



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE TELECOMUNICACIÓN

INGENIERÍA SUPERIOR EN TELECOMUNICACIÓN

**PROYECTO FINAL DE CARRERA
MEDIKNECT: UN SISTEMA DE REHABILITACIÓN
VIRTUAL**

Angel Sanchis Cano

Valencia, Septiembre 2013



Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación

Ingeniería superior en Telecomunicación

MEDIKNECT:Un sistema de Rehabilitación Virtual

- Director del proyecto: Antonio Albiol Colomer
- Autor del proyecto: Angel Sanchis Cano

Valencia, 16 de septiembre de 2013

Fdo: Angel Sanchis Cano

Resumen

En el presente documento se expone la realización del proyecto de final de carrera del alumno Ángel Sanchis Cano de Ingeniería de Telecomunicación centrado en el desarrollo de una aplicación para la realización de rehabilitación mediante Kinect. En primer lugar se realiza un estudio del estado actual del área de la rehabilitación mediante realidad virtual poniendo especial interés en los dispositivos de bajo coste para posteriormente explicar las fases del diseño de un proyecto software según el modelo del proceso unificado, a continuación se explican las herramientas utilizadas y la estructura y el funcionamiento lógico del sistema de rehabilitación virtual y se detallan las interfaces y el funcionamiento del mismo. Por último se explican los problemas encontrados durante el desarrollo del proyecto y las soluciones a esos problemas, así como las recomendaciones para futuros estudios y un pequeño estudio de costes del producto.

Abstract

This document contains the study for the degree ending project made by the student of telecommunications engineering Angel Sanchis Cano, focused in the development of a Virtual Rehabilitation (VR) application using the Kinect Sensor. First of all we present a study of the status of the art in the area of rehabilitation with virtual reality and the low-cost devices used to do VR systems. After that we explain the phases of design of a software project based in the unified process model. The project also contains a description of the used software tools, the structure, the logic of the VR System and a detailed explanation of the interfaces. Finally we explain the problems that we have found in the project development and the solutions for these problems as well as the suggestions for future studies and a short study of costs.

Palabras Clave

Rehabilitación, Realidad Virtual, Low-cost, Telerehabilitación, Kinect, Sistema Rehabilitación Virtual, Proyecto final de carrera, Telecomunicación.

Índice general

1. Introducción	1
1.1. Justificación	1
1.2. Objetivos	2
1.3. Campos de aplicación: Kinect	3
1.4. Revisión del Estado del arte	5
1.4.1. Impacto socioeconómico	5
1.4.2. Rehabilitación psicológica	6
1.4.3. Rehabilitación motora	6
2. Diseño	7
2.1. Planificación del proyecto	7
2.2. Posibilidades de desarrollo	9
2.3. Ciclo de Desarrollo	12
2.3.1. Fase Inception	13
2.3.2. Fase Elaboration	17
2.4. Herramientas utilizadas	25
2.4.1. Microsoft Visual Studio	25
2.4.2. Dispositivo Kinect	28
3. Implementación	31
3.1. Descripción diagramas de bloques	32
3.2. Reconocimiento de posturas	37
3.2.1. Algoritmo espacial:	37
3.2.2. Algoritmo Vectorial:	39
3.3. Interfaz de aplicación	44
3.3.1. Interfaz común a todos los actores	45
3.3.2. Interfaz de terapeuta	48
3.3.3. Interfaz de paciente	53
3.3.4. Interfaz de Desarrollador	55
3.4. Ejemplos de funcionamiento	56
4. Discusión/Conclusiones	57
4.1. Problemas/Soluciones.	57
4.2. Posibilidades de Evolución.	58
4.3. Recomendaciones.	58
4.4. Costes del sistema.	59
5. Valoración personal	61
6. Bibliografía	63

7. ANEXO 1: API Mediknect	65
8. ANEXO 2: Referencias bibliográficas	71
8.1. Artículo Sanchis, A (2013)	71

Capítulo 1

Introducción

1.1. Justificación

El presente proyecto nace gracias al importante crecimiento que está experimentando el campo de lo que a partir de ahora llamaremos Rehabilitación Virtual o simplemente RV. Se define como Rehabilitación Virtual a la unión de dos campos: la rehabilitación y la realidad virtual. El interés por realizar este proyecto se debe a que el ámbito en el que está enmarcado se encuentra en un momento ideal, ya que existe la tecnología necesaria para el desarrollo de productos comerciales y la sociedad se encuentra preparada para un cambio en los tratamientos clásicos de rehabilitación, lo que puede suponer un importante impacto socioeconómico, al reducir de forma considerable los costes de los tratamientos de rehabilitación mejorando los resultados de los mismos y la calidad de vida de los pacientes que los están recibiendo, gracias entre otras cosas a la posibilidad de la telerehabilitación. Por otra parte la realización de un proyecto sobre rehabilitación haciendo uso de las últimas tecnologías en la captura de movimientos supone un doble reto: por una parte el hecho de trabajar en un área completamente diferente a lo trabajado durante la carrera como es la rehabilitación y por otra parte el hecho de trabajar con las últimas tecnologías de captura de movimiento, lo que suponen un reto personal que me permitirá conocer en profundidad algunos de los dispositivos presentes en el mercado en la actualidad.

Todo el desarrollo del proyecto ha sido motivado y al mismo tiempo posible gracias al contexto que se va a describir continuación: La aparición de la rehabilitación virtual ha sido posible gracias a los importantes avances en la tecnología en los últimos años. Aunque la realidad virtual ya existía muchos años atrás su coste era muy elevado, por lo que apenas se desarrollaron sistemas que hicieran uso de esta tecnología. Para que el abaratamiento y la evolución de estas tecnologías fuera posible eran necesarias grandes inversiones iniciales que se encontraron en el sector militar, debido a la necesidad de reducir costes en el entrenamiento de los pilotos de aviación en la década de los 60 (Pañella, 2006). Por otro lado la constante mejora en la escala de integración y la popularización del PC hicieron que los costes se redujeran aún más, aunque el verdadero auge no se produjo hasta la aparición de los primeros dispositivos de captura de movimiento estándares y de bajo coste como son la Wii en 2006 o Kinect en 2011, pensados en primer lugar para el mundo del entretenimiento pero que se ha observado que son de utilidad en muchos otros ámbitos.

1.2. Objetivos

El presente proyecto que forma parte del plan de estudios de la Ingeniería Superior en Telecomunicaciones pretende desarrollar un programa informático para la tecnología de captura de movimiento de la que hace uso el dispositivo diseñado en primer lugar para la XBOX (Kinect) con aplicación en el ámbito de la Rehabilitación, que permita mejorar la calidad de vida de los pacientes que reciben un tratamiento de rehabilitación tras sufrir un ictus u otro tipo de accidente que haya limitado su movilidad, mediante un sistema que les permita recibir un tratamiento personalizado con un bajo coste y con la posibilidad de aumentar el tiempo de tratamiento mediante la realización de ejercicios en el domicilio particular.

El sistema a diseñar se ha pensado como una aplicación completa y funcional que permita realizar rehabilitación motora personalizada para distintas partes del cuerpo, no obstante debido a la rápida evolución de la tecnología una aplicación software puede quedarse obsoleta en muy poco tiempo, por lo que en el presente proyecto se ha decidido realizar el sistema mediante bloques independientes y con un grado de acoplamiento entre ellos mínimo, de forma que puedan ser sustituidos por bloques más complejos o conectados con nuevos bloques para aumentar la funcionalidad de la aplicación de forma sencilla. De la misma forma el desarrollo de bloques independientes como unidades funcionales también permite que se reutilicen en otras aplicaciones cumpliendo solamente con el interfaz (Entradas/salidas).

Los objetivos del proyecto son los siguientes:

- Conocer las diferentes opciones existentes para captura de movimiento y profundizar en el estudio de las librerías de Kinect for Windows.
- Diseñar un sistema funcional que haga uso de la tecnología de Microsoft para facilitar los tratamientos de rehabilitación personalizada.
- Desarrollo de bloques independientes con funcionalidad completa que permitan desarrollar futuras aplicaciones con un ahorro considerable de tiempo y en un nivel de abstracción mayor.

Para poder cumplir los objetivos anteriormente nombrados es necesario superar ciertas barreras u objetivos secundarios que se van a listar a continuación:

- Aprender el funcionamiento del entorno de programación Microsoft Visual Studio 2011 y la programación con interfaz gráfica.
- Aprender el lenguaje de programación C# y conocimientos básicos de XML, así como las librerías de sistema de Microsoft (MSDN).
- Investigación sobre las posibilidades y las limitaciones del dispositivo Kinect, tales como resolución espacial, espacio necesario o disponibilidad y costes.
- Aprender LATEX y otros programas relacionados con edición de texto e imágenes para la escritura de la presente memoria.

1.3. Campos de aplicación: Kinect

El presente proyecto es el resultado del concurso para aplicaciones de Kinect que se realizó en la E.T.S.I.T UPV que comenzó en el último trimestre de 2011 y que concluyó en octubre del 2012. Para la realización del proyecto se estudiaron los distintos campos en los que se podía utilizar la tecnología del Kinect, los resultados de dicho estudio se exponen a continuación.

El principal uso para el que fue diseñado y comercializado Kinect fue para el desarrollo de videojuegos. Las consolas de séptima generación (Wii, PS3, Xbox360) incorporaron un nuevo concepto de juego e intentaban mejorar la experiencia de los sujetos, de forma que la interacción con el mundo virtual fuera mucho más natural, para ello las compañías comenzaron a desarrollar los llamados sensores de movimiento. El primero en aparecer fue el EyeToy de PlayStation, no obstante presentaba grandes limitaciones técnicas y tuvo poco éxito comercial, unos años después PlayStation lanzó la PS3 con su mando DualShock3 que incorporaba sensores de movimiento. Por otro lado Nintendo lanzó el revolucionario sistema Wii Remote también conocido como Wiimote, que se trata de un mando que hace uso de acelerómetros y detección infrarroja para seguir los movimientos del usuario. Este dispositivo fue el primer sensor de movimiento en el mundo de las videoconsolas y tuvo un gran éxito comercial, haciendo de la Wii la videoconsola de séptima generación más vendida. Como observamos dos de los tres grandes fabricantes de videoconsolas se inclinaron por incluir los sensores de movimiento en sus mandos, no obstante Microsoft decidió hacer algo diferente, compró la tecnología de captura de movimiento de PrimeSense y lanzó un dispositivo completamente distinto: Kinect. Este dispositivo consta de dos cámaras, una de RGB otra de infrarrojos, que permiten obtener una imagen en color y de profundidad de lo que se encuentra delante de la cámara. También consta de un array de cinco micrófonos capaz de grabar audio y reconocer la posición desde dónde se generó un sonido mediante tratamiento de señal. Para conocer la distancia a la que se encuentra un objeto de la cámara existen diversas tecnologías.

La primera de ellas se basa en el tiempo que tarda un laser en ser recibido desde que la fuente lo generó, este tipo de tecnologías se llaman de “time of flight”, ya que miden el tiempo que ha tardado la luz en recorrer el camino de ida y de vuelta.

La segunda forma de medir las distancias es la que usa el sensor Kinect y se basa en la triangulación: A partir de dos cámaras o un iluminador y una cámara perfectamente alineados se puede conocer la distancia a la que se encuentra un objeto a partir del desplazamiento de la posición de la proyección del objeto en los receptores como podemos ver en la Figura 1.1. Con el desplazamiento lateral podemos calcular la disparidad y a partir de la disparidad obtener la profundidad del objeto según se indica en la Figura 1.2.

Los dispositivos anteriormente mencionados fueron diseñados como una herramienta de interacción entre la videoconsola y el usuario, no obstante han superado estas funciones, especialmente el Kinect, que hoy en día se usa en decenas de aplicaciones. Todo ello ha sido posible gracias a los controladores libres que salieron en primer lugar y a Kinect for Windows posteriormente. Algunas de las aplicaciones que podemos encontrar hacen uso del Kinect en ámbitos tan variados como la domótica, la medicina y dentro de esta la rehabilitación (Rutgers, 2006) y la cirugía (Tedesys), el automovilismo, la robótica, el modelado de objetos y lugares en 3D y un largo etcétera.

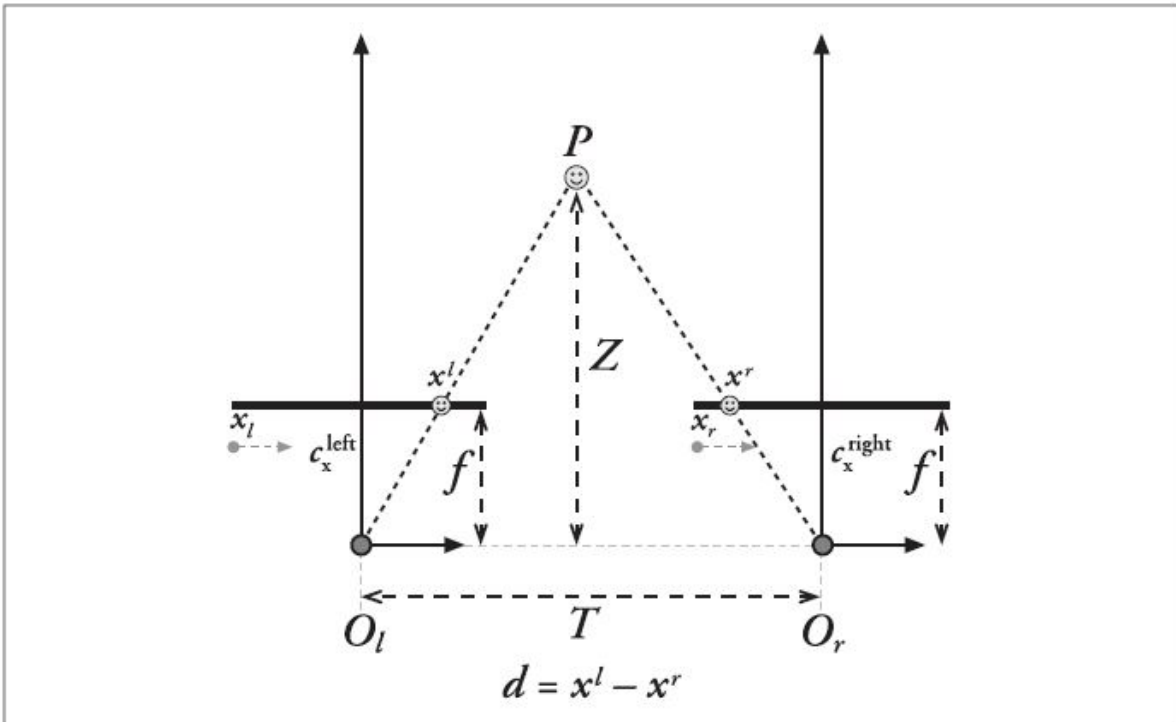


Figura 1.1: Funcionamiento dispositivos basados en triangulación

$$\frac{T - (x^l - x^r)}{Z - f} = \frac{T}{Z} \Rightarrow Z = \frac{fT}{x^l - x^r}$$

Figura 1.2: Relación entre la profundidad y la disparidad

1.4. Revisión del Estado del arte

El área de la RV en la que se ha desarrollado el presente proyecto está experimentando un importante crecimiento en los últimos años. Para poder aportar algo al área resulta imprescindible realizar un estudio del estado del arte para poder identificar las carencias que la RV presenta en la actualidad.

Tras realizar una búsqueda sobre la realidad virtual aplicada a la rehabilitación en Google Scholar, Pubmed e IEEEExplore se han identificado tres grandes tendencias en el ámbito de la RV que se exponen a continuación en una tabla.

Índice	Tendencia	Descripción
1	Impacto socioeconómico	Estudios centrados en la definición de los conceptos nuevos relacionados con la rehabilitación virtual, el estudio del impacto y la mejora en la calidad de vida en los pacientes y/o del impacto económico que puede suponer la implantación de estos sistemas con respecto a sistemas previos ya existentes. En esta tendencia también se incluyen los estudios que realizan revisiones del área para ver su estado de madurez y las tendencias que está siguiendo.
2	Rehabilitación psicológica	Estudios centrados en el desarrollo y estudio de sistemas que hacen uso de cualquier sistema de RV para tratamiento de personas con problemas psicológicos, tales como las fobias, el estrés post traumático o cualquier problema relacionado.
3	Rehabilitación motora	Estudios centrados en el desarrollo de sistemas y la medida de los resultados de la aplicación de RV a pacientes con deficiencias motoras debido a accidentes o enfermedad.

Tabla 1.1: Revisión del estado del arte, (Sanchis, 2013)

1.4.1. Impacto socioeconómico

Resulta de gran importancia poder medir el impacto que un área de investigación está teniendo en el entorno en el que se desarrolla, tanto a nivel social como a nivel económico. Es por ello que los estudios que evalúan el impacto socioeconómico resultan de gran interés.

Una de las principales publicaciones que encontramos en esta tendencia es un artículo que realiza un análisis DAFO (Rizzo & Kim, A SWOT Analysis of the Field of Virtual Reality Rehabilitation and Therapy, 2005) y hace un estudio global del sector, definiendo nuevos términos relacionados con la RV, sugiriendo distintos ámbitos de aplicación y evaluando el crecimiento y la importancia del área. Otras publicaciones que realizan un estudio socioeconómico del área se centran en el estudio de nuevos sistemas haciendo uso de dispositivos de bajo coste. El caso de (Rand, Kizony, & Weiss, 2008) (Sucar, Leder, Hernández, Sánchez, & Azcárate, 2010) consiguen mediante un sistema de 1.000\$ obtener resultados similares a los de un sistema de rehabilitación tradicional de 40.000\$.

Desde el estudio de Rizzo y Kim (2005) no se ha realizado ningún estudio tan completo del área y del impacto que puede suponer a nivel económico la implantación de los sistemas de RV en clínicas reales, por lo que es una carencia importante del área.

1.4.2. Rehabilitación psicológica

La realidad virtual ha encontrado una aplicación en la rehabilitación psicológica gracias a la capacidad emular un entorno real y poder controlar los estímulos generados y el grado de cada uno de ellos, de forma que permite a los terapeutas focalizarlos en los aspectos que consideren de mayor interés sin poner al paciente en situaciones potencialmente peligrosas (Castelnuovo, Gaggioli, Mantovani, & Riva, 2003). Otro de los puntos importantes es la posibilidad del tratamiento de fobias mediante terapia de exposición controlada, gracias a la capacidad de estos sistemas de controlar los estímulos generados y la intensidad de los mismos.

Uno de los principales problemas que supone el uso de este tipo de sistemas para el tratamiento de enfermedades psicológicas reside en la dificultad de medir la eficiencia de los progresos, no obstante existen estudios que han conseguido tratar el desorden por estrés post-traumático (PSTD) en soldados que han estado en guerras obteniendo resultados positivos y manteniendo dichas mejoras incluso tres meses después de haber recibido el tratamiento (Rizzo, y otros, 2010).

En este tipo de tratamientos se han incorporado recientemente sistemas que hacen uso de dispositivos low cost tales como el Kinect (Fivan) o la Wii (Wuang, Chiang, Su, & Wang, 2010).

1.4.3. Rehabilitación motora

Al igual que en la rehabilitación Psicológica la realidad virtual en los últimos años ha sido incorporada a los tratamientos de rehabilitación motora. Existe un gran número de estudios que evalúan la aplicación de la realidad virtual en los tratamientos de problemas motores por enfermedades neurológicas o por accidente cerebrovascular, lo que supone un gran número de pacientes y de afecciones distintas a tratar. Hoy en día existen estudios centrados en diferentes tipos de rehabilitación, tales como el equilibrio (Gil-Gómez, Lloréns, Alcañiz, & Colomer, 2011), la rehabilitación del miembro superior, el miembro inferior o la función motora global.

En la actualidad existen principalmente dos tipos de sistema que permiten realizar rehabilitación motora: los basados en sistemas robóticos como el TOyRA frente a los basados en dispositivos low-cost como Virtualrehab (Virtualrehab, 2013) (Gil-Agudo, y otros, 2011).

El presente proyecto se centra en esta última tendencia debido a algunas de las carencias que presenta. Uno de los principales problemas que nos encontramos en los sistemas que ya han sido desarrollados es la baja flexibilidad que presentan, ya que solamente permiten realizar ejercicios que han sido programados previamente. Para solucionar este problema el sistema que se detalla a continuación está pensado para que el terapeuta pueda añadir o eliminar ejercicios previamente grabados sin la necesidad de un programador y sin conocimientos informáticos, de la misma forma también permite importar/exportar ejercicios de/a otros centros y agruparlos en categorías gracias a que estos se almacenan en un fichero binario. Finalmente también se decidió centrar el proyecto en esta tendencia por los elevados costes de los sistemas existentes o la baja disponibilidad de éstos. El sistema desarrollado está pensado para que su coste sea bajo y se pueda distribuir de forma fácil, permitiendo realizar ejercicios personalizados desde el domicilio, gracias a la capacidad de crear ficheros de ejercicios personalizados y a que el coste del sistema sería lo suficientemente bajo como para que pudiera ser adquirido por los pacientes de rehabilitación.

Capítulo 2

Diseño

2.1. Planificación del proyecto

La fecha de inicio del proyecto es en el mes de Noviembre de 2011 tras inscribirse en el concurso de aplicaciones para Kinect realizado en la UPV. Durante los meses siguientes se realiza un análisis exhaustivo de los diferentes proyectos que se estaban realizando con Kinect en aquel momento para determinar el tema sobre el que iba a basarse el presente proyecto.

Tras un análisis de las diferentes tendencias se procede entre los meses de diciembre y marzo a probar las distintas herramientas y drivers disponibles para el desarrollo de una aplicación cualquiera. Durante el mes de enero se paralizó el desarrollo del proyecto por exámenes para en febrero retomar la labor con el estudio/repaso de los lenguajes de programación c, c++, c# y Java. Finalmente en el mes de Abril se decide que la temática en la que se va a basar el proyecto será la rehabilitación virtual por los motivos expuestos en el apartado 1.4 como conclusión de la revisión del estado del arte.

Puesto que en este momento el plazo para presentar el proyecto a concurso se extendía hasta el mes de junio se planifica realizar una primera versión de la aplicación con una funcionalidad básica: “Mediknect V1”. Posteriormente se prolongaría el plazo de entrega del proyecto para el concurso desde finales de Abril hasta la mitad de Septiembre del 2012, por lo que se realiza una nueva planificación para la realización de “Mediknect V2” y “Mediknect V3”, cambiando el paradigma de programación en la V2 y ampliando la funcionalidad en la V3, aumentando así las opciones de poder ser comercializado y el desarrollo de futuras versiones al pasar del paradigma imperativo o de procedimientos a un paradigma orientado a objetos, de esta forma un proyecto planificado para realizarse de Diciembre de 2011 a Junio de 2012, con una duración de 7 meses se ha convertido en un proyecto con una duración de 10 meses.

Finalmente se planificó redactar la presente memoria durante el segundo cuatrimestre del curso 2012/2013 ya que en el primer cuatrimestre la carga lectiva impedía poder dedicar el tiempo necesario para finalizar el proyecto.

En la figura 2.1 con la planificación del PFC con una clara separación a partir del momento en que se tiene conocimiento de la ampliación de plazos para la presentación en el concurso en el presente proyecto obtuvo el segundo premio. Para el desarrollo del diagrama se ha hecho uso de la herramienta gratuita GanttProject.

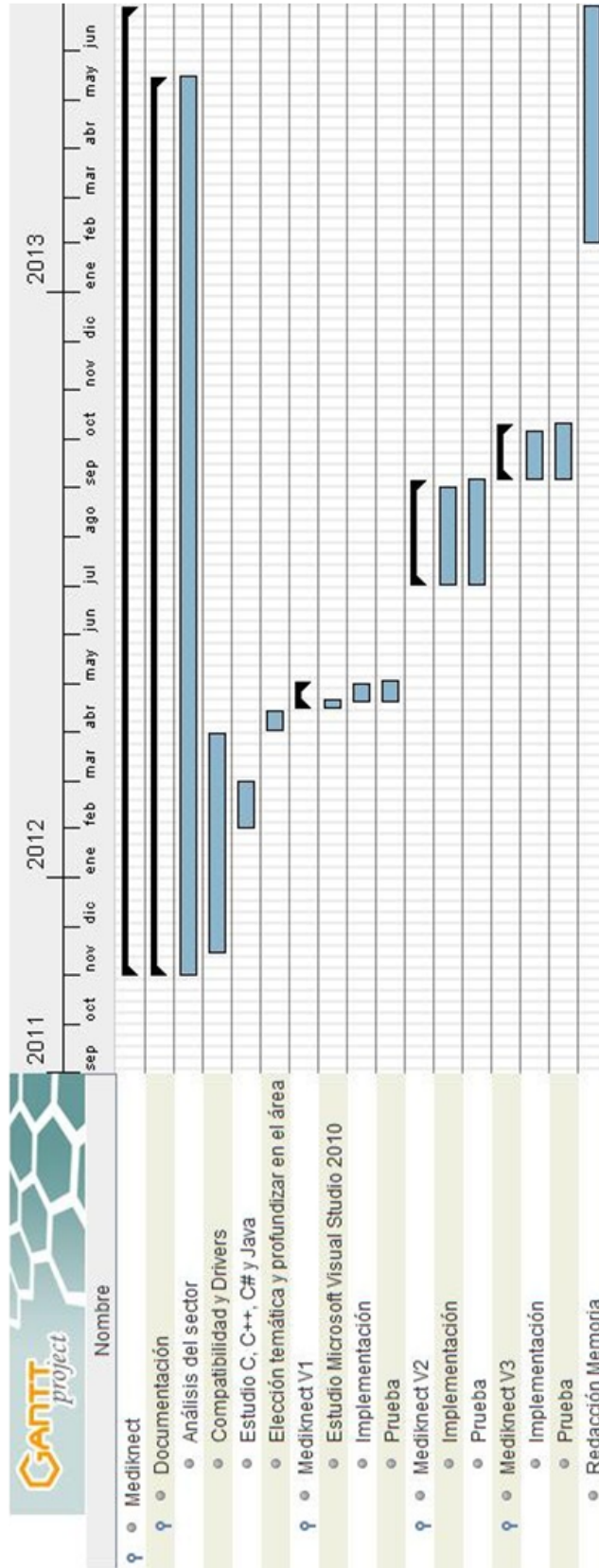


Figura 2.1: Planificación del proyecto con gantt project

2.2. Posibilidades de desarrollo

Para la realización del proyecto existen distintas opciones que permiten la implementación del mismo y cada una de dichas opciones presenta diferentes ventajas e inconvenientes respecto a las demás. En este apartado pretendemos realizar un estudio de las posibilidades de desarrollo anteriormente mencionadas que se estudiaron antes de realizar la elección definitiva y justificar dicha elección.

Las diferentes opciones de desarrollo que se estudiaron son Libfreenect, PointCloud y Kinect For Windows que se van a describir a continuación de forma independiente.

Libfreenect/Open Kinect:

En el año 2010 una empresa ofreció un premio económico para aquel que fuera capaz de desarrollar un controlador de código abierto para Kinect. Poco tiempo después el premio fue concedido al español Héctor Martín que desarrolló un controlador mediante el uso de ingeniería inversa, convirtiéndose en el primer controlador para PC.

Una de las principales características de este controlador es la posibilidad de tener acceso al código del mismo, lo que ofrece una gran flexibilidad, aunque esto también supone una barrera importante para desarrolladores poco experimentados por las dificultades que derivan del gran abanico de posibilidades a elegir y la falta o la dispersión de la información útil sobre la instalación y las herramientas a utilizar. Por otro lado aunque en principio el controlador estaba disponible solamente para GNU/Linux las futuras versiones ampliaron las posibilidades a MAC y Windows, aunque en este último presentaba bastantes problemas.

Cuando se realizó el estudio de este controlador a finales del 2011 ofrecía la posibilidad de controlar la cámara RGB y el sensor de profundidad del Kinect, sin tener acceso al motor ni a los micrófonos, lo que suponía una limitación importante que ya ha sido superada en las versiones actuales. Otro de los inconvenientes que presenta es que al no ser el controlador del fabricante no es capaz de obtener toda la potencia del hardware del dispositivo, por lo que la precisión es menor.

Ventajas	Inconvenientes
<ul style="list-style-type: none">-Primer controlador para PC.-Código abierto.-Flexibilidad y posibilidad de modificación.-Multiplataforma.	<ul style="list-style-type: none">-Gran dificultad inicial.-Incompatibilidad parcial con Windows.-Desaprovechamiento de potencial.

Tabla 2.1: Tabla resumen características Libfreenect

PointCloud:

La librería PCL(Point Cloud Library) es un proyecto abierto, independiente y a gran escala para imágenes 2D/3D y procesamiento de nubes de puntos. Esta librería resultaba de gran interés ya que las imágenes que obtenemos mediante Kinect son imágenes RGB (2D) y una nube de puntos a través de la cámara de infrarrojos. Con las librerías y la tecnología de PCL disponemos de una gran cantidad de herramientas para trabajar con los datos que nos proporciona el Kinect.

Al igual que la opción anterior se trata de una herramienta libre multiplataforma, pero en este caso no se encontraron incompatibilidades con Windows desde su instalación. También encontramos gran facilidad en la instalación, estando a disposición en la página del proyecto un instalador muy intuitivo (PCL, 2013). Resulta también de interés que PCL está disponible bajo una licencia BSD, lo que hace que sea completamente libre para el uso comercial y la investigación. Para la captura de puntos del Kinect,

la generación de esqueletos y algunas otras funciones relacionadas con el sensor la librería PCL hace uso de OpenNI.

Una de las características que hizo esta opción más interesante que la anterior era el hecho de que siendo libre nos proporcionaba mayores facilidades para la instalación, no obstante seguía presentando inconvenientes para desarrolladores principiantes, al no aparecer guías sencillas sobre las librerías o sobre las herramientas de desarrollo más adecuadas para el desarrollo de aplicaciones. Otro de los inconvenientes es que al ser una proyecto para el tratamiento de nubes de puntos en general es necesario conocer las estructuras que maneja el programa de forma interna y hay una gran cantidad de funciones que no son de interés para el desarrollo de una aplicación como la que compete a este proyecto, dificultando así encontrar las funciones de interés.

Ventajas	Inconvenientes
<ul style="list-style-type: none"> -Proyecto abierto. -Multiplataforma. -Gran cantidad de librerías y funciones. -Mayor flexibilidad al ser abierto. -Fácil instalación. 	<ul style="list-style-type: none"> -Ausencia de guías para principiantes. -Necesidad de conocer las estructuras que maneja internamente. -Gran cantidad de información que no es de interés.

Tabla 2.2: Tabla resumen características PointCloud.

Kinect For Windows:

En Febrero del año 2011 Microsoft anuncia que lanzará un SDK (Software Development Kit) para el dispositivo Kinect para el sistema operativo de Windows a partir de su versión Windows 7.

La primera versión del SDK incluía los Drivers necesarios para conectar Kinect con un PC (Windows 7) y las herramientas para desarrollar aplicaciones para Kinect en C#, C++ o Visual Basic en Microsoft Visual Studio 2010. Además de los drivers incluía funciones avanzadas cómo son el Tracking de esqueletos o el reconocimiento de voz, herramientas que no han estado disponibles en ninguna otra herramienta o si lo están todavía funcionan de forma poco óptima. Más tarde aparecería la versión Kinect For Windows 1.5, que incorporaba diferentes mejoras, entre ellas el “Kinect Studio” que permite grabar, reproducir y depurar interacciones de los usuarios con las aplicaciones; soporte para tracking de personas sentadas y una gran cantidad de nuevos idiomas en el reconocimiento de voz, entre ellos el español.

Las ventajas de esta opción incluyen la disponibilidad de toda la documentación de Microsoft, de sus librerías y sus DLL, así como el funcionamiento de forma nativa en Windows, el sistema operativo más utilizado en los PC en la actualidad. También es de gran importancia los videos-guía para principiantes, dónde se explican las funciones básicas que proporciona el SDK y se desarrollan ejemplos simples, lo que permite familiarizarse con este tipo de aplicaciones de una forma mucho más suave que las opciones anteriores.

Las principales desventajas que presenta esta opción es que las aplicaciones desarrolladas solamente funcionarán en Windows 7 o superior y que en principio no se pueden realizar para uso comercial.

Ventajas	Inconvenientes
<ul style="list-style-type: none"> -SDK específico. -Skeletal Tracking y reconocimiento de voz. -Integración con el entorno de desarrollo. 	<ul style="list-style-type: none"> -Solamente funciona en Windows. -Incompatibilidad hacia atrás con Windows XP. -Necesidad de licencia de distribución.

Tabla 2.3: Tabla resumen características Kinect For Windows.

De las tres opciones anteriormente descritas se optó por la elección de Kinect For Windows por las ventajas anteriormente mencionadas, especialmente por la capacidad de Tracking de las articulaciones, lo que era de especial interés para el proyecto que se deseaba desarrollar y por la fácil integración con las herramientas de desarrollo que se describen en apartados siguientes.

2.3. Ciclo de Desarrollo

Para el desarrollo del presente proyecto se ha realizado parte de un ciclo de vida evolutivo utilizando el paradigma de orientación a objetos. El tipo de ciclo de vida utilizado es el de proceso unificado que está compuesto por cuatro fases (inception, elaboration, construction y transition) con unos objetivos de desarrollo claros para cada una de ellas y a su vez cada fase se realiza en uno o varios ciclos de desarrollo, añadiendo en cada ciclo funcionalidades nuevas al ciclo anterior; estos ciclos pueden contener las actividades de la ingeniería software (captura de requisitos, análisis, diseño, implementación y prueba) y para el desarrollo de cada una de estas partes se hace uso del lenguaje unificado UML.

En la Figura 2.2 se muestra la dedicación o énfasis que requiere cada una de las fases del desarrollo en sus distintos ciclos durante el ciclo de vida de un proyecto de ingeniería software.

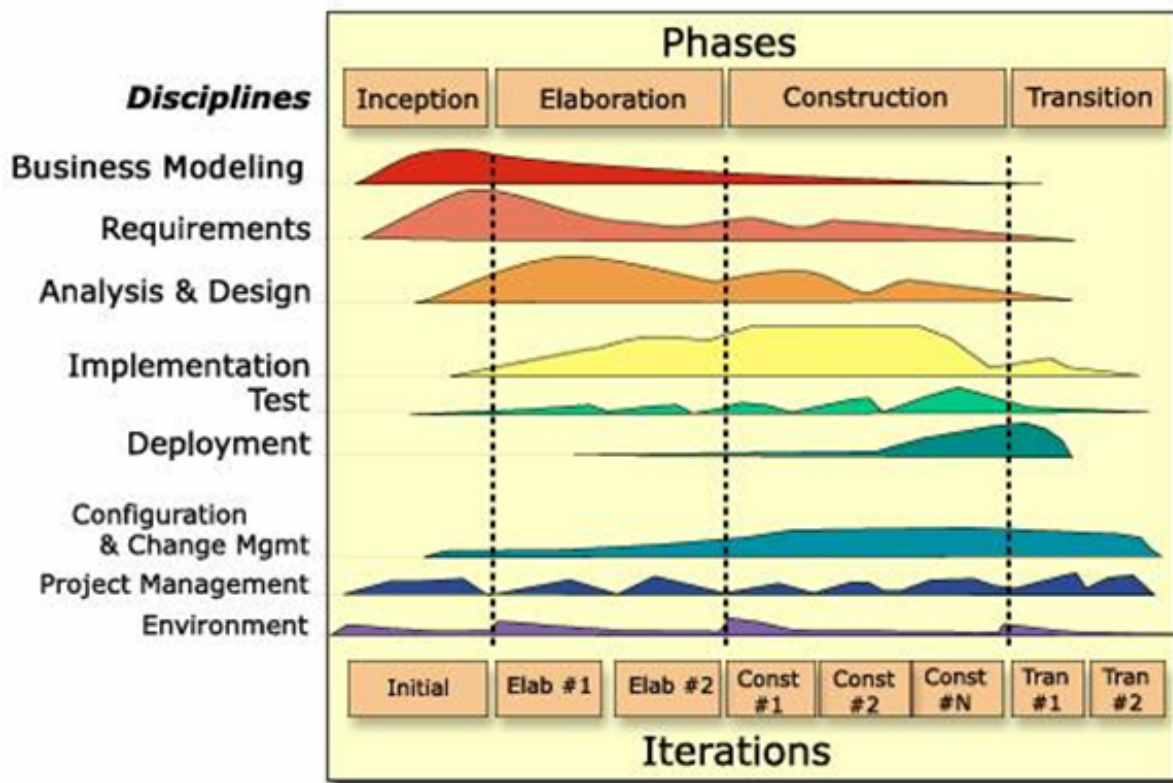


Figura 2.2: Estructura Proceso Unificado. Fuente: <http://www.digiplex.com.ar/>

En el presente documento se va a desarrollar de forma breve la fase *inception* y se va a poner especial énfasis en la fase *elaboration* y dentro de ésta en la captura de requisitos y en el desarrollo de los casos de uso.

2.3.1. Fase Inception

La fase *inception* es la primera del ciclo de vida y su objetivo es obtener un modelo de casos de uso que sirve como guía para el desarrollo de las siguientes fases. Las principales tareas a realizar en esta fase es describir los requisitos que se le exigen al sistema e identificar los actores y los casos de uso necesarios para cumplir dichos requisitos.

Definición de requisitos:

La aplicación desarrollada es un sistema de rehabilitación que permitirá gestionar de forma personalizada los ejercicios asignados a cada paciente y estará diseñada de forma que en futuras versiones permita la rehabilitación desde el hogar monitorizada de forma remota o telerehabilitación. Los requisitos funcionales son los siguientes:

- Los pacientes podrán acceder a su lista de ejercicios personalizados y podrán observar y realizar los ejercicios asignados para ellos con el número de repeticiones que elijan.
- Los terapeutas podrán acceder a la lista de ejercicios de cada paciente y podrán añadir o eliminar ejercicios de la lista.
- Los ejercicios nuevos podrán personalizarse, indicando las articulaciones implicadas, el número de pasos de los que consta una repetición y el tiempo máximo en cada repetición.
- Durante el desarrollo del ejercicio el paciente debe poder observar su imagen en la pantalla y la imagen del terapeuta para observar el movimiento que tiene que realizar a continuación.
- Al iniciar el sistema es necesario que se realice una calibración del sensor para adecuarse a la altura del paciente o del terapeuta.
- Durante todo el tiempo de uso de la aplicación el paciente deberá poder controlar la aplicación con gestos, sin necesidad de un ratón o similar, el terapeuta podrá hacer uso del ratón para configurar los ejercicios nuevos.

Además de estos el sistema tiene los siguientes requisitos no funcionales:

- El sistema será accesible mediante un ordenador con Kinect conectado.
- El sistema se ejecuta de forma local.
- El sistema requiere de un espacio libre de obstáculos de aproximadamente 2x2 m2.

Modelo de casos de uso:

En la Figura 2.3 aparecen los actores y los casos de uso identificados a partir de los requisitos especificados anteriormente.

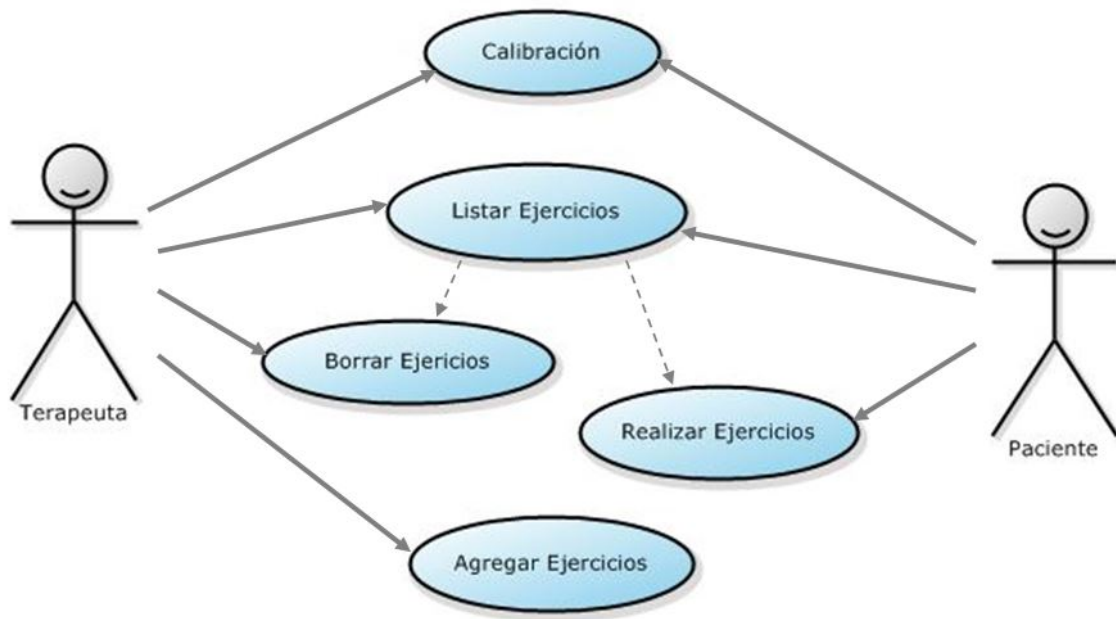


Figura 2.3: Diagrama resultante de la captura de requisitos

Especificación de los casos de uso:

A continuación se especifican los casos de uso identificados de forma resumida.

Caso de uso:	Calibración.
Actores:	Terapeuta, Paciente.
Propósito:	Calibrar la elevación del sensor Kinect a la altura de la persona que va a utilizar la aplicación para un funcionamiento óptimo.
Descripción:	La aplicación muestra una aviso para que el usuario se sitúe delante del sensor, una vez detectada la altura comienza la calibración de forma automática y se muestra un aviso para que el usuario espere.

Caso de uso:	Listar ejercicios.
Actores:	Terapeuta, Paciente.
Propósito:	Mostrar una ventana dónde tanto el terapeuta como el paciente puedan observar los ejercicios disponibles.
Descripción:	La aplicación muestra una pantalla con cuatro ejercicios como máximo y unos botones de desplazamiento para observar los ejercicios siguientes o anteriores. Cada ejercicio se compone de un nombre y una imagen del ejercicio.

Caso de uso:	Agregar Ejercicios.
Actores:	Terapeuta.
Propósito:	Agregar ejercicios personalizados para cada paciente.
Descripción:	Permite al terapeuta agregar ejercicios personalizados pudiendo seleccionar las articulaciones implicadas en el ejercicio, el número de pasos de los que se va a componer el ejercicio y el tiempo máximo permitido para realizar cada repetición.

Caso de uso:	Borrar Ejercicios.
Actores:	Terapeuta.
Propósito:	Permitir al terapeuta gestionar las listas de ejercicios personalizadas para cada paciente pudiendo borrar los ejercicios que desee.
Descripción:	Una vez el terapeuta ha listado los ejercicios puede seleccionar aquellos que desea eliminar y se borrarán temporalmente. Una vez ha terminado de seleccionar los ejercicios a borrar puede confirmar los cambios o descartarlos.

Caso de uso:	Realizar Ejercicios.
Actores:	Paciente.
Propósito:	Permite al paciente realizar los ejercicios disponibles en su lista personalizada de ejercicios.
Descripción:	Una vez el paciente ha listado los ejercicios puede seleccionar el número de repeticiones que desea realizar del ejercicio a seleccionar y a continuación seleccionar dicho ejercicio. En este momento se muestra una pantalla en la que aparece el número de pasos de los que se compone el ejercicio, el tiempo disponible para realizar cada repetición y una imagen del siguiente paso a realizar.

2.3.2. Fase Elaboration

El objetivo de esta fase es conseguir una arquitectura ejecutable del sistema, que estará compuesta por un conjunto de clases que implementan la funcionalidad básica del mismo. La arquitectura se definirá mediante un subconjunto de los casos de uso que, con una funcionalidad mínima, permitan al sistema ser desarrollado y probado.

Puesto que en la fase anterior (inception) solamente se identificaron cinco casos de uso en esta fase se van a desarrollar todos los casos de uso anteriormente identificados. Aunque es bastante común desarrollar esta fase (elaboration) en varios ciclos nosotros vamos a desarrollarla en un único ciclo que nos dará la visión necesaria para desarrollar la aplicación.

En cuanto al diagrama de clases que aparecerá al final de este apartado será un diagrama de clases simplificado que no mostrará todas las clases de las que finalmente se compuso el sistema final, pero que son una buena muestra del funcionamiento del sistema, por lo que no se va a detallar en este punto la implementación de los casos de uso detallados a continuación, ya que en la fase “construction” que no se escribió en el desarrollo del proyecto sufrieron modificaciones respecto a lo especificado en esta fase anterior.

Casos de uso del ciclo:

Como se ha detallado en la introducción a este apartado en este ciclo vamos a detallar todos los casos de uso que fueron identificados en la fase anterior, además de un nuevo actor (Desarrollador) que tendrá acceso a todos los casos de uso existentes.

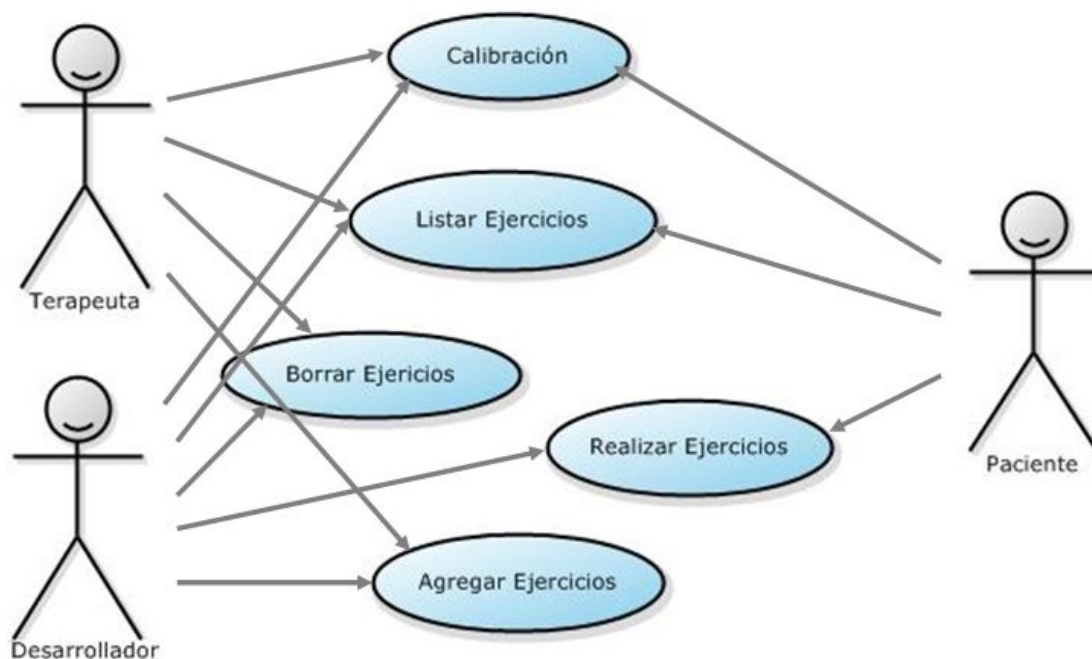


Figura 2.4: Diagrama de casos de uso tras la fase Elaboration

Especificación expandida de los casos de uso:

Caso de uso:	Calibración.
Actores:	Desarrollador, Terapeuta, Paciente.
Propósito:	Calibrar la elevación del sensor Kinect a la altura de la persona que va a utilizar la aplicación para un funcionamiento óptimo.
Precondiciones:	Tener conectado el sensor Kinect y la aplicación iniciada.
Secuencia de eventos típica: 1-Ejecuta la aplicación Mediknect. 3-Pulsa el botón “iniciar” y se sitúa delante del sensor.	2-Presenta una pantalla de inicio con un botón con el texto “iniciar”. 4-El sensor muestra un aviso de que se está calibrando y empieza a regular la elevación de la cámara respecto a la altura del usuario en un proceso iterativo.
Secuencias alternativas -Si, en 4 el usuario no está delante del sensor muestra un aviso para que se sitúe delante de él y no inicia la calibración hasta que detecta al usuario.	
Postcondiciones	Se ha calibrado la elevación del sensor a la altura del usuario para un correcto funcionamiento de la aplicación.

Tabla 2.4: Especificación expandida caso de uso Calibración

Caso de uso:	Listar ejercicios.
Actores:	Desarrollador, Terapeuta, Paciente.
Propósito:	Mostrar una ventana dónde tanto el terapeuta como el paciente puedan observar los ejercicios disponibles.
Precondiciones:	Haber calibrado correctamente el sensor.
Secuencia de eventos típica: 1-Selecciona una de las opciones que aparecen en pantalla (Realizar Ejercicio, Borrar Ejercicio). 3-Pulsa la tecla de desplazamiento	2-Presenta una pantalla con los cuatro primeros ejercicios disponibles, en caso de haya más de 4 se activan unas flechas de desplazamiento. 4-Muestra los siguientes cuatro ejercicios disponibles.
Secuencias alternativas -Si, en 2 no hay ningún ejercicio disponible se muestran como vacios y se muestra la opción de volver.	
Postcondiciones	Se presentan los ejercicios disponibles listados de forma que se pueden seleccionar para otros casos de uso.

Tabla 2.5: Especificación expandida caso de uso Listar Ejercicios

Caso de uso:	Agregar Ejercicios.
Actores:	Desarrollador, Terapeuta.
Propósito:	Agregar ejercicios personalizados para cada paciente.
Precondiciones:	Haber calibrado correctamente el sensor.
<p>Secuencia de eventos típica:</p> <p>1-Selecciona la opción “Agregar Ejercicios”</p> <p>2-Presenta un formulario para añadir un nombre, la duración en segundos, el número de pasos y una imagen al ejercicio junto con el botón siguiente.</p> <p>3-Rellena los campos del formulario y pulsa en siguiente.</p> <p>4-Se muestra un segundo formulario con casillas de activación para seleccionar las articulaciones que van a participar en el ejercicio y un botón de continuar.</p> <p>5-Selecciona las articulaciones y pulsa continuar.</p> <p>6-El sistema muestra un aviso de que va a comenzar la grabación del ejercicio en 5 segundos y que va a capturar cada paso cada 5 segundos.</p> <p>7-El actor realiza los pasos que componen el ejercicio cada vez que el sistema se lo pide.</p> <p>8-El sistema muestra la opción de guardar el ejercicio o de descartar.</p> <p>9-Selecciona la opción de guardar.</p> <p>10-El sistema hace permanentes los cambios y guarda el nuevo ejercicio en un fichero.</p>	
<p>Secuencias alternativas</p> <p>-Si, en cualquier paso el actor se equivoca puede pulsar la opción “Volver” y termina el caso de uso.</p> <p>-Si en 10 el actor selecciona la opción de descartar se deshacen los cambios y se vuelve al menú principal.</p>	
Postcondiciones	Se ha agregado un nuevo ejercicio a la lista de ejercicios del fichero seleccionado.

Tabla 2.6: Especificación expandida caso de uso Agregar Ejercicios

Caso de uso:	Borrar Ejercicios.
Actores:	Desarrollador, Terapeuta.
Propósito:	Permitir al terapeuta gestionar las listas de ejercicios personalizadas para cada paciente pudiendo borrar los ejercicios que desee.
Precondiciones:	Haber completado el caso de uso "Listar Ejercicios" correctamente habiendo seleccionado la opción de "Borrar ejercicios" del menú principal.
Secuencia de eventos típica: 1-Selecciona los ejercicios que desea eliminar de la lista de ejercicios. 3-Selecciona la opción de "Guardar".	2-Elimina de la pantalla los ejercicios seleccionados y activa las opciones de "Guardar" y "Descartar". 4-Hace permanentes los cambios eliminando los ejercicios seleccionados con anterioridad del fichero.
Secuencias alternativas -Si en 3 el usuario selecciona la opción de descartar vuelve al menú principal sin guardar los cambios en el fichero de los ejercicios borrados.	
Postcondiciones	Se han eliminado los ejercicios que el actor ha seleccionado del fichero de ejercicios abierto.

Tabla 2.7: Especificación expandida caso de uso Borrar Ejercicios

Caso de uso:	Realizar Ejercicios.
Actores:	Desarrollador, Paciente.
Propósito:	Permite al paciente realizar los ejercicios disponibles en su lista personalizada de ejercicios.
Precondiciones:	Haber completado el caso de uso "Listar Ejercicios" correctamente.
<p>Secuencia de eventos típica:</p> <p>1-Selecciona el número de repeticiones que desea hacer del ejercicio y selecciona el ejercicio a realizar.</p> <p><i>Para cada repetición:</i></p> <p>3-Realiza los movimientos que se muestran en la imagen del terapeuta.</p> <p><i>Fin para cada repetición</i></p>	<p>2-Muestra una pantalla de ejercicio con una imagen del terapeuta indicando el siguiente movimiento a realizar, un indicador del paso por el que se va, un temporizador y el número de repeticiones restantes.</p> <p>4-Al concluir los movimientos vuelve al paso 1 del ejercicio y decrementa en 1 el número de repeticiones restantes.</p> <p>5-Al realizar todas las repeticiones se termina el ejercicio y se vuelve al punto 1.</p>
Secuencias alternativas	-Si, en 4 el usuario no completa todos los movimientos en el tiempo indicado se ponen los pasos a 0 y no se incrementan el número de repeticiones realizadas.
Postcondiciones	El usuario ha realizado un ejercicio y se le muestra la lista para poder realizar otros ejercicios.

Tabla 2.8: Especificación expandida caso de uso Realizar Ejercicios

Modelo estructurado de los casos de uso:

A partir de la especificación expandida de los casos de uso se deducen las asociaciones que se muestran en el diagrama de la Figura 2.5.

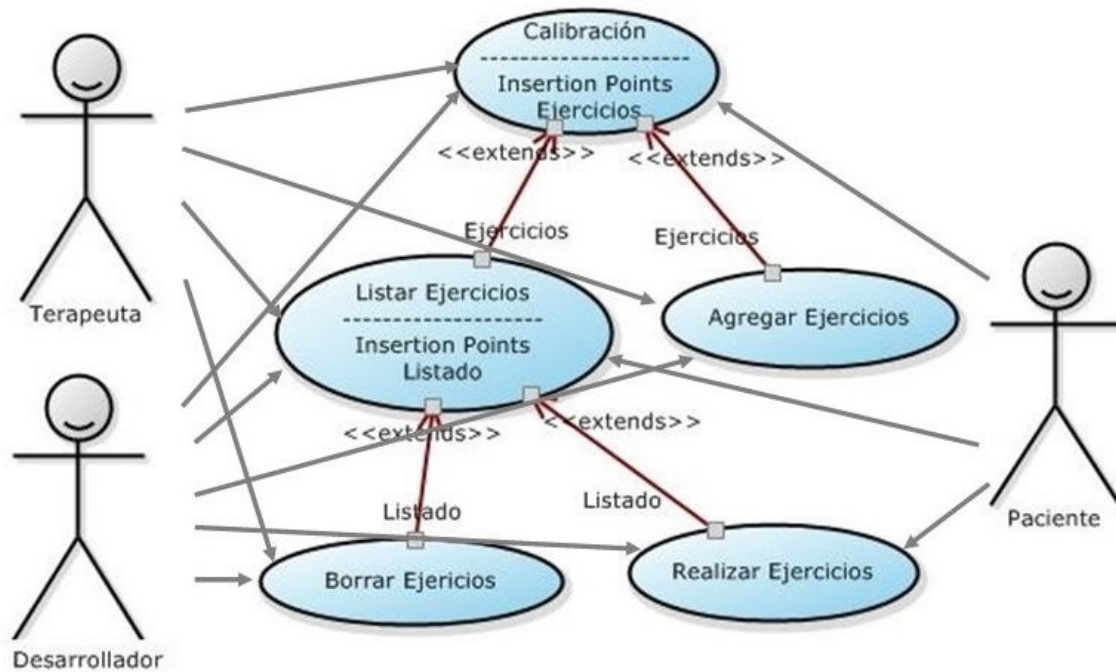


Figura 2.5: Diagrama Estructurado de los casos de uso

Análisis

El análisis orientado a objetos tiene como objetivo identificar la estructura lógica del sistema y las clases que componen al proyecto, junto con sus atributos y las relaciones entre dichas clases.

A continuación se muestra el modelo de clases obtenido tras realizar el análisis en la fase “elaboration”.

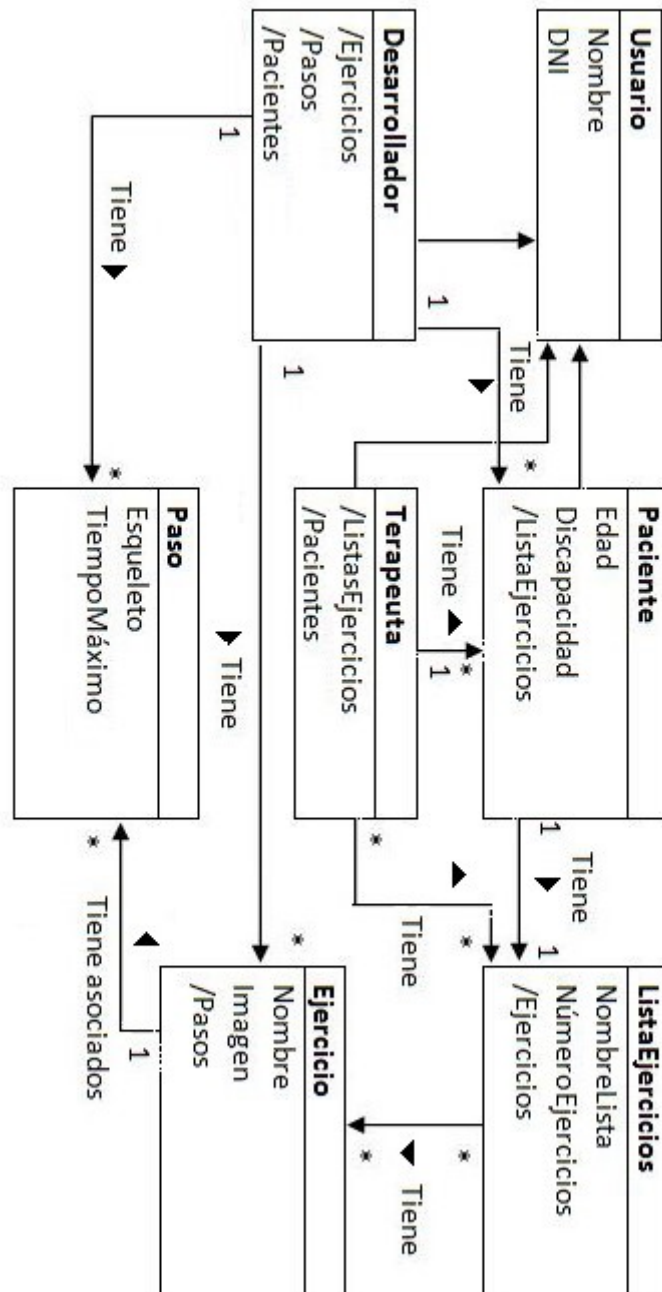


Figura 2.6: Clases del Análisis

2.4. Herramientas utilizadas

A continuación se van a describir las herramientas con las que se decidió realizar el desarrollo del proyecto y las funciones utilizadas en cada una de ellas.

2.4.1. Microsoft Visual Studio

Para el desarrollo del proyecto se ha hecho uso del entorno de programación integrado Microsoft Visual Studio 2010. La licencia del programa que se ha usado es la que ofrece Microsoft a los usuarios de la Universidad Politécnica de Valencia para desarrollar proyectos con fines académicos.

Este entorno de programación nos ofrece la posibilidad de crear aplicaciones para distintas plataformas y la posibilidad de diseñar el interfaz de la aplicación y el código interno a cada página de forma simultánea y muy simple.

Interfaz de diseño:

La interfaz de diseño es aquella que nos permite editar mediante un cómodo interfaz las características visuales de nuestra aplicación y las ventanas que observarán los usuarios durante el uso de la misma. Podemos encontrar un ejemplo de dicha interfaz en la Figura 2.7.

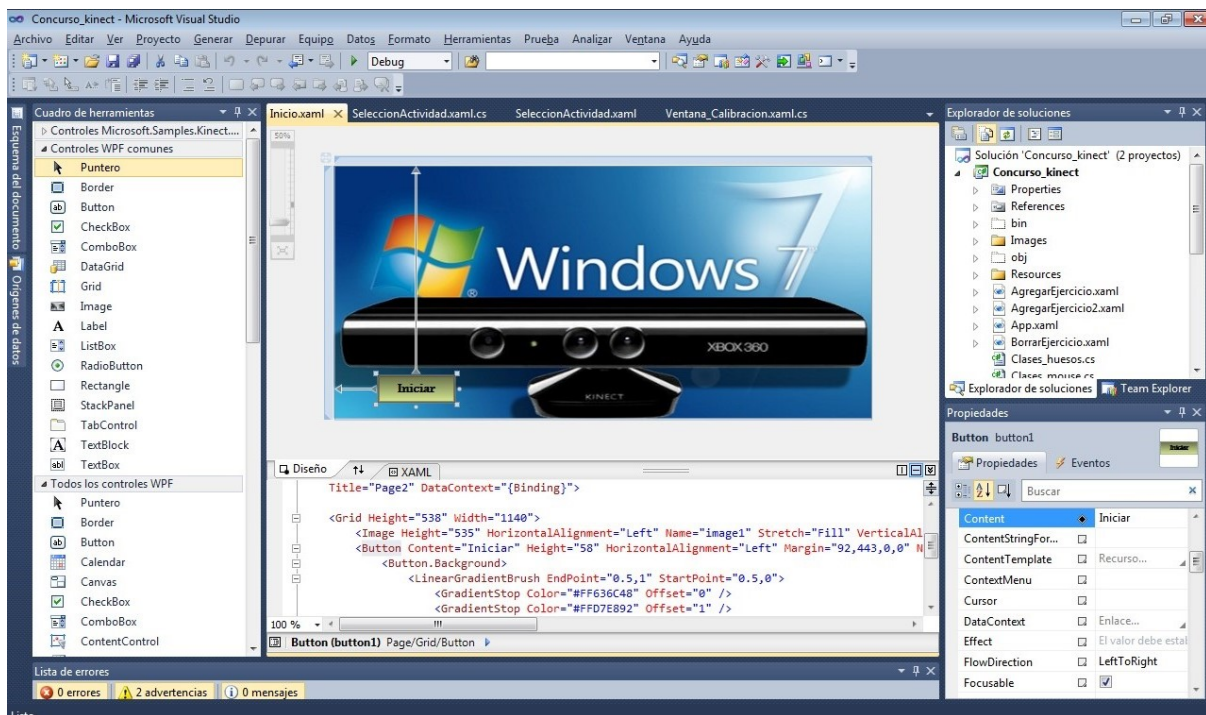


Figura 2.7: Interfaz de diseño Microsoft Visual Studio 2010

En la interfaz de diseño básica podemos observar distintos elementos:

En primer lugar observamos en la parte central el cuadro de diseño de la aplicación, donde podemos insertar y modificar los distintos elementos, en la parte central inferior observamos el código en XAML generado por los elementos que aparecen en el cuadro de diseño, esto nos permite una gran flexibilidad a la hora de modificar dichos elementos y sus características.

En la parte izquierda podemos observar el cuadro de herramientas. En este caso como se ha diseñado una aplicación WPF aparecen los controles para dicho tipo de aplicación, pero es posible insertar controles

de otro tipo de aplicaciones. Para insertar un nuevo elemento simplemente hay que arrastrarlo desde la lista de controles hasta el cuadro de diseño.

En la parte derecha superior encontramos el explorador de soluciones. Éste es un elemento común a la interfaz de diseño y a la interfaz de programación. En este elemento encontramos los diferentes elementos que componen la solución o proyecto que estamos realizando.

Finalmente en la parte inferior derecha aparecen las propiedades del elemento seleccionado. Dichas propiedades pueden ser editadas tanto en la parte del código XAML como en este cuadro, aunque para algunas funcionalidades como las acciones a realizar tras un evento sobre el elemento seleccionado resultan mucho más sencillas de editar aquí.

Hay que destacar que la configuración que se ha descrito es de las más comunes, no obstante debido a la gran flexibilidad que presenta el entorno de programación todos los elementos que aparecen en la interfaz son configurables, pudiendo mostrar nuevos elementos, ocultar los ya existentes o cambiarlos de posición.

Interfaz de programación:

La interfaz de programación es la que nos permite implementar el comportamiento de la aplicación en función de la entrada/salida de la misma. Estos estímulos pueden proceder de la interfaz de aplicación explicada previamente o de otras fuentes tales como el sensor Kinect. Podemos encontrar un ejemplo de dicha interfaz en la Figura 2.8.

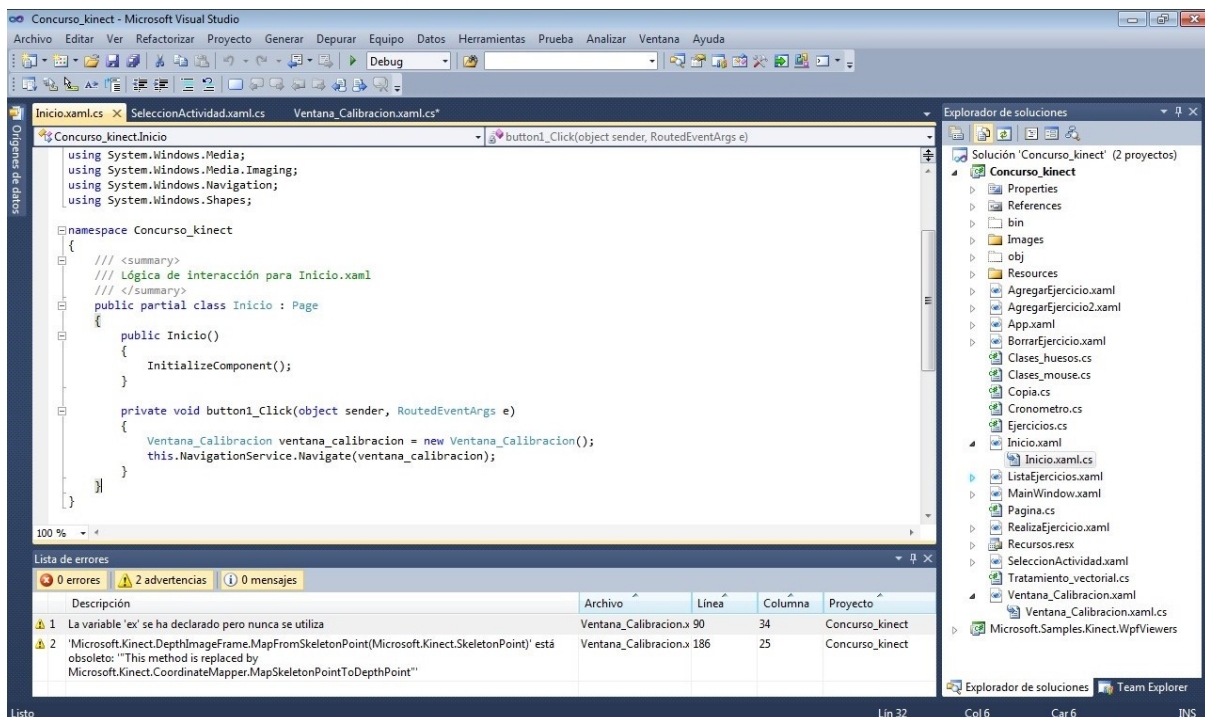


Figura 2.8: Interfaz de programación Microsoft Visual Studio 2010

En la interfaz de programación identificamos los siguientes elementos:

En la parte central superior observamos la ventana principal de edición, en esta ventana es donde se implementan las distintas partes del código. Arriba de este elemento encontramos en una franja de color azul oscuro unas pestañas que nos permiten navegar entre los distintos ficheros de código que tenemos abiertos, al seleccionar uno de estos ficheros el código del mismo aparecerá en la ventana principal de

edición.

En la parte central inferior observamos una ventana de errores que nos advierte de los errores y las recomendaciones que se han identificado durante el proceso de compilación.

Finalmente en la parte derecha encontramos, al igual que en la interfaz de diseño, el explorador de soluciones, que nos permite observar todos los ficheros de los que se compone el proyecto. En este elemento es dónde debemos añadir todas aquellas librerías que van a ser usadas en la implementación del programa dentro de la carpeta “references”. En nuestro caso las principales librerías a añadir han sido “Microsoft.Kinect” y “Coding4Fun.Kinect.Wpf”.

Lenguaje de programación:

El lenguaje de programación utilizado para la implementación del programa ha sido el C Sharp o también llamado C#, aunque el entorno de programación también permitía la implementación en C++ y Visual Basic.

La elección este lenguaje ha sido motivada por la facilidad del mismo y la similitud en cuanto a la sintaxis con C/C++ y a Java en cuanto a la gestión de objetos (dos lenguajes ya conocidos) así como la cantidad de documentación y manuales que hacían uso de dicho lenguaje.

El lenguaje C# forma parte de la plataforma .NET de Microsoft, y está pensado para crear programas sobre dicha plataforma.

2.4.2. Dispositivo Kinect

A continuación se van a describir con mayor profundidad que en la introducción algunas de las características del Kinect. En los objetivos de este punto se pretenden nombrar los elementos que componen el dispositivo, explicar algunas de sus limitaciones y describir las recomendaciones de uso que hace el fabricante.

El sensor Kinect se compone de los siguientes elementos:

- *Emisor de IR* que mediante un diodo laser emite un patrón de puntos sobre los elementos que se encuentran frente al sensor. *El sensor de profundidad de IR* captura el patrón reflejado y lo envía a un chip en el interior del dispositivo que es encargado de comparar el patrón reflejado con un patrón original. Como resultado de esta comparación se genera la información de profundidad.
- *Sensor de color*: Se trata de una cámara RGB con una resolución de 640x480px a 30 fps.
- *Motor de inclinación* que permite al Kinect una inclinación de 27° tanto positivos como negativos respecto a la horizontal.
- *Array de micrófonos*: Se trata de un conjunto de cuatro micrófonos que permiten al sensor la captura de audio y la localización de las fuentes emisoras de sonido mediante la correlación del audio captado por los distintos micrófonos. El audio generado es de 16bit a 16Khz.

Las principales limitaciones técnicas que presenta el sensor son las siguientes:

- Campo de visión horizontal de 57°.
- Campo de visión vertical de 43°.
- Baja resolución en la imagen de profundidad. La detección de elementos pequeños empeora con el aumento de la distancia.
- Rango de +- 27° de inclinación vertical.
- Respecto a la sensibilidad con la profundidad existen dos modos de funcionamiento:
 - En el modo normal el rango de distancias para el funcionamiento óptimo del sensor varía desde 0.8m hasta los 4m, y de 4-8m su funcionamiento se degrada. Más allá de los 8m y más cerca de 0.4m los datos ya no tienen ninguna validez.
 - En el modo de funcionamiento “near” o cercano la distancia de funcionamiento óptimo se reduce hasta los 0,4m, teniendo un rango óptimo de los 0.4-3m, siendo poco fiables los datos desde 3-8m y sin ninguna validez de 0-0.4m y a partir de los 8m.

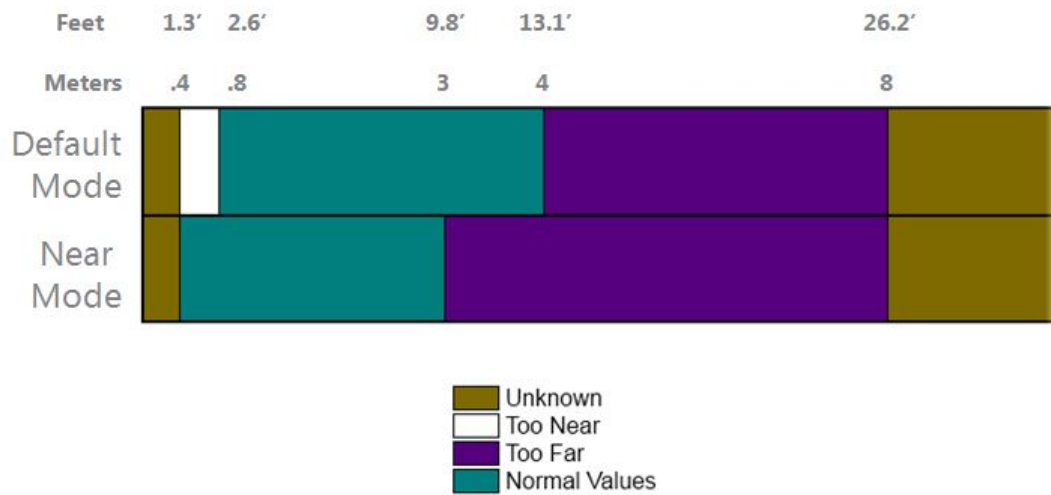


Figura 2.9: Precisión con la distancia del sensor Kinect

Como se puede extraer de los datos anteriormente expuestos las necesidades de espacio pueden suponer una limitación importante en hogares pequeños.

- Capacidad de seguimiento simultáneo de 2 personas activas, siendo capaz de seguir hasta 20 articulaciones por persona activa.

Capítulo 3

Implementación

En el presente punto de la memoria se va a describir la solución concreta implementada por el alumno, la cual cubre las funcionalidades deseadas descritas en el punto de planificación del proyecto y ofrece alguna funcionalidad adicional.

La primera versión del proyecto se implementó haciendo uso del paradigma de programación tradicional, es decir, una función principal que realiza llamadas a otras funciones. La funcionalidad de esta primera versión ya era completa, no obstante al haber usado el paradigma tradicional el programa resultante tenía una complejidad muy elevada y las funciones estaban muy acopladas entre si, por lo que para realizar una pequeña modificación o mejora en el código era necesario modificar todo el programa. Otra de las desventajas que encontramos en esta aplicación era la baja reutilización del código al estar muy acoplado como hemos descrito anteriormente. Por estos motivos en el presente apartado únicamente vamos a describir en profundidad la segunda versión que tiene los mismos principios de funcionamiento que la primera versión y hace uso del paradigma de orientación a objetos, lo que le otorga las propiedades de bajo acoplamiento entre funciones y alta reutilización del código, así como una mayor facilidad de lectura del código para terceros.

3.1. Descripción diagramas de bloques

A continuación se muestran varios diagramas de bloques que representan el funcionamiento del programa. En el primer diagrama de bloques tenemos una vista general de las diferentes fases que puede pasar una ejecución normal del programa y en los siguientes diagramas se explicará de forma más detallada el funcionamiento de cada bloque.

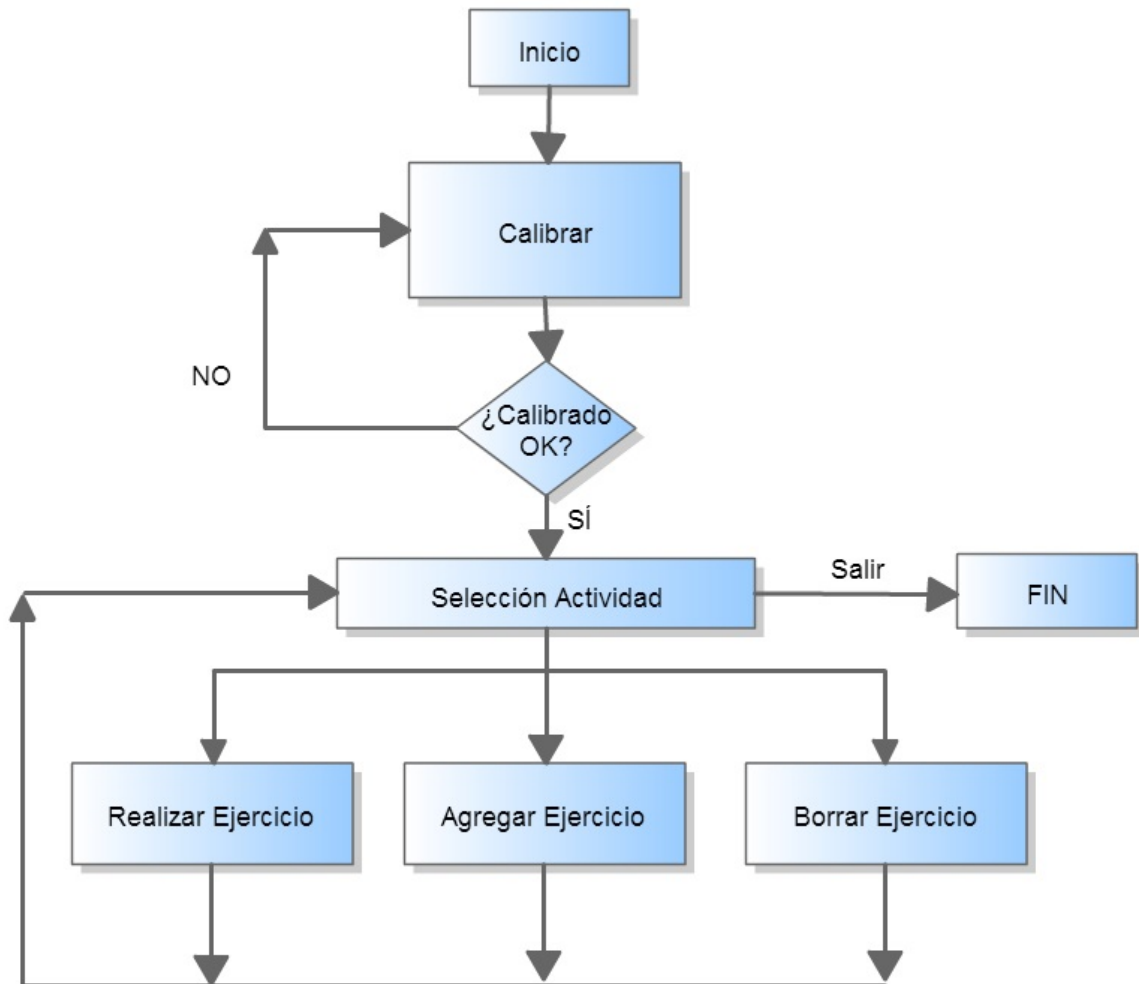


Figura 3.1: Diagrama de bloques general del sistema

Calibrar

La funcionalidad de este bloque es regular la elevación del sensor a la altura de la persona de forma que el funcionamiento sea óptimo y no sea necesario modificar la inclinación de forma manual. Este bloque también se encarga de controlar si el ratón ha de moverse con los movimientos de la mano del usuario durante la ejecución del programa o no dependiendo del momento de la ejecución en que se encuentre el usuario.

La calibración comienza en el momento en el que el usuario ha pulsado el botón de iniciar en la pantalla de inicio y pasa al siguiente bloque cuándo la elevación del sensor respecto a la cabeza del usuario es la adecuada.

Este bloque permanece activo durante toda la ejecución del programa proporcionando al resto de bloques la información sobre la persona situada en frente del sensor y controlando el movimiento del ratón en todo momento.

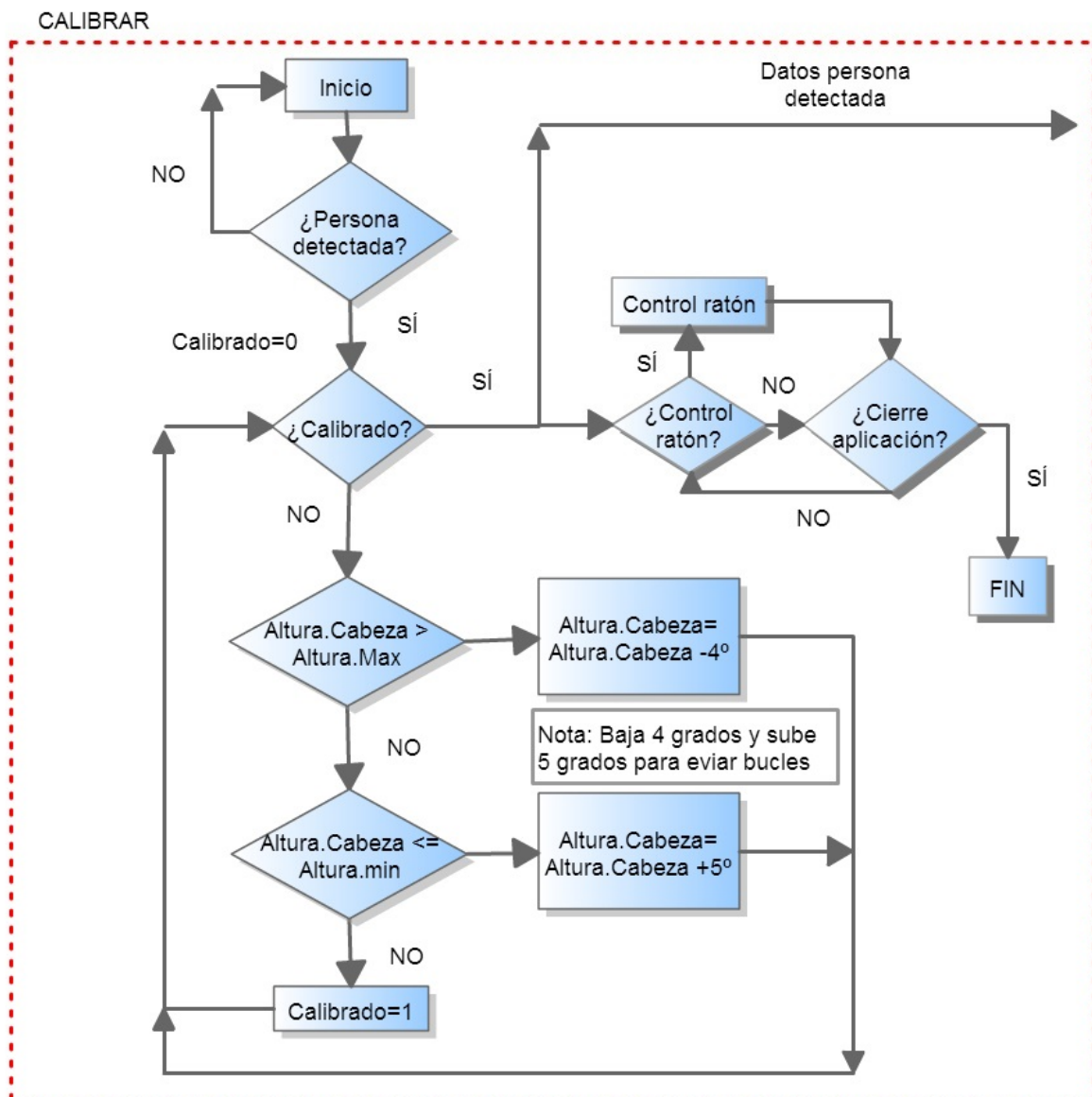


Figura 3.2: Diagrama extendido bloque “Calibrar”

Agregar Ejercicio

La funcionalidad que ofrece este bloque es la posibilidad de añadir nuevos ejercicios a una lista de ejercicios. Como entradas están los datos de profundidad de la persona que se encuentra frente al sensor y como salida tendrá la lista actualizada de ejercicios con el nuevo ejercicio añadido.

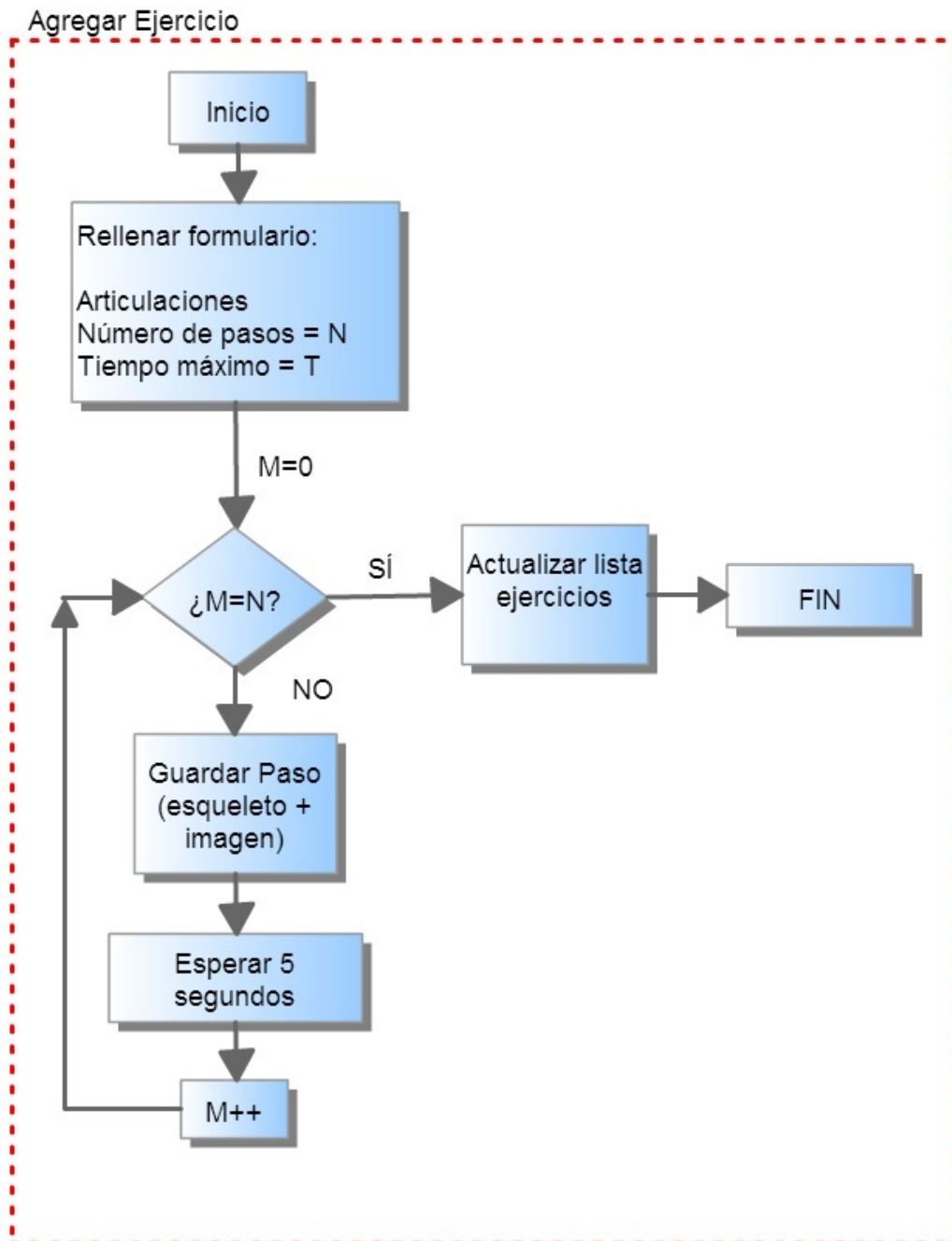


Figura 3.3: Diagrama extendido bloque "Agregar Ejercicio"

Borrar Ejercicio

La funcionalidad que añade este bloque es la posibilidad de eliminar uno o más ejercicios de la lista seleccionada. Como entradas necesita la lista con los ejercicios y como salida proporciona la lista actualizada sin los ejercicios que se han borrado.

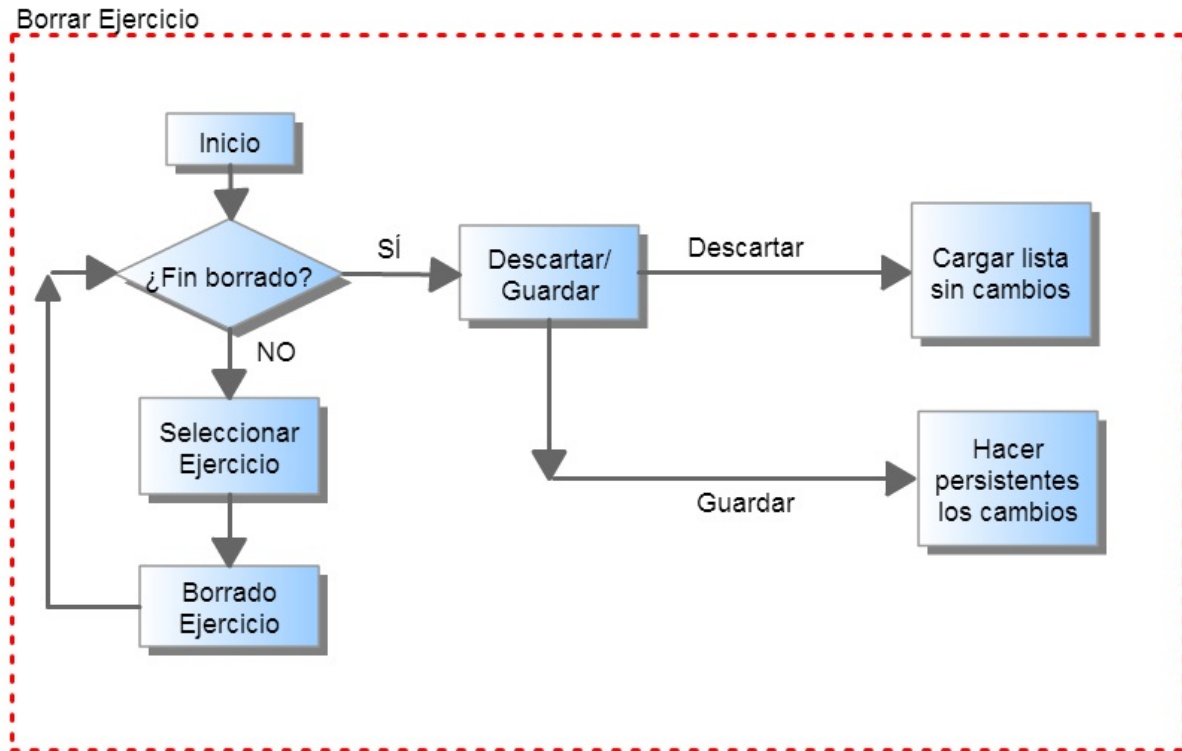


Figura 3.4: Diagrama extendido bloque "Borrar Ejercicio"

Realizar Ejercicio

La finalidad de este bloque es permitir a los usuarios autorizados realizar los ejercicios previamente grabados. Como entradas a este bloque están el ejercicio seleccionado y los datos de profundidad de la persona que se encuentra frente al sensor. Como salida el ejercicio se termina.

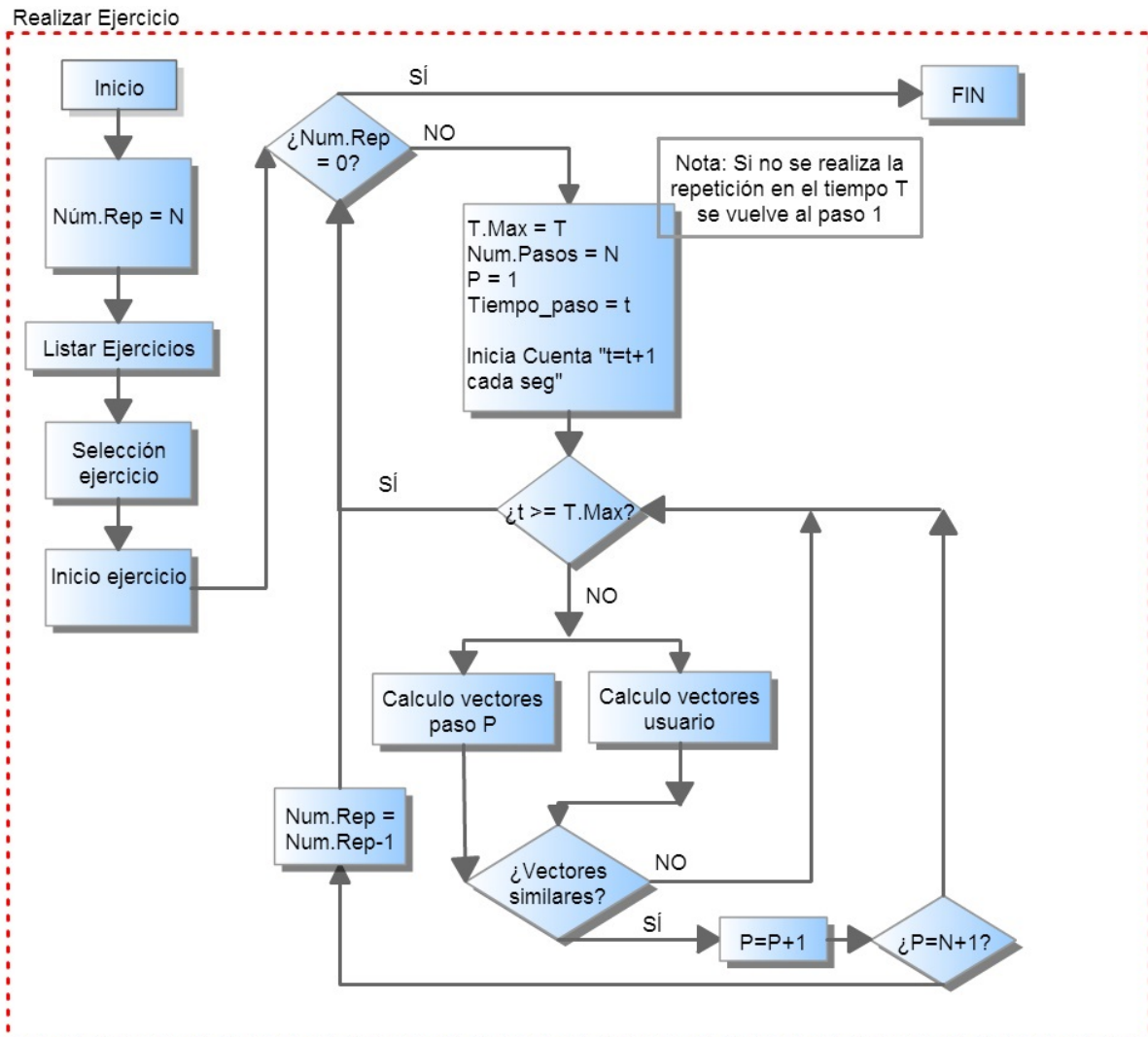


Figura 3.5: Diagrama extendido bloque “Realizar Ejercicio”

3.2. Reconocimiento de posturas

Para el desarrollo del reconocimiento de posturas el cual es necesario para poder realizar los ejercicios se diseñaron e implementaron dos métodos distintos con propiedades diferentes que los hacían más aptos para unos usos concretos. Los dos algoritmos parten del punto de que los datos que tienen son las coordenadas espaciales de las articulaciones de quien grabó el ejercicio y de los mismos datos del usuario que está realizando el ejercicio, es decir, de dos mapas de puntos en el espacio tridimensional que indican la posición de las articulaciones de los usuarios.

3.2.1. Algoritmo espacial:

El algoritmo espacial es un algoritmo sencillo que pretende ser flexible y poderse adaptar a nuevas necesidades de forma rápida y sin un número excesivo de operaciones. Para ello se basa en el principio de que la persona que realiza el ejercicio y la que lo graba tienen una constitución física similar y que la grabación del ejercicio y la realización del mismo se hacen en la misma sala.

Estas condiciones de partida limitan en muchos aspectos al algoritmo, no obstante la simplicidad del mismo al realizar dichas suposiciones y la forma de diseñar el algoritmo permiten unas posibilidades que no aparecen en el algoritmo vectorial.

El algoritmo se compone de dos fases claramente diferenciadas, la compensación espacial y la comparación. Ver Figura 3.6

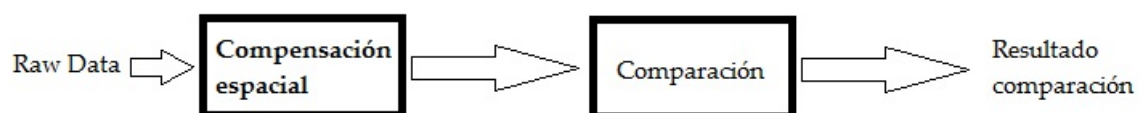


Figura 3.6: Algoritmo espacial

Lo primero que hay que conocer es el sistema de referencia del que se hace uso. En el caso que nos concierne los datos “raw” son los que se han obtenido directamente del sensor, por lo que están cuantificados según la Figura 3.7

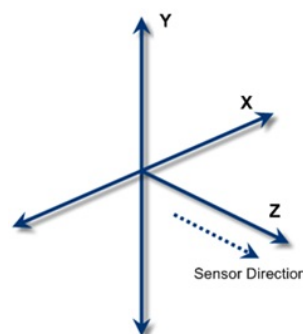


Figura 3.7: Coordenadas de referencia Kinect

Donde el origen de coordenadas es el sensor Kinect.

En la compensación espacial lo que se hace es cambiar dicho sistema de referencia.

Los datos de entrada se obtienen con referencia a la posición del sensor tanto al grabar el ejercicio como al realizarlo, pero los usuarios no tienen por qué estar en la misma posición respecto al sensor. Lo que se pretende hacer es que los datos tengan una referencia común, puesto que en la grabación del ejercicio y en la realización del mismo puede que el ángulo de inclinación del sensor no fuera el mismo, por lo que la altura de los puntos no coincidiría o que la distancia respecto al sensor tampoco fuera la misma, por lo que la profundidad en este caso tampoco coincidiría. Para lograr este objetivo lo que se hace es desplazar el origen de coordenadas a la cabeza del usuario y a partir de ahí se recalculan todos los puntos restando a la posición del punto “raw” la posición de la cabeza, con lo que se compensan los efectos producidos por la desalineación con el sensor.

En la fase de comparación lo que se hace es comparar la posición de los puntos (ya compensados) almacenados (Punto P1) con respecto a los que está realizando el usuario en el momento actual (Punto P2) con cierta tolerancia(tx, ty, tz). Esto se expresa lógicamente de la siguiente manera:

```
if (p1.x >= p2.x + tx || p1.x <= p2.x - tx)
    return false;
else if (p1.y >= p2.y + ty || p1.y <= p2.y - ty)
    return false;
else if (p1.z >= p2.z + tz || p1.z <= p2.z - tz)
    return false;
else
    return true;
```

Con este sistema obtenemos un tetraedro cuyo centro es el punto P1 de tamaño (2tx, 2ty, 2tz) dentro del cual si se encuentra P2 la comparación se dará por exitosa.

Este sistema nos permite ajustar la tolerancia con gran precisión en función de las posibilidades físicas del paciente, lo cual es imprescindible en este tipo de sistemas dedicados para la rehabilitación. También nos permite hacer un cálculo individual de cada punto, con lo que podemos obtener mayor información sobre la realización del ejercicio y podemos exportar este algoritmo a otro tipo de sistemas.

Como ya hemos dicho anteriormente este algoritmo presenta la gran desventaja de que la constitución física de quien graba el ejercicio y de quien lo realiza ha de ser similar, lo cual supone una gran limitación. Para solucionar este problema se diseñó un segundo algoritmo, igual que el primero pero añadiendo un nuevo bloque de compensación de tamaño. Ver Figura 3.8

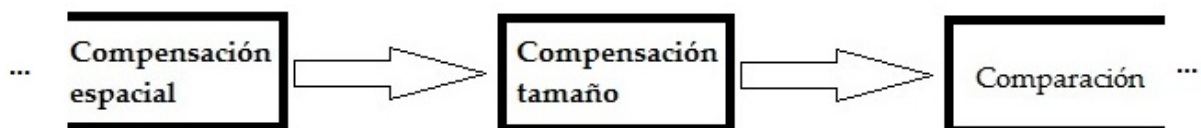


Figura 3.8: Algoritmo espacial modificado

La función de este nuevo bloque era alejar o acercar más los puntos respecto al origen de coordenadas en función de la dimensión del eje cabeza tronco y de la anchura de hombros. Con este nuevo bloque se mejoraba el funcionamiento respecto a la versión anterior del algoritmo, no obstante el número de errores eran inaceptables, por lo que se decidió utilizar un nuevo tipo de algoritmo.

Tabla resumen Algoritmo espacial	
Complejidad Diseño:	Media
Complejidad Implementación:	Media
Coste computacional:	Bajo
Ventajas <ul style="list-style-type: none"> • Alta flexibilidad. • Posibilidad de movimientos independientes de cada articulación. • Pocos cálculos adicionales por iteración. • Buen funcionamiento si se graba y realiza el ejercicio por personas con constitución física similar y en el mismo espacio. 	Desventajas <ul style="list-style-type: none"> • Mal funcionamiento al cambiar el fondo del ejercicio (espacio físico). • Mal funcionamiento al cambiar la constitución del usuario que graba al que realiza el ejercicio. • Es posible compensar estos efectos mediante un complejo algoritmo de compensación de dimensiones, pero a pesar de ello funciona peor que el otro algoritmo en estos casos.
Descripción Resumen: El algoritmo espacial se basa en dos fases: 1.- Compensación del espacio: Los datos tridimensionales de las articulaciones se compensan, restando a todos los puntos la posición de la cabeza, tanto en el esqueleto guardado como en el esqueleto actual. 2.- Comparación de puntos: Se compara la posición de los puntos almacenados con la de los puntos que está realizando el usuario en. Si la comparación de todos los puntos implicados es correcta se da por realizado el paso.	

Tabla 3.1: Tabla resumen algoritmo espacial

3.2.2. Algoritmo Vectorial:

El algoritmo vectorial se diseñó para superar los problemas del algoritmo espacial. El solucionar estos problemas conlleva que el algoritmo tiene una complejidad mayor, tanto de diseño como de implementación y requiere de un mayor número de operaciones. La robustez del algoritmo y la baja tasa de errores requerida para el correcto funcionamiento del sistema han hecho que este algoritmo sea menos flexible que el algoritmo espacial.

El algoritmo al igual que en el caso anterior se divide en varias etapas, en este caso al tener una mayor complejidad las etapas tienen cierto grado de acoplamiento, no obstante se pueden diferenciar tres fases en el algoritmo. Ver Imagen3.9

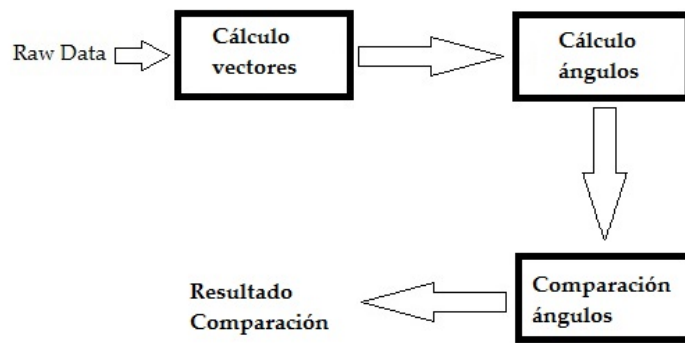


Figura 3.9: Algoritmo vectorial simplificado

El primer bloque que nos encontramos es el bloque de **CÁLCULO DE VECTORES**, el cual tiene por entrada la posición en el espacio tridimensional de las articulaciones respecto al sensor Kinect, siguiendo el mismo esquema de referencias que en el algoritmo anterior.

Para superar el problema de la diferencia en la constitución física de los usuarios era necesario idear un nuevo sistema que no utilizara la posición espacial de los puntos, pero que al mismo tiempo fuera capaz de reconocer que la postura realizada tuviera las mismas características que la postura almacenada. Para ello se pensó que al igual que en el algoritmo anterior era necesario centrar el sistema de referencia en el paciente, que es el objeto del ejercicio, eliminando así toda dependencia de la posición respecto al sensor, por otra parte se observó que los ángulos que realizaban las articulaciones eran una forma válida de caracterizar las posturas y poderlas comparar con independencia del tamaño del usuario, por lo que se eligieron los vectores como herramienta matemática para caracterizar estas propiedades.

El primer problema al que se enfrenta el algoritmo es cómo definir un sistema de referencia centrado en el usuario, con total independencia de la posición sensor, en el cual se puedan definir y comparar vectores de forma unívoca a partir de los datos de las 20 articulaciones de entrada. Para superar este problema se pensó en la definición de dos vectores de referencia a partir de los cuales se podría calcular los ángulos de otros vectores con las referencias. En la imagen que se muestra a continuación se han marcado los dos vectores utilizados como referencia. El vector de color verde se llamara a partir de ahora RefV(Referencia Vertical) y el azul RefH(Referencia Horizontal). Hay que tener en cuenta que en realidad trabajamos con cuatro vectores de referencia, dos para el ejercicio guardado y dos para el ejercicio realizado, con lo que tendremos **RefVGuardado**, **RefHGuardado**, **RefVRealizado** y **RefHRealizado**.

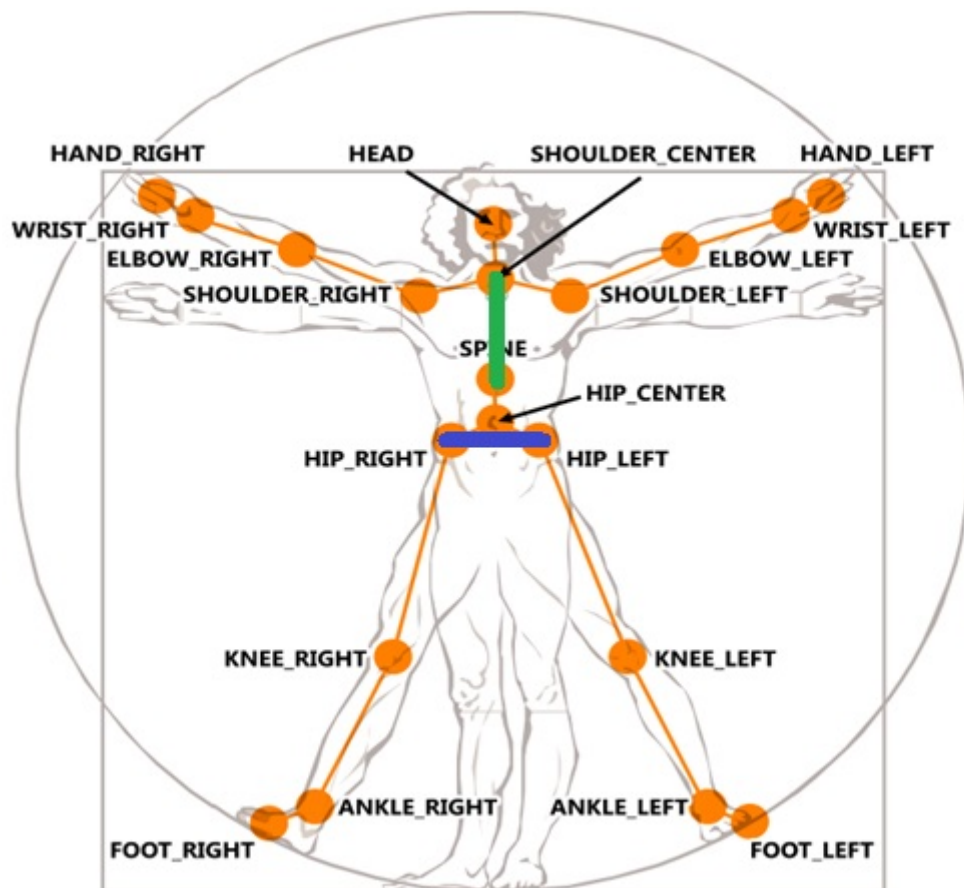


Figura 3.10: Articulaciones empleadas para el cálculo de vectores en el algoritmo vectorial

La elección de dos vectores como ejes en lugar de uno solo se ha hecho porque los otros vectores que se obtendrán para modelar las articulaciones se definen mediante los ángulos con las referencias **AV(Ángulo Vertical)** y **AH(Ángulo Horizontal)**. El utilizar este tipo de referencias nos limita también en cuanto a la flexibilidad del algoritmo, ya que este algoritmo SIEMPRE tendrá en cuenta la alineación de la cadera con el eje cabeza-tronco, aunque la posición de estas articulaciones no tengan importancia en el ejercicio grabado.

Una vez se han definido los vectores de referencia el algoritmo lo que hace es calcular los vectores que forman las articulaciones implicadas en el ejercicio según haya seleccionado el terapeuta al guardar dicho ejercicio. Este es un proceso complejo ya que los vectores son diferentes en función de las articulaciones seleccionadas y supone un gran coste computacional ya que todas las comprobaciones lógicas para generar los vectores se realizan cada frame. Los vectores se generan según las condiciones especificadas en la tabla (ver gráfico anterior para nombres):

Articulación	Condición Seleccionada	Vector Generado
Cabeza	Obligatorio	Head-Spine
Cintura	Obligatorio	Hip_Center-Shoulder_Center
Hombro	Shoulder_Right	Shoulder_Right-Shoulder_Center
Codo	Elbow_Right and Shoulder_Right	Elbow_Right- Shoulder_Right
	Elbow_Right	Elbow_Right- Shoulder_Center
Mano	Hand_Right and Elbow_Right	Hand_Right-Elbow_Right
	Hand_Right and Shoulder_Right	Hand_Right-Shoulder_Right
	Hand_Right	Hand_Right-Shoulder_Center
Rodilla	Knee_Right	-Hip_Right
Pie	Foot_Right and Knee_Right	Foot_Right-Knee_Right
	Foot_Right	Foot_Right-Hip_Right

Tabla 3.2: Generación dinámica de vectores

Nota1: De una misma articulación se genera el primer vector que cumple las condiciones seleccionadas.

Nota2: Para el brazo y la pierna izquierda se sigue el mismo procedimiento que para el derecho.

La siguiente fase en el algoritmo es el **DE ÁNGULOS**. En esta fase se calculan cuatro ángulos para cada uno de los vectores de la tabla anterior implicados en el ejercicio: el AV y el AH para el ejercicio guardado y para el ejercicio realizado, con lo que tenemos los ángulos **AVG**, **AHG**, **AVR** y **AHR**. Los ángulos se calculan mediante la fórmula siguiente:

$$\text{Acos}((v1.x * v2.x + v1.y * v2.y + v1.z * v2.z) / (v1.mod * v2.mod)) * 360 / (2 * \text{PI}))$$

Dónde v2 es siempre uno de los vectores generados de forma dinámica que se explican en la tabla anterior (del ejercicio guardado o del ejercicio realizado) y v1 es uno de los vectores de referencia en función de la siguiente tabla:

Ángulo Calculado	Vector V1	Vector V2
AVG	RefVGuardado	Vector Guardado
AHG	RefHGuardado	Vector Guardado
AVR	RefVRealizado	Vector Realizado
AHR	RefHRealizado	Vector Realizado

Tabla 3.3: Posibles valores del vector V1 según el ángulo a calcular

Si la posición realizada es similar a la que guardó el terapeuta en el momento de grabar los ejercicios los ángulos AVG y AVR tendrán un valor muy parecido, al igual que los vectores AHG y AHR para todas las articulaciones implicadas en el ejercicio.

Finalmente la etapa de COMPARACIÓN DE ÁNGULOS, realiza una comparación entre los ángulos calculados en la etapa anterior con una tolerancia superior y una tolerancia inferior para los ángulos según se expresa en la siguiente expresión lógica:

```

if (AVG + tolSuperior >= AVR && AVG - tolInferior <= AVR &&
      AHG + tolSuperior >= AHR && AHG - tolInferior <= AHR)
        return true;
else
        return false;

```

Devolviendo como resultado si la comparación ha sido exitosa o no.

Tabla resumen Algoritmo Vectorial	
Complejidad Diseño:	Alta
Complejidad Implementación:	Alta
Coste computacional:	Medio
Ventajas <ul style="list-style-type: none"> • Mejora considerable de la precisión.. • Independencia del espacio físico. • Independencia de la persona que graba el ejercicio/realiza el ejercicio. 	Desventajas <ul style="list-style-type: none"> • Menor flexibilidad. • Mayor coste computacional. • Mayor complejidad.
Descripción Resumen: El principio de funcionamiento se basa en el tratamiento vectorial. El algoritmo se divide en tres etapas: 1.- Cálculo de los vectores referencia y los vectores de articulaciones a partir de los datos de entrada y las articulaciones implicadas en el ejercicio. 2.- Cálculo del ángulo entre vectores referencia y vectores realizados. 3.- Comparación de los ángulos del ejercicio almacenado con los ángulos del ejercicio realizado. Si la comparación de todos los vectores implicados es exitosa se da por realizado el paso.	

Tabla 3.4: Tabla resumen algoritmo vectorial

3.3. Interfaz de aplicación

En este punto se pretende describir la interfaz final de la aplicación desde el punto de vista de los diferentes actores, así como describir los elementos que componen la interfaz y la funcionalidad de los mismos.

Todos los elementos de la interfaz han sido diseñados para personas con visibilidad reducida y para que sea intuitivo y fácil de usar mediante el control con gestos que implementa la aplicación.

3.3.1. Interfaz común a todos los actores

Pantalla de inicio de aplicación:



Figura 3.11: Pantalla de inicio de aplicación

- La aplicación se muestra en una ventana de aplicación de Windows con los botones de cerrar maximizar y minimizar en la parte superior derecha.
- Aparece el nombre de la aplicación y la versión en la parte superior izquierda.
- Botón “Iniciar”: Antes de pulsar el botón es necesario que se encuentre conectado el sensor Kinect correctamente al PC, de lo contrario la aplicación quedará bloqueada y será necesario cerrar la misma.

Ventana de Calibración:



Figura 3.12: Ventana de calibración

- Imagen RGB: Situada en la parte superior izquierda muestra la imagen que está capturando el Kinect en tiempo real.
- Advertencias: En la parte central aparecen dos mensajes que indican las instrucciones a realizar durante el proceso de calibración.
- Pestaña desplegable propiedades: En la parte inferior izquierda existe una pestaña desplegable de propiedades que nos permite activar/desactivar el sensor Kinect y regular de forma manual la inclinación del mismo introduciendo un número en un cuadro de texto. Estas opciones se han implementado por si la inclinación inicial del sensor es inadecuada y es incapaz de detectar a la persona para poder inicial el proceso de calibración.

Ventana de Selección de Actividad:

Esta ventana es particular de cada actor. Para el paciente solamente aparecerán las opciones de “Realizar Ejercicio” y “Salir”, para el terapeuta aparecerán las opciones de “Agregar ejercicio”, “Borrar ejercicio” y “Salir” y la imagen que se muestra a continuación es la de la interfaz de desarrollador, donde están todas las opciones existentes disponibles.

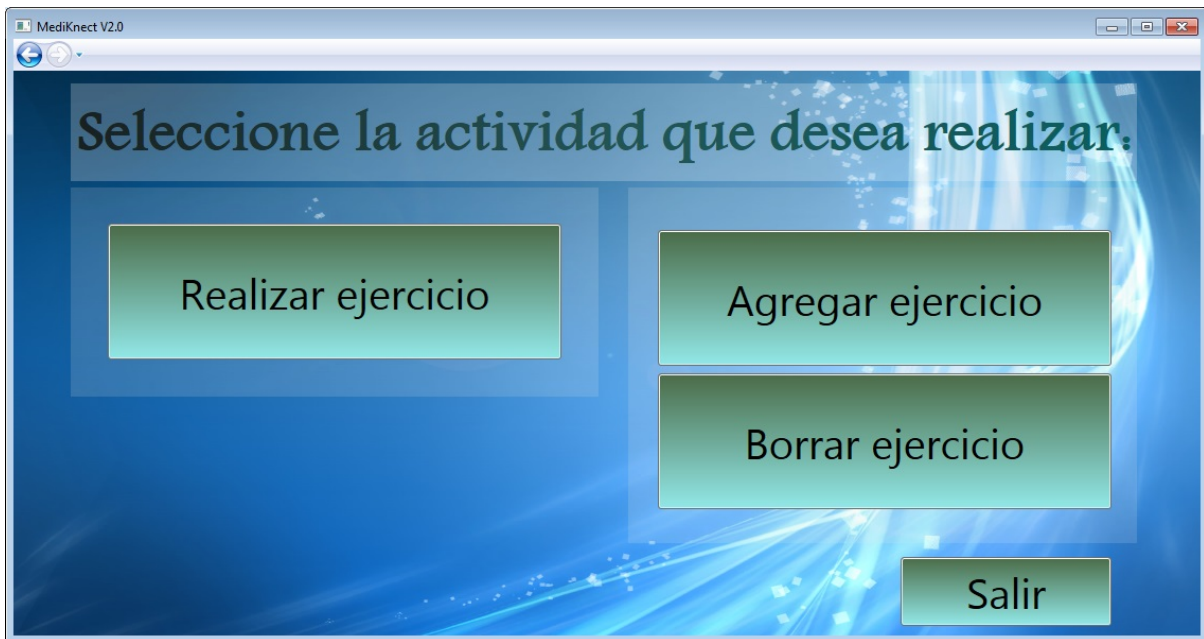


Figura 3.13: Ventana de Selección de actividad

- Botón “Realizar Ejercicio”: Permite al paciente acceder a la lista de ejercicios personalizados disponibles para él.
- Botón “Agregar Ejercicio”: Permite al terapeuta añadir nuevos ejercicios a la lista de ejercicios activa.
- Botón “Borrar Ejercicio”: Permite al terapeuta eliminar ejercicios de la lista de ejercicios activa.
- Botón “Salir”: Desactiva el sensor Kinect, libera la memoria y cierra la aplicación. Es el procedimiento correcto para finalizar la aplicación ya que otros procedimientos mantendrán el sensor activo.

3.3.2. Interfaz de terapeuta

Ventana Agregar Ejercicio 1:

MediKnect V2.0

Agregar ejercicio:

Nombre Ejercicio:

Duración Máxima (seg):

Numero de pasos:

Imagen Presentación:

Ejercicio 3

Seleccione las partes que intervienen en el ejercicio:

Cabeza:	<input checked="" type="checkbox"/>	Hombro D:	<input checked="" type="checkbox"/>
Cintura:	<input checked="" type="checkbox"/>	Hombro I:	<input checked="" type="checkbox"/>
Codo D:	<input checked="" type="checkbox"/>	Mano D:	<input type="checkbox"/>
Codo I:	<input checked="" type="checkbox"/>	Mano I:	<input type="checkbox"/>
Rodilla D:	<input type="checkbox"/>	Pie D:	<input type="checkbox"/>
Rodilla I:	<input type="checkbox"/>	Pie I:	<input type="checkbox"/>

Figura 3.14: Ventana de Agregar Ejercicio (1.1)

- Formulario 1: Situado en la parte izquierda de la imagen se puede observar un formulario con cuatro campos:
 - Nombre Ejercicio: Nombre que aparecerá al listar el ejercicio.
 - Imagen Presentación: Imagen que aparecerá al listar el ejercicio. En caso de que no se seleccione ninguna imagen aparecerá la posición del primer paso del ejercicio.
 - Duración Máxima: Tiempo que tendrá el paciente para completar todos los pasos de una repetición.
 - Número de pasos: Número de pasos de los que se compone una repetición.
- Imagen: Imagen seleccionada en el formulario anterior.
- Formulario 2: Situado en la parte derecha de la pantalla permite seleccionar que articulaciones van a estar implicadas en el ejercicio que se va a grabar.
- Botón Siguiete: Nos muestra la pantalla que se describe a continuación.

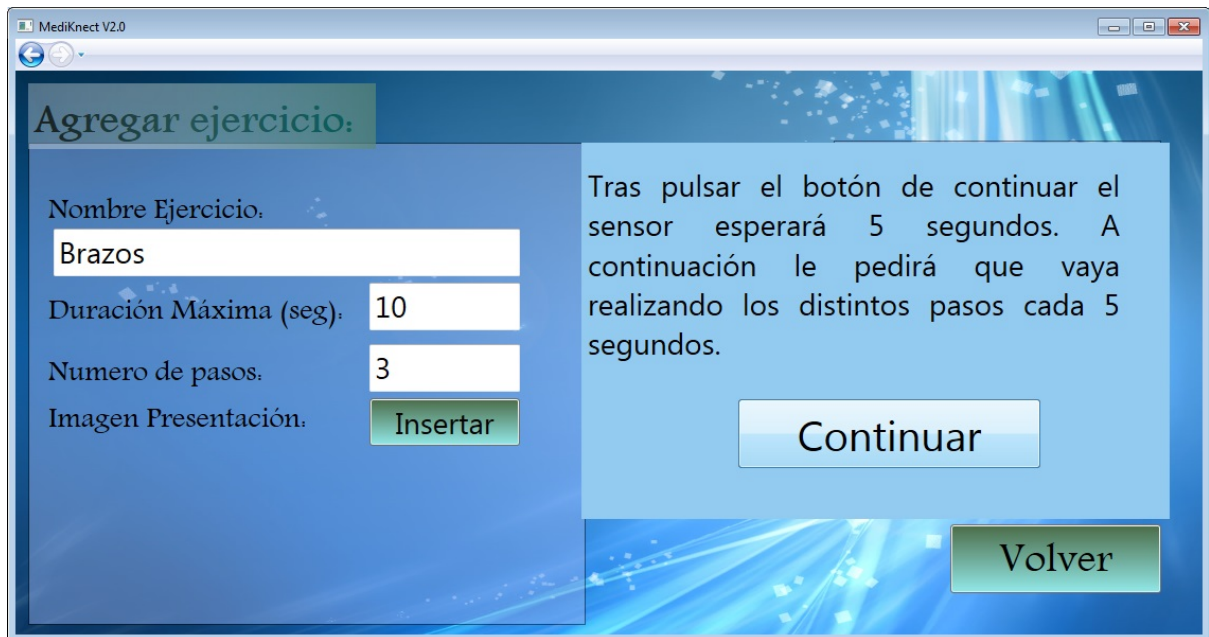


Figura 3.15: Ventana de Agregar Ejercicio (1.2)

En esta imagen observamos un cuadro de texto que nos da las instrucciones de cómo funciona la siguiente pantalla y cómo se van a grabar los ejercicios. Tras pulsar continuar se muestra la ventana "Agregar Ejercicio 2".

Ventana Agregar Ejercicio 2:



Figura 3.16: Ventana de Agregar Ejercicio (2.1)

- Imagen de profundidad: Situada en la parte superior izquierda muestra un mapa de profundidades. Para un funcionamiento óptimo del programa a la hora de grabar la aplicación la silueta del terapeuta debe aparecer de color verde intenso sin objetos del mismo color cercanos.
- Imagen RGB: Situada en la parte central derecha muestra la imagen del terapeuta en el momento actual. Las imágenes de realización de paso se obtendrán a partir de esta imagen.
- Texto inferior: Muestra las indicaciones del progreso en la grabación del ejercicio. Muestra el inicio de la captura de los pasos, el paso que se ha capturado y el tiempo restante para capturar el siguiente paso. En el momento de la captura del paso el terapeuta debe haber adoptado la posición deseada en ese paso.
- Botón Volver: Permite cancelar la grabación del paso.

Una vez concluido la captura de todos los pasos de un ejercicio se muestra la pantalla que aparece a continuación, permitiendo al terapeuta guardar o descartar el ejercicio que se acaba de grabar.



Figura 3.17: Ventana de Agregar Ejercicio (2.2)

Ventana Borrar Ejercicio:

Esta ventana se abre cuando en la ventana de selección de actividad se elige la opción de “borrar ejercicio” y permite al terapeuta eliminar uno o más ejercicios de la lista de ejercicios cargada.

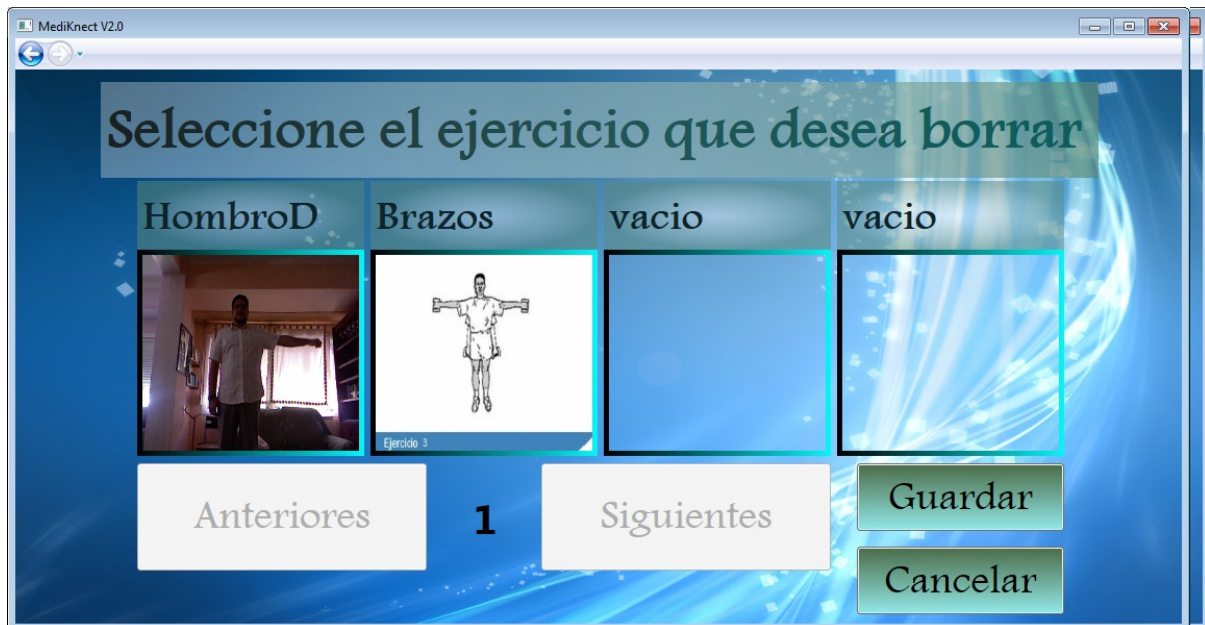


Figura 3.18: Ventana de Borrar Ejercicios

- Ejercicios: En la parte central aparecen las imágenes y los nombres de los cuatro primeros ejercicios de la lista de ejercicios. Al seleccionar un ejercicio éste desaparecerá de la lista.
- Botones Anteriores/Siguintes: Permiten desplazarse por la lista de ejercicios en el caso de que haya más de cuatro ejercicios en la lista. El número en el centro muestra en que página nos encontramos.
- Botón “Guardar”: Elimina de forma permanente los ejercicios seleccionados y vuelve a la ventana de selección de actividad.
- Botón “Cancelar”: Cancela los cambios y vuelve a la ventana de selección de actividad.

3.3.3. Interfaz de paciente

Ventana de Selección de Ejercicio:



Figura 3.19: Ventana de Selección de Ejercicio

- Ejercicios: En la parte central aparecen las imágenes y los nombres de los cuatro primeros ejercicios de la lista de ejercicios. Al seleccionar un ejercicio se pasará a la ventana siguiente.
- Botones Anteriores/Siguintes: Permiten desplazarse por la lista de ejercicios en el caso de que haya más de cuatro ejercicios en la lista. El número en el centro muestra en que página nos encontramos.
- Repeticiones: Muestra el número de repeticiones a realizar en el ejercicio que se seleccione. Se pueden ajustar mediante los botones + y -.
- Botón “Volver”: Vuelve a la ventana de selección de actividad.

Ventana Realizar Ejercicio:



Figura 3.20: Ventana de Realización de ejercicio

- Imagen RGB: Situada en la parte izquierda es la imagen del siguiente paso a realizar grabada previamente por el terapeuta.
- Imagen profundidad: Situada en la parte central inferior es la imagen de la posición del paciente en el momento actual. Para un correcto funcionamiento la silueta del paciente debe aparecer de color verde intenso.
- Etiqueta Paso: Muestra los pasos totales de los que se compone el ejercicio y el paso por el que va el paciente. Para completar un paso la imagen RGB y la de profundidad deben ser similares (ver algoritmo vectorial).
- Etiqueta Tiempo/rep: Es el tiempo restante para finalizar todos los pasos de una repetición. Si la cuenta llega a cero se vuelve al paso 1 y no se contabiliza la repetición.
- Etiqueta Repeticiones: Muestra el número de repeticiones restantes para finalizar el ejercicio. El valor se decrementa cada vez que se completan todos los pasos en el tiempo indicado. Cuando se completa una repetición se reinicia el temporizador de la etiqueta Tiempo/rep.
- Botón “Cancelar”: Finaliza de forma forzosa la realización del ejercicio.

3.3.4. Interfaz de Desarrollador

A efectos prácticos la interfaz de desarrollador es la unión de la interfaz de terapeuta y la de paciente en una misma interfaz, por lo que no se van a mostrar imágenes ni se va a explicar el funcionamiento de los elementos de la misma ya que es igual que en los casos anteriores.

3.4. Ejemplos de funcionamiento

Para observar el funcionamiento del sistema se han grabado tres vídeos que se adjuntan al presente documento. Si no se pudieran visualizar los vídeos contactar con el autor del proyecto.

Capítulo 4

Discusión/Conclusiones

En este punto se van a tratar los problemas que surgieron durante el desarrollo del proyecto y las soluciones que se han encontrado a dichos problemas, las posibilidades de evolución futuras del área y del sistema desarrollado y las recomendaciones para futuros estudios, así como un breve estudio sobre el producto, el precio y el nicho de mercado con visión a una futura comercialización.

4.1. Problemas/Soluciones.

Durante el desarrollo del proyecto han aparecido problemas de diversa índole. A continuación se hace una exposición de los problemas encontrados y su repercusión en el desarrollo del proyecto, así como la solución encontrada a cada uno de los problemas.

El primer problema que apareció fue la dificultad inicial para conectar el sensor Kinect a un ordenador, ya que en el momento en que se inició el proyecto no se disponía de un ordenador con Windows 7 para utilizar los controladores de Kinect for Windows y los controladores libres apenas tenían documentación o estaba muy dispersa. Para solucionar este problema se optó por formatear el ordenador con el que se ha desarrollado el proyecto con Windows XP e instalar el sistema operativo Windows 7 con la licencia de campus de la UPV.

Una vez superado el problema de la conexión el siguiente problema encontrado fue el entorno de desarrollo. Los desarrolladores recomendaban usar Microsoft Visual Studio con los controladores de Kinect for Windows para el desarrollo de aplicaciones haciendo uso del sensor. Al igual que con el sistema operativo el entorno de desarrollo se pudo obtener mediante la licencia de campus de la UPV y se encontraron video-tutoriales que enseñaban a usar el software y las librerías básicas para interactuar con el sensor Kinect.

Una vez solucionados todos los problemas relacionados con el entorno de desarrollo y los controladores los siguientes problemas estaban todos relacionados con la programación.

El primer problema encontrado fue en el control del cursor mediante el movimiento de la mano derecha. Por las características técnicas del sensor y las librerías de seguimiento de las articulaciones el cursor se movía constantemente de forma muy rápida y caótica en torno al punto donde se encontraba realmente la mano derecha. Para solucionar este problema los datos de profundidad se filtraron mediante un filtro configurable. El problema de este tipo de solución es que cuanto mayor ruido eliminaba (y por tanto menor movimiento caótico del puntero) mayor retardo e inercia adquiría el cursor, por lo que se tuvo que elegir una solución de compromiso entre retardo y precisión.

El segundo problema encontrado fue que las clases que proporcionaba Microsoft para interactuar con Kinect no permitían el almacenamiento de los datos en el disco, por lo que se tuvieron que crear unas clases equivalentes que sí que pudieran almacenar dichos datos, lo que supuso un retraso en el proyecto respecto a la planificación.

El tercer problema estaba relacionado con los algoritmos de reconocimiento de movimiento. Al implementar el algoritmo espacial su funcionamiento era correcto durante los test, pero al revisarlo con el profesor se observó que al cambiar el entorno y las dimensiones del paciente el algoritmo no reconocía correctamente las posturas, por lo que se tuvo que diseñar un nuevo algoritmo, el algoritmo vectorial. El primer diseño del algoritmo vectorial únicamente usaba un vector como referencia para el cálculo de los ángulos. Esto en principio era suficiente pero se observó que la comparación de algunas posturas se daba por correcta cuando en realidad no lo era. Para solucionar este problema se añadió un segundo vector de referencia y se solucionó el problema.

4.2. Posibilidades de Evolución.

La evolución del proyecto puede ir orientada en muchas direcciones aunque a continuación se expondrán algunas de las más prácticas y con mayor probabilidad de éxito.

El proyecto en el momento actual no se puede considerar un producto adaptado al mercado, ya que carece de algunas características imprescindibles para su comercialización. Los primeros pasos en futuras versiones serían suplir estas carencias, entre las que se pueden encontrar el acceso identificado de los usuarios, la gestión individual de los usuarios mediante una base de datos y el almacenamiento de los datos de una sesión de ejercicios y el progreso de cada paciente respecto a sesiones anteriores. Con estas mejoras el programa ya sería funcional, no obstante para una mayor versatilidad sería interesante desarrollar una versión reducida para pacientes que realizaran la rehabilitación desde el domicilio o tele-rehabilitación, para ello sería recomendable desarrollar un esquema cliente-servidor, donde la aplicación del paciente solamente se encargaría de la conexión con el servidor y la captura de los datos y el servidor realizaría las comprobaciones necesarias y guardaría los progresos de las sesiones de telerehabilitación. Desde el punto de vista del terapeuta sería interesante mejorar la monitorización de los pacientes, pudiendo éste consultar los progresos y la evolución temporal en relación a los progresos en la realización de los ejercicios, también se podrían introducir patrones temporales de los parámetros que analiza el sensor para poder realizar una comparación rápida desde la realización ideal de los ejercicios y lo que realizan los pacientes.

Desde el punto de vista de los ejercicios estos almacenan en la actualidad la imagen, el nombre del ejercicio, el tiempo máximo por repetición y las articulaciones implicadas en el ejercicio, así como los pasos que lo componen que su vez contienen el esqueleto a realizar y una imagen del paso. Esta estructura limita la flexibilidad en la realización de los ejercicios, como por ejemplo la medida de tiempos entre pasos intermedios, una posible mejora en el futuro sería rediseñar esta estructura para que pudiera contener mayor información y con ello poder medir mejor ciertos parámetros en la realización de los ejercicios.

Finalmente también se podría mejorar la interfaz gráfica para mejorar la estética teniendo en cuenta que debe ser simple y adaptada a personas con visibilidad reducida.

4.3. Recomendaciones.

En estudios posteriores se recomienda la realización de ensayos clínicos y la medida de la eficacia del sistema en una clínica de rehabilitación con pacientes reales. Teniendo en cuenta que la aplicación apenas ha sido testeada también sería necesario, a partir del feedback obtenido de los ensayos clínicos, mejorar la funcionalidad y depurar los posibles errores que todavía presente la aplicación.

Observando la carencia de estudios sobre el impacto socioeconómico que puede suponer la implantación de este tipo de sistemas en clínicas de rehabilitación con pacientes reales, se recomienda que se realizara una revisión de todos los productos comerciales existentes en la actualidad de RV de bajo coste y se realizara una comparativa en cuanto a resultados clínicos, costes y opinión del paciente y del terapeuta

con respecto a los productos y métodos tradicionales que se usan en la actualidad para poder tener una idea del impacto real de esta nueva tecnología en el ámbito de la rehabilitación.

4.4. Costes del sistema.

Puesto que principal interés que presenta el sistema desarrollado frente a los sistemas ya existentes es el bajo coste y con ello la posibilidad de la rehabilitación desde el hogar hemos creído conveniente hacer un estudio de costes del producto muy simple de cara a una futura comercialización.

Concepto	Coste
Costes fijos:	
Kinect XBOX 360	115.23€(Amazon 14-08-2013)
Ordenador Windows 7	399€
Cable RGB(televisor-PC)	6€
Software Rehabilitación	75€
Instalación	50€
Total Costes Fijos:	645,23€(246.23€sin PC) por sensor
Cuota mensual:	
Actualización software:	50€/mes
Mantenimiento:	200€/mes
Licencia paciente:	5€/(paciente*mes)
Total Costes Variables:	25€/mes + 5€/(paciente*mes)
Total:	645,23€(246.23€) por sensor + 250€/mes + 5€/(paciente*mes)

El modelo de negocio para el que se han calculado los costes es para la venta del producto a clínicas de rehabilitación, que tendrían que pagar una cuota mínima de 250€/mes de mantenimiento y actualización del software y del servicio. Una vez contratado el servicio tendrían que adquirir los sensores y las licencias de pacientes que la clínica se encargaría de asignar.

Con los precios indicados en la tabla se pretende reducir al mínimo el coste del equipamiento para poder tener una mejor entrada en el mercado a pesar de que los beneficios por venta son mínimos, no obstante la principal fuente de beneficios no es la venta del sistema, sino la venta de licencias por pacientes.

Capítulo 5

Valoración personal

El proyecto Mediknect ha supuesto un reto personal y profesional. El desarrollo del mismo ha sido posible gracias a la motivación de mi director Antonio Albiol que nos animó a hacer algo nuevo a partir de nada, es por ello que ha resultado más difícil de lo esperado, no obstante he podido experimentar que es posible hacer algo que a priori parece imposible si uno se lo propone y le dedica el tiempo y el esfuerzo necesario.

Con el desarrollo del proyecto no pretendía únicamente superar el trámite para finalizar la carrera, sino poner a prueba los conocimientos adquiridos durante estos años de estudio, para la realización del proyecto he necesitado revisar conceptos trabajados durante la carrera, sobre todo aquellos relacionados con la programación y con la ingeniería software.

También me gustaría poner énfasis en el aspecto social de este proyecto. Al elegir que quería desarrollar un sistema de rehabilitación virtual pretendía poder ofrecer una alternativa a los tratamientos de rehabilitación tan costosos que existen en la actualidad haciendo uso de una de las últimas tecnologías en captura de movimiento. Para profundizar más en el área y conocer mejor las necesidades reales participé de una beca del instituto ai2 para el desarrollo de un estudio centrado en esta área y fruto de la cual es el artículo que se adjunta en el anexo 2.

Para concluir me gustaría agradecer en primer lugar a la escuela y a la universidad la oportunidad que me han dado de estudiar aquello que me gustaba, al colegio mayor San Juan de Ribera por la beca que me ha permitido estar cerca más cerca de la universidad y a los profesores y compañeros que me han acompañado durante esta etapa de mi vida.

Capítulo 6

Bibliografía

Castelnuovo, G., Gaggioli, A., Mantovani, F., & Riva, G. (2003). MUNDOS VIRTUALES PARA GENERAR EXPERIENCIAS REALES: ELUSO DE LA "TERCERA VÍA.^{EN} PSICOTERAPIA Y REHABILITACIÓN COGNITIVA. Congreso Virtual de Psiquiatría. Interpsiquis Enero 1970. Psiquiatria.com.

Fivan. (s.f.). Recuperado el 01 de 03 de 2013, de <http://fivan.org/?p=2087>

Gil-Agudo, A., Terrer, I. D., Martín, B. P., Guzmán, A. d., Sahún, A. B., & García, A. B. (2011). Experiencia clínica de la aplicación del sistema de realidad TOyRA en la neuro-rehabilitación de pacientes con lesión medular. *Rehabilitación (Madr)*.

Gil-Gómez, J.-A., Lloréns, R., Alcañiz, M., & Colomer, C. (2011). Effectiveness of a Wii balance board-based system (eBaViR) for balance rehabilitation: a pilot randomized clinical trial in patients with acquired brain injury. *JOURNAL OF NEUROENGINEERING AND REHABILITATION*.

Pañella, O. G. (2006). ¿De qué hablamos cuando nos referimos a la Realidad Virtual? <http://mosaic.uoc.edu>.

Rand, D., Kizony, R., & Weiss, P. L. (2008). The Sony PlayStation II EyeToy: Low-Cost Virtual Reality for Use in Rehabilitation. *JNPT Volume 32*.

Rizzo, A. S., & Kim, G. J. (2005). A SWOT Analysis of the Field of Virtual Reality Rehabilitation and Therapy. *Presence*, Vol. 14, No. 2, 119–146.

Rizzo, A. S., Difede, J., Rothbaum, B. O., Reger, G., Spitalnick, J., Cukor, J., & Mclay, R. (2010). Development and early evaluation of the Virtual Iraq/Afghanistan exposure therapy system for combat-related PTSD. *ANNALS OF THE NEW YORK ACADEMY OF SCIENCES*, 114–125.

Rutgers. (2006). <http://www.rutgers.edu/>. Recuperado el 01 de 03 de 2013, de <http://www.sciencedaily.com/releases/2006/08/060828211649.htm>

Sanchis, A. (2013). Ventajas e Inconvenientes de la Rehabilitación Virtual.

Sucar, L. E., Leder, R., Hernández, J., Sánchez, I., & Azcárate, G. (2010). Clinical Evaluation of a Low-Cost Alternative for Stroke Rehabilitation.

Tedesys. (s.f.). Recuperado el 01 de 03 de 2013, de <http://www.tedesys.es/es/products>

Virtualrehab. (03 de 03 de 2013). Recuperado el 01 de 03 de 2013, de <http://virtualwaregroup.com/virtualrehab-rehabilitacion-esclerosis-kinect/>

Wuang, Y., Chiang, C., Su, C., & Wang, C. (2010). Effectiveness of virtual reality using Wii gaming technology in children with Down syndrome. Elsevier.

Capítulo 7

ANEXO 1: API Mediknect

Class Calculos

public static class Calculos.

Esta clase permite realizar los cálculos necesarios para los algoritmos de comparación de posición.

Constructores
N/A

Métodos	
public static float	AnguloXYZ(vector v1, vector v2) Calcula el ángulo formado por dos vectores v1 y v2 en un espacio tridimensional
public static float	AnguloXY(vector v1, vector v2) Calcula el ángulo formado por dos vectores v1 y v2 en un espacio bidimensional
public static bool	Compara_punto(Punto p1, Punto p2, int tx, int ty, int tz) Compara si un punto p2 se encuentra dentro del tetraedro con centro en p1 y de lados 2*tx, 2*ty u 2*tz.
public static bool	Compara_vector(vector RefVG, vector RefHG, vector RefVR, vector RefHR, vector v1_g, vector v1_r, int tolSup, int tolInf) Cálcula el ángulo entre un vector guardado y dos referencias guardadas y un vector realizados y dos referencias realizadas y compara los ángulos obtenidos con dos tolerancias. Si la comparación es correcta devuelve true y en cualquier otro caso devuelve false.

Class Cronometro

public class Cronometro

Permite utilizar un cronómetro que incrementa su valor cada segundo hasta un valor máximo especificado en la creación del objeto.

Constructores	
public	Cronometro(int maxtime) Crea un objeto del tipo Cronometro con un valor máximo de maxtime segundos.
public	Cronometro() Crea un objeto el tipo Cronometro con un valor máximo de 99999 segundos.

Métodos	
public int	getTime() Devuelve el valor del cronómetro.
public void	resetTime() Reinicia el cronómetro y empieza a contar desde cero.
public void	setMaxTime(int maxtime) Cambia el valor máximo de segundos del cronómetro.
public bool	finCuenta() Si la cuenta ha alcanzado el valor máximo devuelve true, en cualquier otro caso devuelve false.

Class Ejercicio

```
public class Ejercicio
```

Esta clase permite almacenar y gestionar todos los elementos necesarios para guardar un ejercicio.

Constructores	
public	Ejercicio(String nombre, String imagen, Cuarpo cuerpo, int numpasos, int duracion) Crea un ejercicio vacío con un nombre, la url de una imagen, las articulaciones implicadas en el ejercicio, el número de pasos de los que se compone y la duración máxima de cada repetición.

Métodos	
public void	addPaso(AllFramesReadyEventArgs e, Byte[] imagen) Añade un paso al final de la lista de pasos del ejercicio.
public Paso	getNextPaso() Devuelve el siguiente paso de la lista e incrementa el valor del paso a realizar.
public void	resetPaso() Indica que el valor del paso a realizar es el primero.
public Paso	getPaso(int i) Devuelve el paso en la posición i de la lista.
public String	GetNombre() Devuelve el nombre del ejercicio.
public String	GetImage() Devuelve la URL de la imagen de presentación del ejercicio.
public int	GetNumPasos() Devuelve el número de pasos totales de los que se compone el ejercicio.
public int	GetDuracion() Devuelve el tiempo máximo en segundos para realizar cada repetición del ejercicio.
public Cuerpo	GetCuerpo() Devuelve un objeto Cuerpo con las articulaciones implicadas en el ejercicio.

Class Lista

```
public class Lista
```

Esta clase aporta los métodos necesarios para gestionar una lista de ejercicios. La lista se puede guardar y cargar mediante la clase persistencia.

Constructores	
public	Lista() Crea una lista de ejercicios vacía.

Métodos	
public void	AddEjercicio(Ejercicio e) Añade el ejercicio e al último lugar de la lista.
public void	RemoveEjercicio() Elimina el último ejercicio de la lista.
public void	RemoveEjercicio(Ejercicio e) Elimina el ejercicio e de la lista si se encuentra presente.
public Ejercicio	GetEjercicio(int pos) Devuelve el ejercicio que se encuentra en la lista en la posición pos.
public int	getTotal() Devuelve el número de ejercicios totales que hay en la lista.

Class ListarEjercicios

public partial class ListarEjercicios : Page

Constructores	
ListarEjercicios(Pagina p, KinectSensor s, Ejercicios e) Crea la ventana de listar ejercicios y lista los ejercicios de la lista e.	
Métodos	
Public void	Actualizar_pantalla() Actualiza los ejercicios mostrados en pantalla a partir del valor de los atributos de la clase principal.

Class Opera Sensor

public static class OperaSensor

Constructores	
N/A	
Métodos	
static int	Calibrar(KinectSensor s, AllFramesReadyEventArgs e) Devuelve 1 si la calibración ha terminado correctamente, en cualquier otro caso devuelve 0.

Class Pagina

public class Pagina

Esta clase nos permite conocer durante todo el proceso de ejecución del programa cual es su estado actual, pudiendo saber que ventana se muestra al usuario.

Constructores	
Pagina(int p) Crea un objeto del tipo página inicializado al valor 0.	
Métodos	
public void	setPagina(int p) Permite modificar el valor de la página a p.
public int	getPagina() Permite conocer el valor actual de la página.

Class Paso

public class Paso

Constructores	
public	Paso(AllFramesReadyEventArgs e, Byte[] imagen) Crea un objeto paso a partir de un objeto AllFramesReadyEventArgs y un mapa de bits.

Métodos	
public Esqueleto-Punto	getEsqueleto() Devuelve un objeto del tipo EsqueletoPunto que contiene todos los objetos Punto que indican la posición de las 20 articulaciones que proporciona el Kinect en el paso.
public BitmapSource	getImagenPaso() Devuelve un objeto BitmapSource que permite representar la imagen del paso en resolución 480 × 640px.

Class Punto

```
public class Punto
```

Esta clase permite almacenar y convertir datos de forma cómoda y eficiente para conocer la posición de las articulaciones.

Constructores	
public	Punto(float x, float y, float z) Crea un objeto Punto en un espacio tridimensional a partir de tres números reales.
public	Punto(float x, float y) Crea un Punto en un espacio bidimensional a partir de dos números reales.
public	Punto(DepthImagePoint p) Crea un objeto Punto en un espacio tridimensional a partir de un objeto de la clase DepthImagePoint.
public	Punto (Punto p) Crea un Punto a partir de otro Punto.

Métodos	
public void	nomalizar(Punto p) Realiza la resta coordenada a coordenada del punto p con el punto que invoca el método.

Class Raton

```
public static Raton
```

Permite gestionar el control del ratón a partir del movimiento de la mano derecha capturado por el sensor Kinect.

Constructores	
public	Raton() Crea un objeto de la clae Raton que podrá ser utilizado para el control del ratón.

Métodos	
public void	Control_raton(Skeleton persona) Gestiona automáticamente el movimiento y los clicks del ratón a partir del movimiento de la mano derecha del usuario.
public void	Mover_raton(double x, double y) Mueve el ratón a las posiciones x, y en pixels tomando como origen de coordenadas la esquina superior izquierda de la pantalla.
public void	Click_raton(float x, float y) Genera un click del ratón si no se ha salido de un cuadrado de 40 píxels de lado en los últimos 2 segundos.

Class RealizaEjercicio

public partial class RealizaEjercicio : Page

Constructores	
	RealizaEjercicio(Pagina p, KinectSensor s, Ejercicio e, int numrep) Carga un ejercicio para realizar, el número de repeticiones que se debe realizar el ejercicio es numrep.

Métodos	
bool	realiza_paso(Paso p, AllFramesReadyEventArgs e, Ejercicio e, Cuerpo c) Compara el paso p grabado en el ejercicio e con el paso que está realizando el usuario que se obtiene de e. Solamente compara aquellas articulaciones que su valor sea true en c. Devuelve true si la comparación es exitosa y false en cualquier otro caso.

Class Vector

public class vector

Esta clase permite crear y almacenar los vectores necesarios para la comparación de posición en el algoritmo vectorial.

Constructores	
public	vector(float x, float y, float z) Crea un vector en un espacio tridimensional a partir de tres números reales.
public	vector(float x, float y) Crea un vector en un espacio bidimensional a partir de dos números reales.
public	vector(Punto p1, Punto p2) Crea un vector en un espacio tridimensional a partir de dos puntos. Si los puntos se encuentran definidos en un espacio bidimensional se supone la coordenada z = 0.

Métodos	
N/A	N/A

Capítulo 8

ANEXO 2: Referencias bibliográficas

8.1. Artículo Sanchis, A (2013)

Ventajas e inconvenientes de la rehabilitación virtual Sanchis A., Gil Gómez H., Gil Gómez J.A – Instituto de automática e informática industrial (ai2) Universidad Politécnica de Valencia.

INTRODUCCION

En los últimos años tanto grupos de investigadores como estados y organizaciones de salud han comenzado a preocuparse por el campo de la rehabilitación. Este auge ha sido favorecido por el alarmante envejecimiento de la población y el gran número de personas que necesitan recibir este tipo de tratamientos, lo que comienza a suponer un importante coste para la sociedad, tanto económico como social. Hasta ahora los tratamientos de rehabilitación tradicionales requerían de personal especializado dedicado de forma casi exclusiva al paciente para atenderle durante las sesiones de rehabilitación y del uso de sistemas muy costosos e invasivos para las personas que limitaban el tiempo de las sesiones. La rápida evolución de la tecnología está permitiendo la aparición de nuevos tipos de tratamientos que hacen uso de la realidad virtual aplicada a la rehabilitación, lo que llamaremos a partir de ahora Rehabilitación Virtual o simplemente RV , a precios cada vez más bajos. En 1994 un sistema completo de RV podía costar en torno a 100.000\$, en el año 2002 ya se podía obtener por un precio de 6000\$ y en la actualidad haciendo uso de sensores como Kinect y un ordenador personal el precio del sistema completo podría ser inferior a 500\$, lo que, juntamente con el avance de internet, abre la posibilidad de realizar rehabilitación desde el hogar.

Como consecuencia del presente artículo se ha observado que la mayoría de publicaciones existentes permiten tener una visión del área en general y de sus posibles aplicaciones, no obstante la mayoría de estas publicaciones son antiguas o adolecen de un enfoque objetivo o un tamaño de muestra/población significativa que permitan obtener resultados concluyentes u observar la evolución del área. En el presente artículo pretendemos abordar precisamente estas carencias, haciendo un estudio actualizado y global del ámbito y de cómo la tecnología de la realidad virtual ha afectado en el mundo de la rehabilitación, basado en el estudio del estado del arte que nos permita ver el estado actual del área de la RV y su evolución durante los últimos años, así como las ventajas e inconvenientes que tiene asociada la implantación de esta tecnología.

MATERIALES Y METODOS

Para el desarrollo del presente artículo se ha hecho una búsqueda durante tres meses (desde octubre de 2012 hasta diciembre de 2012) de distintas publicaciones y foros online, revistas especializadas, conferencias y artículos a través de distintos procedimientos manuales y automatizados. A continuación vamos a detallar las fuentes, las herramientas y los procedimientos utilizados para realizar esta labor:

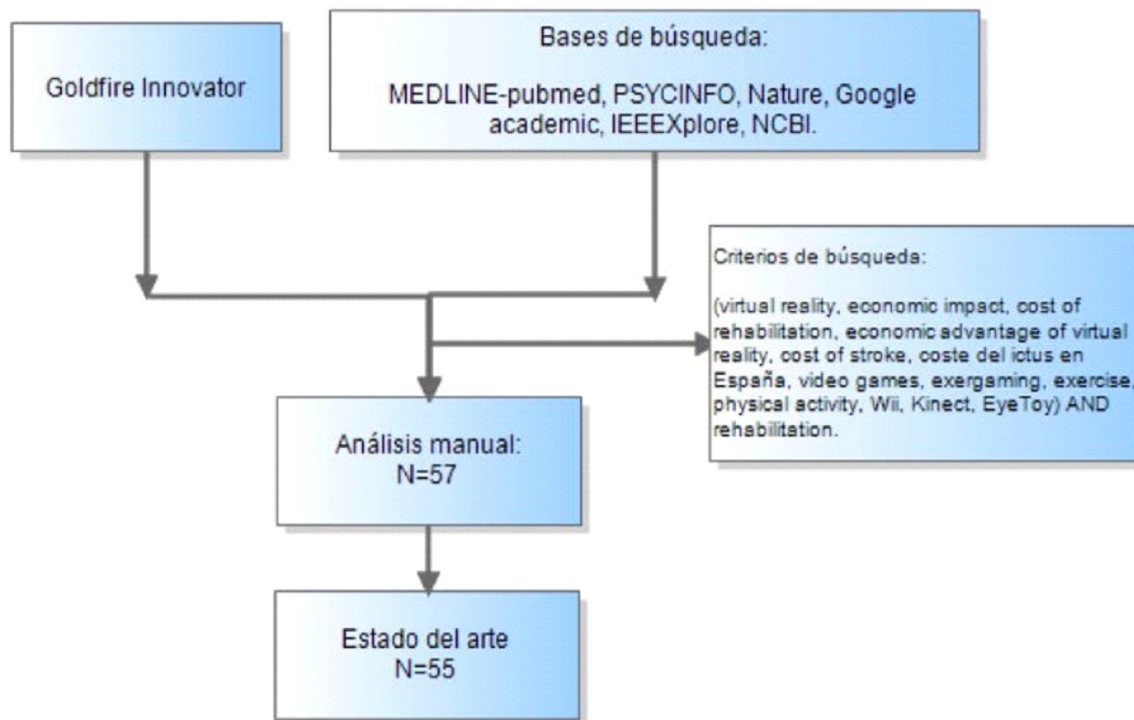


Figura 8.1: Diagrama del uso de las referencias. Elaboración propia.

Fuentes: Para realizar la búsqueda de documentación se hecho uso de las siguientes bases de datos: MEDLINE – pubmed, PSYCINFO, Nature, Google academic, IEEEExplore, NCBI. Sobre dichas bases de datos se han buscado las palabras clave siguientes: virtual reality, economic impact, cost of rehabilitation, economic advantage of virtual reality, cost of stroke, coste del ictus en España, video games, exergaming, exercise, physical activity, Wii, Kinect, EyeToy todas combinadas con rehabilitación. Se han analizado los resultados obtenidos tanto en español como en inglés, excluyendo el resto de idiomas. Procedimientos: A partir de las búsquedas realizadas descritas en el apartado anterior se ha obtenido una primera muestra de publicaciones. Tras leer el resumen y observar la relevancia de las mismas se han seleccionado un total de 57 publicaciones de forma manual y se han analizado de forma sistemática, buscando que contuvieran alguna de las palabras clave mencionadas en el apartado de “Fuentes” y que trataran sobre temas relacionados con la rehabilitación virtual, poniendo un mayor énfasis en aquellos que usaban dispositivos de bajo coste como la wii o kinect. De estos 57 artículos se han excluido 2 del estudio por no tratar el tema de interés o no resultar suficientemente representativos. Estas publicaciones se han utilizado para elaborar el apartado de “estado del arte” del presente informe.

ESTADO DEL ARTE

En la actualidad, debido al rápido avance de la tecnología, ha sido posible implantar sistemas de realidad virtual en gran multitud de ámbitos gracias, entre otras cosas, a la reducción de costes y a la mayor disponibilidad de dispositivos y sistemas. Para que esta evolución fuera posible eran necesarias grandes inversiones iniciales que se encontraron en el sector militar, debido a la necesidad de reducir costes en el entrenamiento de los pilotos de aviación en la década de los 60. Puesto que el término de realidad virtual ha tenido distintos usos nos vamos a basar en la definición de realidad virtual hecha por y, donde se identifican los elementos básicos que debe tener un entorno de realidad virtual. Según Rizzo, un sistema de realidad virtual debe proporcionar un control preciso sobre un entorno inmersivo, dinámico y con es-

tímulos controlados que permita un seguimiento del comportamiento y del rendimiento. Hoy podemos encontrar sistemas de realidad virtual que cumplen estas definiciones en distintos ámbitos. Podemos encontrar ejemplos de aplicación en el ámbito militar, como , también encontramos aplicaciones en el campo de la educación , de la cirugía , de la rehabilitación o de los videojuegos y la domótica . Todo ello gracias al avance de la tecnología. Una buena muestra de este avance aplicado a diversas áreas son los sensores de movimiento empleados en las consolas de séptima generación y posteriores, como por ejemplo el Kinect, un dispositivo que actualmente se puede adquirir por menos de 94\$ (2012), que permite la aplicación de la realidad virtual a diversos campos como ha demostrado Tedesys. También encontramos ejemplos similares que hacen uso de la videoconsola Wii, que puede adquirirse por un precio cercano a los 150\$(2012), como que permiten realizar ejercicios de rehabilitación motora o como que permite a personas con discapacidad controlar un entorno virtual. Con sistemas como estos combinados con la domótica se podrían eliminar barreras habituales en personas con deficiencias, pudiendo realizar tareas que de otra forma les sería imposible, tales como apagar las luces, subir o bajar una persiana, encender el televisor o muchas otras funciones que de otra forma le serían imposibles. Debido a la multitud de ámbitos en los que la realidad virtual tiene aplicación es necesario centrar el estudio en uno solo para poder profundizar suficientemente, por lo que en los siguientes apartados solamente se pretende profundizar en el ámbito de la realidad virtual aplicada a la rehabilitación o RV y la aplicación de los dispositivos de bajo coste en esta área.

VENTAJAS DE LA RV

Los sistemas actuales de RV ofrecen varias ventajas respecto a los sistemas de rehabilitación clásicos. Entre ellos cabe destacar la posibilidad de ser programados, la gradualidad en la dificultad requerida para completar los ejercicios, el control elevado por parte del terapeuta de la evolución de los pacientes gracias al feedback, la validez ecológica, el bajo coste de los sistemas completos, etc. Estas ventajas se pueden clasificar en tres grandes grupos: Ventajas económicas: Tanto para los pacientes como para los centros la implantación de la RV frente a las terapias tradicionales u otros sistemas supone un ahorro importante. Ventajas para el especialista: Los sistemas de RV asisten a los especialistas en las sesiones de rehabilitación ofreciendo un gran número de facilidades y datos objetivos, de la misma forma también permiten atender de forma más eficiente a un mayor número de pacientes con un coste menor. Ventajas para el paciente y entorno: Los sistemas actuales de RV se han demostrado efectivos en cuanto a la validez en los resultados clínicos obtenidos y se ha observado una mayor motivación por parte de los pacientes que realizan estos tipos de tratamiento . Recientemente también ha aparecido la telerehabilitación, que mejora la calidad de vida del paciente y de su entorno.

Ventaja	Publicaciones relacionadas
Ventajas económicas	<p>En la actualidad el coste de los sistemas de RV es una fracción del coste de los sistemas de rehabilitación tradicionales, esto ha sido posible gracias al avance de la técnica ya que en 1994 un sistema completo de RV podía costar en torno a 100.000\$ y en el año 2013 el coste de un sistema con mejores características incluyendo los sensores, el PC y el software se podría comercializar por menos de 500\$ frente a los sistemas tradicionales como IREX \$10,000 , o Armeo \$52,000</p> <p>En torno a 2005 aparecen las consolas de séptima generación, dispositivos comerciales de bajo coste y con una gran accesibilidad diseñados para el ocio, no obstante se ha demostrado que su versatilidad permite que sean empleadas en otros ámbitos como la realización de ejercicios de rehabilitación en el domicilio.</p>
Ventajas para el especialista	<p>Los terapeutas durante el desarrollo de su trabajo no solamente tienen que ayudar al paciente a realizar los ejercicios de rehabilitación, sino que tienen que implicarse en muchos otros ámbitos, tales como ayudar al paciente a prepararse para el ejercicio o proporcionarle ayuda física y psicológica. Por este motivo el tiempo que tiene el terapeuta para realizar las sesiones de rehabilitación se ve limitado y normalmente sufre interrupciones durante la sesión. Si el sistema de RV está diseñado pensando en las necesidades del terapeuta, éste permite que el terapeuta optimice el tiempo ofreciendo una gran flexibilidad y aportando información de forma automática que puede ser analizada a posteriori, permitiendo al terapeuta centrarse en el paciente durante la sesión de rehabilitación.</p> <p>Los terapeutas podrían ver la RV como una amenaza, ya que podría sustituirles, no obstante diversos estudios concluyen que la RV es una herramienta, y que no debe eliminarse el contacto humano con el paciente, siendo este muy importante también para la rehabilitación.</p>
Ventajas para el paciente y el entorno	<p>Los sistemas actuales de RV se han demostrado efectivos en cuanto a la validez en los resultados clínicos obtenidos como mecanismos suplementarios a la terapia tradicional en un gran número de estudios, no obstante en algunos estudios se han mostrado efectivos también sin ningún otro tipo de terapia.</p> <p>El uso de dispositivos RV aumentan la motivación de los pacientes a la hora de realizar los ejercicios de rehabilitación, si la mayor motivación se combina con el uso de sistemas de bajo coste, que permiten aumentar el tiempo de las sesiones de rehabilitación, los resultados obtenidos en la recuperación del paciente mejoran significativamente. El aumento de la motivación a la hora de realizar ejercicio se puede utilizar no solamente para que el paciente realice tratamientos de rehabilitación, sino también para que haga tratamientos preventivos. En enfermedades como la obesidad o la diabetes es importante realizar ejercicios para prevenir enfermedades como el ictus. En este ámbito el uso de la realidad virtual ayuda a mejorar la calidad de vida de las personas con estas enfermedades.</p> <p>Otra de las posibilidades que ha abierto el uso de la RV es la rehabilitación desde el hogar o la telerehabilitación. Con el aumento de la penetración de la banda ancha en la población, han aparecido también nuevos sistemas que permiten al paciente realizar las terapias de rehabilitación desde el domicilio, sin necesidad de desplazamiento y con un control médico gracias al envío de los datos al centro especializado. Esto permite mejorar la calidad de vida de los pacientes y de sus familiares, ya que les permite realizar la terapia de rehabilitación sin necesidad de desplazamientos y la pérdida de tiempo que ello supone. También permite seguir un tratamiento de forma continua a personas que viven en áreas rurales, que de otra forma les sería imposible realizar más de una o dos sesiones al mes.</p>

Tabla 8.1: Ventajas de la rehabilitación usando sistemas de realidad virtual. Elaboración propia.

IDENTIFICACION DE TENDENCIAS

En el análisis del área de la RV se han podido identificar distintas tendencias en los artículos publicados. Cada artículo suele focalizarse, por lo menos, en una de dichas tendencias. El campo N° indica el número de artículos en cada tendencia, la suma total es mayor que 55 ya que hay artículos que tratan más de una de las tendencias identificadas. En el impacto socioeconómico se han separado las publicaciones que tratan sobre la definición de nuevos conceptos y las que hacen un estudio socioeconómico del área.

Indice	Tendencia	Nº	Descripción
1	Impacto socioeconómico	13 + 5	Explicación de la realidad virtual y descripción de nuevos conceptos aplicados a la rehabilitación. Estudio del impacto sobre la vida de los pacientes y de su entorno. Estudio del impacto económico en la sociedad, los centros y las familias.
2	Rehabilitación cognitiva y psicológica	9	Aplicación de la realidad virtual a pacientes con algún tipo de déficit psicológico, como fobias o estrés post traumático
3	Rehabilitación motora	33	Uso de sistemas de RV en pacientes con déficits motores debidos sobre todo a ictus
4	Exergaming	3	Combinación de la Realidad Virtual y los videojuegos para que los usuarios realicen ejercicio como medida preventiva enfermedades cardiovasculares y cerebrovasculares.
5	Tele-rehabilitación	7	Uso de la tecnología para que los pacientes puedan realizar su terapia de rehabilitación desde el hogar, sin necesidad de desplazamientos.

Tabla 8.2: Descripción de tendencias en realidad virtual. Elaboración propia

IMPACTO SOCIOECONÓMICO

Uno de los puntos más importantes de cualquier área es la medida del impacto que esta puede tener sobre la sociedad y la economía. Rizzo y Kim (2005) hacen un primer estudio socioeconómico del sector. Este artículo es pionero haciendo un estudio de la realidad virtual y sus aplicaciones a la rehabilitación y midiendo el crecimiento y la importancia del área. Para ello hace uso del análisis DAFO, muy utilizado en el estudio de empresas, usado muy a menudo en otros ámbitos. En el artículo concluía que el área de la RV estaba todavía en una fase temprana del desarrollo, con un buen número de estudios y resultados de investigaciones prometedores, pero con pocos sistemas y poca presencia en las prácticas clínicas. También concluye que hay que hacer un estudio de los costes/beneficios que proporcionan este tipo de sistemas. A finales de 2003 aparece Eye Toy, el primer sensor para videojuegos que se utilizó en la rehabilitación, que con un sistema de unos 1.000\$ obtiene resultados similares al sistema Armeo de 40.000\$. Con estos sistemas ya se obtuvieron resultados positivos, no obstante hasta finales de 2005 y principios de 2006, que aparecen videoconsolas de séptima generación como Wii y en 2010 el sensor Kinect, no se afianzó el concepto de sistemas “Low-Cost”. La accesibilidad y el bajo coste de estos dispositivos representaban una gran ventaja para una tecnología que habiendo sido diseñada inicialmente para el ocio, podía utilizarse para que los pacientes realizaran ejercicios desde el domicilio. La aparición de estos sistemas “Low-Cost” permitió poder estudiar nuevos sistemas eliminando la problemática de los costes (Rizzo y Kim, 2005). A partir de este momento numerosos grupos investigadores comienzan a desarrollar sistemas haciendo uso de los sensores de las videoconsolas pero sin ninguna referencia “es-

tándar”. Marston & Smith(2012) y Ershow y otros(2011) intentan solucionar este problema analizando los sistemas existentes hasta el momento y dando pautas para el desarrollo de sistemas futuros. Como podemos observar, desde 2005 que Rizzo realizo su estudio ha habido numerosos cambios en la tecnología que han permitido el desarrollo de nuevos sistemas, no obstante desde 2005 nadie ha hecho un estudio global del área, intentando medir el impacto en la sociedad y en la economía de estos cambios. El realizar este tipo de estudios cobra una gran importancia teniendo en cuenta el impacto que puede tener en todos los niveles de la sociedad, tanto por el número de personas a las que afecta como por los costes de los tratamientos. Un ejemplo de la importancia del área es que solamente en España, en el año 2009 había 1.113.626 personas mayores de 65 años con dependencia y se estimó que los costes derivados del ictus podían suponer entre el 3 % y el 4 % del gasto sanitario de los países con rentas elevadas, siendo la mayor parte de ellos en costes hospitalarios en el primer año y aumentando el coste de otras partidas como la rehabilitación en los años posteriores. Es por ello que intentar prevenir este tipo de enfermedades podría suponer un importante ahorro para los países tanto económica como socialmente, porque como dice el artículo o , muchos de los pacientes que sobreviven a un ictus sufren secuelas importantes que les limitan en sus actividades de la vida diaria y tienen que cargar con los costes durante toda su vida, lo que “supone una carga para los individuos, sus familias y sus comunidades”.

REHABILITACIÓN COGNITIVA Y PSICOLOGICA

Desde la aparición de la realidad virtual ésta se ha visto como una herramienta útil para ayudar en la rehabilitación psicológica, donde es necesario crear un entorno que simule con éxito un ambiente real y, que al mismo tiempo, se puedan controlar los estímulos generados para controlar las reacciones de los pacientes, permitiendo así incidir directamente en las limitaciones provocadas por los déficits neuropsicológicos. Todos estos puntos se pueden abordar gracias a la posibilidad de programar el entorno o de controlar de forma gradual la dificultad en los ejercicios entre otros factores . Uno de los problemas a los que se enfrenta la aplicación de la realidad virtual a la psicología es la gran variedad de posibles entornos generados, pudiendo ser éstos inmersivos y no inmersivos a su vez. Noreña y otros (2010) restan importancia a esta problemática afirmando que si el escenario refleja el mundo real y, además, implica procesos cognitivos similares a aquéllos utilizados en situaciones de la vida cotidiana, su validez ecológica está garantizada. En encontramos un ejemplo de ésto, donde se observan resultados positivos a pesar de la problemática comentada. Otro de los problemas a los que se enfrenta es, por una parte, la falta de estudios con una muestra suficientemente grande de pacientes que pueda confirmar los beneficios de la RV en psicología y por otra parte los prometedores resultados de algunos estudios en el área . Rizzo y otros (2010) nos da un ejemplo de ello. En esta publicación se hace uso de un sistema de RV para tratar el desorden por estrés post-traumático o PTSD en soldados que han estado en el frente en las guerras de Afganistán y de Irak, mostrando resultados positivos incluso tres meses después del tratamiento. A esta mejora de resultados clínicos también va unido el hecho de que los pacientes prefieren los tratamientos de RV frente a los tratamientos clásicos siempre y cuando se demuestre su eficacia .

Finalmente, otra de las tendencias que recientemente ha aparecido es el uso de dispositivos de bajo coste para realizar rehabilitación psicológica. Wuang y otros (2010) hacen uso de la Wii como herramienta suplementaria a la terapia tradicional, consiguiendo mejorar la eficacia del tratamiento en pacientes con síndrome de down y en se hace uso del Kinect en una plataforma de neurorrehabilitación.

REHABILITACIÓN MOTORA

Existen multitud de estudios en pacientes con enfermedades neurológicas con afección motora que muestran resultados prometedores, aunque las muestras utilizadas en la mayoría de casos son pequeñas o los estudios carecen de grupo de control podemos decir que el avance en este campo es continuo y prometedor. Muestra de este avance es el gran número de dispositivos y sistemas que se están desarrollando en los últimos años para ayudar a pacientes que, por ejemplo, padecen parálisis cerebral o

han sufrido un ictus , entre otras muchas posibilidades. En la actualidad podemos encontrar una gran variedad de estudios que tratan sobre la rehabilitación motora muy distintos entre sí, debido a que cada deficiencia y función que se quiera mejorar requiere de sistemas distintos: Gil-Gómez y otros (2011) diseñan un sistema basado en la Wii Balance Board con validez para tratar problemas de equilibrio o Laver y otros (2011) que analiza los resultados de aplicar RV en el miembro superior, el miembro inferior y la función motora global.

Respecto a los sistemas que se utilizan para rehabilitación motora consideramos que la clasificación más importante en la actualidad es la de sistemas de bajo coste o low-cost frente a otros sistemas como el TOyRA . La principal ventaja de estos sistemas es su precio, que favorece su implantación, no obstante hasta la aparición de estudios que demostraran la utilidad de estos sistemas como o la utilización en la práctica común ha sido mínima. Hoy en día ya existen centros que utilizan con éxito estas tecnologías como la de , no obstante es necesario seguir estudiando los efectos, tanto positivos como negativos (dolor, molestia, . . .) que producen estos sistemas.

EXERGAMING

El Exergaming o exercise + gaming es un término que ha aparecido recientemente en la literatura y que tiene distintas definiciones. Una de las más completas es la de Plow y otros(2011) que define exergaming como jugar a un videojuego en una televisión, con un ordenador o con un proyector con un sistema de monitorización del movimiento que permita controlar las acciones a realizar mediante el movimiento del cuerpo y que implique un gasto de energía considerable comparado con los niveles de reposo. En el presente artículo cuando nos referimos a exergaming únicamente vamos a tener en cuenta a la acción preventiva de enfermedades que podrían derivar en la necesidad de rehabilitación y merma de calidad de vida de las personas, como por ejemplo el sobrepeso, que aumenta el riesgo de accidente cerebrovascular. Al tratarse de prevención y no de tratamiento se ha decidido exponer el exergaming como un punto separado en el presente artículo, aunque podría estar incluido en el apartado de rehabilitación motora. Otro de los motivos por los que se ha separado de la rehabilitación motora es el enorme potencial que tiene la industria de los videojuegos y el rápido avance que tiene , lo que puede provocar que esta área crezca mucho más rápido que las puramente motoras en los próximos años.

En la actualidad un gran número de personas tienen una vida sedentaria. Hay enfermedades derivadas de estos hábitos de vida que podrían ser combatidas simplemente realizando algunos minutos de ejercicio al día pero que no se hace por falta de motivación o por tener otros intereses. En este ámbito nos puede ayudar la realidad virtual y los videojuegos, al aumentar la motivación a realizar la actividad, sobre todo en la población más joven aunque sin excluir a personas de mayor edad. Esta revolución ha sido posible gracias a las videoconsolas de séptima generación y la forma más dinámica de interaccionar con ellas, principalmente la Wii y Kinect y la posibilidad de adaptarlas a otro tipo de ambientes. Un ejemplo de esto lo desarrollan Rizzo y otros (2011) diseñando un sistema que permite jugar a videojuegos como el World of Warcraft o el Halo mediante movimientos del cuerpo.

TELEREHABILITACION

La Telerehabilitación es una tendencia que se podría incluir en los apartados dedicados a la rehabilitación motora o psicológica, no obstante en el presente artículo se ha decidido situar en un punto aparte debido a que se considera de gran importancia, ya que supone una gran ventaja para el paciente, y cada vez es más factible gracias al aumento en la penetración de la banda ancha en todo el mundo. El intentar realizar un tratamiento de rehabilitación a distancia conlleva muchos inconvenientes, por una parte aparecen problemas médicos, tecnológicos o legales , por otra parte tenemos las ventajas que supone para el paciente, sobre todo para aquellos que viven en zonas rurales, y la eficacia probada de dichos sistemas . En la actualidad está aumentando el interés en esta área, ejemplos de ello los encontramos en o en donde encontramos la justificación y la descripción técnica del desarrollo de un sistema de telerehabilitación

probado en tres niños basado en la ps3, o que describe un sistema similar que hace uso de la Xbox y de un guante como periférico o que es un sitio web donde se exponen y comentan distintos estudios relacionados con la telerehabilitación.

CONCLUSION

La rehabilitación es una realidad de la que cada vez un mayor número de personas forman parte. El envejecimiento de la población y los hábitos de vida sedentarios cada vez más comunes en la sociedad actual están produciendo un aumento en el número de personas que sufren un ictus o ven su movilidad reducida por diversos motivos necesitando de rehabilitación motora. También hay un gran número de pacientes que necesitan de rehabilitación psicológica como por ejemplo en EEUU, donde un gran número de soldados que han estado en la guerra sufren de estrés post traumático o de un gran número de personas que requieren de rehabilitación para el tratamiento de fobias. Este incremento en el número de pacientes que necesitan tratamientos hacen de la rehabilitación un área muy importante en la investigación para intentar reducir los costes de los tratamientos y mejorar la efectividad de los mismos, todo ello sin empeorar la experiencia del paciente. Hasta hace pocos años los tratamientos empleados en rehabilitación requerían de la dedicación exclusiva de un especialista para cada paciente y de sistemas muy específicos intrusivos en la mayoría de los casos y de elevado coste. Para la rehabilitación motora normalmente se hacía uso de sistemas mecánicos y en rehabilitación cognitiva se usaban sistemas muy complejos de simulación de entornos controlados. Desde un poco antes del año 2006 se da un giro en la forma de realizar rehabilitación con la aparición del concepto de sistemas low-cost y la aplicación de la realidad virtual en los tratamientos. Con el avance y el abaratamiento de la tecnología comenzaban a aparecer estudios que hacían uso de sistemas desarrollados específicamente para el área de la rehabilitación con mucho menor coste que el de los sistemas mecánicos anteriores. A partir de 2006 con la aparición de la Wii y posteriormente Kinect el número de estudios que aplicaban estas tecnologías a la rehabilitación se ha ido incrementando hasta la actualidad. En la actualidad nos encontramos con un gran número de estudios que aplican la tecnología de la realidad virtual a la rehabilitación. El problema que encontramos es que la mayoría de estos estudios carecen de un enfoque objetivo, de una muestra suficientemente grande, de unas pautas para el desarrollo de los sistemas o simplemente son demasiado antiguos para reflejar el estado actual del área, por lo que es difícil identificar las tendencias actuales. Para suplir estas carencias se ha realizado un estudio del estado del arte actualizado, identificando las ventajas de la aplicación de las nuevas tecnologías en el área de la rehabilitación e identificando las siguientes tendencias:

IMPACTO SOCIOECONOMICO

En el impacto socioeconómico hemos incluido las publicaciones que definen nuevos conceptos aplicables al área de la rehabilitación mediante realidad virtual, así como las publicaciones que realizan un estudio socioeconómico. Se ha observado que desde el año 2005 prácticamente no han aparecido nuevos conceptos, simplemente se han desarrollado algunos que ya se habían propuesto con anterioridad. En lo referente al estudio socioeconómico del área apenas existen publicaciones que midan el impacto económico de los nuevos avances, posiblemente por la dificultad de obtener información o por que la implantación de estas tecnologías está siendo lenta, debido a que la mayoría de sistemas desarrollados en investigaciones no se han transformado en sistemas comerciales. Rehabilitación cognitiva y psicológica / Rehabilitación motora Estas dos tendencias agrupan la mayoría de publicaciones del área. Numerosos artículos hablan de la validez clínica de la aplicación de la realidad virtual en esta área aunque sin poder obtener una confirmación definitiva por las carencias de los estudios realizados. En ambas tendencias se identifica un considerable incremento en el uso de sistemas de bajo coste como la Wii y Kinect con buena aceptación por parte de los pacientes que participan en los estudios, no obstante la mayoría de los sistemas desarrollados en las publicaciones no se han convertido en productos comerciales y se han

abandonado tras finalizar las investigaciones, lo que ha provocado que los sistemas low-cost actuales solamente dispongan de funcionalidades muy básicas.

EXERGAMING

La posibilidad de realizar ejercicio haciendo uso de los sistemas de captura de movimiento permite reducir el sedentarismo y con ello prevenir enfermedades que derivarían en la necesidad de realizar tratamientos de rehabilitación. Actualmente esta tendencia está en una fase muy temprana, no obstante en los próximos años podría experimentar un importante crecimiento si las grandes compañías del mundo del entretenimiento deciden entrar en el ámbito de la salud, como parece que están intentando mediante algunos videojuegos como Wii Sports o Kinect Training.

TELE-REHABILITACION

El poder hacer rehabilitación desde el hogar es una de las mayores ventajas que nos permite la tecnología. Dentro de la telerehabilitación hemos detectado dos posibles aplicaciones: realizar rehabilitación desde el hogar por vivir en áreas geográficamente remotas o realizar la rehabilitación desde el domicilio por comodidad para el paciente y evitar desplazamientos. En la actualidad no existen muchos estudios que traten esta tendencia, no obstante la penetración de la banda ancha en los hogares en los próximos años y la evolución que se prevé en este ámbito hacen de la telerehabilitación una tendencia que puede crecer mucho en los próximos años. Tras lo anterior se efectúa la conclusión del artículo: Por una parte el uso de realidad virtual en la rehabilitación es un área que está experimentando un gran crecimiento en los últimos años, gracias a la aparición de dispositivos comerciales de bajo coste y alta disponibilidad que permitirán reducir los costes de los tratamientos con una mejor asistencia y motivación para los pacientes. Por otra parte está la falta de madurez del área y la gran diversidad de estudios no homogéneos que tratan aspectos muy diversos de la rehabilitación mediante realidad virtual. Tras los resultados obtenidos en el presente artículo se recomienda el desarrollo de estándares y modelos aplicables a cada una de las tendencias identificadas, detallando los requerimientos necesarios en los sistemas, la metodología a seguir durante las investigaciones y formas objetivas de medir los resultados obtenidos. Una vez definidos estos estándares los futuros artículos tendrían que centrarse en una de las tendencias que se han identificado, ya que el crecimiento que está experimentando la RV hace imposible profundizar en todos los ámbitos existentes en una sola publicación, y seguir los estándares anteriormente propuestos. También se recomienda una revisión periódica del estado del arte realizado en el presente artículo, para identificar posibles nuevas tendencias, actualizar las ya existentes o eliminar aquellas que ya no existen.

Bibliografía

Alcañiz, M., Monserrat, C., Meier, U., Juan, C., Grau, V., and Gil, J. (2003). GeRTiSS: generic real time surgery simulation. Meets Virtual Reality 2003, Newport Beach - California (EEUU). *Studies in Health Technology and Informatics*, 12-13.

Anderson, F., Annett, M., and Bischof, W. (2010). Lean on Wii: physical rehabilitation with virtual reality Wii peripherals.

Annema, J.-H., Verstraete, M., Abeeel, V. V., Desmet, S., and Geerts, D. (2010). Videogames in therapy: a therapist's perspective.

Baumhauer, M., Fauerstein, M., Meinzer, H., and Rassweiler, J. (2008). Navigation in Endoscopic Soft Tissue Surgery: Perspectives and limitations. *Journal of Endourology*, vol.22(4): 751-766.

Bayón, M., and Martínez, J. (2009). Rehabilitación del ictus mediante realidad virtual. doi:10.1016/j.rh.2009.11.005.

Burdea, G. C. (2003). Virtual Rehabilitation – Benefits and Challenges. *Methods Inf Med* 42, 5, 519-523.

Castelnuovo, G., Gaggioli, A., Mantovani, F., and Riva, G. (2003). MUNDOS VIRTUALES PARA GENERAR EXPERIENCIAS REALES: ELUSO DE LA "TERCERA VÍA.^{EN} PSICOTERAPIA Y REHABILITACIÓN COGNITIVA. Congreso Virtual de Psiquiatría. Interpsiquis Enero 1970. Psiquiatria.com.

Corral-Bergantiños, Y. (2011). Revisión sistemática sobre la aplicación de la Realidad Virtual en enfermedades neurológicas con afectación motora.

Enrique-Sucar, L., Luis, R., Leder, R., Hernández, J., and Sánchez, I. (2010). Gesture Therapy: A Vision-Based System for Upper Extremity Stroke Rehabilitation .

Ershow, A. G., Peterson, C. M., Riley, W. T., Rizzo, A. “., and Wansink, B. (2011). Virtual Reality Technologies for Research and Education in Obesity and Diabetes: Research Needs and Opportunities . Journal of Diabetes Science and Technology.

Fivan. (s.f.). Recuperado el 01 de 03 de 2013, de <http://fivan.org/?p=2087>

Fung, V., So, K., Park, E., Ho, A., Shaffer, J., Chan, E., and Gomez, M. (2010). The utility of a video game system in rehabilitation of burn and nonburn patients: a survey among occupational therapy and physiotherapy practitioners.

Gállego, J., Herrera, M., Jericó, I., Muñoz1, R., Aymerich, N., and Martínez-Vila, E. (2008). El ictus en el siglo XXI. Tratamiento de urgencia. <http://www.cfnavarra.es> vol.1, Suplemento 1.

García-García, E. S., Rosa-Alcázar, A. I., and Olivares-Olivares, P. J. (2011). Terapia de Exposición Mediante Realidad Virtual e Internet en el Trastorno de Ansiedad/Fobia Social: Una Revisión Cualitativa. *terapia psicológica*, Vol. 29, N° 2, 233-243.

Gesturetek. (2006). <http://www.gesturetek.com/>. Recuperado el 26 de 02 de 2013, de IREX: <http://www.gesturetekhealth.com/products-rehab-irex.php>

Gil-Agudo, A., Terrer, I. D., Martín, B. P., Guzmán, A. d., Sahún, A. B., and García, A. B. (2011). Experiencia clínica de la aplicación del sistema de realidad TOyRA en la neuro-rehabilitación de pacientes con lesión medular. *Rehabilitación (Madr)*. doi:10.1016/j.rh.2011.10.005.

Gil-Gómez, J.-A., Lloréns, R., Alcañiz, M., and Colomer, C. (2011). Effectiveness of a Wii balance board-based system (eBaViR) for balance rehabilitation: a pilot randomized clinical trial in patients with acquired brain injury. *JOURNAL OF NEUROENGINEERING AND REHABILITATION*.

Golomb, M. R., Barkat-Masih, M., Rabin, B., Abdelbaky, M., Huber, M., and Burdea, G. (2009). Eleven Months of Home Virtual Reality Telerehabilitation - Lessons learned. *IEEE Xplore*.

Golomb, M., McDonald, B., Warden, S., Yonkman, J., Saykin, A., Shirley, B., . . . Burdea, G. (2010). In-Home Virtual Reality Videogame Telerehabilitation in Adolescents With Hemiplegic Cerebral Palsy. *Arch Phys Med Rehabil* Vol 91.

Gregg, L., and Tarrrier, N. (2007). Virtual reality in mental health. A review of the literature. *Soc Psychiatry Psychiatr Epidemiol*, 42:343–354.

Hale, L. A., Satherley, J. A., McMillan, N. J., Milosavljevic, S., Hijmans, J. M., and King, M. J. (2012). Participant perceptions of use of CyWee Z as adjunct to rehabilitation of upper-limb function following stroke. *JRRD* Volume 49, Number 4, 623–634.

Harrison, G. W., Haruvy, E., and Rutström, E. E. (2010). Remarks on Virtual World and Virtual Reality Experiments. Forthcoming, *Southern Economic Journal*.

heartandstroke. (2010). Recuperado el 26 de 02 de 2013, de <http://www.heartandstroke.on.ca/site/apps/nlnet/content2.aspx?c=pvI3IeNWJwEandb=6115621&ct=8488745>

Hocoma. (2008). <http://www.hocoma.com/>. Recuperado el 26 de 02 de 2013, de Arneo®- Functional upper extremity rehabilitation.

Huber, M., Rabin, B., Docan, C., Burdea, G., IEEE, Nwosu, M. E., . . . Golomb, M. R. (2008). PlayStation 3-based Tele-rehabilitation for Children with Hemiplegia. *IEEE*.

Huber, M., Rabin, B., IEEE, Docan, C., and Burdea, G. C. (2010). Feasibility of Modified Remotely Monitored In-Home Gaming Technology for Improving Hand Function in Adolescents With Cerebral Palsy. *IEEE Xplore*.

kinecthabilitacion. (s.f.). Recuperado el 01 de 03 de 2013, de <http://kinecthabilitacion.wordpress.com/>

- Laver, K., George, S., Thomas, S., Deutsch, J., and Crotty, M. (2011). Virtual reality for stroke rehabilitation (Review). *The Cochrane Library*, Issue 9.
- Levac, D., Pierrynowski, M., Canestraro, M., Gurr, L., Leonard, L., and Neeley, C. (2010). Exploring children's movement characteristics during virtual reality video game play. Elsevier.
- Marston, H. R., and Smith, S. T. (2012). Interactive Videogame Technologies to Support Independence in the Elderly: A Narrative Review. *GAMES FOR HEALTH JOURNAL: Research, Development, and Clinical Applications* Volume 1, Number 2,.
- Martínez-Vila, E., Irimia, P., Urrestarazu, E., and Gállego, J. (2000). <http://www.cfnavarra.es>. Recuperado el 26 de 02 de 2013, de El coste del ictus: <http://www.cfnavarra.es/salud/anales/textos/vol23/suple3/suple6.html>
- Microsoft prensa. (s.f.). Recuperado el 01 de 03 de 2013, de <http://www.microsoft.com/spain/prensa/noticia.aspx?infoid=Nuevo-centro-de-rehabilitacion-con-kinect-para-personas-con-esclerosis-multiple>
- Naranjo-Ornedo, V. (2009). La realidad virtual al servicio del bienestar social.
- Neri, E., Caramella, D., and Bartolozzi, C. (2008). *Image Processing in Radiology - Current Applications*. New York, NY: Springer.
- Noreña, D. d., Sánchez-Cubillo, I., García-Molina, A., Tirapu-Ustárruz, J., Bombín-González, I., and Ríos-Lago, M. (2010). Efectividad de la rehabilitación neuropsicológica en el daño cerebral adquirido (II): funciones ejecutivas, modificación de conducta y psicoterapia, y uso de nuevas tecnologías. *www.neurologia.com Rev Neurol* , 51 (12): 733-744.
- Pañella, O. G. (2006). ¿De qué hablamos cuando nos referimos a la Realidad Virtual? <http://mosaic.uoc.edu>.
- Pereira, E. M., Rueda, F. M., Diego, I. A., Cuerda, R. C., Mauroc, A. D., and Page, J. M. (2011). Empleo de sistemas de realidad virtual como método de propiocepción en parálisis cerebral: guía de práctica clínica. doi:10.1016/j.nrl.2011.12.004.
- Plow, M. A., McDaniel, C., Linder, S., and Alberts, J. L. (2011). A Scoping Review of Exergaming for Adults with Systemic Disabling Conditions. *Bioengineering and Biomedical Science*.
- Rand, D., Kizony, R., and Weiss, P. L. (2008). The Sony PlayStation II EyeToy: Low-Cost Virtual Reality for Use in Rehabilitation. *JNPT* Volume 32.
- Riva, G. (2002). Virtual Reality for Health Care: The Status of Research. *CYBERPSYCHOLOGY and BEHAVIOR*, Volume 5, Number 3,.
- Rizzo, A. “., and Kim, G. J. (2005). A SWOT Analysis of the Field of Virtual Reality Rehabilitation and Therapy. *Presence*, Vol. 14, No. 2, 119–146.
- Rizzo, A. “., Difede, J., Rothbaum, B. O., Reger, G., Spitalnick, J., Cukor, J., and Mclay, R. (2010). Development and early evaluation of the Virtual Iraq/Afghanistan exposure therapy system for combat-related PTSD. *ANNALS OF THE NEW YORK ACADEMY OF SCIENCES*, 114–125.
- Rizzo, A. “., Lange, B., Suma, E. A., and Bolas, M. (2011). Virtual Reality and Interactive Digital Game Technology: New Tools to Address Obesity and Diabetes. *Journal of Diabetes Science and Technology*, Volume 5, Issue 2.
- Rothbauma, B. O., Garcia-Palaciosb, A., and Rothbaumc, A. O. (2012). Tratamiento de los trastornos de ansiedad con terapia de exposición a realidad virtual. *elsevier*, 5(2):67—70.
- Rutgers. (2006). <http://www.rutgers.edu/>. Recuperado el 01 de 03 de 2013, de <http://www.sciencedaily.com/releases/2006/08/060828211649.htm>
- Sacristán, C. M. (2010). <http://www.deia.com>. Recuperado el 01 de 03 de 2013, de <http://www.deia.com/2010/11/01/sociologia-abriendo-una-puerta-importante-se-podra-hacer-rehabilitacion-sin-ir-al-hospital>
- SANIDAD, M. D. (2009). Estrategia en Ictus del Sistema Nacional de Salud.
- Sanitaria2000. (2010). <http://neurologia.publicacionmedica.com>. Recuperado el 26 de 02 de 2013, de <http://neurologia.publicacionmedica.com/spip.php?article557>
- Search Technology, Inc. (2011). *Vantage Point User's Guide - version 7.1*.
- Shih-CH, Chang, M., and Shih-CT. (2010). A limb action detector enabling people with multiple disabilities to control environmental stimulation through limb action with a Nintendo Wii Remote Controller. Elsevier.

somosmedicina. (2012). Recuperado el 01 de 03 de 2013, de <http://www.somosmedicina.com/2012/05/kinect-en-rehabilitacion.html>

Sucar, L. E., Leder, R., Hernández, J., Sánchez, I., and Azcárate, G. (2010). Clinical Evaluation of a Low-Cost Alternative for Stroke Rehabilitation.

TALKMIT, M. J. (1998). <http://vr.coe.ecu.edu>. Recuperado el 26 de 02 de 2013, de <http://vr.coe.ecu.edu/vrits/1-4talkm.htm>

Tedesys. (s.f.). Recuperado el 01 de 03 de 2013, de <http://www.tedesys.es/es/products>

TRIZ. (s.f.). www.triz.es. Obtenido de <http://www.triz.es/adaptingshop/usuario/productos/fichaproducto22.asp?desplegarMenu=401&menuSeleccionado=3&idproducto=5>

Wuang, Y., Chiang, C., Su, C., and Wang, C. (2010). Effectiveness of virtual reality using Wii gaming technology in children with Down syndrome. Elsevier.

Yong, J. L., Soon, Y. T., Xu, D., Thia, E., Pei, F. C., Kuah, C., and Kong, K. (2010). A feasibility study using interactive commercial off-the-shelf computer gaming in upper limb rehabilitation in patients after stroke.