

# ***Un sistema de tele-rehabilitación para personas mayores basado en Kinect***

David Antón, Alfredo Goñi, Arantza Illarramendi, Juan José Torres-Unda

*Universidad del País Vasco UPV/EHU*

Jesús Seco Calvo

*Universidad de León*

## **1 Introducción**

EL envejecimiento de la población y la mayor tasa de supervivencia frente a enfermedades que pueden dejar secuelas físicas suponen un reto para una gestión sanitaria eficiente. Por esta razón es necesario implantar nuevos sistemas que permitan la rehabilitación de las personas en el hogar y que a la vez sean efectivos y fáciles de usar para las personas. Los sistemas de telerehabilitación pueden mejorar la calidad de vida de estas personas a la vez que suponen un gran ahorro para los servicios sanitarios.

En general, un sistema de telerehabilitación permite el seguimiento y apoyo de sesiones de fisioterapia realizadas en el hogar de diferentes colectivos: personas mayores, discapacitados y enfermos, facilitando el contacto con el personal que se encuentra en los centros de rehabilitación. Existen diversos estudios que indican la utilidad terapéutica que tiene el trabajar con sistemas de telerehabilitación. Pruebas realizadas basadas en la interacción virtual han evidenciado que pueden ser tan eficaces como los tratamientos tradicionales y pueden aportar además otras ventajas para el usuario y el fisioterapeuta (Rizzo & Kim, 2005; Weiss, Rand, Katz & Kizony, 2004). Además un factor importante a tener en cuenta es el carácter motivador que pueden tener estos sistemas. Es relativamente frecuente el abandono de las sesiones de rehabilitación clásica por aburrimiento o desinterés. Usar sistemas de telerehabilitación con captura de movimientos puede incrementar la intensidad de la rehabilitación y también la diversión del usuario (Rizzo & Kim, 2005; Hanif, Niaz & Khan, 2011).

Un sistema de telerehabilitación básico tiene como mínimo una cámara que permite al fisioterapeuta ver al usuario. Los sistemas más complejos incluyen sensores que pueden registrar los movimientos del usuario. Existe una gran variedad

## 4. REALIDAD AUMENTADA

de métodos de interacción en los que se monitoriza el movimiento de una persona. Estos métodos se pueden dividir en función del tipo de sensor utilizado en tres grupos principales: seguimiento asistido por robot, seguimiento no visual y seguimiento visual (Zhou & Hu, 2008). El objetivo de todos ellos es obtener datos en tiempo real de los cambios de posición de una persona y de las partes de su cuerpo.

Nosotros hemos considerado usar Kinect, un sistema de interacción natural desarrollado por Microsoft, como dispositivo de captura de movimientos. Concretamente la versión lanzada en febrero de 2012, optimizada para funcionar en Windows (Kinect-for-Windows, 2013). Kinect se clasifica como un sistema visual sin marcadores que permite a los usuarios controlar e interactuar con las aplicaciones mediante una interfaz que reconoce gestos, comandos de voz y objetos, sin necesidad de tener contacto físico. Consiste en una cámara de vídeo, una cámara de profundidad basada en infrarrojos y una serie de cuatro micrófonos.

Los datos obtenidos permiten visualizar la escena en tres dimensiones y proporcionan información sobre la posición y las articulaciones del usuario. En comparación con otros sistemas en los que el usuario tiene que llevar sensores en el cuerpo, los sistemas desarrollados con la tecnología de Kinect, son más cómodos y no sufren problemas de oclusión del marcador. Esta tecnología aplicada al campo de la telerehabilitación permite en general construir sistemas que, mediante el reconocimiento de movimientos y gestos, pueden evaluar automáticamente ejercicios terapéuticos realizados por el usuario.

Entre los distintos trabajos sobre sistemas de telerehabilitación que se pueden encontrar en la literatura, relacionados tanto con el seguimiento visual como con el no visual, destacamos los siguientes:

El sistema descrito por Martin-Moreno et al. en (Martin-Moreno, Ruiz Fernandez, Soriano-Paya & Berenguer-Miralles, 2008) propone una solución de telerehabilitación basada en el mando Wii Remote de Nintendo. Este dispositivo es inalámbrico y usa un acelerómetro para registrar los movimientos del usuario en tres dimensiones. El sistema consta de dos módulos, uno con el que interactúan los usuarios y otro para el fisioterapeuta. El módulo del usuario ofrece una interfaz intuitiva que permite seleccionar qué ejercicios realizar y además indica si está realizando o no correctamente el ejercicio. La interfaz del fisioterapeuta permite el acceso remoto a los datos de la persona, consultar los resultados y modificar el tratamiento si lo considera oportuno.

Holden et al. (Holden, Dyar & Dayan-Cimadoro, 2006) propone otro sistema de telerehabilitación, en este caso se usa un dispositivo de seguimiento electromagnético. El sistema muestra a la persona el ejercicio a realizar, y esta debe imitarlo

## 4. REALIDAD AUMENTADA

usando el dispositivo de seguimiento. Un algoritmo evalúa el ejercicio presentado y el del usuario, en función de distintos parámetros como velocidad, tiempo o precisión. Una opción del sistema es iniciar una videoconferencia con el fisioterapeuta y transmitirle, en tiempo real, los datos de los ejercicios. Los ejercicios se cargan mediante scripts que semiautomatizan las terapias y todos los datos de las sesiones se almacenan en una base de datos que el fisioterapeuta puede consultar. Las pruebas realizadas con este sistema mostraron que se habían producido mejoras significativas en el estado de los usuarios que usaron el sistema.

Biotrak (Llorens et al., 2011) es un sistema de telerehabilitación para realizar tareas orientadas a juegos. Su objetivo es lograr un entorno virtual en el que personas con deterioro cognitivo puedan realizar ejercicios simples. El sistema de seguimiento consta de dos cámaras de infrarrojos y marcadores reflectantes que proporcionan información tridimensional de los movimientos de los usuarios. Biotrak se compone de tres módulos: gestión, base de datos y ejercicios. El sistema proporciona una experiencia inclusiva que evade al usuario de la terapia motivándole para seguir con la rehabilitación.

Frente a sistemas como los anteriores, que utilizan sensores de inercia, acelerómetros o sistemas de seguimiento mediante marcado, Kinect ofrece una clara ventaja; la persona no debe ponerse ningún tipo de dispositivo ni prenda especial para interactuar con el sistema. Se consigue una interacción no invasiva y totalmente natural para el usuario, ideal para realizar ejercicios de telerehabilitación. Así mismo agiliza la puesta en marcha del sistema al reducirse el número de elementos necesarios.

KineRehab es un sistema de terapia ocupacional basado en Kinect (Chang, Chen & Huang, 2011). Permite realizar tres ejercicios diferentes: levantar los brazos al frente, levantar los brazos a los lados y levantar los brazos hacia arriba. El sistema detecta la posición de las articulaciones del usuario y establece si se ha alcanzado el objetivo. De esta forma se puede cuantificar la precisión de los ejercicios realizados en la rehabilitación. Además de almacenar los datos de los ejercicios realizados, el sistema motiva al usuario mediante sonidos y vídeo. El sistema se evaluó dividiendo las pruebas en dos fases que se repetían dos veces alternas. Una primera fase en la que el fisioterapeuta indicaba al usuario cómo realizar el ejercicio y este lo repetía. Y una segunda fase donde la persona usaba KineRehab, sin intervención del fisioterapeuta. Los ejercicios realizados correctamente en la fase 2 con KineRehab se incrementaron significativamente respecto a los de la fase 1. Por otra parte los usuarios disfrutaron con la terapia y mostraron interés en seguir usando el sistema.

En la tabla 1 se resumen los sistemas presentados anteriormente y se puede apreciar que sus características son muy variadas. La propuesta de este trabajo va

## 4. REALIDAD AUMENTADA

encaminada hacia el uso de Kinect pero incluye nuevos retos frente a los considerados por KineRehab. Cabe destacar que los sistemas analizados no disponen de una gran variedad de ejercicios. Así, hemos desarrollado un sistema denominado KiReS (Kinect Rehabilitation System) que incluye además dos aplicaciones novedosas. Una aplicación para el fisioterapeuta que le permitirá definir fácilmente nuevos ejercicios en base a unos movimientos básicos acompañada de un sistema de evaluación de los nuevos ejercicios. En las sesiones reales el fisioterapeuta establece una terapia que consta de diferentes ejercicios que debe realizar la persona. Estas terapias no suelen ser estáticas, el fisioterapeuta las adapta, ya sea añadiendo nuevos ejercicios o eliminando otros en función de los resultados que obtiene la persona. Con el objetivo de facilitar la tarea de análisis de las ejecuciones de los ejercicios de cada persona y optimizar así la terapia, se propone otra aplicación que realizará una gestión automática de terapias. Esta aplicación analizará los datos de las personas y basándose en protocolos y datos médicos previos sugerirá al fisioterapeuta cambios en las terapias.

	Sistema de seguimiento	Ejercicios	Interfaz para el fisio	Comunicación de video con el fisio	Evaluación automática	Pruebas con pacientes
WiiTherapy	Acelerómetro	Miembros superiores	Sí	No	Comprueba repeticiones y si se alcanzan ciertos objetivos	Sí
Sistema de rehabilitación	Electromagnético	Miembros superiores	Sí	Sí	Evaluación de trayectorias	Sí
Biotrak	Multitracking (Cámaras de infrarojos con marcadores)	Cuerpo completo (6 juegos)	Sí	No	Comprueba que los ejercicios se hayan realizado correctamente	Sí
KineRehab	Kinect (Cámara de profundidad basada en infrarojos)	Miembros superiores (3 ejercicios)	Sí	No	Comprueba repeticiones y si se alcanzan ciertos puntos	Sí

Tabla 1: Comparativa de sistemas de rehabilitación.

## 2 Arquitectura del sistema KiReS

Un sistema de telerehabilitación puede abarcar funciones muy variadas, puede ofrecer diferentes servicios al usuario y al fisioterapeuta y pueden existir en él

## 4. REALIDAD AUMENTADA

procesos que se ejecuten de manera automática. Es por ello que la arquitectura que proponemos está dividida en módulos y con estructura cliente-servidor, como se muestra en la figura 1 (aunque existen módulos específicos para comunicaciones y acceso a la base de datos, no se muestran en la figura). Se hace distinción entre el cliente usuario y el cliente fisioterapeuta que acceden al mismo servidor pero ofrecen distinta funcionalidad.

La interacción del usuario con el sistema se realiza únicamente a través de Kinect mientras que el fisioterapeuta puede interactuar con teclado y ratón y también con Kinect.

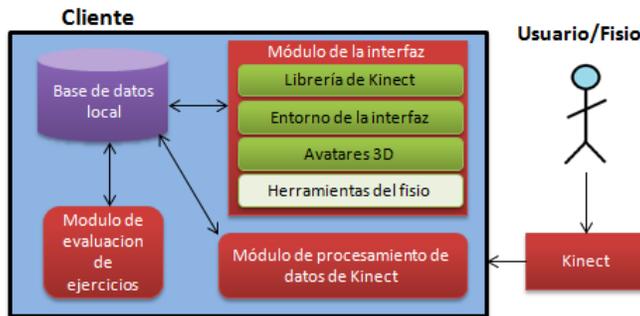


Figura 1: Arquitectura del sistema.

En el programa cliente del usuario los datos obtenidos de Kinect se estructuran para realizar la evaluación de los ejercicios realizados. El módulo de procesamiento de datos trata los datos recibidos y crea un descriptor de la postura del usuario. El módulo de evaluación usando los descriptores evalúa los ejercicios realizados y establece si se han ejecutado de manera correcta comparando los resultados obtenidos con los datos esperados para ese tipo de ejercicio. A la hora de mostrar al usuario los ejercicios que debe realizar es necesario que la visualización sea atractiva y que anime a la persona a participar en la terapia. El módulo de visualización gestiona la interfaz de usuario, genera los menús para la interacción con el sistema y la escena de realización de ejercicios donde un avatar en 3D muestra el ejercicio correspondiente indicando al usuario cómo debe hacerlo (ver figura 2). Esta visualización también incluye el avatar que controla el usuario, que muestra los movimientos que él mismo realiza, y comentarios y consejos para que el usuario comprenda los objetivos del ejercicio. Este módulo también genera la interfaz que permite al usuario contestar auto-test para la evaluación de las sesiones. El módulo de comunicación exterior gestiona las comunicaciones con el fisioterapeuta así como la transmisión de información a la base de datos del servidor.

## 4. REALIDAD AUMENTADA

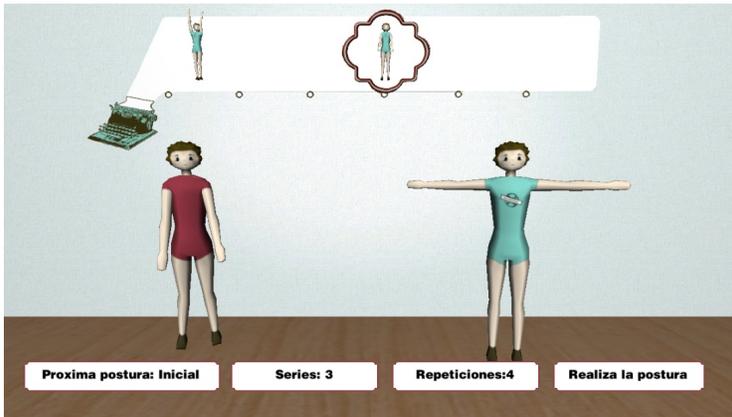


Figura 2: Escena de realización de los ejercicios.

En el programa cliente del fisioterapeuta destacamos la herramienta de gestión de terapias que es la que permite por un lado introducir y configurar ejercicios en el sistema y por otro lado gestionar las terapias de los usuarios. Con esta herramienta el fisioterapeuta puede agregar nuevos ejercicios y movimientos al sistema realizándolos él mismo con Kinect, definiendo nuevas posturas y las ejecuciones de los mismos (ver figura 3). También incluye una herramienta para la definición de auto-tests y para la visualización de los históricos grabados de las sesiones de los usuarios.

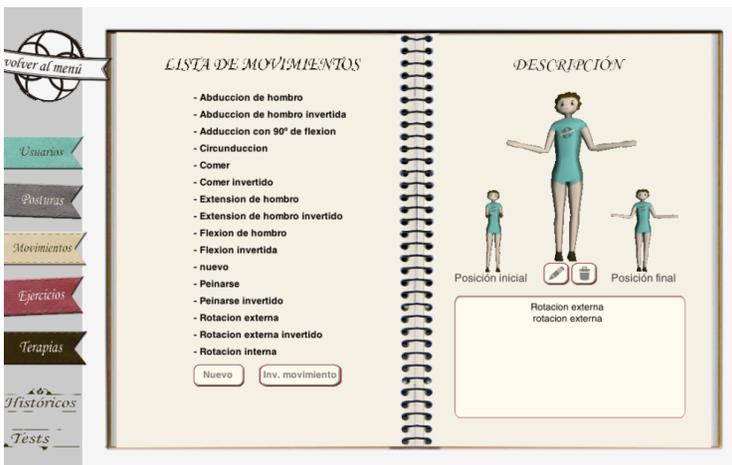


Figura 3: Gestión de ejercicios.

## 4. REALIDAD AUMENTADA

Por último en el servidor se encuentra el módulo de planificación automática, una de las características más innovadoras de este sistema, que se encarga de sugerir modificaciones de las terapias que deberá realizar el usuario en función de los resultados del mismo y de acuerdo a una base de conocimiento establecida con ayuda de fisioterapeutas, para así obtener unos resultados óptimos.

### 3 Procesamiento de datos de Kinect en KiReS

Como ya hemos mencionado anteriormente Kinect cuenta con una cámara de vídeo, una cámara de profundidad basada en infrarrojos y una serie de cuatro micrófonos. Los datos obtenidos permiten visualizar la escena en tres dimensiones y proporcionan información sobre la posición y las articulaciones del usuario.

El software de Kinect recupera un esqueleto del usuario compuesto por puntos de 20 articulaciones (ver figura 4) a una frecuencia aproximada de 30 lecturas por segundo. Estos puntos están definidos por coordenadas en tres dimensiones (X,Y,Z). Los valores que toman los puntos que ofrece el esqueleto están representados en dos sistemas de coordenadas diferentes. Para las posiciones en X e Y el origen de coordenadas se sitúa en el centro de la imagen que obtiene la cámara y se mantiene ahí independientemente de la posición en la que se encuentre el usuario. Estos valores se dan en metros. Por otra parte el origen de coordenadas para el eje Z se encuentra en la cámara y los valores que toma la coordenada Z vienen dados en metros desde la cámara, con un rango de valores entre 0.85 y 4 metros. Hay que tener en cuenta que en el caso de no poder obtener la posición Z de un punto, ya sea porque se encuentra demasiado cerca o demasiado lejos, el valor que toma es 0.

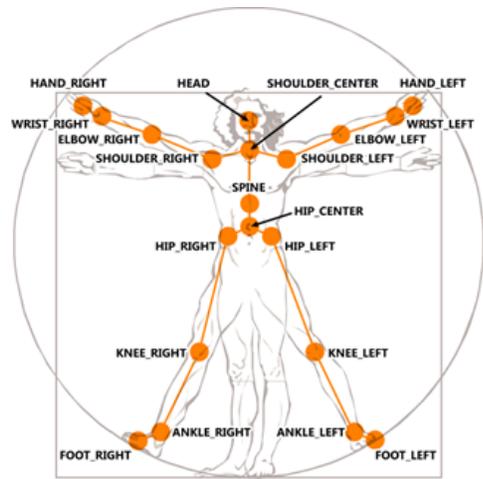


Figura 4: Mapa del esqueleto de Kinect.

En la evaluación de ejercicios juegan un papel importante el reconocimiento de posturas y el reconocimiento de ejercicios, seguidamente mostramos las características principales de estos procesos.

## 4. REALIDAD AUMENTADA

### Descriptor de posturas

El objetivo de crear un descriptor para definir posturas es conseguir un conjunto de datos que puedan usarse para representar e identificar inequívocamente una postura y a la vez que esos datos sean los menos posibles para agilizar el procesamiento de los mismos. En este contexto de telerehabilitación es muy importante que las operaciones puedan realizarse en tiempo real. Además de un descriptor también es necesario especificar una medida de distancia que permita comparar los descriptores entre sí y establecer la similitud entre ellos, de esta forma se puede decir si una postura se corresponde con otra o no. A continuación mostramos las características de un descriptor que nos permite identificar posturas en 3D obtenidas mediante Kinect.

La base del descriptor es la estructura de esqueleto que se obtiene de Kinect, compuesto por 20 articulaciones descritas por puntos con 3 coordenadas. El descriptor se ha definido usando tres tipos de medidas a partir de las 20 articulaciones: ángulos entre articulaciones, ángulos entre miembros del cuerpo y posiciones relativas en el eje Z.

La combinación de todas las medidas anteriores da como resultado un descriptor de 30 características con dos partes bien diferenciadas, 18 características binarias que dan información sobre la postura en el eje Z y 12 características que representan los ángulos que forman los diferentes miembros del cuerpo proyectados sobre el plano frontal y los ángulos del cuello y la espalda proyectados sobre el plano lateral.

Las dos partes del descriptor se evalúan de manera independiente y los resultados de estas evaluaciones se combinan para definir una medida de similitud entre posturas. La integración de un algoritmo como este en un sistema requiere que se establezca un valor umbral para medir la similitud, a partir del cual se deja de considerar que una postura dada es del mismo tipo que la postura conocida. Mediante pruebas se ha establecido el valor óptimo para este parámetro, sin embargo este se puede ajustar para aumentar o disminuir la sensibilidad del sistema. En definitiva sirve como un mecanismo para controlar la dificultad de los ejercicios presentados al usuario ya que modificar su valor haría que el algoritmo fuera más o menos restrictivo a la hora de dar una postura como válida.

Al evaluar un movimiento realizado frente al sistema este algoritmo se aplica en una búsqueda secuencial sobre una base de datos de posturas conocidas, una vez analizadas todas, se asigna a la postura desconocida la clase de la postura que tenga una distancia menor y cuya distancia se encuentre por debajo del valor umbral establecido.

## 4. REALIDAD AUMENTADA

### Reconocimiento de ejercicios

Los ejercicios están definidos como una postura inicial, una postura final y las trayectorias de las articulaciones más relevantes (ver figura 5). Y estos tres componentes de un ejercicio intervienen en la fase de reconocimiento.

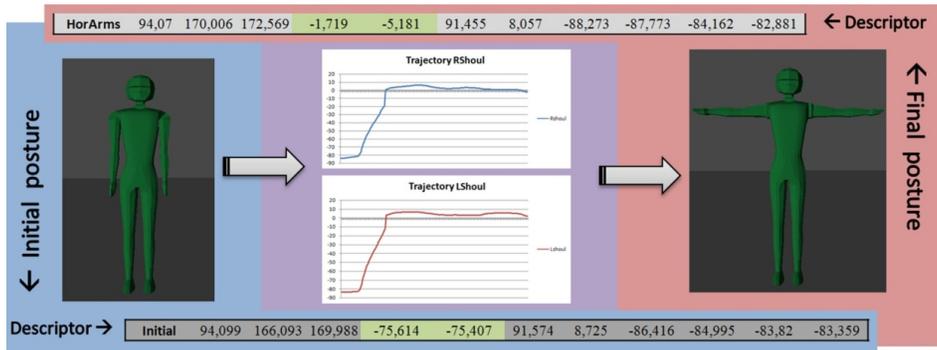


Figura 5: Estructura de un movimiento.

### Identificación de la postura de inicio

Cuando se inicia un ejercicio el sistema espera a que el usuario realice la postura inicial que forma parte de esos ejercicios. Mediante el algoritmo de reconocimiento de posturas se comprueba la postura actual del usuario hasta que se identifica la postura inicial del ejercicio. Estas comprobaciones se realizan en tiempo real a razón de unas 30 por segundo que es la frecuencia con la que Kinect ofrece datos. Una vez identificada la postura inicial se pasa a la segunda fase.

### Evaluación de la trayectoria en tiempo real

En la fase de evaluación de la trayectoria se recogen los movimientos del usuario y se comprueba que sean los correspondientes al ejercicio que se está realizando. Tras haber seleccionado las variables relevantes que intervienen en el ejercicio se realiza el análisis de trayectorias de estas variables con un algoritmo DTW (Dynamic Time Warping, este algoritmo se detalla en (Salvador & Chan, 2007)). Las trayectorias de cada variable del movimiento realizado por el usuario se comparan secuencialmente con las almacenadas correspondientes a ese ejercicio. Si se detecta que el movimiento para alguna de ellas no es el esperado se indica al usuario cuál es el miembro del cuerpo con el que no está ejecutando el ejercicio correctamente.

## 4. REALIDAD AUMENTADA

### Identificación de la postura final

Una vez identificada la postura inicial del ejercicio y a la vez que se produce la evaluación de la trayectoria se aplica el algoritmo de reconocimiento de posturas para comprobar si el usuario se encuentra en la postura final del ejercicio.

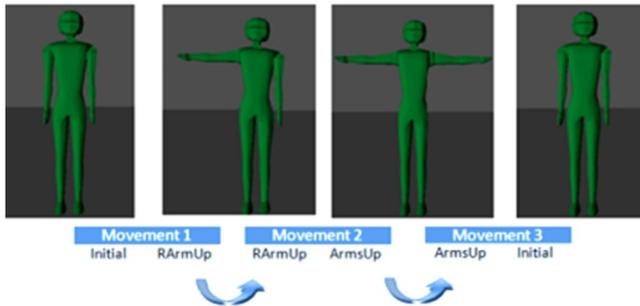


Figura 6: Ejemplo de un ejercicio compuesto de movimientos simples.

En el momento en el que se identifica la postura final el sistema almacena los datos del movimiento realizado por el usuario. Si el ejercicio consta de más movimientos (como se muestra en la figura 6) se procederá de nuevo a identificar la postura inicial del nuevo movimiento y si no el ejercicio se dará por finalizado.

## 4 Conclusiones

En la actualidad es un hecho reconocido que las funcionalidades de los sistemas de telerehabilitación son limitadas. En muchos casos los ejercicios disponibles en ellos son reducidos y la inclusión de nuevos ejercicios no es lo suficientemente sencilla como para que sea el fisioterapeuta por sí mismo quien lo realice.

Un reto que se aborda en este trabajo consiste en permitir incorporar nuevos ejercicios de una manera simple, lo que implica, además, el desarrollo de una aplicación que sea capaz de evaluarlos correctamente. Por otra parte, en las terapias reales, el fisioterapeuta no establece una terapia fija que sigue de manera estricta. Generalmente la terapia se adapta a los resultados de la persona, prolongando, reduciendo o añadiendo nuevos ejercicios cuando resulta necesario. La modificación automática de la terapia o la capacidad del sistema para sugerir cambios es otro aspecto que no se ha abordado en los sistemas de telerehabilitación actuales y que se considera en este proyecto.

Los diferentes módulos que constituyen la arquitectura del sistema propuesto

## 4. REALIDAD AUMENTADA

proporcionan una amplia gama de funcionalidades destacando: la gestión eficiente de posturas, movimientos y ejercicios, la interacción con el usuario a través de Kinect, el reconocimiento y evaluación de ejercicios, y una interfaz amigable que incluye avatares 3D.

Con el fin de desarrollar el sistema y caracterizar las posturas, movimientos y ejercicios hemos trabajado de manera conjunta con fisioterapeutas. En contraste con otros enfoques, nuestro sistema es adaptable a diferentes tratamientos físicos. Permite cargar ejercicios para una amplia variedad de alteraciones físicas, dando a los fisioterapeutas la oportunidad de añadir nuevos ejercicios de acuerdo a sus propios criterios. También pensamos que la evaluación basada en métodos científicos (combinando la evaluación automática con los auto-tests del usuario) es una diferencia relevante de nuestra propuesta.

Además, el sistema permite el registro de una gran cantidad de datos de las personas que realizan terapias de rehabilitación: ejecuciones de ejercicios, evaluaciones de la terapia, resultados de los tests, en resumen, información relevante y detallada de la recuperación de los usuarios. Creemos que estos datos pueden ser una gran fuente de conocimiento para los fisioterapeutas. Es por ello que en futuras investigaciones se espera desarrollar un nuevo módulo que permita explotar todos estos datos.

En definitiva nuestra propuesta de sistema de telerehabilitación cuenta con un sistema de control totalmente natural para el usuario, es flexible en la definición de terapias e incluye aplicaciones de evaluación y gestión con el fin de simplificar y automatizar al máximo su funcionamiento. ■

## Referencias

- Rizzo, A. S. & Kim, G. J. (2005). A SWOT analysis of the field of virtual reality rehabilitation and therapy. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 14(2), 119–146.
- Weiss, P. L., Rand, D., Katz, N. & Kizony, R. (2004). Video capture virtual reality as a flexible and effective rehabilitation tool. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 1(1), 12–24.
- Hanif, M., Niaz, H. & Khan, M. A. (2011). *Investigating the possible role and usefulness of video capture virtual reality in motor impairment rehabilitation*. Paper presentado en el 2<sup>nd</sup> International Conference on Next Generation Information Technology, Gyengju, Corea del Sur.

#### 4. REALIDAD AUMENTADA

- Zhou, H. & Hu, H. (2008). Human motion tracking for rehabilitation – A survey. *Biomedical Signal Processing and Control*, 3(1), 1–18.
- Microsoft. (2013). *Kinect for Windows*. Recuperado el 06 de enero de 2014, de <http://www.microsoft.com/en-us/kinectforwindows/discover/features.aspx>
- Martin-Moreno, J., Ruiz-Fernandez, D., Soriano-Paya, A. & Berenguer-Miralles, V. J. (2008). *Monitoring 3D movements for the rehabilitation of joints in physiotherapy*. Paper presentado en el 30<sup>th</sup> Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Vancouver, Canadá.
- Holden, M. K., Dyar, T. A. y Dayan-Cimadoro, L. (2006). *Design and testing of a telerehabilitation system for motor re-training using a virtual environment*. Paper presentado en International Workshop on Virtual Rehabilitation, 2006. Nueva York, EEUU.
- Llorens, R., Gil-Gomez, J., Mesa-Gresa, P., Alcaniz, M., Colomer, C. & Noe, E. (2011). *BioTrak: A comprehensive overview*. Paper presentado en International Conference On Virtual Rehabilitation, 2011. Zúrich, Suiza.
- Chang, Y., Chen, S. & Huang, J. (2011). A kinect-based system for physical rehabilitation: A pilot study for young adults with motor disabilities. *Research in Development Disabilities*. 32(6), 2566–2570.
- Salvador, S. & Chan, P. (2007). Toward accurate dynamic time warping in linear time and space. *Intelligent Data Analysis*, 11(5), 561–580.