora en su calidad de vida, llamado telerehabilitación, de esta forma el paciente tiene la ventaja de no tener que desplazarse siempre al centro clínico y puede recibir más apoyo de la familia y además, gracias al sistema remoto dentro de la arquitectura (Figura 2) que emplea la herramienta para la telerehabilitación, el terapéutico siempre podrá supervisar al paciente, como plantean *Montserrat et al.* (2009)[32], para las personas mayores.

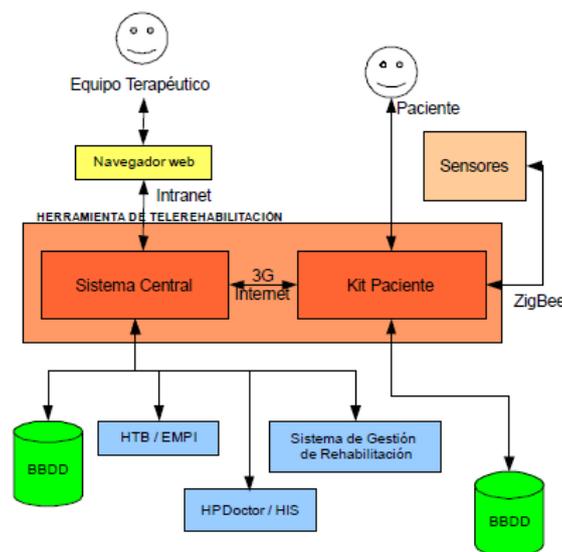


Figura 2: Arquitectura del módulo herramienta de Telerehabilitación

Incluso hay estudios más recientes, como el que plantea *Laver et al.* (2011)[26], que evalúan la evolución de la RHBV dentro de las terapias e investigan la eficacia de los

tratamientos con RV. Pues como ya se ha comentado, el DCA es un problema bastante grave en la sociedad causando muchas muertes o deterioros. El objetivo principal que plantean es comparar la intervención con RV o la no intervención en: funciones y actividades de las extremidades superiores; la funcionalidad de la marcha y equilibrio; y la función global motora, entre otros objetivos secundarios. Destacan que la RHBV es un método prometedor y con razonables resultados de gran importancia para entrenar y mejorar los problemas ocasionados por DCA. Para cada paciente es importante analizar e investigar los resultados en tres ámbitos: cognitivo, de la actividad diaria y de la participación diaria.

Todavía la RV es un enfoque bastante reciente dentro de este campo, por lo que todavía se necesitan muchos más datos y resultados mediante sistemas para demostrar los beneficios de la RHVR aplicado a personas con DCA.

Otro aspecto a considerar dentro de este estudio es la evolución y funcionalidades que han ido tomando los dispositivos y periféricos que se han ido empleando dentro de la RHBV. Poco a poco vemos que son más las interfaces disponibles en el mercado actual como son Kinect de Microsoft, los periféricos de Nintendo Wii tanto el Wiimote como la Wii Balance Board (WBB), la cámara EyeToy y el mando PlayStation Move de Sony, que facilitan mucho la adaptación a este campo y la posible acomodación al entorno del hogar para telerehabilitación.

2.2. Sistemas de Tracking

Tiene una gran importancia la forma en la que los pacientes interactúan con el entorno virtual, conseguido mediante alguna clase de sistema de tracking o de posicionamiento. Los grandes problemas que han tenido los sistemas de tracking desde hace más de una década, han sido su gran coste económico, su difícil adaptación dentro de las clínicas y su complicada configuración, como nos explica *Pérez et al.* (2009)[33]. El objetivo de estos sensores es el de capturar el movimiento grabados con algún periférico o interfaz y tras pasarlo a formato digital, donde el paciente podrá visualizarlo en el entorno virtual en tiempo real. Uno de los objetivos que se quiere conseguir mediante estos sistemas y la RHBV es aumentar el “feedback” entre el paciente y el sistema.

Existen varios tipos de sensores para conseguir la técnica del tracking: inerciales, ópticos (de una cámara, o de más de una cámara), acústicos, magnéticos, mecánicos e híbridos. Híbridos hace referencia a un sensor que combina dos o más tipos de técnicas.

Los **sensores inerciales** están compuestos principalmente por acelerómetros y giroscopios. Los acelerómetros consiguen medir la translación mediante la fuerza realizada con el sensor; mientras que los giroscopios miden las rotaciones a partir de la velocidad angular. Para conseguir que estos sensores consigan una medida tridimensional 3D, suelen incorporar también un magnetómetro, que mide el campo magnético terrestre. La Figura 3 muestra un periférico con estos tres componentes. Gracias a estos sensores se consiguen registrar del paciente tanto la aceleración y

velocidad, como la posición y orientación de sus movimientos. Con sensores inerciales, *Braidot et al. (2012)*[7], desarrollaron un sistema para entrenar las extremidades superiores en pacientes que han sufrido accidente cerebrovascular (ACV) donde se registran, mediante rehabilitación robótica, la cinemática del brazo. Principalmente entrenan con el brazo el hecho de alcanzar y agarrar. Un sistema de RVM que use este tipo de sensor podría ser el de *Anderson et al. (2010)*[1] llamado Virtual Wiihab que veremos más adelante.



Figura 3: Casco con sensor inercial

Los **sensores ópticos** son los que detectan, a través de una lente óptica, diferentes factores conseguidos por medio de la interacción entre la luz y el objetivo. Una de las grandes ventajas es su bajo coste, mientras como desventaja es su sensibilidad a la humedad y su distancia de detección corta. Un ejemplo claro de sensor óptico lo llevan los ratones de ordenador o más claro todavía el periférico de nuestro sistema con kinect. En el siguiente apartado veremos un ejemplo de un sistema desarrollado por *Lange et al. (2011)*[25] que funciona con sensores ópticos y LEDs para RVM.

Formado por emisores de campo magnético y un receptor, los **sensores magnéticos** consiguen adquirir la posición y orientación del paciente, pues él será el emisor capaz de situarse en el entorno. También son de bajo coste, de alcance relativamente alto pero sensible a interferencias electromagnéticas pudiendo afectar a la señal recibida o a enviar. Son muy utilizados para videojuegos y también en el cine. Dentro de la RVM, un novedoso sistema llamado BioTrack [5] utiliza un sensor magnético llamado G4 para el seguimiento del movimiento corporal (Figura 4).



Figura 4: Sensor G4 de BioTrack

Los **sensores mecánicos** tratan de abrir o cerrar un circuito eléctrico mediante un determinado mecanismo, de esta forma se produce una señal. La inclinación del sensor es la que determinará la señal a medir. Suelen ser de los más aparatosos de usar dentro

de la rehabilitación, ya que son dependientes de una conexión física con el paciente y de un punto de referencia fijo, lo que determina limitaciones de movimiento por parte del usuario. Podemos encontrar el sistema CAREN [10] como RVM que funciona mediante una plataforma mecánica como muestra la Figura 5.

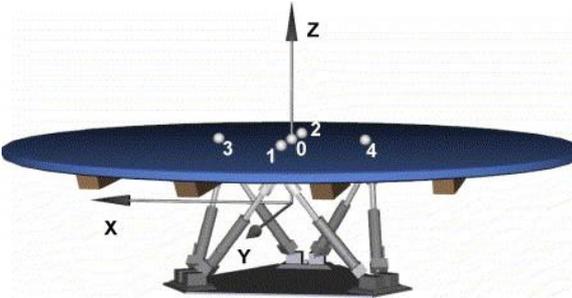


Figura 5: Plataforma CAREN; (0-4) indican las traslaciones y rotaciones

Finalmente faltaría nombrar el **sensor acústico**, que funcionan mediante la presión sonora captada por un micrófono. Se están utilizando para rehabilitación para gente con problemas auditivos o discapacidad auditiva, pero hasta el momento no se ha encontrado nada aplicado a la RHBV. Decir que Kinect es un periférico que incluye micrófono y es capaz de reconocer la voz y palabras concretas.

2.3. Sistemas para Rehabilitación Virtual

En este apartado se pretende mostrar algunos de los tantos sistemas de Rehabilitación Virtual (RHBV) existentes, para qué sirven, cómo funcionan, qué clase de juegos o ejercicios usan. Se destacarán más los de Rehabilitación Virtual Motora (RVM) por ser el tipo de RHBV que entrena nuestro sistema ACT. Algunos de ellos se han nombrado en el apartado anterior de "Sistemas de Tracking", pero sin especificar su función.

Sue et al. (2002)[36] nos expone en su artículo una revisión sobre la RV como RVM, cuyo objetivo es el de mejorar la adquisición de habilidades motoras, consiguiéndolo a base de práctica con los nuevos sistemas de RV. Cada año aparece un gran número de afectados por DCA, estimado en 730.000 personas. Los estudios muestran que la recuperación motriz de las extremidades superiores después del accidente cerebrovascular han dado resultados beneficiosos gracias a esta tecnología. Y poco a poco se han ido realizando nuevos software para cualquier parte del cuerpo, como las extremidades inferiores. Gracias a las cualidades de adaptación, eficiencia y los juegos de RV, los especialistas tienen beneficios a la hora de estudiar el comportamiento de los pacientes frente a estos sistemas, pues los pacientes exponen varias modalidades sensoriales a la vez frente a la RHBV (por ejemplo, cómo sus movimientos motrices responden con respecto a su visión o audición).

Siguiendo sobre el campo de la RVM, *Kamper et al. (2009)[22]* desarrollaron un guante junto a un entorno virtual para ayudar a personas que han sufrido un accidente cerebrovascular (ACV) con problemas en la movilidad en las manos. El guante se encarga

de ayudar tanto a la apertura de la mano como a entrenar el movimiento de los dedos, acompañado de un entorno en RV mediante la posibilidad de unas gafas o casco como se muestra en la Figura 6.



Figura 6: Guantes para RVM

Makssoud et al. (2009)[28] crearon un sistema compuesto por una plataforma móvil acompañado por una pantalla donde se muestra la RV cuyo objetivo es mejorar el caminar del paciente. Este sistema se llama CAREN, donde el especialista puede observar las alteraciones que producen el tronco y la velocidad de los actos del paciente durante la sesión. El sistema simulará un entorno virtual 3D por donde el paciente irá caminado, por ejemplo, por el campo o un bosque. Es un buen sistema para entrenar el equilibrio y la coordinación. La Figura 7 nos muestra además, cómo el paciente está sujeto por un arnés como elemento de seguridad. Como desventaja, el sistema no logra obtener la posición del sujeto dentro de la plataforma. Además de CAREN, existen sistemas parecidos con el principal objetivo de mejorar el equilibrio como son V-Gait, GRAIL, STABLE, etc. [10]



Figura 7: Sistema CAREN

Para evitar con mayor frecuencia las caídas de los ancianos o cualquier otra persona que sufra este problema, *Lange et al. (2011)[25]* hacen un estudio de varios sistemas de tracking de bajo coste para entrenar el equilibrio. En concreto, el sistema que desarrollaron está compuesto por dos cámaras, dos sensores con un LED de diferente color (cada uno en un pie) y un juego que consiste en pisar la marca de una huella con el pie correspondiente en un entorno virtual como muestra la Figura 8.



Figura 8: Sistema Tracking mediante LEDs

Bajo el término o el concepto de “Wiihabilitation”, *Anderson et al.* (2010)[1] desarrollaron el sistema Virtual Wiihab centrados en el uso de un PC y de los periféricos Wiimote y WBB. El sistema contiene cuatro juegos con el fin de realizar RHBV de tipo motor para pacientes con DCA. Según el juego elegido de Virtual Wiihab, tiene como objetivo: o bien controlar la precisión de los movimientos y el control postural de los pacientes, esto se puede conseguir utilizando al mismo tiempo ambos periféricos como muestra la Figura 9 (izq); o centrarse en el equilibrio y la estabilidad solo con WBB como vemos en la Figura 9 (der). Además de que tiene la cualidad de personalizar los parámetros para cada paciente respetando sus límites. También tiene la opción de modo multijugador, con esta opción dos pacientes pueden jugar juntos al mismo tiempo e incrementar la diversión o motivación frente a la rehabilitación.



Figura 9: Movimiento y control postural (izq); Equilibrio y estabilidad (der)

De forma similar al anterior, *Gil-Gómez et al.* (2011)[14], desarrollaron el sistema eBaVIR para pacientes con DCA para entrenar el equilibrio mediante la WBB. Contiene una serie de tres juegos donde el paciente interactúa a través de desplazamientos de su peso.

Existen sistemas del alto precio como el llamado ARMEO (Figura 10), compuesto por un soporte robótico ajustable al paciente y una palanca para rehabilitar problemas de hemiparesias leves-moderadas, mediante el T-WREX (*Housman et al.* (2007))[19]. Como consecuencia del precio económico del sistema anterior, *Enrique-Sucar et al.* (2010)[11] desarrollaron el sistema de tracking en bajo coste llamado Gesture Therapy, basado en un mando con un sensor que se conecta por puerto

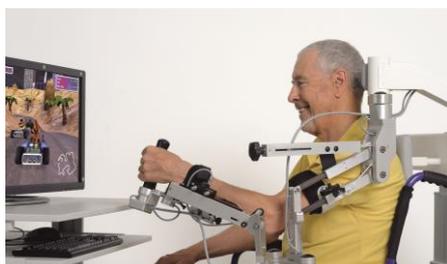


Figura 10: ARMEO

USB al PC como se ve en la Figura 11. El objetivo de este sistema es rehabilitar mediante juegos la movilidad de brazo, mano y dedos, además hace seguimiento de la cabeza del paciente para detectar y evitar la compensación con el tronco. La idea de este sistema también fue diseñada para que el paciente pueda seguir la rehabilitación en su hogar, por su fácil instalación, ya que la disponibilidad de ARMEO fuera de clínicas era imposible.



Figura 11: Gesture Therapy

Un sistema que ha dado buenos resultados dentro de la RVM, para problemas en los brazos causados por DC, fue desarrollado por *Hale et al. (2012)*[16] mediante el periférico CyWee Z y juegos de RV utilizando un PC. Fueron varios los juegos permitidos para poder jugar con este periférico de tipos variados: musicales, de deporte, rompecabezas, etc. Juegos que se deben resolver con movimientos de brazos de forma horizontal o vertical repetidamente. CyWee Z es parecido al Wiimote de Nintendo Wii, pero para poder realizar los juegos con ambas manos se le añadió un complemento en forma de tubo llamado “wand”. De esta forma el paciente puede sincronizar con ambos brazos los movimientos a realizar como aparece en la Figura 12. Como desventaja en sus resultados obtenidos con el sistema, el periférico causó en varios pacientes dolor en hombros.

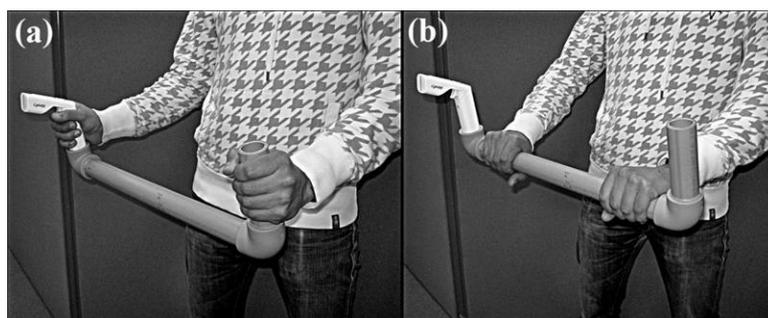


Figura 12: Formas de usar CyWee Z

También existen actualmente sistemas de tracking que funcionan mediante el sensor de movimiento Kinect, como es VirtualRehab [39], sistema que usa entornos de RV en 3D. Fue inaugurada por la Fundación Vasca de Esclerosis Múltiple Eugenia Epalza en 2012. El objetivo de VirtualRehab va para los pacientes que sufren esclerosis múltiple, con la ventaja de que con Kinect no necesitan controlar ningún dispositivo con ninguna parte de su cuerpo y logra, con importante precisión, el posicionamiento del paciente en el entorno y el posicionamiento de partes del cuerpo, en concreto (extremidades,

cabeza, cuello, tronco, etc) (Figura 13). Se ejercitan síntomas como el equilibrio, la fuerza, la fatiga, etc. Y como es de esperar, el sistema finalmente genera unos resultados para que el terapeuta pueda analizar el progreso del paciente.



Figura 13: Systema VirtualRehab

Por último, recientemente también salió a la luz el sistema BioTrack en 2012 [5], siendo un sistema de RHBV bastante completo ya que incorpora todo el proceso de rehabilitación, es decir, de tipo motor, cognitivo/conducta y musculoesquelético:

- Equilibrio en bipedestación y en sedentación
- Memoria y atención
- Dual Task y Actividad de la vida diaria (AVD)
- Agnosognosia
- Musculoesquelética: hombro

Los periféricos que usa son variados, según el juego o ejercicio a realizar, pudiendo encontrarse la plataforma WBB, la cámara de Microsoft Kinect, Tablet multitáctil o mesa multitáctil. También está pensado para usarse en telerehabilitación (Figura 14) y actualmente con disponibilidad de compra con distintos precios según su necesidad.

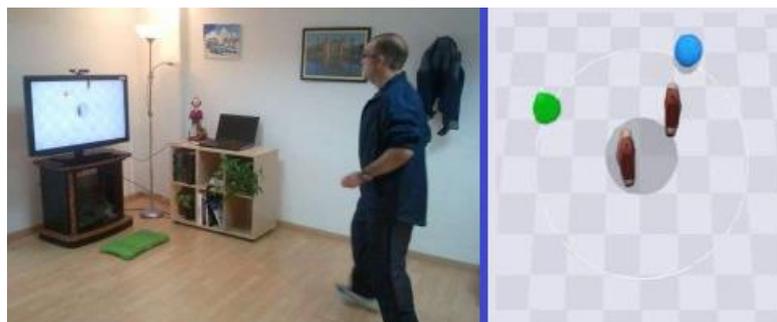


Figura 14: Telerehabilitación con BioTrack

Muchos más son los sistemas que se han ido desarrollando y mejorando desde la aplicación de la RHBV dentro de este campo. Cada vez hay más investigaciones en esta rama adaptando los periféricos más recientes a nuevas ideas para realizar sistemas más sofisticados y económicos. Hemos visto, además, como los objetivos se centran principalmente en la mejora de las habilidades afectadas por el paciente y de que los juegos implementados deben ser sencillos e intuitivos, para facilitar su interacción y no frustrar a los pacientes en su intento de conseguir la meta. Uno de los objetivos a conseguir con estos sistemas es que sea apto para cualquier grado de discapacidad o

demencia una vez desarrollado, ajustando los parámetros necesarios para cada limitación del paciente.

2.4. Periféricos de Última Generación para Rehabilitación Virtual

Se han desarrollado muchos dispositivos hardware para interactuar mediante un canal sensorial en distintas plataformas con las cuales se han aprovechado para adaptar al paciente dentro de novedosos sistemas con RV. Una serie de inconvenientes que tienen muchos de ellos es que suelen ser muy caros, aparatosos de colocar, pesados, incómodos, con difícil disponibilidad o portabilidad, por lo que no todos los centros clínicos se pueden permitir su instalación y menos, en casa del paciente como uso de telerehabilitación.

Uno de los periféricos más antiguos son los cascos, que suelen ser de total inmersión aislando totalmente al paciente de la realidad, luego también podemos encontrar gafas para estereoscopia, ratones 3D, guantes de diferentes tipos y materiales (fibra óptica, de resistencia, ópticos y mecánicos), mesas interactivas, sistemas de tracking, etc.

Pero gracias a las innovadoras industrias de videojuegos, se han creado periféricos conocidos hoy en día como la cámara de Microsoft Kinect, el mando Wiimote y la WBB de Nintendo Wii, la cámara EyeToy y el mando PlayStation Move de Sony. También otros periféricos como alfombras de presión para bailar, guitarras, baterías, volantes (con o sin pedales), incluso bicicletas estáticas (Figura 15), entre otros. El avance de la tecnología ha hecho que estas interfaces incorporen características como giroscopios, acelerómetros, micrófonos, sensores ópticos, etc. Características que, nos permiten medir ciertos valores con precisión de los pacientes (como la velocidad de sus movimientos, la fuerza, su distribución de peso, etc.) como se ha visto ya en el apartado de “Sistemas de Tracking”.



Figura 15: Bicicleta estática para Nintendo Wii

Los periféricos del párrafo anterior se centran, quizás, más en la parte física del jugador, pero también existen otra clase de dispositivos de última generación que se usan para rehabilitación cognitiva como la propia consola Nintendo DS, smartphones y tablets. Pues ya existen en la actualidad aplicaciones con rompecabezas, ejercicios

mentales y uso de la RA (con aplicaciones parecidas al sistema de la Figura 1), ya que incorporan cámaras, pantallas táctiles, micrófonos, etc.

Gracias a estos últimos dispositivos se ha dado a conocer otra forma de interactuar con los videojuegos, dando a conocer el concepto de *Exergaming*. Término que sale de la composición de las palabras “exercise” y “gaming” (ejercicio y juegos), ya que para jugar a los videojuegos implica interactuar haciendo ejercicio evitando la forma sedentaria clásica. Tanto a niños como adultos, se les recomienda tener alguna consola de última generación para jugar a esta clase de juegos, ya que según los estudios son muchos los beneficios tanto físicos como psicológicos y recomendado además, para prevenciones de enfermedades. *Tanaka et al.* (2012)[37] hace una comparación de los periféricos de última generación asociados al *Exergaming* dentro de la RHBV, nombrando todas sus características y su funcionamiento de forma muy detallada.

Annema et al. (2010)[2] exponen el tema de los videojuegos dentro de las terapias y también desde el punto de vista de los especialistas. Con los videojuegos, durante la partida o sesión, se ayuda de alguna forma a distraer el dolor del paciente que le pueda causar los movimientos a rehabilitar, de la misma forma aumenta su motivación y su desarrollo de habilidades. A parte de los sistemas comentados en el apartado anterior, para gente con problemas, también se les ha recomendado jugar a juegos comerciales conocidos tales como *Wii Sport*, *Wii Fit*, *Cyberbike*, *Dance Dance Revolution (DDR)*, etc. Un punto importante es que los sistemas de RV para rehabilitación no suponen, en absoluto, un sustituto del terapéutico.

A parte del sistema que desarrollaron *Lange et al.* (2011)[25] para evitar problemas de caída de ancianos, uno de los juegos que recomienda es el *DDR*, disponible para la gran mayoría de plataformas del mercado como *Nintendo Wii*, *Xbox 360*, *Playstation 2* y *Playstation 3*. Es un juego de baile donde el usuario tendrá que moverse con las piernas y pisar con el pie el sensor correspondiente indicado en la pantalla. El periférico corresponde a una plataforma o alfombra con sensores de presión como muestra la Figura 16.



Figura 16: Dance Dance Revolution

Siguiendo con los periféricos de segunda generación, podemos encontrar el mando principal de Nintendo Wii con el nombre de **Wiimote** o **Wii Remote**. Esta plataforma fue lanzada en 2006. Wiimote es un mando inalámbrico con sensor de movimiento en el espacio con la habilidad de apuntar hacia los objetos de la pantalla gracias a su sensor

óptico y la barra de sensores con LEDs infrarrojos encargada de leer la señal. Está compuesto por acelerómetros y giroscopios, en donde tiene la capacidad de detectar la aceleración en los tres ejes XYZ, respondiendo bien a las traslaciones y rotaciones. Se lanzó en noviembre del 2010 una modificación más precisa llamada Wii MotionPlus, mejorando las capacidades de captación del movimiento haciendo más exacta la interpretación en tiempo real. En la actualidad, Wiimote se puede conseguir por un coste de 50€, mientras que Nintendo Wii ya se puede encontrar a 149,95€ con Wiimote incluido (comparado a su precio inicial de lanzamiento siendo de 249,95€). Ya hemos visto en el apartado anterior la inclusión de este dispositivo dentro de la RHBV, o también el sistema desarrollado por *Shih et al.* (2010)[35], que sólo usa el Wiimote sin WBB.

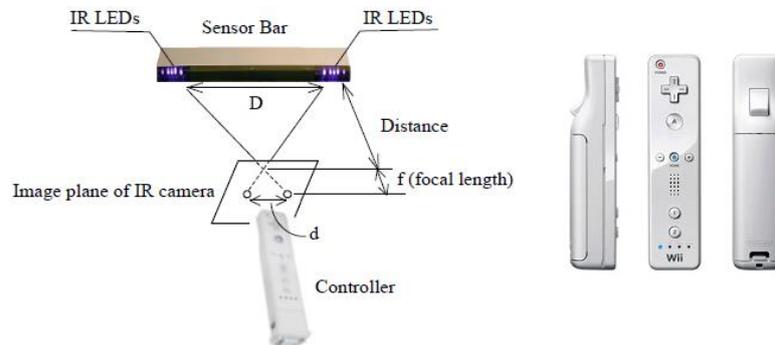


Figura 17: Wiimote

Otro periférico que tuvo gran éxito para Nintendo Wii fue la **Wii Balance Board** (WBB) (Figura 18 (der)), lanzada en julio del 2007. Es una tabla que calcula la presión ejercida sobre ella y el desplazamiento del centro de equilibrio, compuesta por cuatro sensores. Usa la tecnología Bluetooth. Puede soportar hasta 150 kg de peso, mide 30 cm de largo y 48 cm de ancho. Se puede adquirir por 70€ aproximadamente con un juego incluido. Dentro de la RVM hay muchos sistemas que emplean este periférico, pues permite controlar ejercicios de equilibrio y control, como hemos visto en el apartado anterior como el sistema eBaVIR [14], Virtual Wiihab [1] o BioTrack [5]. La Figura 18 (izq) muestra las operaciones básicas que en principio se usan para los juegos comerciales, pero dentro de la RVM también tiene otras posiciones de uso, como por ejemplo para ejercicios de equilibrio en sedentación, pudiendo colocar la WBB sobre una silla, mesa, etc.



Figura 18: Posturas básicas (izq); Wii Balance Board (der)

El dispositivo USB **EyeToy** de Sony fue lanzado en octubre del año 2003 para PlayStation 2 (también disponible para PlayStation 3). Es una cámara digital de color con micrófono incluido cuyas funciones son utilizar visión por computador y reconocimiento de gestos, esto permite meter al propio jugador dentro de la pantalla o monitor (Figura 19), y simular la interacción de éste con el entorno virtual detectando sus movimientos. *Rand et al*, (2004)[34] estudia la posibilidad de utilizar este periférico y sus juegos para RVM tanto para personas mayores como para pacientes con DCA, ya que es un dispositivo de bajo coste (aproximadamente por 30€) y de fácil disponibilidad y portabilidad. En sus juegos destacan el uso de movimientos de brazos, piernas y cabeza, además con posibilidad multijugadora.



Figura 19: EyeToy

El mando inalámbrico **PlayStation Move** de Sony es un sensor de movimiento lanzado en septiembre del 2010 para PlayStation 3, donde una cámara es la que se encarga de captar la señal de los movimientos en el espacio llamada Eye de la forma que indica la Figura 20. El mando está compuesto por una bola que se ilumina en diferentes colores, acelerómetro y giroscopio. El precio del mando puede costar sobre 40€, y con la cámara en torno a 60€. PlayStation Move es ligeramente más precisa que el Wiimote de Nintendo Wii, ya que su acelerómetro no sólo interpreta movimiento y posición, sino que gracias a la cámara Eye, también calcula la distancia recorrida en el aire y el tiempo.

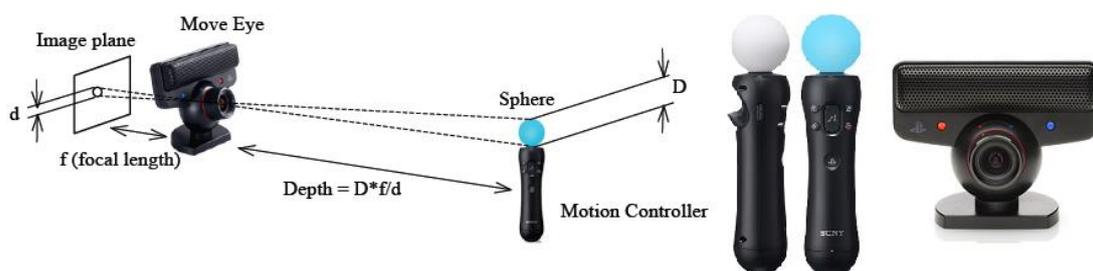


Figura 20: PlayStation Move & Cámara Eye

Estos son los dispositivos comerciales que existen hasta el momento en la industria de los videojuegos, de última generación y que están consiguiendo un gran éxito mundial, ya que se ha comprobado que sus campos de aplicación van más allá que el campo de los videojuegos para el cual, originalmente, están diseñados. Es por lo que, aproximadamente, a partir del año 2006 empezaron a aparecer sistemas denominados como “Low-Cost” por su economía.

Faltaría explicar uno de los dispositivos más recientes dentro del concepto de *Exergaming*, **Microsoft Kinect**, siendo el principal periférico del sistema ACT del cual se hablará en el apartado 3.2., explicando sus características hardware y su integración al sistema.

3. Materiales y Métodos

3.1. Introducción

En este apartado vamos a describir las características de los componentes hardware que forman el sistema ACT. Como ya se ha nombrado en otros apartados, las siglas del sistema corresponden al nombre del videojuego: “A la Caza del Tesoro”. Recordemos que el sistema fue diseñado para la rehabilitación de personas con problemas motores como consecuencia del daño cerebral: dificultades de coordinación, hemiparesia, problemas de equilibrio, movimientos incontrolados, alcance limitado, etc.

El sistema está compuesto por un único juego, basado en la cámara de Microsoft Kinect® como interfaz, que facilita a los pacientes la manera de interactuar con el sistema de la forma más natural posible, además de ser un dispositivo de bajo coste y fácil de adaptar en el entorno. La gran ventaja del uso de este dispositivo dentro del sistema ACT dará juego a la posibilidad de entrenar diferentes partes del cuerpo sin tener que colocar ningún dispositivo adicional y parametrizable para adaptar el juego a las limitaciones de cada paciente.

En este apartado, se describirá detalladamente el sistema ACT, que además ha sido diseñado con la ayuda de expertos en RVM para conseguir un mejor funcionamiento de cara al uso con los pacientes y así, utilizar los movimientos correctos. Posterior a la sesión realizada por el paciente, veremos cómo pueden los especialistas analizar los movimientos que han hecho los pacientes por medio del seguimiento espacio temporal.

Como punto final, se mostrará los métodos de evaluación que se han empleado para lograr la validación y la usabilidad del sistema ante un grupo de pacientes (N = 24).

3.2. Hardware

3.2.1. Descripción del Hardware

El hardware que forma parte del sistema ACT está compuesto por tres elementos: un ordenador personal (PC), un sistema de visualización y un periférico Microsoft Kinect. Además de dicho hardware comentado, es conveniente tener un soporte con ruedas que disponga tanto la pantalla como el ordenador personal, para que ayude a mejorar la integración dentro del entorno clínico de forma más sencilla.

1) Ordenador Personal (PC)

El PC requerido para lanzar el juego y soportar el periférico Kinect debe tener capacidad de procesamiento media. Para mejor funcionamiento se recomienda que

sea un PC Pentium IV con sistema operativo Windows 7 (32 o 64 bits), con un procesador Dual Core a 2,66 GHZ (mínimo) y memoria RAM de 2GB o superior.

2) Sistema de Visualización

Para visualizar el juego en pantalla podría usarse tanto un proyector como un monitor o una televisión. Se recomienda el uso de televisión Full HD de 42"- 47", ya que la experiencia en los sistemas desarrollados hasta la fecha demuestran que con la misma se consigue un perfecto compromiso entre coste, capacidad de integración en el entorno e inmersión de los pacientes en el sistema.

3) Microsoft Kinect

Alex Kipman fue el creador de Microsoft Kinect, sensor lanzado en noviembre del 2010, únicamente para la plataforma Xbox 360 consiguiendo un enfoque novedoso y único dentro de la industria de los videojuegos. A partir de junio del 2011 fue compatible para Windows 7, además de hacerse oficial el kit de desarrollo de software o SDK mediante los controladores correspondientes [23][40].

El objetivo principal que consigue este periférico, expresado bajo su lema "Tú eres el mando", es el de controlar o interactuar con el juego mediante movimientos físicos prácticamente con cualquier parte del cuerpo y sin la necesidad de manejar otro controlador adicional, por lo que para interactuar es suficiente con ponerse delante del sensor y éste responderá en tiempo real. Además reconoce gestos, palabras clave por voz, reconocer rostros humanos, objetos e imágenes; por lo que se podría dividir en tres partes de actividad: reconocimiento de voz, reconocimiento de imágenes y funcionamiento de motor.

El sensor Kinect aparentemente es una caja rectangular de color negra de 28 cm de ancho, 7 cm de alto y 6 cm de profundidad. Está conectada a un cable que finalmente se separa en dos, una salida corresponde a un cable USB y la otra se conecta a la fuente de alimentación eléctrica. Además los componentes que usa y caracterizan a este periférico son (ver Figura 21)[20]:

- *Sensores 3D de profundidad:* Es un proyector de rayos infrarrojos (correspondiendo al objetivo izquierdo) combinando objetivo derecho (cámara monocromática), calculando la distancia según el tiempo que tarda en reflejar la luz, así Kinect consigue ver el entorno en 3D. Sobre su campo de visión:
 - *Campo de visión horizontal:* 57 grados
 - *Campo de visión vertical:* 43 grados
 - *Rango de inclinación física:* ± 27 grados
 - *Rango de profundidad del sensor:* 1,2-3,5 metros

- *Cámara RGB*: Resolución de 640x480 a 32 bits de color a 30 fps. Corresponde al objetivo del medio.
- *Inclinación monitorizada*: Mueve el ángulo del sensor en el rango de inclinación especificada.
- *Micrófono Multi-Array*: Compuesto por cuatro micrófonos. Audio de 16 bits a 16 KHz.
- *Acelerómetro*
- *Memoria RAM de 512Mb*
- *Ventilador*: No está siempre activo.

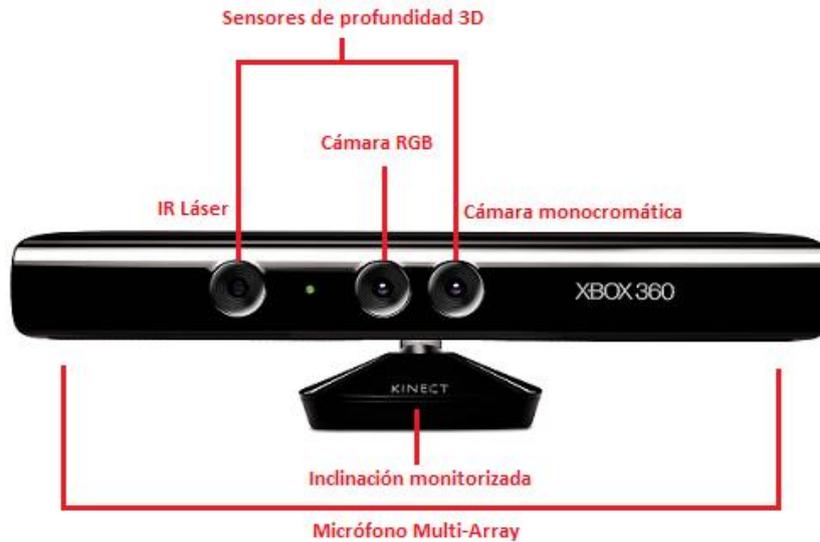


Figura 21: Componentes de Kinect

Gracias a su sistema de seguimiento es capaz de detectar un total de seis personas, aunque activos, solo dos a la vez. Por cada jugador activo, Kinect puede realizar el seguimiento de 20 puntos o articulaciones del cuerpo, como muestra la Figura 22. Como se puede ver, prácticamente el cuerpo entero puede entrar en juego gracias a este periférico y sacar grandes rendimientos dentro de la RVM.

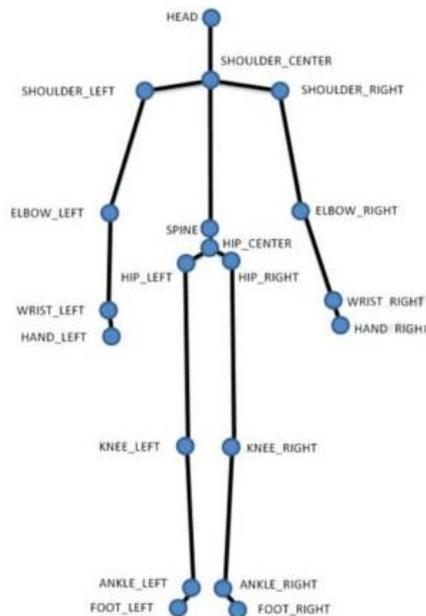


Figura 22: Puntos de seguimiento

También hay que tener en cuenta la dirección en la que van los ejes X, Y, Z desde el punto de vista de Kinect. La Figura 23 muestra la dirección positiva y negativa de cada eje. Es necesario saberlo para el posterior análisis de los movimientos.

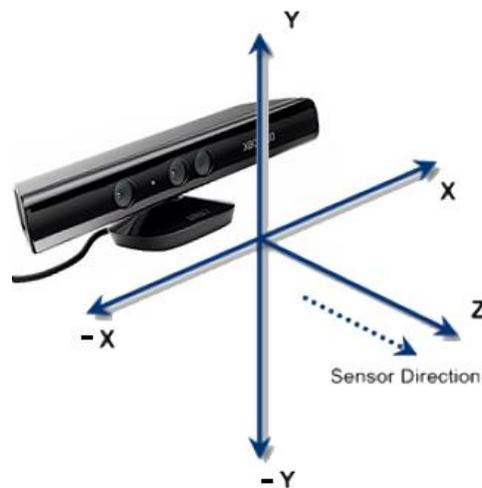


Figura 23: Sistema de coordenadas X,Y,Z

Por todo esto, Kinect cumple los objetivos que muchas clínicas desean, además por ser un periférico de bajo coste y de gran disponibilidad, es de fácil integración dentro de las instalaciones en un centro clínico como en casas particulares, sin necesidad de una adaptación especial y sin necesidad de realizar ningún calibrado al inicio. Finalmente objetar que es de fácil manejo y configuración para personal no técnico, de esta manera los especialistas pueden integrarse perfectamente al control del dispositivo.

3.2.2. Costes del Sistema

Por último comentar el coste económico que puede llevar la integración de los componentes hardware del sistema ACT en una clínica. Se muestra una aproximación económica en la Tabla 1, por lo que el precio final puede variar principalmente dependiendo de las características tanto del PC como del sistema de visualización, ya que hoy en día disponemos en el mercado una gran variedad de productos con distintos precios. Sobre el pack de Kinect, va incluido el juego de Kinect Adventures para Xbox 360.

Tabla 1: Coste del Sistema ACT

| Componente hardware | Coste aproximado (€) |
|--|----------------------|
| Ordenador Personal PC (Pentium IV) | 350€ |
| Sistema de Visualización (TV Full HD de 42") | 450€ |
| Microsoft Kinect | 100€ |
| TOTAL: 900€ | |

3.3. Métodos

3.3.1. Introducción

El propósito de este apartado es el de hablar del conjunto de herramientas que han hecho posible el desarrollo del sistema ACT como son: Microsoft Visual Studio 2010 (VS), Microsoft XNA y la SDK de Kinect; además de describir el juego en su totalidad hablando de: objetivos, representación del jugador, configuración del entorno, interacción paciente-juego, esquema de juego, parámetros iniciales, valores por defecto del sistema, descanso y resultados.

3.3.2. Software de Desarrollo

3.3.2.1. Microsoft Visual Studio 2010

Es el entorno de desarrollo integrado para sistemas operativos Windows que se ha utilizado para programar el juego. La primera versión fue lanzada en el año 1998 (VS 6.0), aunque la versión utilizada es la 2010 correspondiendo el número con el año que fue lanzada. Es utilizado tanto para desarrollar aplicaciones, como sitios y aplicaciones web, además de servicios web en entornos que soporten .NET. VS es capaz de soportar varios lenguajes de programación importantes como Visual C++, Visual C#, Visual J#, Visual F#, Visual Basic .NET y ASP .NET [29].

VS contiene los requisitos que debe tener una IDE, tales como editor de código, depuración, búsqueda mientras se escribe, jerarquía de llamadas, ventana de errores, etc, convirtiéndose en la herramienta perfecta para trabajar con XNA. La Figura 24 muestra el entorno principal de trabajo.

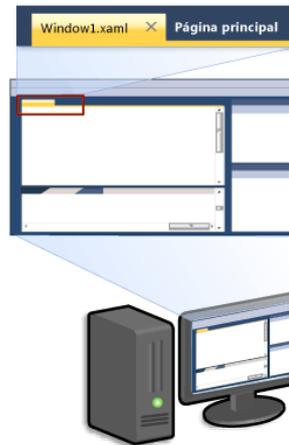


Figura 24: Entorno Visual Studio 2010

Centrándonos en la versión 2010, existen varias ediciones de ésta: VS 2010 Ultimate, VS 2010 Premium, VS 2010 Professional, VS Team Foundation Server 2010, VS Test Professional 2010 y VS Team Explorer Everywhere 2010. La edición elegida para este proyecto fue VS 2010 Professional.

3.3.2.2. *Microsoft XNA*

La herramienta XNA, que ofrece Microsoft para Visual Studio, facilita el desarrollo principalmente de videojuegos multiplataforma 2D y 3D (para PC o Xbox), aunque también puede crearse alguna aplicación de gestión con ella. XNA proporciona el estándar Kit de desarrollo de Xbox o XNA Framework y XNA Game Studio.

La primera versión fue lanzada en 2004 y en 2010 salió la versión más reciente, XNA Game Studio 4.0. Esta versión tenía como novedad la integración soportada por VS 2010, además de soporte para el uso de buffer en las APIs de audio y finalmente la posibilidad de crear juegos para los dispositivos móviles con Windows Phone 7.

XNA Framework es lo que corresponde a la biblioteca de código, es decir, lo que hace referencia a una colección de trozos de código documentados por expertos para que los programadores los usen de forma sencilla en sus desarrollos. Se basa en la implementación nativa .NET Compact Framework 2.0 [31].

XNA admite solamente el lenguaje C#, por lo que el sistema ACT está implementado en dicho lenguaje. Además proporciona una plantilla con los métodos principales a completar en la implementación del juego, siendo los siguientes (Figura 25) [20]:

- *Initialize()*: Se encarga de inicializar los parámetros necesarios antes de empezar el juego.
- *LoadContent()*: Carga los recursos tales como imágenes, sprites, fondos, sonidos, música, etc.
- *UnloadContent()*: Se encarga de las rutinas de finalización.
- *Update()*: Bucle de la lógica del juego.
- *Draw()*: Bucle encargado de dibujar por pantalla los recursos gráficos.

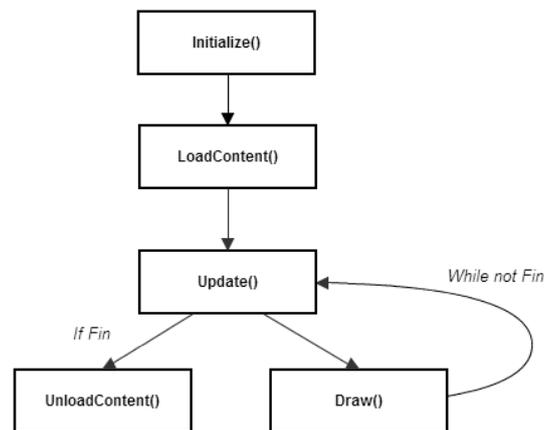


Figura 25: Ejecución de XNA

Finalmente comentar que el lenguaje de programación C# (C Sharp) es un lenguaje multiplataforma orientado a objetos. Su sintaxis deriva de C/C++, además de utilizar el modelo de objetos de la plataforma .NET. Actualmente existen una serie de compiladores compatibles con C#, como por ejemplo: Microsoft .NET Framework, Microsoft Visual Studio, Mono, Delphi 2006, etc.

3.3.2.3. SDK de Microsoft Kinect

Desde la misma página oficial de Microsoft, ofrece la posibilidad de obtener la SDK oficial y un kit de herramientas necesarias (compuesta por controladores, interfaces de dispositivo, códigos de ejemplo, APIs, etc) con el fin de desarrollar software para Microsoft Kinect en Windows. La primera versión de la SDK de Kinect para Windows 7 vio la luz el 16 de Julio del 2011 [30].

No sólo tuvo una gran acogida por parte de programadores particulares sino que debido a sus posibilidades de uso, se ha llevado a las comunidades académicas para aprovechar las características que ofrece Kinect dentro de diferentes campos de investigación, siendo uno de ellos la RHBV.

La versión última corresponde a la 1.7, pero para este proyecto se escogió la anterior, la versión 1.6. La SDK nos permite realizar el seguimiento del Skeletal Tracking de 20 puntos de una o dos personas al mismo tiempo, siempre y cuando estén en el ángulo visible de Kinect; calcular la distancia de los puntos del cuerpo u objetos gracias a la cámara de profundidad; y procesar audio gracias a los cuatro micrófonos integrados [20].

3.3.3. Descripción del Videojuego

3.3.3.1. Objetivo

El videojuego “A la Caza del Tesoro” del sistema ACT, tiene como metáfora la de un pirata que quiere recolectar tesoros y para ello tiene que esquivar ataques de explosivos. El objetivo principal es el de obtener el mayor número de tesoros y a su vez obtener el menor número de explosiones o muertes en un tiempo limitado. También cabe la posibilidad de que existan ciertos obstáculos, que impedirían el paso al pirata.

Existen dos tipos de tesoros:

- Estáticos: representados por monedas, situadas en el entorno de manera fija.
- Dinámicos: representados por sacos o bolsas de dólar (\$), con la característica de que se moverán por el escenario rodando.

En cuanto a los obstáculos existen tres tipos:

- Estáticos pasivos: serán las piedras que impedirán el paso, sin peligro de causar muerte.
- Estáticos activos: representados por dinamitas, donde si el pirata colisiona con una de ellas explotará y sumará un punto al contador de muertes.
- Dinámicos activos: representado por bombas que se mueven por todo el escenario rodando, con peligro de sumar muertes.

Para cumplir dichos objetivos, el pirata podrá moverse libremente por el entorno o escenario con la vista de la cámara desde arriba. Para coger tesoros bastará con tocarlos con el personaje, al igual pasará con las muertes si chocamos contra los explosivos. Cuando el jugador choque contra un obstáculo explosivo y éste le explote, el personaje parpadeará durante 2 segundos y medio para impedir que en ese intervalo le vuelva a explotar nada (un pequeño respiro para el paciente). Si colisiona con una piedra lo recomendable es volver por el camino anterior a la colisión y moverse hacia otra dirección. Los tesoros y obstáculos irán apareciendo poco a poco y de forma aleatoria.

El juego tiene tres modos como opciones: para **un jugador**, para **dos jugadores colaborativo** y para **dos jugadores competitivo**. El objetivo principal no difiere para dos jugadores, tanto el jugador uno como el dos tendrán que conseguir el mayor número de tesoros y esquivar los explosivos. La única diferencia es que en el modo colaborativo el número de tesoros es común para ambos jugadores, al igual que el número de muertes; y en el modo competitivo cada uno tiene su cuenta particular de tesoros y muertes, y se ganará, perderá o empatará según el número de estos, donde el veredicto final se mostrará en los resultados al acabar la sesión completa.

Con la idea de mostrar gráficamente lo descrito, la Figura 26 muestra dos imágenes del sistema ACT durante una partida del juego donde la imagen de la izquierda corresponde al modo para un jugador y la imagen de la derecha a dos jugadores colaborativo.



Figura 26: Modo un jugador (izq); Modo dos jugadores (der)

Como podemos ver en la figura de arriba, en ambos modos, en la parte superior se encuentran los marcadores de tesoros, muertes, y el tiempo que queda de subsesión. Y para dos jugadores, habrá una zona restringida para cada jugador: de tono rojizo para el jugador rojo de la izquierda y de tono azulado para el jugador azul de la derecha.

3.3.3.2. Representación del Jugador

La representación se verá afectada por la elección de la parte del cuerpo para manejar dicho personaje dentro de un círculo. Las partes a manejar, gracias a las posibilidades de Kinect, corresponden a cabeza, tronco, manos o pies. En el caso de elegir alguna de las extremidades (tanto superiores como inferiores), la idea será mostrar una representación de ésta.

Esta idea surge por el motivo de que el paciente tendrá la posibilidad de jugar con el sistema manejando una mano o dos manos a la vez, y de la misma forma con los pies. Así cada icono representa visualmente cuál corresponde a cada extremidad. Con la cabeza o tronco siempre será un icono.

Por ejemplo, si el paciente va a realizar la sesión con la mano derecha aparecerá una mano derecha en un círculo, si usa la izquierda, entonces aparecerá una mano izquierda, y de la misma forma ocurre con los pies como muestra la Figura 27. Por último, aparecerá un sombrero pirata cuando se elija como manejo cabeza o tronco.

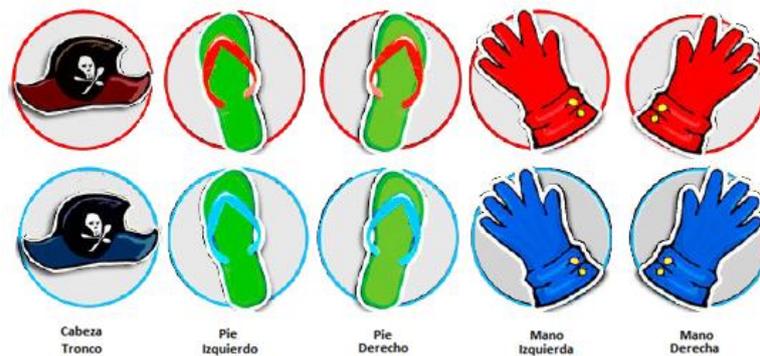


Figura 27: Representación del jugador

Como vemos en la Figura 27 aparecen dos posibles colores, rojo y azul. Esto aparecerá en el caso del modo de juego para dos jugadores, pues el jugador de la izquierda será representado por el color rojo (que es el color por defecto para el modo un jugador) y para el jugador de la derecha se usará el azul. Así evitamos confusiones entre pacientes y ellos mismo sabrán identificarse sin problemas.

3.3.3.3. Configuración del Entorno

Antes de iniciar el sistema ACT es importante y recomendable tener preparado el entorno o escenario con Kinect, además de ciertos aspectos que debe cumplir el paciente. Pueden ocurrir varios problemas o imprevistos si no se cuida y se tiene en cuenta varios factores para dicho sensor.

La mejor situación de Kinect en el entorno es que esté céntricamente y debajo o encima de la pantalla o TV, concretamente a una altura entre 0,6 y 1,8 metros (Figura 28). El área entre el ángulo de visibilidad de Kinect y el paciente tendrá que estar despejada, sin objetos que obstruyan los rayos infrarrojos y que personas ajenas a la sesión del juego no entren en el campo de visibilidad de Kinect.

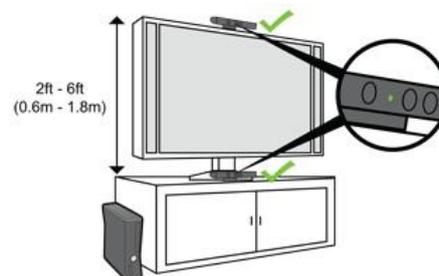


Figura 28: Colocación de Microsoft Kinect

Una de las claves para un correcto funcionamiento del sensor Kinect es la iluminación en el entorno, se tendrá que proporcionar una clara iluminación uniforme para que la cámara localice perfectamente al paciente y logre la mejor fluidez de los movimientos.

Aunque no se recomienda iluminar el entorno directamente por un lateral o perfil de Kinect como muestra la Figura 29.

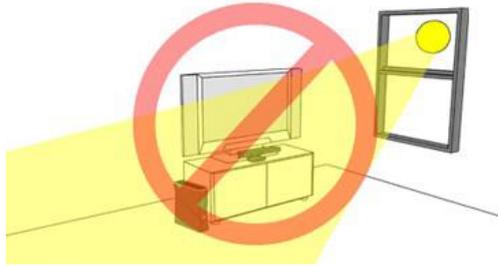


Figura 29: Incorrecta iluminación

Es recomendable que el paciente mida como mínimo un metro de altura, evitar que lleve accesorios grandes en la cabeza como gorros, gafas de sol o gafas muy reflectantes, pelo largo y suelto, es decir, la cara lo más descubierta posible. También es muy importante para una mejor respuesta a los movimientos no llevar ropa ancha ni suelta, preferiblemente en las mangas o bajo de los pantalones. Se recomienda remangar un poco la camiseta o camisa del paciente para tener las manos bien descubiertas. Como último inciso aunque no demasiado relevante, evitar lo máximo posible la ropa de color negra, ya que ésta puede absorber los rayos infrarrojos que lanza Kinect para lograr un correcto seguimiento. Cosas como está evitarán un posible tembleque del personaje y el movimiento será más fluido.

3.3.3.4. Interacción Paciente-Juego

En este apartado se explicará cómo ha de situarse el paciente en el entorno para conseguir una correcta interacción frente al sistema ACT durante la sesión y colocarse en su correspondiente centro de área, además de cómo ha de jugar según la parte del cuerpo seleccionada para manejar al personaje. Se hará la explicación tanto para un jugador como para dos. Para que empiece la partida o subsesión, antes, Kinect tendrá que detectar al jugador delante del sensor.

1) Posición para un jugador

En el caso de elegir el modo para un jugador, el paciente deberá situarse lo más céntrico posible enfrente del sensor Kinect, a una distancia de separación de 2,5 metros. Cuando manejamos el personaje con *cabeza*, *tronco* o *pies*, esta posición coincide con el centro de área del personaje.

Cuando el paciente vaya a jugar con una *mano* o las dos, entonces el centro del área depende de otros factores. Se recomienda igualmente situarse céntricamente frente a Kinect a 2,5 metros, pero ahora el centro dependerá de un valor llamado "Referencia área manos" (el cual hablaremos más tarde), que estará vinculado a la altura del cuello del paciente, siendo esta la referencia principal. Este parámetro es importante ya que permite ajustar a cada paciente el límite de sus posibilidades a la hora de levantar el brazo hacia arriba.

La vinculación de la altura con respecto al cuello hace referencia al eje Y del paciente, y sobre el eje X, el centro del área se situará a 10 cm de separación con respecto al cuello hacia la dirección de la mano escogida. Este ajuste de separación se hizo con la idea de que el paciente pueda llegar a todas las esquinas de la pantalla del juego sin realizar un gran esfuerzo, ya que por ejemplo, si usa la mano derecha no le cueste tanto llegar a la esquina superior izquierda de la pantalla. La Figura 30 muestra el centro de área tanto para cabeza, tronco, pies como manos para un jugador.

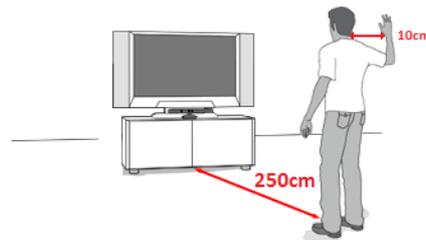


Figura 30: Centro de área para un jugador

2) Posición para dos jugadores

Si elegimos el modo para dos jugadores, indiferentemente de que sea colaborativo o competitivo, aquí cada paciente tendrá un área individual, por lo que un jugador no podrá traspasar sus límites de pantalla. Esto se ha hecho con la idea de que los propios pacientes no colisionen entre sí en el entorno. Para cumplir esto, se han establecido unas medidas para cada centro de área de cada paciente.

En el caso de manejo con *cabeza*, *tronco* o *pies*, bastará con que ambos pacientes se sitúen a 2,5 metros de separación con respecto a Kinect y entre ellos una separación de 1,2 metros. Es decir, correspondiendo al eje X de Kinect, el paciente rojo o el que corresponde al lado izquierdo se moverá 60 cm a la izquierda, desde el centro de Kinect y el paciente azul o el que corresponde al lado derecho se moverá otros 60 cm hacia la derecha desde el centro de Kinect.

Cuando uno de los dos jugadores o ambos, elijan la opción de manejo con *manos*, todo funcionará exactamente igual a lo explicado para un jugador. También se recomienda cumplir las medidas de posicionamiento explicadas para el uso de cabeza, tronco o pies. La Figura 31 muestra las medidas para el centro de área de cada jugador de forma general.

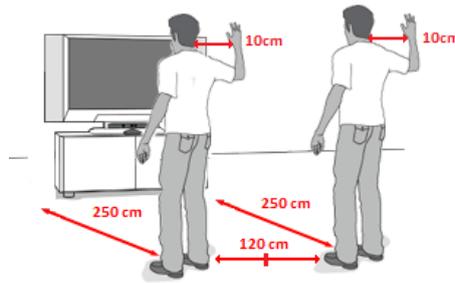


Figura 31: Centro de área para dos jugadores

3) Manejo de las partes cuerpo

Este apartado ya es independiente de si el modo seleccionado es para un jugador o dos, pues para ambos el manejo del personaje con la parte del cuerpo elegida será la misma. Diferenciaremos dos direcciones clave según la parte del cuerpo a manejar:

- *Eje X-Z*: ancho y profundidad.
- *Eje X-Y*: ancho y alto.

Hay que tener claro cómo funciona el sistema de coordenadas de Kinect (consultar Figura 23 del apartado 3.2.1.). Para jugar a ACT, el paciente tiene que saber que podrá controlar al personaje por toda la pantalla o escenario del juego de forma libre (a menos que colisiones con una piedra y tenga que retroceder), entonces deberá saber cómo se ha de interactuar con el personaje para su correcto manejo.

Si controlamos el sistema con *cabeza*, *tronco* o *pies* el paciente deberá moverse en los ejes X-Z, sin entrar en participación la altura (eje Y). El límite del área lo determinará otro parámetro de configuración inicial llamado "Área de Juego", pues habrán tres posibles opciones: grande, mediana y pequeña. El área de juego corresponde a un rectángulo, y este variará de tamaño según las opciones nombradas.

Por el otro lado, si el paciente controla el juego con alguna *mano* o ambas, deberá mover la mano y el brazo en los ejes X-Y, sin entrar en juego la profundidad (eje Z). De la misma forma, el tamaño del área vendrá definido por el parámetro "Área de Juego" y con dependencia, además, del parámetro "Referencia área manos". La Figura 32 muestra área de manejo rectangular para ambos casos.

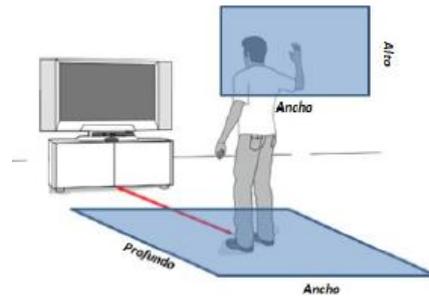


Figura 32: Área de juego rectangulares

También decir que aunque no entre en juego uno de los ejes con el manejo elegido, de igual manera se guardará en el registro y podrá analizarse posteriormente a la sesión el movimiento en los ejes deseados. Por ejemplo, se podrá estudiar cómo movió el paciente el brazo derecho en el eje Z, aunque dicho eje no influya en control del personaje del juego. Es normal que al jugar con una mano se mueva el brazo en cualquier dirección.

Finalmente, es importante que la interacción del paciente con el juego, mediante sus movimientos de manejo, se realice de forma suave para evitar movimientos bruscos.

3.3.3.5. Esquema de juego

Aquí vamos a describir en qué fases se divide el sistema ACT y de lo que contiene cada parte. Consta de tres fases principales ordenadas:

1. Configuración general
2. Juego
3. Resultados



Figura 33: Fases de "A la Caza del Tesoro"

Al inicio del juego, se mostrará una imagen inicial con el título del sistema ACT como presentación. Una vez pasado al siguiente nivel, aparecerá el menú inicial. Será el especialista el que se encargue de la fase de configuración general, pues él determinará las limitaciones y características que deba cumplir la sesión del juego frente al paciente. La configuración general está dividida en dos subfases: *modo de juego* y *configuración de parámetros*. En el modo de juego será donde se seleccione uno de los tres posibles modos (un jugador, dos jugadores colaborativo, dos jugadores competitivo). Existe además, un fichero de texto dentro de la carpeta del sistema donde se le podrán indicar parámetros por defecto y parámetros especiales.

La fase de Juego corresponde a la sesión completa que hará cada paciente. Se dividirá en el número de subsesiones que haga el paciente (máximo 15, mínimo 1) y entre subsesión habrá un tiempo de descanso. Aquí participa solo el paciente, interactuando con Kinect. Al principio de cada subsesión, se comprobará que Kinect esté conectada,

mostrando un mensaje por pantalla en el caso contrario y seguidamente Kinect intentará detectar al paciente, ya que la subsesión no comenzará si no se cumple estos dos requisitos. Si es necesario, el especialista tendrá la opción de pausar el juego mediante la tecla “P”. Después de cada subsesión se generará un fichero enumerado y detallado del seguimiento realizado del paciente para su posterior análisis por parte del especialista. El especialista tendrá la posibilidad de pausar el juego si ocurre algún imprevisto con la opción de continuar o volver al menú inicial.

Una vez acabada la sesión completa, finalmente se mostrarán los resultados por pantalla, donde aparecerán el número total de tesoros obtenidos y el de muertes. Según el modo de juego variará esta escena. También se generará un fichero de texto con la información general de la sesión completa realizada. Desde los resultados se podrá volver al menú de configuración general y volver a empezar con nuevas sesiones.

Para entender el flujo de juego, la figura 34 muestra dicho flujo en imágenes.



Figura 34: Imágenes de flujo de juego

El siguiente diagrama de la Figura 35, muestra cada paso a seguir de forma más detallada de cada una de las tres fases explicadas en los párrafos anteriores. Si el modo de juego es de dos jugadores, hay que tener en cuenta que la subsesión no empezará hasta que Kinect haya localizado a los dos pacientes. Para simplificar el diagrama, decir que se puede salir del juego y finalizarlo desde cualquier punto y momento que se desee mediante la tecla “esc”, ya que expresarlo en dicho diagrama quedaría muy engorroso.

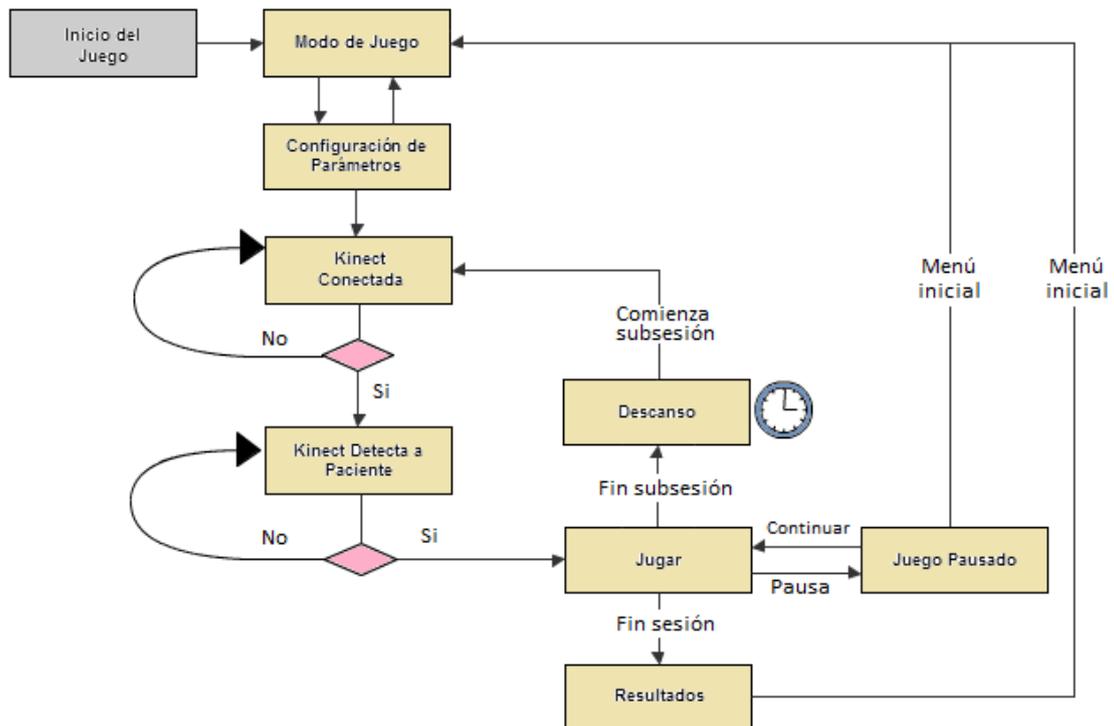


Figura 35: Diagrama de Flujo del Juego

Como se muestra en el diagrama y ya se ha comentado, se harán dos comprobaciones necesarias con Kinect, y hasta que éstas no se cumplan no dará comienzo la subsesión. Primero se ha de asegurar que Kinect está conectada (enchufada a la fuente de luz y conectada al PC mediante el conector USB), mientras esto no se cumpla se mostrará por pantalla el mensaje “Kinect desconectada” (Figura 36). Cuando se conecte, se inclinará con el ángulo especificado y se puede apreciar dos luces encendidas, una verde y una roja (rayos infrarrojos).



Figura 36: Mensaje "Kinect desconectada"

El siguiente paso es detectar al paciente. Si estamos en el modo para un jugador y delante de Kinect no hay nadie (o no consigue localizar al paciente) también se mostrará un mensaje por pantalla, correspondiendo a la frase “Kinect no encuentra al usuario”. Este mismo mensaje aparecerá si durante la subsesión Kinect pierde al paciente.

Habrà que tener especial cuidado cuando el sistema esté en modo para dos jugadores, pues Kinect tendrá que detectar a dos personas y además en correcto orden

para que la asignación de pacientes según la especificación dada por el especialista durante la configuración sea la deseada. Recordemos que habrá dos áreas restringidas para cada paciente, el rojo para el lado izquierdo y el azul para el derecho. En cada área se mostrará un mensaje individual, respectivamente son “Kinect no encuentra al usuario Rojo” y “Kinect no encuentra al usuario Azul” como se muestra en la Figura 37.



Figura 37: Mensajes "Kinect no encuentra al usuario" para dos jugadores

Para evitar **problemas de asignación**, se recomienda que primero esté en el campo de visión de Kinect al paciente “Rojo o izquierdo”, y cuando éste haya sido localizado con éxito (Figura 38), entonces que el paciente “Azul o derecho” entre en el entorno a su parte derecha asignada.



Figura 38: Paciente Rojo localizado

De nuevo, si Kinect pierde a alguno de los dos pacientes, volverá a mostrar en su lado indicado, el mensaje de aviso. Si desde un principio hay un problema de asignación de pacientes, una solución es que se salgan ambos pacientes, y se vuelva a repetir el proceso del párrafo anterior. Aunque no es recomendable si alguno de los dos maneja el personaje con las manos, pues la referencia de la altura del cuello quedará definida con la altura del paciente equivocado.

3.3.3.6. *Parámetros Iniciales*

Este apartado es uno de los más extensos, ya que en total se describen 8 parámetros y son los que marcarán el comportamiento final de la sesión frente a las limitaciones de los pacientes. Es un punto importante a tener en cuenta dentro de las claves del sistema

ACT. Los parámetros son los mismos tanto para el modo un jugador como para dos, al final de este apartado veremos las diferencias de los menús de configuración. Será el especialista el que maneje los menús de configuración general desde el ordenador, mediante el uso del ratón.

Los parámetros iniciales son los siguientes: id del paciente, manejo, velocidad de los elementos, área de juego, dificultad, número de subsesiones, duración de subsesión y duración de descanso.

1) ID Paciente

Valor numérico que permite *identificar* al paciente o jugador. Es imprescindible para poder iniciar la sesión, por lo que su valor deberá ser superior a cero para que el propio sistema te permita jugar, habilitando el botón "OK" en la parte inferior derecha de la pantalla de configuración de parámetros (Figura 39). Este ID aparecerá en los ficheros que genere el sistema para su posterior análisis. Por defecto su valor aparecerá a cero. El rango de valores permitidos va de [0, 999].



Figura 39: ID Paciente para un jugador

2) Manejo

Este parámetro determinará con qué parte del cuerpo se desea controlar al personaje durante la sesión, permitiendo 8 posibles valores:

- Cabeza
- Tronco
- Pie Derecho
- Pie Izquierdo
- Ambos Pies
- Mano Derecha
- Mano Izquierda
- Ambas Manos

El paciente puede entrenar varias partes del cuerpo. Además, si un paciente maneja con dos manos o dos pies a la vez, entrenará la sincronización de movimientos por ambas extremidad y sus reflejos con un mayor esfuerzo.

Se han realizado unas fotografías interactuando un jugador con el sistema ACT mediante diferentes manejos, para poder apreciar las posibilidades de movimientos permitidos.

La Figura 40 hace referencia a la interacción con manejo *cabeza*. Como no se ve muy clara la imagen del juego desde el proyector, se ha marcado con un círculo rojo dónde estaría el representante virtual del jugador según su posición de la cabeza en el entorno real (gorro pirata en el caso “cabeza”). Se puede apreciar que el jugador se mueve en un *área de juego* grande donde se explicará en el punto 4) de este mismo apartado, detallando las medidas de cada área.

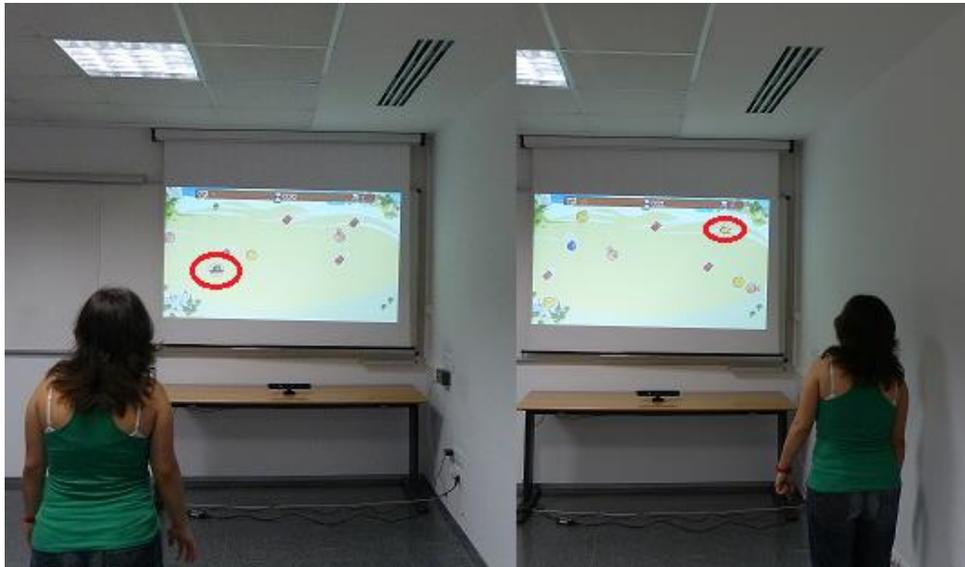


Figura 40: Manejo con cabeza

Ahora, la Figura 41 muestra la interacción manejando *con las dos manos a la vez*, correspondiendo con los guantes rojos como personajes virtuales de cada mano. También jugando con un *área de juego* grande.



Figura 41: Manejo con ambas manos

Finalmente, mostramos la Figura 42 mostrando el manejo con *los dos pies a la vez*. Que corresponden virtualmente a las chanclas de color verde, en un área de juego grande. Se ve como en la imagen de la derecha, el pie derecho está más adelantado y por lo tanto la chancla verde más a la derecha del proyector también se posiciona más arriba.



Figura 42: Manejo con ambos pies

3) Velocidad Elementos

Aquí se definirá un número que determinará la velocidad de movimiento de los objetos dinámicos del juego, es decir, de las bombas y los sacos de \$. A mayor valor, mayor probabilidad de que aparezcan elementos con velocidades más rápidas. Los valores van del 1 al 10, siendo el 5 el valor por defecto. Por ejemplo, si elegimos el 5 como valor de la sesión, los objetos aparecerán con velocidades aleatorias entre los valores [1, 5].

4) Área de Juego

Este valor permite disminuir o aumentar el área de juego (ancho x alto) del entorno, en el que se moverá el paciente para interactuar con el sistema. Está compuesto por tres posibles valores de área: pequeña, mediana y grande.

El área de juego dependerá del valor que esté puesto en el parámetro “manejo”. Si recordamos la Figura 32 del apartado 3.3.3.4., se podrá deducir que las medidas de los valores difieren entre el área para cabeza, tronco o pies con el área para las manos. Hay una aclaración más, y es que tanto para tronco como para pies no existirá la posibilidad de seleccionar el valor “pequeña” para el área de juego, por la razón de que para dichas partes el área se queda escasamente pequeña y el seguimiento con Kinect produce errores de temblores disminuyendo la precisión del control (aunque las medidas de mediana y grande son las mismas que para cabeza). Las Tablas 2, 3 y 4 indicarán las medidas en centímetros según el valor de “manejo”.

- Cabeza

Tabla 2: Medidas área de juego Cabeza

| Valor | Ancho (cm) | Alto (cm) |
|----------------|------------|-----------|
| Pequeña | 60 | 40 |
| Mediana | 150 | 100 |
| Grande | 200 | 150 |

- Tronco/Pies

Tabla 3: Medidas área de juego Tronco/Pies

| Valor | Ancho (cm) | Alto (cm) |
|----------------|------------|-----------|
| Mediana | 150 | 100 |
| Grande | 200 | 150 |

- Manos

Tabla 4: Medidas área de juego Manos

| Valor | Ancho (cm) | Alto (cm) |
|----------------|------------|-----------|
| Pequeña | 50 | 40 |
| Mediana | 75 | 60 |
| Grande | 100 | 80 |

Además, comentar que la posibilidad de tamaños de áreas “pequeñas”, permiten al paciente llegar a todos los rincones del entorno virtual del juego sin tener que desplazarse, de forma que le permite interactuar con el sistema de manera sedentaria (por ejemplo con manejo de cabeza o manos). Así evitamos que todos los pacientes tengan la obligación de jugar de pie y por otro lado, permitimos la posibilidad de jugar a aquellos pacientes que no puedan estar de pie.

5) Dificultad

Este parámetro numérico afectará al comportamiento de los objetos del juego (tesoros y obstáculos) durante la sesión. Los valores numéricos permitidos van del 1 al 10, al igual que la velocidad, por defecto encontraremos el valor 5. Posibilidad de modo “adaptativo”, habilitando o no una casilla mediante un “tick”. Cuando en el menú seleccionamos la zona de dificultad pasando el ratón por encima, nos mostrará un listado visualmente del significado de las opciones (Figura 43).

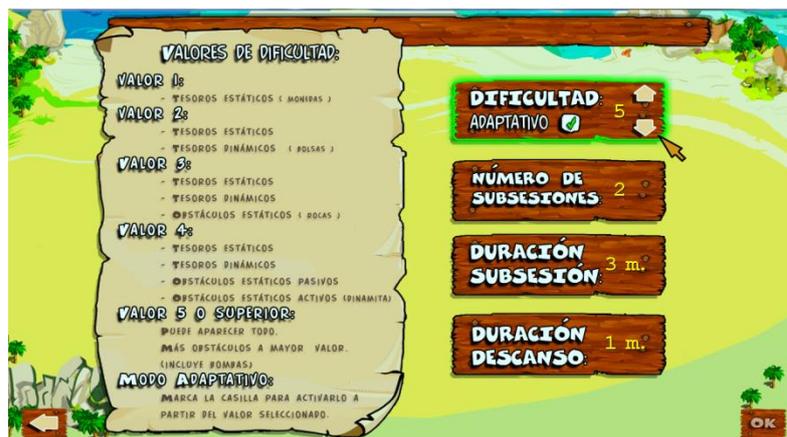


Figura 43: Dificultad para un jugador

Claramente, el valor de dificultad marcará el nivel de la sesión con notables cambios con respecto un valor a otro, variando los objetos (Figura 44). Se explicará a continuación que ofrece cada nivel de dificultad:

- **Valor 1:** sólo contendrá tesoros estáticos en pantalla (monedas).
- **Valor 2:** encontraremos tesoros estáticos y dinámicos (monedas y sacos \$).
- **Valor 3:** a parte de los tesoros, aparecerán los obstáculos estáticos pasivos (piedras). Si las piedras están inhabilitadas el valor 3 tendrá las mismas características que el valor 2.
- **Valor 4:** incluye todo lo anterior añadiendo obstáculos estáticos activos (dinamitas).
- **Valor 5 o superior:** puede aparecer de todo, incluyendo obstáculos dinámicos (bombas). A partir del 5, más obstáculos a mayor valor.

- **Modo adaptativo:** el valor de dificultad irá aumentando o disminuyendo durante un intervalo de tiempo.
 - Si nos encontramos en el valor 4 o superior de dificultad, el criterio que determine el cambio de nivel dependerá únicamente de las muertes que reciba el paciente o pacientes en dicho intervalo de tiempo (30 segundos).
 - Si es inferior al valor 4, entonces el criterio únicamente se basa al número de tesoros cogidos (120 segundos). Por ejemplo, para modo un jugador en valor 2, subirá al valor 3 si ha cogido al menos el 80% de los tesoros aparecidos hasta el momento durante el nivel actual o pasará al nivel 1 si no ha llegado al 50%.



Figura 44: Objetos de ACT

6) Número de Subsesiones

Este número indicará cuantas subsesiones contendrá la sesión completa. Los valores permitidos son de 1 a 10. El valor inicial será de 2 subsesiones.

7) Duración Subsesión

Indica el tiempo que durará cada subsesión en minutos. Valores entre 1 y 15 minutos. Valor por defecto 3 minutos por subsesión.

8) Duración Descanso

Parecido al anterior parámetro, indica el tiempo en minutos que durará el descanso entre subsesiones. Valores entre 1 y 15. Valor inicial 1 minuto.

Estos son todos los parámetros que podemos encontrar dentro del menú de configuración general. Aparecerán tanto para el modo de un jugador como para el de dos. La diferencia entre ellos es que para dos jugadores encontraremos parámetros individuales y comunes. Los parámetros individuales, es decir, que cada uno tendrá el suyo propio, serán: ID paciente, manejo y área de juego; mientras que los comunes corresponden al resto: velocidad, dificultad, número de subsesiones, duración subsesión y duración descanso.

También hay que tener en cuenta otros cambios. Primero, para habilitar el botón “OK” de la primera sección de configuración, los dos ID deben ser superior a cero y además tiene que ser distinto el ID del jugador rojo al ID del jugador azul; segundo, las medidas del área de juego correspondientes a los ejes X-Z (cabeza, tronco o pies) serán diferentes, ya que para dos jugadores no se dispone de tanto espacio como para uno solo. La Tabla 5 muestra las medidas, recordando que para tronco y pies no existe la posibilidad de área pequeña. Por el contrario, las medidas de manos se mantienen iguales a las del modo de un jugador (Tabla 4).

Tabla 5: Medidas área de juego para dos jugadores

| Valor | Ancho (cm) | Alto (cm) |
|---------|------------|-----------|
| Pequeña | 60 | 60 |
| Mediana | 90 | 90 |
| Grande | 120 | 120 |

En la Figura 39 podemos ver cómo están distribuidos los parámetros para el modo de un jugador, mientras que la Figura 45 nos muestra la distribución para el modo de dos jugadores, la parte izquierda representa los parámetros individuales y la parte derecha los comunes, repartidos en dos pantallas.



Figura 45: Configuración para dos jugadores

3.3.3.7. Valores por Defecto del Sistema

El sistema ACT tendrá la posibilidad de adaptarse según las instrucciones que se den a un fichero de texto externo llamado “configuracion.txt”. Permite modificar la resolución de pantalla, la habilitación/deshabilitación de pantalla completa, manipular el ángulo de inclinación de Kinect, modificar los parámetros iniciales de la configuración, y otros parámetros especiales no accesibles desde el sistema. El fichero se encuentra en la misma carpeta del sistema. Se puede distinguir una parte de instrucciones y la que corresponden a los parámetros a configurar.

Las instrucciones muestran los valores permitidos para cada parámetro. Si el sistema no encuentra el fichero o simplemente no existe, no pasa nada, se establecerán valores por defecto. Tampoco ocurrirá nada extraño si ponemos valores fuera del rango permitido en cualquier parámetro, pues estos se ajustarán a su máximo o mínimos

requeridos. Así con el fin de evitar errores de ejecución durante la ejecución del sistema. Por ejemplo, si ponemos en "Velocidad" un 11, como el valor máximo permitido es 10, se limitará a 10.

La parte del fichero con los parámetros a configurar se identifican por estar compuesta por un nombre de parámetro (IDPaciente_P1, Manejo_P1, Velocidad, Dificultad,...) un espacio en blanco y un valor numérico entero por línea. Por ejemplo: "Dificultad 5". Si se desea usar el modo para dos jugadores, habrá que saber diferenciar los parámetros específicos para un paciente u otro, ya que cada uno de ellos tiene individualmente mismos parámetros a configurar. Estos se distinguirán por los prefijos "_P1" (paciente rojo o izquierdo) y "_P2" (paciente azul o derecho).

El fichero tiene la siguiente forma:

```

- FICHERO DE CONFIGURACIÓN GENERAL "A la Caza del Tesoro" -

##### Instrucciones de configuración ACT #####
#                                     #
# Resolución de pantalla: Ancho x Alto (Nº enteros) #
#                                     #
# Pantalla completa : No -> 0, Si -> 1 #
#                                     #
# Ángulo Kinect valores entre : [-27, 27] (Nº enteros) #
#                                     #
#####
#                                     #
# Sufijos: _P1 jugador Rojo (lado izquierdo) #
#           _P2 jugador Azul (lado derecho) #
#                                     #
#####
#                                     #
# Para seleccionar modo de empleo (manejo) y #
# área de juego indicar por el nº correspondiente: #
#                                     #
#                                     #
# Cabeza : 0 Área pequeña : 0 #
# Tronco : 1 Área mediana : 1 #
# PieDerecho : 2 Área grande : 2 #
# Pielzquierdo : 3 #
# Ambos pies : 4 #
# Mano Derecha : 5 #
# Mano Izquierda : 6 #
# Ambas manos : 7 #
#                                     #
#####
#                                     #
# Referencia_area_manos (cm): [-50, 50] (Nº enteros) #
#                                     #
# Adaptativo : No -> 0, Si -> 1 #
#                                     #
#                                     #

```

```

#      Rocas : No -> 0, Si -> 1      #
#                                     #
#####

Ancho 1920

Alto 1080

Pantalla_completa 1

Angulo_kinect 5

----- Parámetros Pacientes -----

IDPaciente_P1 0
Manejo_P1 0
Area_juego_P1 0
Referencia_area_manos_P1 0

IDPaciente_P2 0
Manejo_P2 0
Area_juego_P2 0
Referencia_area_manos_P1 0

----- Parámetros Sesión -----

Velocidad 5
Dificultad 5
Adaptativo 1
Rocas 1
Numero_Subsesiones 2
Duracion_Subsesiones 3
Duracion_Descanso 1
    
```

Primero encontramos el ancho por alto que tendrá la resolución de pantalla, siendo por defecto 1920x1080 (HD). La siguiente opción sería la posibilidad de habilitar o deshabilitar la pantalla completa del juego, cuyas dos opciones son 0 o 1 (que corresponden a “deshabilitado” y “habilitado” respectivamente). Durante la ejecución de ACT, se puede cambiar este estado (pantalla completa) mediante la tecla “Enter”.

El siguiente es el ángulo de Kinect, puesto que según donde esté colocado el sensor podrá venir bien que el sensor se incline más hacia abajo o arriba ajustándose al entorno, ya que si el paciente va a manejar el juego con los pies, es recomendable que la visión del sensor llegue al suelo con bastante margen. Su rango de valores permitidos por el motor de Kinect está entre -27 y 27 grados. Es recomendable tocar estos parámetros entre un intervalo de [-10, 10]. Si no existe “configuracion.txt”, por defecto tomará el valor 0.

Los siguientes parámetros hacen referencia a los que se encontrarán en la configuración general del sistema ACT, a excepción de tres: Referencia_area_manos_P1, Referencia_area_manos_P2 y Rocas.

La opción de “Rocas” (0/1), se ha puesto con el fin de poder deshabilitar la aparición de rocas durante la sesión, puesto que, para algunos pacientes es posible que les causen problemas, por ejemplo, que no puedan salir de la colisión contra una piedra y se queden “enganchados”, causando frustración. Si se deshabilitan las rocas, el nivel de dificultad 2 y 3 pasarán a ser de mismas características (solo tesoros). Si no existe el fichero “configuracion.txt”, el sistema mantendrá habilitada las rocas.

Los parámetros “Referencia_area_manos_P1” (para paciente rojo) y “Referencia_area_manos_P2” (para paciente azul), se ha ideado con el propósito de ajustar la altura de área de juego manejado con las manos. No todos los pacientes pueden alcanzar cierta altura ya sea con un brazo o dos debido a sus limitaciones, por lo que este parámetro permite regular la altura del área de juego rectangular con respecto al cuello del paciente. En el fichero se tiene que escribir un número que representará los centímetros de desplazamiento del área, dentro del intervalo de números enteros [-50, 50]:

- a) El valor cero, es la posición por defecto del área en el eje Y, siendo la parte superior del área el límite del cuello.
- b) Los números positivos desplazan el área hacia arriba.
- c) Los números negativos desplazan el área hacia abajo.

Se explicarán dos casos de ejemplo según valor de referencia y tamaño de área de juego y gráficamente mediante la Figura 46:

- Si “referencia área mano” tiene como valor 10 (cm), y además la zona de trackeo seleccionada es la *pequeña* (recordando que medía 40 cm de alto), entonces la parte trackeada irá en altura desde los **10 cm por encima** del cuello hasta 30 cm por debajo del cuello (caso b).
- Si “referencia área mano” tiene como valor -5 (cm), con zona de trackeo *grande* (que son de 80 cm de altura), entonces la parte trackeada irá en altura desde **los 5 cm por debajo** del cuello hasta los 85 cm por debajo del cuello (caso c).

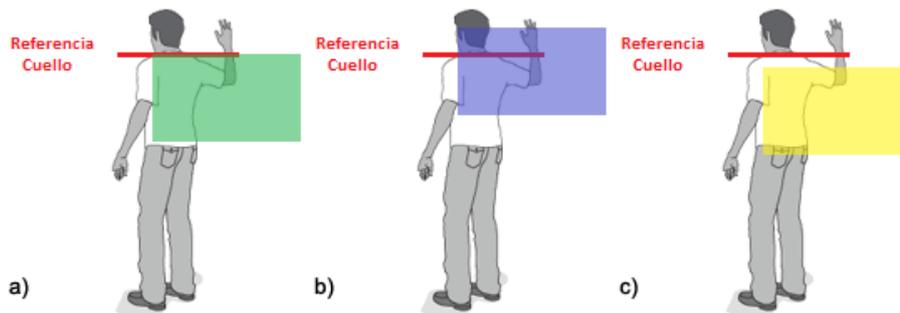


Figura 46: Referencia área mano

3.3.3.8. Descanso

El tiempo de descanso entre subsesiones es un factor importante durante el entrenamiento del paciente. Será el especialista el que determine si el paciente participará en una única sesión o en una sesión partida en subsesiones con descanso de por medio, además de especificar cuánto tiempo durará dicho descanso (en minutos).

Por pantalla, se mostrará un texto indicando que se está en tiempo de descanso junto a un icono representativo y también el tiempo restante mediante un cronómetro, para indicar cuánto falta para comenzar la siguiente subsesión (Figura 47).



Figura 47: Descanso

3.3.3.9. Resultados

Dentro del sistema ACT, se hablará de dos tipos de resultados: los que se muestran por pantalla después de acabar la sesión completa, indicando número de tesoros y muertes; y los que se generan mediante fichero de texto con información del paciente para su posterior seguimiento (fichero general y fichero/s Espacio - Temporal).

Dentro del sistema, existirá una carpeta llamada "Datos" (si no existe, al ejecutar el sistema por primera vez, se creará en el directorio). Aquí se almacenarán los ficheros de texto generados para la posterior evolución del paciente, donde tendrá gran importancia el ID asignado al paciente.

Para identificar a un paciente en concreto con sus ficheros relacionados, cada fichero generado está compuesto por tres campos identificativos:

- **ID del/de los paciente/s.** En formato iii (3 cifras).
- **Fecha de la partida.** En formato aaaammdd (a: año, m: mes, d: día).
- **Hora de la partida.** En formato hhmmss (h: hora, m: minutos, s: segundos).

Finalmente, después de estos tres campos consecutivos, se le añadiría un sufijo correspondiendo a “ET_SSxx” (xx número de subsesión en dos cifras) a los ficheros Espacio – Temporal; y un sufijo “general” al fichero de tipo general. Como ejemplo, un paciente, cuyo ID es el número 5, que realiza una sesión compuesta por tres subsesiones a fecha del 7 de febrero del año 2013, a las 16 horas, 26 minutos y 50 segundos:

- **Fichero ET de subsesión 1:** 005_20130207_162650_ET_SS01.txt
- **Fichero ET de subsesión 2:** 005_20130207_162650_ET_SS02.txt
- **Fichero ET de subsesión 3:** 005_20130207_162650_ET_SS03.txt
- **Fichero general:** 005_20130207_161650_general.txt

A continuación se explica de forma más detallada cada uno de los tipos de resultados que proporciona el sistema ACT:

1) Resultados por pantalla

La idea es que, cuando se acabe la sesión, se visualice por pantalla la suma de tesoros y muertes obtenidas por el paciente. Se trata de realizar una presentación de los resultados lo más anímico posible hacia al paciente, mediante sonidos como redoble de tambores y aplausos, acompañado con unas pequeñas animaciones de estrellas de fondo. Los resultados se escriben en un pergamino al estilo pirata siguiendo la metáfora seleccionada del videojuego. Según el modo de juego seleccionado, la presentación cambia.

Para el modo de un jugador, mostramos un único pergamino con todos datos obtenidos en cada una de las subsesiones y el total definitivo (Figura 48).



Figura 48: Resultados - Un jugador

Para el modo de dos jugadores colaborativo, como la idea de este modo es “compartir” y trabajar juntos en la obtención de tesoros, los resultados se siguen expresando en un único pergamino. Para cada jugador individualmente se muestran sus tesoros y muertes, y se muestra el total entre ambos participantes (Figura 49).



Figura 49: Resultados - Dos jugadores colaborativo

Finalmente, para el modo de dos jugadores competitivo, añadimos un pergamino por cada paciente, con sus respectivos resultados. Además, en este modo se incluye la novedad de que se mostrará quién de los dos ha ganado, es decir, quién ha conseguido más tesoros y menos muertes durante la sesión completa. A iguales resultados, también existe la posibilidad de empatar. El criterio de puesto primero o segundo viene definido por:

$$\text{ResultadoP1} = \text{TesorosP1} - \text{MuertesP1}$$

$$\text{ResultadosP2} = \text{TesorosP2} - \text{MuertesP2}$$

Teniendo estas diferencias, solo hay que comparar los resultados. Quien tenga mayor número, será el ganador. La Figura 50 muestra un ejemplo de resultados para dos jugadores competitivo, donde se aprecia la victoria del paciente “rojo” indicándolo con un trofeo dorado con un 1, ya que para este caso $\text{resultadoP1} = 7 > \text{resultadoP2} = 1$. El jugador azul recibe el trofeo de plata.



Figura 50: Resultados - Dos jugadores competitivo

2) Resultado general

Por cada sesión completada, se generará un único fichero general, cuyo contenido está formado por la información de los parámetros seleccionados dentro de la configuración general (modo de juego, id paciente, dificultad, velocidad elementos, etc) y los resultados de tesoros y muertes obtenidos por el paciente, y además el número de tesoros aparecidos durante todo el nivel (“TesorosAparecidosPX”, donde X será 1 o 2). Con este último dato se puede comparar cuántos tesoros ha cogido el paciente con respecto al número total de tesoros aparecidos durante la sesión.

Se muestra, en primer lugar, un ejemplo de fichero general realizado por un único paciente cuyo ID corresponde al número 4.

```

Fecha 20130323
Hora 171612
ModoJuego 1Jugador
IDPaciente1 4
ManejoP1 Manol
ÁreaP1 Pequeña
Velocidad 5
Dificultad Seleccionada 4
Dificultad Final 6
Adaptativo SI
NumSubsesiones 2
DurSubsesion 1
DurDescanso 1

- ResultadosP1 -
TesorosP1 28
TesorosAparecidosP1 54
MuertesP1 3

```

Como podemos ver en este primer ejemplo, se habilitó la opción “adaptativo” dentro del modo dificultad. Esto implica que en este fichero se muestre con qué valor o nivel se inició la sesión (Dificultad Seleccionada 4) y con qué nivel se acabó (Dificultad Final 6). Esto demuestra que el paciente ha avanzado de nivel durante la sesión.

El segundo ejemplo de fichero general, corresponde a la participación de dos jugadores en modo colaborativo cuyo ID corresponden al 5 y al 2.

```

Fecha 20130323
Hora 173344
ModoJuego 2Jugadores Colaborativo
IDPaciente1 5

```

| |
|------------------------|
| ManejoP1 ManoD |
| ÁreaP1 Pequeña |
| IDPaciente2 2 |
| ManejoP2 Cabeza |
| ÁreaP2 Mediana |
| Velocidad 5 |
| Dificultad 1 |
| Adaptativo NO |
| NumSubsesiones 2 |
| DurSubsesion 2 |
| DurDescanso 1 |
| |
| - ResultadosP1 - |
| TesorosP1 22 |
| TesorosAparecidosP1 26 |
| MuertesP1 6 |
| |
| - ResultadosP2 - |
| TesorosP2 20 |
| TesorosAparecidosP2 24 |
| MuertesP2 3 |

En este caso, por el contrario, no se optó por el modo “adaptativo”, lo que significa que la dificultad es la misma durante la sesión completa, correspondiendo al valor 1.

3) Resultado Espacio – Temporal (ET)

Estos son los resultados que hacen referencia al seguimiento ET del paciente, que se analizarán después de cada sesión por parte del especialista y marcará su evolución de cara al tratamiento. Es un fichero que guarda los milisegundos desde el comienzo de la subsesión y a continuación indica las coordenadas X, Y, Z (en dicho orden) de la parte del cuerpo procesada en milímetros. Estos ficheros pueden ser muy largos.

Sobre el contenido de este fichero, hay que tener en cuenta dos puntos sobre la ordenación de los datos:

- Si en la sesión participan dos pacientes, las primeras coordenadas harán referencia al paciente “rojo o izquierdo” y luego las del paciente “azul o derecho”.
- Si un paciente realiza una sesión manejando con ambas manos o ambos pies a la vez, el orden de escritura de las coordenadas corresponden al siguiente orden: primero las coordenadas de la mano o el pie derecho y luego las coordenadas de la mano o pie izquierda.

A continuación, se muestran capturas de ejemplo de una pequeña parte de ficheros ET. La Figura 51 hace referencia al seguimiento de un paciente con ID 12 y manejo con ambas manos. Como se puede apreciar, la primera columna hace referencia a los milisegundos, y el resto indican las coordenadas, que está marcado para mayor aclaración.

| Archivo | Edición | Formato | Ver | Ayuda | | | |
|---------|---------|---------|------|-------|-----|------|--|
| 25 | 327 | 599 | 2086 | -170 | 637 | 2112 | |
| 36 | 327 | 599 | 2086 | -170 | 637 | 2112 | |
| 50 | 327 | 599 | 2085 | -170 | 636 | 2113 | |
| 67 | 327 | 599 | 2085 | -170 | 636 | 2113 | |
| 84 | 327 | 599 | 2085 | -170 | 636 | 2113 | |
| 100 | 325 | 596 | 2087 | -170 | 636 | 2113 | |
| 118 | 325 | 596 | 2087 | -170 | 636 | 2113 | |
| 134 | 325 | 596 | 2087 | -170 | 636 | 2113 | |
| 151 | 326 | 596 | 2087 | -170 | 636 | 2113 | |
| 168 | 326 | 596 | 2087 | -170 | 636 | 2113 | |
| 187 | 326 | 596 | 2087 | -170 | 636 | 2113 | |
| 202 | 326 | 596 | 2087 | -170 | 636 | 2113 | |
| 231 | 325 | 597 | 2087 | -170 | 636 | 2113 | |
| 246 | 325 | 597 | 2087 | -170 | 636 | 2113 | |
| 264 | 325 | 596 | 2087 | -170 | 636 | 2113 | |
| 280 | 325 | 596 | 2087 | -170 | 636 | 2113 | |
| 296 | 325 | 597 | 2086 | -170 | 636 | 2113 | |
| 313 | 326 | 596 | 2086 | -170 | 636 | 2113 | |
| 330 | 326 | 596 | 2086 | -170 | 636 | 2113 | |
| 347 | 326 | 596 | 2086 | -170 | 636 | 2112 | |
| 363 | 326 | 596 | 2086 | -170 | 636 | 2112 | |
| 380 | 326 | 596 | 2086 | -170 | 636 | 2112 | |
| 397 | 326 | 596 | 2086 | -170 | 637 | 2112 | |

X Y Z
X Y Z
Mano derecha
Mano izquierda

Figura 51: Fichero ET para un jugador – Manejo manos

Se muestra un último ejemplo de fichero ET que incluye el seguimiento de dos pacientes con IDs 14 y 7, ambos manejan con las dos manos (Figura 52). Los colores rojo y azul identifican cada paciente.

| Archivo | Edición | Formato | Ver | Ayuda | | | | | | | | |
|---------|---------|---------|------|-------|-----|------|-----|-----|------|-----|-----|------|
| 16 | -276 | 589 | 1907 | -685 | 606 | 1876 | 550 | 739 | 2048 | 235 | 777 | 2097 |
| 32 | -276 | 589 | 1907 | -685 | 606 | 1876 | 550 | 739 | 2048 | 235 | 777 | 2097 |
| 49 | -276 | 589 | 1907 | -672 | 636 | 1853 | 554 | 740 | 2047 | 235 | 777 | 2096 |
| 67 | -276 | 589 | 1907 | -672 | 636 | 1853 | 554 | 740 | 2047 | 235 | 777 | 2096 |
| 83 | -276 | 589 | 1907 | -685 | 605 | 1875 | 560 | 742 | 2045 | 235 | 778 | 2095 |
| 103 | -276 | 589 | 1907 | -685 | 605 | 1875 | 560 | 742 | 2045 | 235 | 778 | 2095 |
| 116 | -276 | 589 | 1906 | -685 | 605 | 1873 | 566 | 738 | 2044 | 235 | 777 | 2092 |
| 135 | -276 | 589 | 1906 | -685 | 605 | 1873 | 566 | 738 | 2044 | 235 | 777 | 2092 |

X Y Z
X Y Z
X Y Z
X Y Z
Mano derecha
Mano izquierda
Mano derecha
Mano izquierda

Figura 52: Fichero ET para dos jugadores – Manejo manos

Para acabar el apartado de resultados, mostramos un gráfico mediante la Figura 53, donde se muestra el recorrido durante 5 segundos de juego manejado con la mano izquierda. Esta clase de gráficas sirve para analizar el seguimiento del paciente de forma visual. El eje X del gráfico representa la coordenada X por donde se mueve la mano del paciente y por lo tanto la altura coincide con el eje Y.

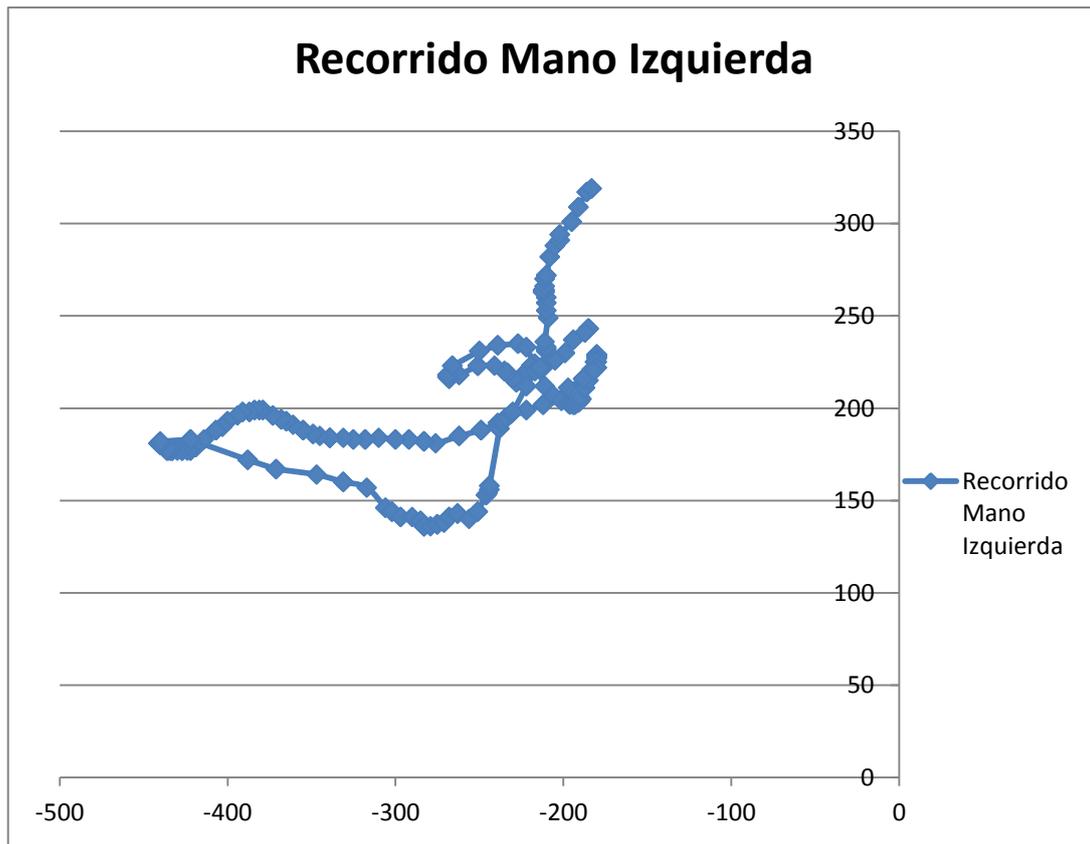


Figura 53: Gráfico ET - Mano izquierda

3.4. Diseño del Estudio

3.4.1. Introducción

El estudio clínico se ha llevado a cabo en la clínica Neural de Valencia (INIA), especializada en rehabilitación y atención de personas que tienen problemas de origen neurológico. Es un centro que ofrece posibilidades de tratamiento personalizados tanto a población adulta como infantil.

Se aportará la información de la selección de población que han intervenido durante el estudio de la adecuación del sistema ACT. Cuántos han participado, qué patología tienen, intervención, número y duración sesiones empleadas, etc.

Para obtener resultados eficaces, no solo cuentan los resultados obtenidos clínicamente, sino que también hay que tener muy en cuenta la opinión de los pacientes que han participado durante el periodo de validación. Para ello, la evaluación que considera este punto más personal, se realiza con el cuestionario denominado SEQ "Suitability Evaluation Questionnaire", compuesto por 14 preguntas.

Por otro lado, surgió la posibilidad de realizar una validación clínica mediante la colaboración de un paciente. Aunque esta evaluación no estaba prevista en los objetivos considerados en el proyecto, se quiso aprovechar la oportunidad de proporcionar más resultados clínicos con respecto al sistema ACT. Así se pudo obtener una evaluación de la eficacia clínica del sistema. La variable empleada de estudio para esta validación clínica fue la denominada como TUG (Test Up&Go), conocido como test cronometrado de levantarse y caminar. Más adelante se mostrarán los resultados obtenidos y analizados.

Para no confundir la información de los estudios (SEQ y validación clínica), se realizarán apartados expresamente independientes para cada valoración: participantes, intervención y estudio de los procedimientos.

3.4.2. Validación de la Adecuación del Sistema

3.4.2.1. Participantes

En primer lugar, los colaboradores clínicos establecieron los criterios de inclusión y exclusión a considerar:

- Criterios de inclusión:
 1. Previamente al estudio, los pacientes o tutores firmaron por escrito su consentimiento de participar en el programa.
 2. Rango de edad de 2 a 90 años.
 3. Evidencia de problemas de equilibrio y/o problemas motores cuantificado por escalas clínicas.
 4. Ausencia de deterioro cognitivo evaluado mediante la prueba Mini-mental State Examination (MMSE) > 23 (*Folsteins et al, (1975)*)[13].
 5. Capaz de seguir instrucciones.
- Criterios de exclusión:
 1. Demencia.
 2. Déficit visual o cognitivo.
 3. Negligencia hemiespacial.
 4. Lesión traumática aguda sin resolver.
 5. Alteración de audición grave.
 6. Lesión de nacimiento.
 7. Depresión mayor evaluado mediante el test Geriatric Depression scale score (GDS-S) > 9 (*Yesavage et al, (1983)*)[41].

De los pacientes existentes en el centro clínico, un total de 32 pacientes (N = 32) cumplían los criterios anteriores. Finalmente no participaron en el estudio 7 pacientes, por lo que los participantes que han intervenido en el estudio, completando el cuestionario del SEQ, corresponden a un total de N = 25 personas, separadas en dos grupos: **adultos** (N = 16) y **niños** (N = 9). A continuación las características de los grupos de adultos y niños se representan en las tablas 6 y 7 respectivamente.

- **Características del grupo de adultos**

Tabla 6: Características grupo adultos

| Sujeto(ID) | Edad | Género | Patología |
|------------------|------|-----------|---|
| J.M. (1) | 65 | Masculino | Hemorragia intraparenquimatosa profunda hemisférica izquierda |
| C.C. (2) | 47 | Femenino | Hemiplejia derecha y afasia global |
| L.L. (3) | 63 | Femenino | Aneurisma arteria cerebral media derecha |
| M.R. (4) | 74 | Femenino | Ictus vertebrobasilar – hemiprotuberancia derecha |
| R.C. (5) | 55 | Femenino | ACV silviano derecho |
| J.V. (6) | 53 | Masculino | Hemorragia cerebral izquierda |
| G.M. (7) | 36 | Masculino | TCE encefalopatía postanóxica |
| I.N. (8) | 33 | Femenino | Malformación arteriovenosa izquierda hemiparesia derecha |
| C.F. (9) | 71 | Femenino | disartria no filiada, vértigo paroxístico benigno |
| B.G. (10) | 64 | Masculino | Ictus isquémico arteria cerebral media izquierda |
| P.C. (11) | 79 | Masculino | Hemorragia cerebral izquierda |
| J.C. (12) | 41 | Masculino | Ictus isquémico arteria cerebral media derecha |
| RA. (13) | 67 | Masculino | Hidrocefalia + hematoma frontoparietal derecho |
| V.B. (14) | 25 | Femenino | Cavernoma mesencefálico intervenido |
| P.M. (15) | 58 | Masculino | Arnold chiari y siringomielia |
| J.F. (16) | 49 | Masculino | Leucoencefalopatía, hemiparesia izquierda |

- **Características del grupo de niños**

Tabla 7: Características grupo niños

| Sujeto(ID) | Edad | Género | Patología |
|------------------|------|-----------|---|
| I.J. (20) | 6 | Masculino | Miopatía secundaria a enfermedad de Crohn |
| I.P. (21) | 7 | Femenino | Metabolopatía |

| | | | |
|------------------|-----|-----------|---|
| S.N. (22) | 6 | Masculino | Aciduria glutárica, retraso madurativo global |
| R.C. (23) | 6 | Masculino | Retraso psicomotor no filiado |
| S.Q. (24) | 3,4 | Masculino | Hemorragia intraventricular y retraso madurativo global |
| L.T. (25) | 3 | Femenino | Síndrome de Joubert |
| I.S. (26) | 4 | Masculino | Diparesia espástica de predominio derecho |
| P.D (27) | 10 | Femenino | Ataxia de Fiedrich |
| A.A. (28) | 3,5 | Masculino | Hemiparesia izquierda |

El grupo de adultos está compuesto por 9 hombres y 7 mujeres con edades comprendidas entre 25 y 79 años; mientras que el grupo de niños lo componen 6 niños y 3 niñas. La Tabla 8 muestra los promedios y desviación típica de las edades de cada grupo.

Tabla 8: Media y desviación típica edades

| | N | Promedio (N) | Desviación Típica (σ) |
|---------|----|--------------|--------------------------------|
| Adultos | 16 | 55 | $\pm 15,57$ |
| Niños | 9 | 5,2 | $\pm 2,31$ |

3.4.2.2. Intervención

El sistema ACT se ha diseñado como herramienta de rehabilitación virtual (RHBV) para pacientes con problemas neurológicos con diferentes etiologías como pueden ser ictus, traumatismos craneoencefálicos, alteraciones motoras, entre otras demencias. Durante el estudio, cada paciente ha intervenido de forma personal realizando el cuestionario SEQ con objetivo de medir o valorar la usabilidad, facilidad y seguridad del sistema con la ayuda de especialistas y la colaboración de dos doctorandos en fisioterapia.

La interacción del sistema por medio de los pacientes se realiza de forma natural gracias al dispositivo de seguimiento que ofrece Microsoft Kinect, sin tener que añadir periféricos adicionales al cuerpo del paciente, por lo que el paciente se comporta con total naturalidad y libertad a la hora de realizar movimientos.

3.4.2.3. Estudio de los Procedimientos

El estudio de la evaluación de la adecuación se ha llevado a cabo en las instalaciones de la clínica privada Neural (INIA) de neuro-rehabilitación de Valencia. Los especialistas han informado de todas las características del estudio a los pacientes con antelación.

Una vez informados, los padres o tutores de los participantes firmaron un consentimiento por escrito previo a la participación en el estudio.

Por cada paciente se ha realizado una sesión completa con el sistema ACT de entre 15-30 minutos dividido en 3 o 4 subsecciones con descansos de 1 minuto entre subsecciones.

Una vez el paciente acabó la sesión, se procedió inmediatamente a pasarle el cuestionario SEQ, además de escuchar posibles comentarios con respecto al sistema.

3.4.3. Caso de estudio: Intervención Clínica

3.4.3.1. Participante

El estudio clínico se ha llevado a cabo mediante un único paciente que se identificará con las siglas V.B. (id numérico 14). Dicha paciente también ha participado en el cuestionario SEQ para la validación de la adecuación. La edad de V.B. es de 25 años, su género es femenino y su patología corresponde a cavernoma mesencefálico intervenido.

3.4.3.2. Intervención

Durante las sesiones de la validación clínica de V.B., no solo ha intervenido el sistema ACT desarrollado en este proyecto, sino que han participado también dos herramientas más de RVM de forma combinada: ACEPAR y Active STS. Se comentará a continuación en qué consisten los otros dos sistemas.

1. ACEPAR

Este sistema también trabaja con el sensor Microsoft Kinect. Consiste en simular el videojuego de Air Hockey, en donde el participante maneja la ficha inferior a modo de mando (Figura 54). El movimiento de la ficha se puede controlar con varias partes del cuerpo (cabeza, troncos o manos) del sujeto, mientras que la ficha superior es controlada por el ordenador. El objetivo es marcar goles en la portería contraria golpeando el disco rojo y, a su vez, evitar que el oponente marque en la portería del participante. También hay que evitar goles en propia meta.

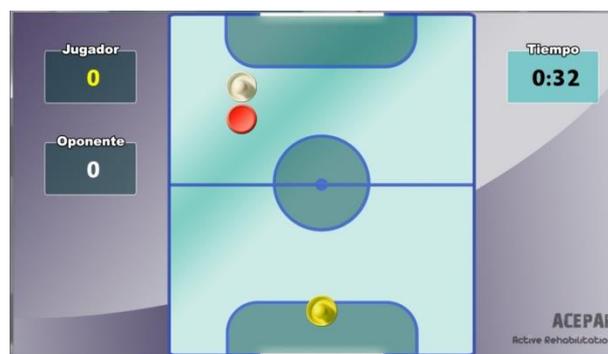


Figura 54: ACEPAR

2. Active STS

Esta herramienta cuenta con la interfaz Wii Balance Board, cuyo objetivo principal del videojuego es el de mantener un globo intacto entre dos ramas con pinchos, evitando que explote, durante el mayor tiempo posible. El sujeto deberá sentarse y levantarse para que el globo suba o baje con el fin de esquivar objetos punzantes (Figura 55).



Figura 55: Active STS

Las tres herramientas están capacitadas para configurar los valores de los juegos (velocidad de elementos, dificultad, manejo, duración de sesión, etc.) para adaptarlos a las necesidades de los pacientes según sus limitaciones.

3.4.3.3. Estudio de los Procedimientos

El estudio clínico también se ha llevado a cabo en las instalaciones de la clínica privada Neural (INIA) de neuro-rehabilitación de Valencia. Los especialistas han explicado las características del estudio al sujeto V.B., e informado de las tres herramientas con las que iba a entrenar.

V.B. ha realizado 14 sesiones combinando las tres herramientas durante 30 minutos en cada sesión, durante 7 semanas.

3.4.4. Medidas de Evaluación

3.4.4.1. Medidas Primarias

Como medidas primarias se hará referencia a la evaluación y resultados que se obtienen con el **cuestionario SEQ** (Anexo 1) desarrollado por *Gil-Gómez et al.* (2012)[15]. Este importante cuestionario proporcionará la **usabilidad, facilidad y seguridad** de cara del sistema de RHBV con respecto al paciente. SEQ sirve para determinar, por ejemplo, las sensaciones que recibe el paciente cuando juega, si le parece divertido, el control del juego, si siente dolor al realizar los movimientos, entre otros aspectos. Además, se recomienda que el paciente rellene el cuestionario después de la primera sesión con el sistema.

SEQ está basado en el cuestionario SFQ “Short Feedback Questionnaire” por *kizony et al.* (2006)[24], del que es una ampliación. Éste último consiste en 8 preguntas en donde todas se evalúan mediante una escala de 5 puntos. La diferencia entre ambos es que SEQ incluye 6 preguntas más al cuestionario, sumando 14 cuestiones de las cuales 13 se responden con la misma escala nombrada anteriormente y en la última pregunta el paciente tiene la posibilidad de expresarse de forma más extensa dando alguna razón de conformidad o disconformidad. Se realizó por la necesidad de preguntar y verificar ciertos aspectos que SFQ no hacía detalle, como son los síntomas de mareo o náuseas, molestias en los ojos, síntomas de confusión y utilidad frente al tratamiento del paciente.

La escala graduada de 5 puntos en SEQ, significa que a cada cuestión se le ha de indicar un número que va del 1 al 5. En la primera parte del cuestionario (Q1-Q11), 1 significa “Nada” y 5 “Mucho”; en una segunda parte (Q12-Q13), 1 querrá decir “Muy fácil” y 5 “Muy difícil”.

Podemos encontrar el cuestionario entero en el Anexo 1. La Tabla 9 muestra finalmente las preguntas que componen el cuestionario SEQ:

Tabla 9: Cuestionario SEQ

| Por favor, rodea la puntuación que refleje mejor su opinión: | | | | | |
|--|-------------|---|---|---|--------------|
| Parte 1: | Nada | | | | Mucho |
| 1. ¿Te has divertido con el ejercicio? | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 2. ¿Te has sentido cómo si estuvieras dentro del ejercicio/tarea? | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 3. ¿Superaste con éxito el ejercicio? | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 4. ¿Has sentido que tenías el control de la situación durante los juegos? | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 5. ¿Te ha parecido el entorno realista? | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 6. ¿Te ha parecido clara la información que te ha dado el sistema? | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 7. ¿Te has sentido incómodo en algún momento durante el ejercicio? | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 8. ¿Has sentido sensación de mareo o náuseas durante el ejercicio? | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 9. ¿Has sentido alguna sensación de molestia en los ojos? | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 10. ¿Te has sentido desorientado durante el ejercicio? | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |

| | | | | | |
|---|------------------|---|---|---|--------------------|
| 11. ¿Crees que este tratamiento resultará útil para tu rehabilitación? | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Parte 2: | Muy fácil | | | | Muy difícil |
| 12. ¿Te ha resultado difícil el ejercicio/tarea? | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 13. ¿Te ha resultado difícil utilizar el material del Sistema? | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |

Faltaría mostrar la parte 3 referida a la última pregunta, la número 14, cuyo contenido es: “Si te has sentido incómodo durante el ejercicio, por favor especifica las razones”; siendo una respuesta abierta.

3.4.4.2. Medidas Secundarias

La siguiente medida hace referencia a la evaluación y resultados clínicos que se le aplicará a la paciente V.B. Aunque existen una serie de evaluaciones, para nuestro estudio clínico se aplicará el TUG, ya que es el más recomendado por parte de los especialistas debido a que es un test clínico validado y de amplio uso en el entorno clínico para evaluar las capacidades motoras de los pacientes. Este test se realiza para ver si realmente se obtienen resultados con un sistema dado durante plazo determinado.

- **Test Up&Go (TUG)**

También conocido como test cronometrado de levantarse y caminar. Se trata de realizar una medición de tiempo en la que el paciente debe levantarse de un asiento, debe caminar tres metros, dar media vuelta y volver a sentarse. El test acaba en el momento justo cuando el paciente se sienta completamente. Con este test se consigue evaluar la movilidad, el equilibrio, la capacidad de caminar y los posibles riesgos de caídas. No es un test complicado de realizar, puesto que requiere alrededor de 5 minutos y sin la necesidad de previo entrenamiento. Mínimo se recomienda realizar el test dos veces, para obtener dos tiempos (*Flansbjer et al. (2005)[12]*).

El recorrido está totalmente marcado para que el paciente sepa cuánto le falta por recorrer en todo momento y hasta donde tiene que llegar. Antes de realizar el propio test, el paciente podrá hacer un ensayo para practicar.

En el caso de que durante la prueba el paciente se caiga o le ocurra cualquier imprevisto, podrá repetir el test sin ningún problema.

4. Resultados

4.1. Introducción

Como resultados se expondrán las respuestas del cuestionario SEQ rellenado por cada uno de los participantes de forma individual con respecto al sistema ACT para valorar su adecuación; y los resultados del test TUG de la validación clínica.

Se han independizado los resultados del cuestionario del grupo de adultos con respecto al grupo de los niños, debido a que algunos niños tenían dificultad comprensiva con respecto algunas cuestiones, para que de esta forma, no afecte al análisis y discusión de las respuestas.

Una vez expuestos los resultados, en el apartado 5 se realizará una validación y análisis de los resultados del SEQ tanto de forma independizada por grupo como de manera global entre ambos.

4.2. Resultados Grupo Adultos

La Tabla 10 muestra los resultados del cuestionario SEQ adquirido por el grupo de los N = 16 adultos. Desde la columna Q1 hasta Q14 representan las respuestas de cada una de las cuestiones, siendo solo Q14 de forma escrita.

Tabla 10: Resultados SEQ - Adultos

| Sujetos | Q1 | Q2 | Q3 | Q4 | Q5 | Q6 | Q7 | Q8 | Q9 | Q10 | Q11 | Q12 | Q13 | Q14 |
|---------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----------------------------|
| 1 | 4 | 5 | 4 | 4 | 4 | 5 | 3 | 1 | 3 | 3 | 1 | 4 | 1 | Tiene problemas hemianopsia |
| 2 | 4 | 4 | 3 | 3 | 5 | 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 | 3 | 2 | |
| 3 | 5 | 4 | 5 | 5 | 4 | 5 | 1 | 1 | 3 | 1 | 5 | 1 | 1 | |
| 4 | 4 | 5 | 5 | 4 | 4 | 5 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 | 1 | |
| 5 | 5 | 5 | 5 | 3 | 5 | 5 | 3 | 3 | 4 | 5 | 5 | 1 | 2 | |
| 6 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 | 2 | 1 | |
| 7 | 5 | 5 | 5 | 3 | 4 | 5 | 1 | 1 | 1 | 1 | 5 | 2 | 1 | |
| 8 | 4 | 5 | 5 | 3 | 4 | 5 | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 | 1 | 1 | |
| 9 | 5 | 5 | 4 | 4 | 5 | 5 | 1 | 1 | 1 | 1 | 5 | 1 | 1 | |
| 10 | 4 | 4 | 4 | 5 | 4 | 5 | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 | 1 | 1 | |
| 11 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 4 | 1 | 2 | 2 | 1 | 3 | 3 | 2 | |
| 12 | 4 | 3 | 5 | 5 | 4 | 5 | 1 | 1 | 1 | 1 | 5 | 2 | 1 | |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--|
| 13 | 5 | 3 | 5 | 5 | 3 | 5 | 1 | 1 | 1 | 1 | 5 | 1 | 1 | |
| 14 | 5 | 3 | 3 | 3 | 3 | 5 | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 | 5 | 1 | |
| 15 | 4 | 5 | 3 | 4 | 4 | 5 | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 | 1 | 1 | |
| 16 | 5 | 2 | 4 | 5 | 2 | 5 | 1 | 3 | 2 | 1 | 3 | 1 | 2 | |

Una vez dadas las respuestas podemos calcular el promedio y la desviación típica de cada cuestión “Q” con N = 16 respuestas por pregunta, mostradas en la Tabla 11:

Tabla 11: Medias y desviación típica SEQ - Adultos

| Cuestión | Q1 | Q2 | Q3 | Q4 | Q5 | Q6 | Q7 | Q8 | Q9 | Q10 | Q11 | Q12 | Q13 |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Promedio | 4,5 | 4,187 | 4,25 | 4,062 | 4 | 4,875 | 1,25 | 1,312 | 1,562 | 1,375 | 4 | 1,875 | 1,25 |
| Desv. Típica (σ) | 0,500 | 0,950 | 0,829 | 0,827 | 0,791 | 0,331 | 0,661 | 0,682 | 0,933 | 1,053 | 1,061 | 1,218 | 0,433 |

Como podemos observar de forma general gracias a los números de la Tabla 11, los resultados dados por cada uno de los adultos son muy positivos. La Q1 hace referencia a la motivación y diversión que han tenido durante la sesión con un promedio de 4.5, una puntuación bastante alta e importante, pues nadie ha bajado de la puntuación 4. Además, han conseguido resolver con éxito el ejercicio o tarea que les hace realizar el sistema ACT.

Las preguntas que hacen referencia a cómo se han sentido o de si han notado alguna sensación mala (desde Q7 hasta Q10), están rondando entre promedios de 1 y 1.6, en donde la mayoría de adultos contestaron con 1 excepto una pequeña minoría que ha podido sentir algún malestar. En concreto, el sujeto 5 es el único que destaca por no haber dado resultados positivos con respuestas 3, 3, 4, 5 respectivamente. Exceptuando al sujeto 5, los resultados son muy positivos en esta serie de cuestiones que, en el caso contrario, hubiera impedido el uso del sistema como tratamiento de RHBV.

Finalmente, una de las preguntas que se debe de analizar con detalle es la Q11 (“¿Crees que este tratamiento resultará útil para tu rehabilitación?”). También ha obtenido una puntuación positiva con promedio de 4. Aunque aquí podemos ver que la desviación típica supera el valor de 1, esto es que ha habido respuestas variadas, se observa que 12 de los adultos ha respondido con 4 o 5 y una pequeña parte respondieron con 3. Pero hay una persona que destaca por haber respondido con valor 1 (“Nada”), correspondiendo al sujeto 1. Analizando su cuestionario de forma independiente, podemos decir que para esta persona el sistema ACT no le favorece, ya que ha respondido con 3 a las cuestiones Q7, Q9 y Q10 y además le ha resultado difícil realizar el ejercicio que propone el sistema, respondiendo con un 4 en la Q12.

4.3. Resultados Grupo Niños

Siguiendo la misma explicación que con el grupo de los adultos, la Tabla 12 muestra ahora los resultados del SEQ del grupo de los N = 9 niños. Se observará un importante cambio con respecto al grupo anterior y es la falta de respuestas de algunas cuestiones "Q", como se aprecia sobretodo en la Q5 y Q13 que solo hay dos valoraciones.

Igualmente, se realizará el cálculo de promedio y desviación típica para su posterior análisis en el siguiente apartado. Como ningún paciente infantil ha respondido o comentado con respuesta a la cuestión 14, en la tabla vamos a descartarla.

Tabla 12: Resultados SEQ - Niños

| Sujetos | Q1 | Q2 | Q3 | Q4 | Q5 | Q6 | Q7 | Q8 | Q9 | Q10 | Q11 | Q12 | Q13 |
|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|
| 20 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 | 2 | 1 | 1 | 4 | 3 | 2 | 2 |
| 21 | 5 | 5 | 5 | 4 | | 2 | | 1 | 1 | | 5 | | |
| 22 | 5 | 5 | | | | | | 1 | 1 | | 4 | 2 | |
| 23 | 5 | 3 | | 4 | | | 1 | 1 | 1 | | 3 | 2 | |
| 24 | 4 | | | | | | | | | | | | |
| 25 | 5 | | | | | | 1 | 1 | 1 | 1 | | 3 | |
| 26 | 4 | | | | | | | 3 | | | | | |
| 27 | 5 | 1 | 4 | 3 | 4 | | 1 | 1 | 3 | 1 | | 5 | 3 |
| 28 | 5 | 1 | | | | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 3 | |

En este caso tenemos que tener en cuenta distintas N (correspondiendo al número de respuestas que hay por cuestión) para calcular el promedio de respuestas, debido a la ausencia de ellas en algunas cuestiones por la falta de comprensión por partes de algunos niños. Estos cálculos se representan en la Tabla 13:

Tabla 13: Medias y desviación típica SEQ - Niños

| Cuestión | Q1 | Q2 | Q3 | Q4 | Q5 | Q6 | Q7 | Q8 | Q9 | Q10 | Q11 | Q12 | Q13 |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| N | 9 | 6 | 3 | 4 | 2 | 3 | 5 | 8 | 7 | 4 | 5 | 6 | 2 |
| Promedio | 4,778 | 3,333 | 4,667 | 3,750 | 4,000 | 3,000 | 1,200 | 1,250 | 1,286 | 1,750 | 3,600 | 2,833 | 2,500 |
| Desv. Típica (σ) | 0,441 | 1,966 | 0,577 | 0,500 | 0,000 | 1,000 | 0,447 | 0,707 | 0,756 | 1,500 | 0,894 | 1,169 | 0,707 |

La mayoría de los niños no han sido capaces de acabar el cuestionario SEQ completamente debido a factores como la dificultad de comprensión, como por ejemplo causaron las cuestiones Q5 y Q6; o bien por confusión con respecto al sistema, como es el caso de la cuestión Q13, ya que el sistema ACT no implica el uso de materiales físicos

para interactuar con el sistema. Aun así, es importante valorar el gran esfuerzo realizado por parte de los niños y destacar de todo esto que preguntas tan importantes para nuestro estudio como son las cuestiones Q1, Q7, Q8, Q9, Q11 y Q12, han sido valoradas por gran parte de ellos. Estos resultados demuestran que el sistema ACT es apto para todos los públicos.

Se puede destacar que los niños se han sentido motivados y se han divertido bastante durante la sesión gracias a las respuestas dadas del Q1 con un promedio de 4,78 sobre 5, siendo ésta una de las cuestiones más a tener en cuenta del SEQ, demostrando la motivación de los pacientes frente al sistema.

Por lo general y con medias cercanas al 1, los niños no se han sentido incómodos, ni han tenido sensación de náuseas, ni molestias en los ojos (Q7, Q8 y Q9), un punto bastante importante a la hora de realizar RHBV. Factores como estos pueden impedir a un paciente seguir con el tratamiento con el sistema desarrollado.

Una cuestión importante del SEQ es la número 11 (“¿Crees que este tratamiento resultará útil para tu rehabilitación?”), pues se recuerda que el objetivo del sistema ACT es su uso como Rehabilitación Virtual Motora para mejorar las funciones motoras de los pacientes. El promedio supera la mitad de la escala con un 3,6. Este resultado es positivo, ya que los niños ven útil este sistema para usarlo dentro de su tratamiento, que al fin y al cabo es para lo que está hecho.

Finalmente, gracias a la Q12, el sistema ACT no ha sido considerado por los niños como un “ejercicio” muy difícil de realizar (con promedio de 2,8), ya que la mayoría de niños respondió con 2 o 3, salvo el sujeto 27 que si le pareció muy difícil la tarea realizando la valoración con 5. Este resultado es muy interesante y positivo, pues es importante que el sistema no sea demasiado fácil (causando desmotivación por parte de los pacientes), ni demasiado difícil (causa de frustración).

Objetar que es normal que en algunas preguntas haya distintas opiniones, pues factores como la edad y sobre todo la patología del niño pueden complicar más o menos la interacción y comprensión del sistema.

4.4. Resultados Caso de Estudio

El TUG se realizó antes de comenzar la validación clínica con la participante V.B y, una vez acabado el estudio, se volvió a realizar para obtener y analizar los resultados. La tabla 14 muestra los tiempos obtenidos en el TUG.

Tabla 14: Resultados TUG

| TUG | Tiempo (seg) |
|------------------------------------|--------------|
| Antes del estudio clínico (PRE) | 17,96 |
| Después del estudio clínico (POST) | 12,75 |

Como se puede apreciar en la tabla 14, la paciente V.B. ha mejorado el tiempo obtenido antes del estudio clínico de forma positiva con una diferencia de 5,21 segundos menos en la prueba posterior, realizando así, el TUG con más rapidez. Esto demuestra que, en poco tiempo de entrenamiento con ayuda de los sistemas de RVM, la paciente consigue mejorar problemas motores tales como el equilibrio, marcha, riesgos de caída, entre otros.

Observando el fichero general obtenido del sistema ACT, durante las sesiones realizadas por V.B., destacar que el manejo realizado durante su estudio fue mediante la cabeza, combinando distintos tamaños de área de juego y diferentes dificultades.

5. Discusión y Conclusiones

En este capítulo del estudio se expondrá la discusión y las conclusiones tras la realización de la tesina. Los objetivos que se han presentado se han podido llevar a cabo con satisfacción, además de haber conseguido un caso de estudio de validación clínica con el que no se contaba en un principio.

En primer lugar, se ha conseguido adaptar el dispositivo Microsoft Kinect gracias a sus ventajas tales como son su fácil instalación, configuración, uso en el entorno y sobre todo, su bajo coste económico. Además, destacar su preciso seguimiento de tracking del cuerpo humano de forma que reconoce cualquier movimiento natural que éste realice.

Se ha logrado desarrollar un sistema completo de RHBV desde cero, pudiendo ser usado para todos los públicos, permitiendo adaptar las necesidades para cada paciente con un amplio rango de patologías y edades. Se ha cuidado con detalle la incorporación de niveles de dificultad desde muy sencillo (solo coger monedas, sin penalizaciones), hasta con toda clase de objetos en el entorno. Resaltar del sistema ACT las posibilidades de manejo para poder realizar el ejercicio o tarea gracias a Kinect, como el uso de cabeza, manos, pies o tronco. Para ayudar más profundamente a los especialistas, registra de forma automática el seguimiento espacio-temporal del paciente para su posterior análisis detallado.

La novedad del sistema ACT, que la gran mayoría de herramientas no tienen, es el modo multijugador, ya que Kinect puede perfectamente realizar el tracking de dos personas a la vez. Para posibles preferencias, se han incorporado tanto un modo colaborativo como otro competitivo. Estos modos permiten la rehabilitación y seguimiento de dos pacientes de forma simultánea, además de aumentar así la motivación y diversión entre ellos. Se han cuidado las medidas para que los pacientes tengan un área o zona de juego para cada uno con la idea de evitar choques entre ellos durante la sesión. Cada jugador recibirá distinta configuración de parámetros según sus necesidades excepto los tiempos de cada subsesión y descanso que son comunes.

En la práctica, se ha incorporado el sistema en una clínica neurológica y como se ha visto en el apartado de participantes, el sistema ACT se puede aplicar para muchos tipos de patologías tanto de daño cerebral como de otros tipos de deficiencias motoras. Se ha contado con una selección de población de muy variada edad haciendo del estudio mucho más enriquecedor y apoyando así la práctica para toda clase de público, siendo el participante más mayor de 79 años y el más joven de 3 años.

Se han revisado los ficheros generales de los pacientes del estudio. Todos han jugado en modo un jugador y la gran mayoría destaca por haber manejado con cabeza, mientras que otros pacientes han usado la mano derecha o mano izquierda. Todos han tenido dificultad adaptativa habilitada y, gracias al fichero general, se ha visto que han

ido subiendo de nivel. Entre los pacientes han llegado a utilizar todas las áreas de juegos disponibles que ofrece el sistema: pequeña, mediana y grande.

El cuestionario SEQ (Anexo 1) nos ha proporcionado información muy útil sobre el sistema ACT de cara a su usabilidad, facilidad y seguridad. Los resultados obtenidos se han separado en dos grupos; adultos y niños. Así se ha podido analizar con mucho más detalle las opiniones y los problemas de cada grupo.

Decir que, tanto un grupo como otro, los resultados han sido muy positivos en general. No todas las cuestiones del SEQ son tan relevantes, como son los casos de Q2 y Q5, que hacen más referencia quizás a un sistema de realidad aumentada o de entorno realista, no siendo nuestro caso. Incluso algunas podrían haber causado confusión, sobre todo al grupo de niños, como sería la cuestión Q13, ya que para el sistema ACT no se usa físicamente ningún dispositivo adicional en el cuerpo para el manejo.

Quitando Q2, Q5 y Q13, las cuestiones que más influyen en los objetivos que nuestro estudio desea alcanzar y analizar con detalle corresponden a las preguntas Q1, Q3, Q4, Q6, Q7, Q8, Q9, Q10, Q11 y Q12. Queremos destacar de estas la Q1 y la Q11, cuestiones que hacen referencia a la diversión/motivación del paciente y a su uso para la rehabilitación.

En el apartado anterior de resultados se ha analizado las puntuaciones generales de cada grupo. Faltaría discutir los resultados globalmente entre ambos grupos, en aquellas cuestiones suficientemente completadas por los dos grupos.

Primero destacar que a los niños les ha parecido algo más divertido el sistema que a los adultos (promedios de 4,77 y 4,5 respectivamente), ya que Q1 ha sido una de las preguntas con la mejor puntuación obtenida. Recordar que la motivación de los pacientes es uno de los objetivos que se desean lograr y por ello es importante que el sistema sea atractivo en todos los sentidos, tanto visualmente como a la hora de interactuar con él. Con respecto a las cuestiones Q7, Q8 y Q9, los niños han sufrido menos posibles mareos o malestar con respecto a los adultos. Finalmente, los adultos destacan más que los niños por puntuar más alto el uso del sistema ACT como uso en sus terapias de rehabilitación.

Por otro lado, los pacientes han comentado ciertos problemas acerca del sistema, por ejemplo, los adultos ven el sistema ACT un poco infantil tanto de temática como gráficamente. Los adultos también comentaron que les gustaría temáticas de videojuego relacionadas con tareas de la vida cotidiana, como por ejemplo, relacionado con la compra en un supermercado. Tanto niños como adultos no veían adecuado la representación del sombrero cuando se maneja con cabeza o tronco, esperando así, un pirata entero o algo más representativo. Para los niños, el sistema de penalización de los explosivos tampoco ha funcionado correctamente por el hecho de que realmente no pasaba "nada", entonces veían incluso divertido el chocarse con bombas, cuando la idea es evitarlas. Otro de los problemas que se ha detectado con niños muy pequeños es que Kinect no realiza del todo bien el seguimiento, causando problemas de tracking, ya que

la medida recomendada por el dispositivo es de al menos un metro de altura aproximadamente.

El caso de estudio realizado para la validación clínica ha aportado resultados importantes al proyecto de forma muy positiva, aunque haya sido un estudio con un único paciente. Así, se puede concluir que los resultados refuerzan la idea de la utilidad clínica que pueden ofrecer los sistemas de RVM en poco tiempo gracias a los resultados obtenidos por el TUG.

6. Trabajo Futuro

Como trabajo futuro se podría plantear el adaptar el sistema ACT a un estilo o temática más acorde con adultos para evitar el problema de la apariencia infantil, al igual que cambiar los gráficos del personaje del sombrero por un pirata de cuerpo entero o algo similar, y así impedir posibles confusiones.

Luego, incorporar un sistema de penalización más severo que el actual. Una posible opción sería que cuando al pirata le explotase una bomba o dinamita, desaparecieran del entorno todos los tesoros que haya en juego. Otra opción sería que el personaje se viera gráficamente cada vez más dañado o herido, para dar a entender que se está perjudicando. O incluso mezclar las dos ideas para darle más significado a las penalizaciones.

Como último punto, debido al éxito de la herramienta y aceptación tanto por parte de los pacientes como la de los especialistas clínicos, se va a seguir adelante con una validación clínica con un mayor número de pacientes para evaluar su efecto en la recuperación motora. De momento esta validación se llevará a cabo en al menos en dos centros, en INIA (privado) y en el Hospital Universitario Doctor Peset (público).

Anexo 1

Suitability Evaluation Questionnaire (SEQ). *Se recomienda pasarlo inmediatamente tras la PRIMERA SESIÓN.*

Nombre paciente: _____ Nombre especialista: _____ Fecha: _____

Por favor, rodea la puntuación que refleje mejor tu opinión:

| Parte 1: | Nada | | | | Mucho |
|--|--------------------------|---|---|---|--------------------|
| 1. ¿Te has divertido con el ejercicio? | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 2. ¿Te has sentido cómo si estuvieras dentro del ejercicio/tarea? | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 3. ¿Superaste con éxito el ejercicio? | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 4. ¿Has sentido que tenías el control de la situación durante los juegos? | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 5. ¿Te ha parecido el entorno realista? | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 6. ¿Te ha parecido clara la información que te ha dado el sistema? | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 7. ¿Te has sentido incómodo en algún momento durante el ejercicio? | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 8. ¿Has sentido sensación de mareo o náuseas durante el ejercicio? | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 9. ¿Has sentido alguna sensación de molestia en los ojos? | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 10. ¿Te has sentido desorientado durante el ejercicio? | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 11. ¿Crees que este tratamiento resultará útil para tu rehabilitación? | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Parte 2: | Muy fácil | | | | Muy difícil |
| 12. ¿Te ha resultado difícil el ejercicio/tarea? | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 13. ¿Te ha resultado difícil utilizar el material del Sistema? | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Parte 3: | Respuesta abierta | | | | |
| 14. Si te has sentido incómodo durante el ejercicio especifica las razones: _____ _____ | | | | | |

Comentarios del especialista: _____

Referencias

- [1] Anderson F., Annett M., & Bischof W.: «Lean on Wii: physical rehabilitation with virtual reality Wii peripherals». (2010)
- [2] Annema J.H., Verstraete M., Abeele V.V., Desmet S., & Geerts D.: «Videogames in therapy: a therapist's perspective». (2010)
- [3] Anosognosia. Sitio Web Wikipedia:
<http://es.wikipedia.org/wiki/Anosognosia>
- [4] Atif A., Jongeun C., Mohamad E., & Abdulmotaleb E. D.: «Evaluating the Post-Stroke Patients Progress Using an Augmented Reality Rehabilitation System». International Workshop on Medical Measurements and Applications, MeMeA, Mayo 2009.
- [5] BioTrack. Sitio Web (2012):
<http://www.biotraksuite.com/>
- [6] Botella C., Juan M.C., & Baños R.M.: «Mixing realities? An application of augmented reality for the treatment of cockroach phobia». CyberPsychology & Behaviour. Vol. 8, pág.162- 171. (2005)
- [7] Braidot A.A.A, Cifuentes C., Neto A.F., Frisoli M., & Santiago A.: «Desarrollo de un Sistema de Sensores Portables ZigBee para Rehabilitación Robótica de Miembro Superior». Biomedical Robotics and Biomechatronics (BioRob). (2012)
- [8] Burdea G.C.: «Virtual reality systems and applications». Electro'93 International Conference. NJ: Edison. (28 abril 1993)
- [9] Burdea G.C.: «Virtual Rehabilitation – Benefits and Challenges». Methods Inf. Med. 42, 5, 519-523. (2003)
- [10] CAREN and Others Systems. Sitio Web (2009):
<http://www.motekmedical.com>
- [11] Enrique-Sucar L., Luis R., Leder R., Hernández J., & Sánchez I.: «Gesture Therapy: A Vision-Based System for Upper Extremity Stroke Rehabilitation». (2010)

- [12] Flansbjer U.B., Holmback A.M., Downham D., Patten C., & Lexell J.: «Reliability of gait performance tests in men and women with hemiparesis after stroke». *Journal of Rehabilitation Medicine*: 37(2):75-82. (2005)
- [13] Folstein M.F., Folstein S., & Mchugh P.R.: «Mini-Mental State: a practical method for grading the cognitive state of patients for the clinicians». *J Psychiatr Res*, 12(3):189-198. 1975
- [14] Gil-Gómez J.A., Lloréns R., Alcañiz M., & Colomer C.: «Effectiveness of a Wii balance boardbased system (eBaViR) for balance rehabilitation: a pilot randomized clinical trial in patients with acquired brain injury». *Journal of neuroengineering and rehabilitation*. (2011)
- [15] Gil-Gómez J.A., Manzano P.H., Albiol S.P., Aula C.V., Gil-Gómez H., & Lozano J.A.Q.: «SEQ: Suitability Evaluation Questionnaire for Virtual Rehabilitation Systems. Application in a Virtual Rehabilitation System for Balance Rehabilitation». (2012)
- [16] Hale L.A., Satherley J.A., McMillan N.J., Milosavljevic S., Hijmans J.M., & King M.J.: «Participant perceptions of use of Cywee Z as adjunct to rehabilitation of upper-limb function following stroke». *Journal of Rehabilitation Research and Development*. (2012)
- [17] Hemiparesia. Sitio Web Wikipedia:
<http://es.wikipedia.org/wiki/Hemiparesia>
- [18] Hemiplejia. Sitio Web Wikipedia:
<http://es.wikipedia.org/wiki/Hemiplejía>
- [19] Housman S.J., Le V., Rahman T., Robert J., & Reinkensmeyer D.J.: «Arm-training with T-WREX after chronic stroke: preliminary results of a randomized controlled trial». *IEEE 10th International Conference on Rehabilitation Robotics*. (2007)
- [20] Iñaki I.L., & Alfredo P.C.: «Desarrollo de aplicaciones con Microsoft Kinect». Escuela técnica superior de ingenieros industriales y de telecomunicación. Proyecto final de carrera. (2012)
- [21] Junque C.: «Secuelas neuropsicológicas de los traumatismos craneoencefálicos». *Revista de Neurología*, 28 [423-9]. (1999)
- [22] Kamper D., & Stoykov N.: «Virtual Reality Environment Assisting Post-Stroke Hand Rehabilitation». (2009)
- [23] Kinect. Sitio Web Wikipedia (versión en inglés):

<http://en.wikipedia.org/wiki/Kinect>

- [24] Kizony R., Katz N., Rand D., & Weiss P.L.: «A Short Feedback Questionnaire (SFQ) to enhance client-centered participation in virtual environments». 11th Annual Cyber Therapy Conference: Virtual Healing: Designing Reality, Gatineau, Canada. (2006)
- [25] Lange B., Flynn S., Chang C-Y., Liang W., Si Y., Nanavati C., Chieng C-L., & Rizzo A.: «Development of an interactive stepping game to reduce falls in older adults». International Journal on Disability and Human Development. Volumen 10, Issue 4, Pages 331-335. (Septiembre 2011)
- [26] Laver K.E., George S., Thomas S., Deutsch J.E., & Crotty M.: «Virtual reality for stroke rehabilitation (Review)». The Cochrane Collaboration. (2011)
- [27] Martinez-Soriano N., Gil-Gómez J.A., Martinez-Gramaje J., & Cuenca J.: «Virtual rehabilitation system for recovery of upper extremity function in stroke patients». Internacional Conference on Recent Advances in Neurorehabilitation (ICRAN). (March 2013)
- [28] Makssoud H., Richards C.L., & Comeau F.: «Dynamic control of a moving platform using the CAREN system to optimize walking in virtual reality environments». Conf Proc IEEE Eng. Med. Biol. Soc. (2009)
- [29] Microsoft Visual Studio. Oficial Web:
<http://msdn.microsoft.com/es-ES/vstudio/>
- [30] Microsoft Kinect SDK. Kinect for Windows. Oficial Web:
<http://www.microsoft.com/en-us/kinectforwindows/>
- [31] Microsoft XNA. Oficial Web:
<http://msdn.microsoft.com/en-us/centrum-xna.aspx>
<http://msdn.microsoft.com/en-us/library/bb200104.aspx>
- [32] Monserrat P.F., Sastre M.B., Macarro E.A., Alarcón Sánchez P.A., & Farreny M.A.: «TeleRHB: Telerehabilitación en personas mayores». Congreso Anual de la Sociedad Española de Ingeniería Biomédica (CASEIB). (2009)
- [33] Pérez S.A., Gil-Gómez J.A., Alcaniz M., & Lozano J.A.: «VR Motor Cues: Inducing user movements in virtual rehabilitation systems». International Conference in Virtual Rehabilitation. (Julio 2009)
- [34] Rand D., Kizony R., & Weiss P.L.: «Virtual reality rehabilitation for all: Vivid GX versus Sony PlayStation II EyeToy». Conf. Disability, Virtual Reality & Assoc. Tech. (2004)

- [35] Shih C.H., Chang M., & Shih C.T.: «A limb action detector enabling people with multiple disabilities to control environmental stimulation through limb action with a Nintendo Wii Remote Controller». Elsevier. (2010)
- [36] Sue A.S., Gail F.F., & Diana G.: «Virtual Reality Applications for Motor Rehabilitation After Stroke». Technology for Clinical Stroke Applications – Volumen 8, Number 4. (2002)
- [37] Tanaka K., Parker J.R., Baradoy G., Sheehan D., Holash J.R., & Katz L.: «A Comparison of Exergaming Interfaces for Use in Rehabilitation Programs and Research». The Journal of the Canadian Game Studies Association, Vol 6(9): 69-81. (2012)
- [38] Virtual Reality Site. Sitio Web:
<http://www.vrs.org.uk/>
- [39] VirtualRehab. Sitio Web (2012):
<http://www.virtualrehab.info/>
- [40] Xbox-kinect. Oficial Web (inglés y español):
<http://www.xbox.com/en-GB/kinect>
<http://www.xbox.com/es-ES/kinect>
- [41] Yesavage J.A., Brink T.L., Rose T.L., Lum O., Huang V., Adey M.B., & Leirer V.O.: «Development and Validation of a Geriatric Depression Screening Scale: A Preliminary Report. Journal of Psychiatric Research 17: 37-49. (1983)