

En los últimos años, la industria informática y de videojuegos ha creado nuevas tecnologías domésticas y de bajo coste para la captura de movimientos humanos, lo cual abre nuevas posibilidades de combinar videojuegos y análisis biomecánicos. El proyecto iStoppFalls, financiado por el 7º Programa Marco de la Unión Europea, aprovecha esta oportunidad para evaluar el riesgo de caídas durante la interacción de los usuarios al realizar ejercicios en videojuegos y llevar a cabo programas de entrenamiento para mejorar el equilibrio. Uno de los retos consiste en conseguir medidas de suficiente calidad, a partir de un sistema originalmente diseñado para capturar movimientos poco precisos. Este problema se resuelve redefiniendo los protocolos de medida y realizando un análisis avanzado de las variables capturadas por los sensores de los videojuegos. Para ello se han adaptado criterios validados de evaluación del riesgo de caída, convirtiéndolos en ejercicios y juegos que pueden realizarse en el hogar, sin supervisión ni instrumentación. El movimiento realizado durante estos ejercicios se monitoriza a través del sensor Kinect de Microsoft, utilizando un modelo esquelético de 22 grados de libertad, con ángulos articulares corregidos mediante un filtro de partículas.

## Mejorar el equilibrio con videojuegos

**Helios de Rosario Martínez<sup>1</sup>, Carolina Ávila Carrasco<sup>1,2</sup>, Francisco Fos Ros<sup>1</sup>, Enric Medina Ripoll<sup>1</sup>, Wilder Eduardo Castellano Hernández<sup>1</sup>, Clara Bollaín Pastor<sup>1</sup>, Rakel Poveda Puente<sup>1</sup>, Iñigo Morales Martín<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> INSTITUTO DE BIOMECÁNICA DE VALENCIA

<sup>2</sup> GRUPO DE TECNOLOGÍA SANITARIA DEL IBV, CIBER DE BIOINGENIERÍA, BIOMATERIALES Y NANOMEDICINA (CIBER-BBN)

### INTRODUCCIÓN

Las caídas son un problema multifactorial con numerosas causas entrelazadas. Algunas están relacionadas con el entorno, como el lugar en el que vivimos o el estilo de vida, mientras que otras son factores individuales relacionados con la salud y la forma física: caídas anteriores, género, edad, medicaciones, salud mental o aspectos fisiológicos.

De entre estas causas, los factores fisiológicos tienen un interés especial, ya que pueden ser medidos por la respuesta de nuestro cuerpo a pruebas específicas. Una aproximación tradicional a la valoración del riesgo de caída es la evaluación del control postural mientras se permanece de pie, utilizando modelos simples del cuerpo humano como el del "péndulo invertido": una barra rígida sujeta al suelo por un resorte que provoca un balanceo, cuyo centro de gravedad se mueve con una dinámica dependiente del control sobre la postura. También hay aproximaciones más complejas basadas en medir la reacción del cuerpo en otras tareas, relacionadas con los contextos más habituales en los que las personas tienen riesgo de caerse, como sentarse y levantarse, andar, agacharse, etc., que utilizan modelos corporales con cadenas cinemáticas.

>

### Improving the users' balance with video-games

In recent years, the computer and video-games industry has created new home-based, low-cost technologies for capturing human movements, which make the combination of video-games and biomechanical analysis a feasible reality. The iStoppFalls project takes advantage of this opportunity for assessing the risk of falling and improve the users' balance during their interaction with exercise games. One of the challenges is achieving measures of enough quality, from a system that is originally designed for capturing gross movements. This problem is solved by a redefinition of the measurement protocols, plus advanced analysis of the variables captured by the video-game sensors, in order to reduce the distance between required and achieved precision. Validated fall risk assessment criteria have been adapted to exercises that can be made at home, without supervision or additional instrumentation. A skeleton model with 22 degrees of freedom has been tracked by Kinect, with joint angles corrected by a particle filter.

> En algunos casos incluso se utilizan modelos de cuerpo completo, apoyados por datos sobre masas y momentos de inercia de los distintos segmentos corporales, y con los que se puede medir la dinámica del cuerpo en cualquier tipo de movimiento, así como evaluar rangos de movimiento y otras variables cinemáticas que pueden resultar de interés. Esta aproximación es especialmente útil para aplicarla a las técnicas modernas de valoración del riesgo de caída, basadas en factores de riesgo validados y capaces de discriminar entre personas con distinta tendencia a caer. Estos métodos suelen tomar como datos de partida información sobre la persona y su contexto, y el resultado de algunas pruebas físicas como tiempos de reacción ante un estímulo, poner un pie delante del otro, subir escalones, sentarse y levantarse, levantar las piernas mientras se está sentado, etc. Estas técnicas no se basan tanto en medidas precisas del desplazamiento del centro de gravedad de las personas, sino en una serie de parámetros más sencillos de medir y especialmente seleccionados por la alta sensibilidad y especificidad a la hora de predecir el riesgo de caída.

Este tipo de medidas resultan especialmente adecuadas para ser tomadas con dispositivos de bajo coste como los que se utilizan en las nuevas tecnologías de consumo personal; entre ellas, las consolas de videojuegos. Este hecho, además, sintoniza de forma ideal con la actual tendencia de integrar el cuidado de la salud y la calidad de vida con el ocio, a través de las nuevas tecnologías. Este es el principio seguido por el proyecto iStoppFalls, financiado por el 7º Programa Marco de la Unión Europea y coordinado por la Universidad de Siegen (Alemania), con la participación de centros tecnológicos y

empresas de cuatro países europeos, incluido el Instituto de Biomecánica (IBV), más el grupo de investigación de Neuroscience Research Australia, líder en el mundo en el estudio de caídas.

## DESARROLLO

El objetivo de este proyecto es desarrollar un sistema basado en las tecnologías de la información para ayudar a las personas mayores a prevenir caídas a través de contenidos educativos y programas de ejercicios con los que se evaluará y entrenará su equilibrio. El sistema estará gestionado por una red social de información y conocimiento a la que el usuario tendrá acceso mediante su televisión y una consola de videojuegos integrada (Figura 1). El dispositivo principal del videojuego es el sensor Kinect de Microsoft, que sirve para interactuar con la consola a través de gestos, y al mismo tiempo para monitorizar los movimientos que se realizan al ejecutar los juegos y ejercicios. Algunos ejercicios (el juego de "explotar burbujas", más ejercicios posturales y de sentarse y levantarse) son adaptaciones de métodos validados para evaluar el riesgo de caída. Otros, como el programa de ejercicios "Otago" y los videojuegos de equilibrio (Figura 2), se emplean para ejercitar la fuerza y el equilibrio de los usuarios mediante programas de entrenamiento personalizados. Además, el sistema proporciona al usuario una red social y contenidos formativos para mejorar su salud y estado físico.

El análisis de movimientos utilizado para evaluar el equilibrio y el nivel de seguimiento de los ejercicios se basa en un modelo de esqueleto, con 15 puntos característicos de la

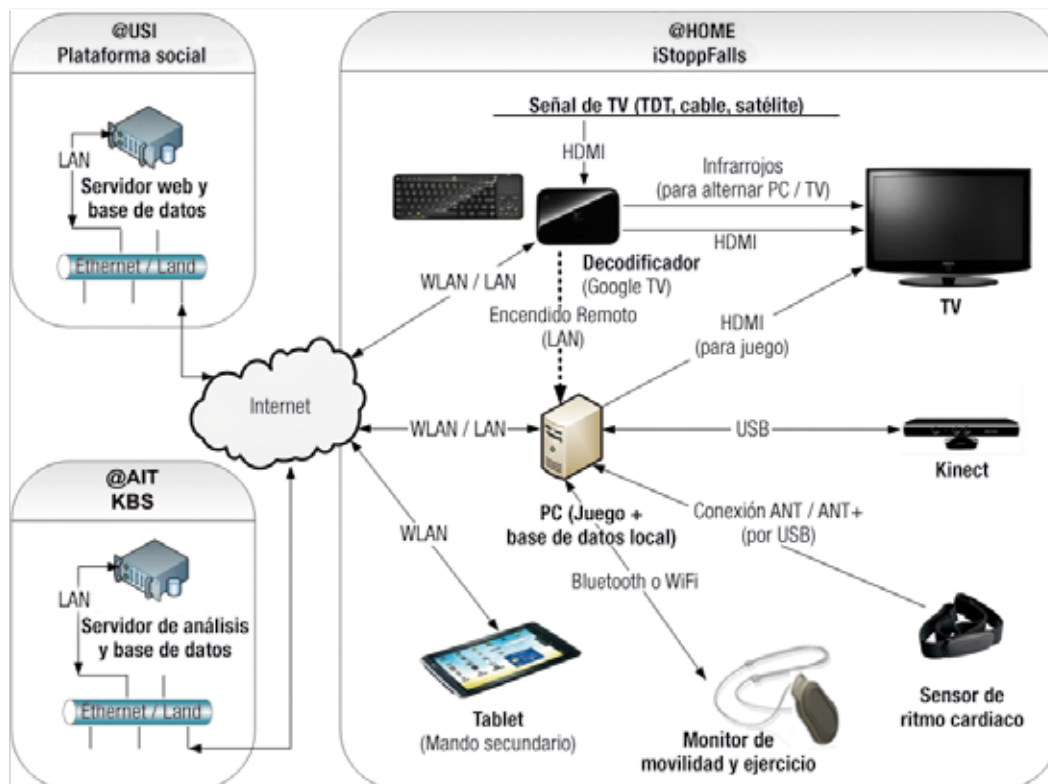


Figura 1. Arquitectura del sistema iStoppFalls.



Figura 2. Imagen del videojuego "Parque del abejorro".

anatomía y 10 articulaciones entre segmentos. Este modelo puede obtenerse mediante el análisis de la información proporcionada por el sensor óptico de Kinect, aunque para ello se ha tenido que resolver un importante problema de precisión de las variables biomecánicas (Figura 3). El sensor en cuestión y el software asociado no están diseñados para aplicaciones de investigación con alta calidad de resultados, sino para el control de videojuegos, basados normalmente en monitorizar la posición de los puntos anatómicos (especialmente manos y pies) en dos dimensiones. Sin embargo, para el análisis biomecánico es necesario tener una medida fiable de los ángulos articulares (rotación de hombros, codos, caderas, rodillas...) que los "kits de desarrollo" de Kinect no proporcionan con un nivel de calidad adecuado. Aunque los ángulos articulares que interesan para el análisis tienen una relación directa con las posiciones de los puntos anatómicos que el sensor detecta razonablemente bien, el número de

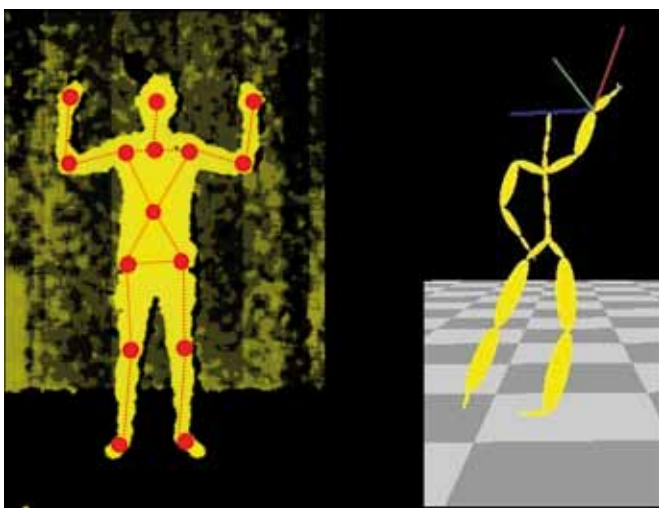


Figura 3. Izquierda: imagen detectada por el sensor de Kinect, con las posiciones de los 15 puntos anatómicos superpuestas. Derecha: postura definida en el mismo instante por los ángulos articulares estimados directamente por el sensor, aplicada a un modelo de esqueleto (estándar ASF/AMC).

estos puntos es muy inferior al requerido por los procedimientos convencionales de análisis cinemático inverso, lo que causa que las estimaciones de ángulos obtenidas del sensor sean inestables y erróneas.

Para el análisis biomecánico, incluso al nivel más sencillo requerido por las técnicas modernas de evaluación del riesgo de caída, es necesario obtener medidas de los ángulos articulares que cumplan las siguientes condiciones:

- Ser coherentes con las posiciones de los puntos anatómicos considerados por el modelo biomecánico.
- Ser fisiológicamente aceptables (las posturas analizadas deben encontrarse dentro de los rangos articulares comunes a la población).
- Tener una evolución suave, que permita obtener conclusiones sobre los aspectos dinámicos de la postura, y producir una animación aceptable del "avatar" durante las sesiones de videojuegos.

Para conseguir estos resultados, el IBV ha desarrollado un método de cálculo de los ángulos articulares basado en la técnica del "filtro de partículas", basado en un modelo cinemático con 22 grados de libertad (tres por cada articulación, salvo codos y rodillas, que se han modelado con un solo grado de libertad). Este es un método estadístico para resolver problemas por fusión de datos, cuando se tiene el modelo dinámico de un fenómeno físico más otra fuente de información sobre las variables de interés (en este caso los ángulos articulares).

El modelo dinámico empleado para este problema ha sido un modelo de "movimiento browniano", en el que la evolución de los ángulos articulares es aleatoria, pero se asegura un movimiento suave dentro de unos límites definidos (los rangos de movilidad de cada una de las articulaciones). A través de este modelo, en cada instante se calculan por simulación más de quinientas posturas posibles que se podrían estar adoptando, a partir de la postura detectada en el instante anterior. Todas estas posturas posibles se filtran en función de las posiciones observadas de los puntos anatómicos, y se selecciona aquella que es más coherente según un modelo cinemático definido.

Para poner a punto esta técnica, se hicieron pruebas en laboratorio en las que unos sujetos realizaron 22 movimientos característicos de los ejercicios programados en el sistema iStoppFalls, y estos movimientos fueron grabados simultáneamente por el sensor de Kinect y el sistema de fotogrametría de alta calidad Kinescan/IBV®. Comparando ambos conjuntos de medidas, se obtuvieron los niveles de error producidos por Kinect y el modelo de movimiento browniano, los cuales sirvieron para "entrenar" el filtro de partículas.

Los errores medios producidos por Kinect y la mejora obtenida con el filtro de partículas se presentan en la figura 4 y la tabla 1. Aunque los ángulos filtrados aún son imprecisos en comparación con un buen sistema de fotogrametría (error medio de 13,2°), este error es mucho menor que el producido originalmente por el software del sensor. En algunas coordenadas, el error se puede reducir en más de 60°. La mayor parte del error residual se relaciona con la rotación de los miembros cuando están extendidos, más un ruido de tipo aleatorio que produce pequeñas oscilaciones locales.

&gt;

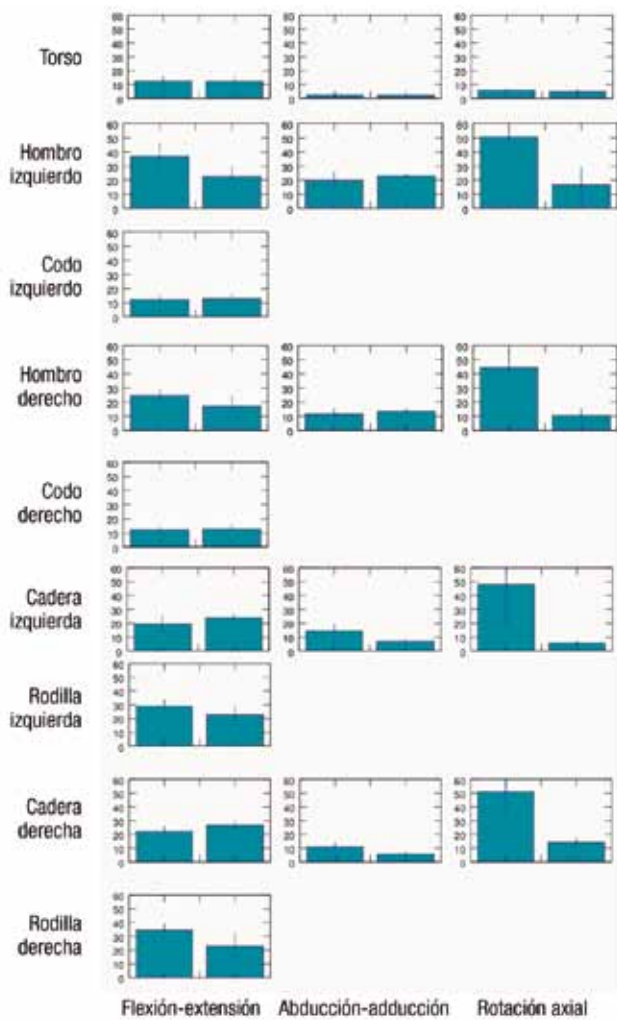


Figura 4. Errores en grados de cada uno de los ángulos articulares obtenidos por el sensor Kinect (primera barra de cada panel) y el filtro de partículas programado por el IBV (segunda barra).

Estos ángulos corregidos se utilizan para calcular los rangos de movimiento asociados a las articulaciones activas durante la realización de ejercicios, detectar las posturas y gestos, y asignar puntuaciones a la ejecución de los ejercicios y juegos. Estas puntuaciones se utilizan por el sistema de evaluación del riesgo de caída y para dar un *feedback* que motive al usuario a continuar el programa de entrenamiento.

## CONCLUSIONES

El desarrollo del sistema iStoppFalls, con la monitorización de los movimientos de los usuarios a través del sensor de Kinect, pone de manifiesto que las nuevas tecnologías de bajo coste empleadas en los videojuegos son una oportunidad real para aplicar las nuevas estrategias de evaluación del equilibrio y del riesgo de caídas.

La precisión de los sensores de videojuegos es sensiblemente peor que las de los equipos de laboratorio que se han empleado tradicionalmente en este ámbito, pero esta limitación se puede resolver con los métodos de análisis adecuados.

Tabla 1. Reducción del error en grados gracias al filtro de partículas (media  $\pm$  desviación típica).

	FLEXO-EXTENSIÓN	ABDUCCIÓN-ADUCCIÓN	ROTACIÓN AXIAL
TORSO	0.3 ( $\pm$ 0.1)	0.1 ( $\pm$ 0.4)	1.2 ( $\pm$ 0.9)
HOMBRO IZQUIERDO	14.7 ( $\pm$ 5.6)	-2.9 ( $\pm$ 5.9)	34.1 ( $\pm$ 8.9)
CODO IZQUIERDO	-0.9 ( $\pm$ 4.1)	N/A	N/A
HOMBRO DERECHO	8.0 ( $\pm$ 5.6)	-1.9 ( $\pm$ 4.5)	33.1 ( $\pm$ 11.8)
CODO DERECHO	-0.5 ( $\pm$ 3.1)	N/A	N/A
CADERA IZQUIERDA	-2.7 ( $\pm$ 3.7)	10.6 ( $\pm$ 4.7)	59.6 ( $\pm$ 31.3)
RODILLA IZQUIERDA	7.6 ( $\pm$ 5.6)	N/A	N/A
CADERA DERECHA	-2.7 ( $\pm$ 3.9)	5.2 ( $\pm$ 3.1)	57.0 ( $\pm$ 24.4)
RODILLA DERECHA	16.9 ( $\pm$ 11.0)	N/A	N/A

Estos procedimientos se basan en técnicas estadísticas de filtrado de señales, lo cual implica la necesidad de definir un compromiso entre precisión y respuesta a alta frecuencia. Un aumento en la precisión de la señal implicará poder captar menos movimientos rápidos. Por lo tanto, este tipo de herramienta tiene utilidad en casos en los que la precisión y la alta frecuencia no sean requisitos simultáneos. El tipo de pruebas más apropiadas para ellos son las basadas en ejercicios sencillos, como la detección de gestos y rangos de movimiento relativamente amplios, como las pruebas físicas para la evaluación del riesgo de caídas, y los programas de entrenamiento que se han implementado en el sistema iStoppFalls. ●

## AGRADECIMIENTOS

iStoppFalls (FP7-ICT-2011-7- 287361) es un proyecto financiado por el 7º Programa Marco de la Unión Europea.

