

# REHABILITACIÓN DE PACIENTES CON MOVILIDAD REDUCIDA USANDO EXOESQUELETO Y TÉCNICAS DE GAMIFICACIÓN

**Domínguez-Bobillo, José Miguel; Domínguez Morales, Manuel\*; Miró-Amarante, Lourdes; Linares-Barranco, Alejandro**

Grupo de Robótica y Tecnología de Computadores.

Departamento de Arquitectura y Tecnología de Computadores. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Sevilla.

\*E-mail: [mjdominguez@us.es](mailto:mjdominguez@us.es)

## RESUMEN

Este proyecto denominado consiste en la creación de un prototipo de exoesqueleto para su utilización en personas con movilidad reducida en brazos y manos. Está enfocado en entrenar al paciente con distintos grados de ejercicios y esfuerzos para ayudar en las tareas de recuperación del movimiento y aumentar así la movilidad de estas partes del cuerpo ante mencionadas. Para realizar estas funciones, el prototipo está formado por: una exo-mano que permite mover los dedos del usuario gracias al uso de motores, un exo-brazo que cuenta con un motor en el codo que ayuda al movimiento del brazo y una aplicación software con el que el usuario interactúa con el exoesqueleto y permite el entrenamiento y recolección de datos de éste. La exo-mano es capaz de imitar los movimientos de la mano del usuario a partir de un sensor que mide el grado de actividad del músculo de la mano, mientras que el exo-brazo calcula el grado de curvatura en función de su posición. Los componentes hardware del prototipo se interconectan con las aplicaciones software gracias al microcontrolador conectado al puerto serie del PC. La aplicación software está formada por dos juegos en los que cada uno entrena una parte diferente: un juego estilo Pong con el que el usuario entrena el movimiento del brazo y en función de su grado de movilidad, el exo-brazo se adapta para ofrecer mayor o menor ayuda, y un juego con el que entrenar el movimiento tanto del brazo como de la mano, en el que la exo-mano se adapta al grado de movilidad de la mano.

## PALABRAS CLAVE

Rehabilitación, Gamificación, Exoesqueleto.

## ABSTRACT

This project called ExoKit consists on the creation of a prototype of exoskeleton for its use in people with reduced mobility in arms and hands. It's focused on training the patient with different types of exercises and efforts to help in the tasks of recovery of movement and thus increase the mobility of these parts of the body mentioned above. To perform these functions, the prototype consists of: an exo-hand that allows the user's fingers to move thanks to the use of motors, an exo-arm that has a motor in the elbow that helps arm movement and a software application with the one that the user interacts with the exoskeleton and allows the training and data collection of the same. The exo-hand can imitate the movements of the user's hand from a sensor that measures the degree of activity of the hand muscle, while the exo-arm calculates the degree of curvature as a function of its position. The hardware components of the prototype are interconnected with the software applications thanks to the microcontroller connected to the serial port of the PC. The software application consists of two games in which each of them trains a different part: a Pong style game with which the user trains the movement of the arm and depending on their degree of mobility, the exo-arm is adapted to offer more or less help, and a game with which to train the movement of the arm as well as the hand, in which the exo-hand adapts to the degree of mobility of the user's hand.

## KEYWORDS

Rehabilitation, Gamification, Exoskeleton.

## **INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS**

En la actualidad, parte de la población mundial sufre de accidentes o posee enfermedades que le provocan pérdida de movilidad parcial o total en partes de su cuerpo. Es un problema que va en aumento desde hace años, y la medicina trata de solucionarlo mediante diagnósticos y terapias. Existe una rama específica de la medicina enfocada en estos problemas, y se llama fisioterapia.

Es definida como la especialidad que se ocupa de la evaluación, tratamiento y seguimiento de niños y adultos con enfermedades del Sistema Muscular, Esquelético y Neurológico, que produzcan dolor y/o algún grado de limitación funcional, ya sea transitoria o permanente.

La fisioterapia es considerada una rama muy reciente de la medicina, pero que lleva un largo recorrido de investigaciones e ideas que fueron llevando a cabo los seres humanos desde la antigüedad hasta nuestros días. Su origen se remonta a la Prehistoria, donde los hombres primitivos hacían uso de calor o frío para aliviar zonas heridas del cuerpo. Aunque los primeros testimonios escritos aparecen en China y tratan sobre ejercicios terapéuticos y masaje.

En la Grecia y Roma Antigua, se hicieron grandes avances en este campo, ya que se le daba una gran importancia al ejercicio físico y fueron las épocas donde surgieron los estiramientos, termas, gimnasios y lugares de reposo.

Desde entonces, se hicieron más investigaciones, pero hasta el siglo XX no se le dio la debida importancia y se avanzó seriamente en ella. Esto ocurrió por el estallido de la Primera Guerra Mundial, en la que numerosos soldados murieron o sufrieron lesiones que le provocarían incapacidad para el resto de sus vidas. A partir de entonces, hospitales militares y escuelas de distintas partes del mundo, se centraron en investigar este campo.

El objetivo principal de este trabajo es la creación de un prototipo funcional de las partes de un exoesqueleto asociadas a las manos y a los brazos. Con ello, se busca ofrecer apoyo a personas con movilidad reducida.

El proyecto cuenta con una gran componente hardware y software, por lo que el proyecto se encuentra dividido en dos partes, y en cada una de ellas se han seguido unos objetivos para llevar a cabo tanto la finalización del prototipo hardware del exoesqueleto como el software utilizado para interactuar con él.

Las partes de exoesqueleto a implementar en el prototipo son las que se utilizan para las partes de las manos y de los brazos. Por lo que, es necesario construir ambas partes y conectar los sensores y motores que se utilizarán para llevar a cabo su creación y funcionalidad.

Sera necesario desarrollar un exo-brazo que sea ergonómico y permita una fácil colocación para el usuario, así como, que esté preparado para poder hacer uso de sensores y de un motor que permita el movimiento libre del codo sin restringirlo.

Será necesaria la creación de una exo-mano como complejidad hardware añadida al proyecto. Esta exo-mano debe permitir la movilidad de la mano y los dedos, así como ofrecer apoyo al usuario mediante el uso de motores asociados al movimiento de los diferentes dedos de la mano.

Se utilizará un microcontrolador para hacer uso de sensores y controlar las dos partes del exoesqueleto. El microcontrolador debe permitir la conexión con la aplicación software que se desarrollará posteriormente.

Se desarrollará una aplicación que permitirá su control mediante el uso del exoesqueleto y será capaz de enviarle información. Además, deberá ofrecer ayuda al usuario en función de la movilidad que ofrezca tanto en las manos como en los brazos.

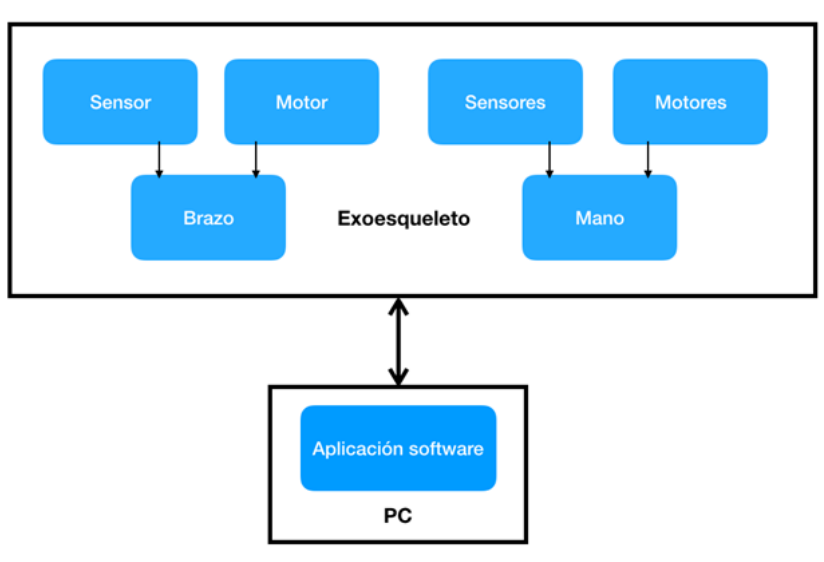
## **METODOLOGÍA**

La arquitectura del sistema está dividida en dos partes principales: el exoesqueleto que engloba la parte del brazo y la mano, y la aplicación software que es un videojuego. Ambas partes están comunicadas mediante conexión puerto serie entre el microcontrolador y el PC.

Cabe destacar que hubo varias iteraciones en el proyecto, y en ellas se fueron probando distintos sensores y cambiando la idea de la utilidad que tendría el exoesqueleto.

El exoesqueleto controla el movimiento dentro del juego, por lo que es el encargado de enviar la información al juego para que sepa el movimiento que debe realizar.

El juego presenta distintas modalidades, y eso afecta a la forma de transmisión de datos, ya que existe un modo automático para ayudar a usuarios que apenas puedan mover los brazos; por lo que, en función del modo de juego, la transmisión de datos puede ser en un único sentido o en dos (esto se ve reflejado en la doble flecha del diagrama).



**Figura 1.** Diseño del sistema.

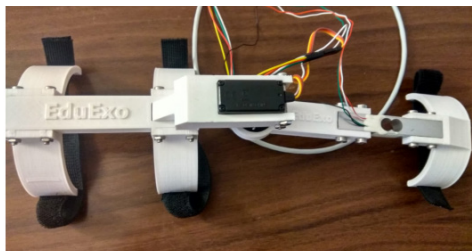
La transmisión de datos entre el exoesqueleto y el juego es realizada a través del puerto serie mediante la conexión del microcontrolador al PC.

El microcontrolador forma parte de una placa ST-Nucleo, que cuenta con un aspecto muy parecido a la Arduino Nano para que sea más fácil su integración en el exoesqueleto, y es la encargada del control y funcionamiento del exoesqueleto; así como del envío y recepción de datos a través del puerto serie.

La parte del exoesqueleto relacionada con el brazo es la encargada del control del movimiento del codo, por lo que permite detectar la posición en la que se encuentra el brazo del usuario y a su vez permite ayudar en el movimiento gracias al servomotor. Los componentes utilizados en el brazo han sido los siguientes:

- Exo-brazo 3D: Modelo 3D de un exoesqueleto para el brazo que permite su colocación mediante tiras de velcro, en él se encuentran integrados el servomotor y el sensor de fuerza.
- Sensor de fuerza: Utilizado en un principio para saber la fuerza que ejercía el usuario al mover el brazo. Estaba pensado para controlar el grado de ayuda que ofrecería el exoesqueleto en el movimiento del brazo, pero como al final se decidió hacer un juego, no era tan necesario un sensor así. Este sensor está más pensado para su uso en tareas externas como trabajo, que, para rehabilitación con un juego, ya que, con la información del juego y su modo de uso, ya es información suficiente para controlarlo.

- **Sensor EMG:** En el brazo se utilizó el Muscle Sensor v3, ya que cuenta con unos cables muy largos que permiten una colocación mucho más sencilla. En un principio se utilizaba para medir la actividad eléctrica del bíceps y controlar el servo a partir de él. En un principio estaba pensado para el envío de información al juego, el problema estaba en que el exoesqueleto en combinación con este sensor colocado era muy incómodo de utilizar, ya que los electrodos son muy grandes, y el exoesqueleto del brazo ocupa mucho espacio, por lo que decidimos descartarlo para el prototipo final.
- **Servomotor:** Es el encargado de controlar el movimiento del codo y de dar la información de la posición en grados en la que se encuentra el exoesqueleto, por lo que es una forma rápida y sencilla de controlar tanto la posición como si el usuario está moviendo el brazo de ascendente o descendente. Se eligió esta opción para el prototipo final por su sencillez y por el ahorro de espacio.

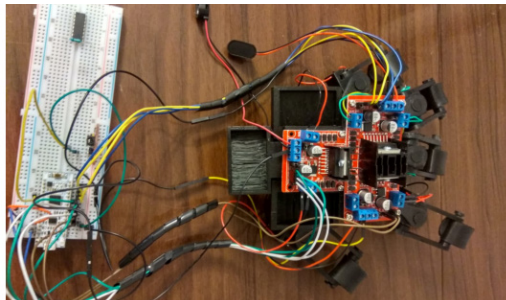


**Figura 2.** Exo-brazo.

La parte del exoesqueleto de la mano es la encargada del control del movimiento de los dedos de la mano, por lo que cuenta con motores en cada dedo para su movimiento y un sensor para controlar el movimiento de ellos. Los componentes utilizados son los siguientes:

- **Exo-mano 3D:** Modelo 3D de un exoesqueleto para la mano, y está diseñada de forma que incluya espacio en los dedos para colocar motores y para poder añadir los circuitos para su control en la parte superior.
- **Motores DC:** Son motores muy pequeños, pensados para el movimiento de los dedos del exoesqueleto. Son controlados a partir de los datos obtenidos del sensor.
- **Sensor EMG:** El sensor utilizado aquí es el Myoware, ya que su tamaño es ideal, y no estorba a la hora de colocar el exoesqueleto al completo. Permite medir el movimiento de la mano del usuario, por lo que se encarga de mandar los datos a los motores para controlar el movimiento y la dirección.

- Puentes en H: Como se explicó en el apartado anterior, son duales, y cada controlador permite conectar dos motores. Están acoplados a la parte superior de la mano y van alimentados con pilas, ya que la energía para alimentar los motores es de mínimo 6V.



**Figura 3.** Exo-mano.

Con respecto a la aplicación software, en un principio no estaba pensada su realización si no hacer simplemente un prototipo que, con el software del microcontrolador, fuera capaz de realizar tareas de rehabilitación, pero viendo las múltiples posibilidades que se habrían para adaptar su uso, se decidió añadir una aplicación software que terminó dando lugar a un juego. Al usar el exoesqueleto junto con un juego, ofrece más funcionalidad y entretenimiento, y encaja más para un producto de cara a ser comercializado.

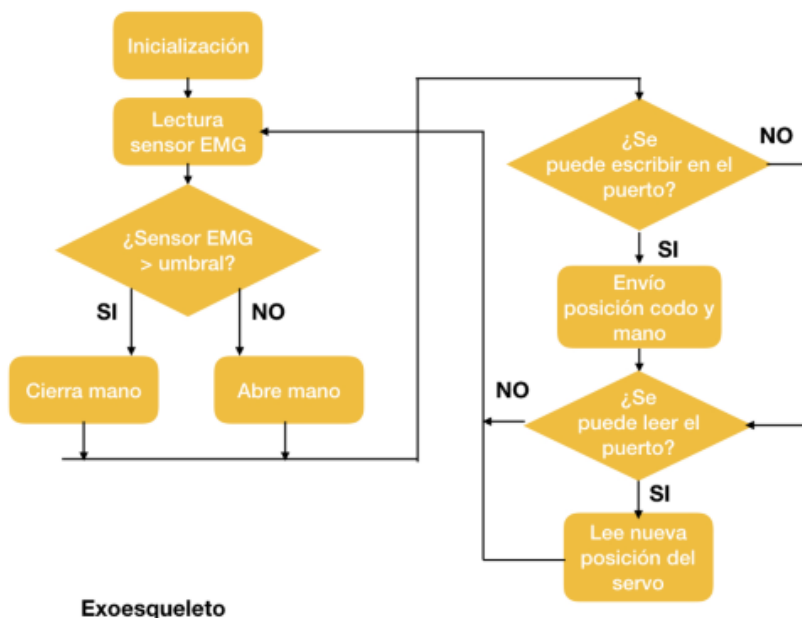
El juego está desarrollado con el motor de desarrollo Unity, ya que es gratuito, rápido de aprender y desarrollar, y permite fácil integración con dispositivos externos, como es en nuestro caso con el exoesqueleto. El juego en realidad son dos juegos por separado: uno de ellos para probar la funcionalidad de apoyo al movimiento para personas con muy poca movilidad, y otro pensado para gente que sigue teniendo un poco de movilidad.

Como la conexión es establecida por puerto serie, es necesario que el microcontrolador siempre esté conectado al PC para poder utilizar el exoesqueleto.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Tras el desarrollo, se presenta a continuación las aplicaciones desarrolladas, así como las pruebas realizadas sobre las mismas.

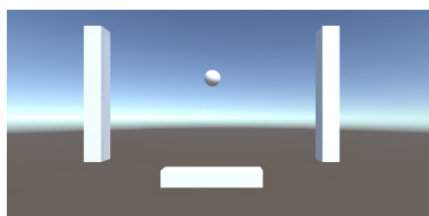
En primera instancia, cabe destacar el esquema de funcionamiento y comunicación del sistema empotrado con el ordenador de propósito general; dicho funcionamiento viene descrito en el siguiente esquema:



**Exoesqueleto**

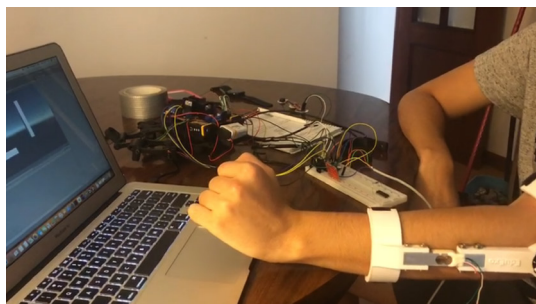
**Figura 4.** Esquema de comunicación del firmware.

Finalmente se desarrollaron dos videojuegos debido a la evolución del proyecto. En primera instancia y haciendo únicamente uso del exo-brazo, se desarrolló un videojuego similar al Pong, en el que el usuario debe estirar y contraer el brazo para mover la plataforma y, de dicha forma, impedir que la pelota toque el suelo. Puede apreciarse a continuación una imagen con el juego y otra con las pruebas realizadas sobre el mismo.



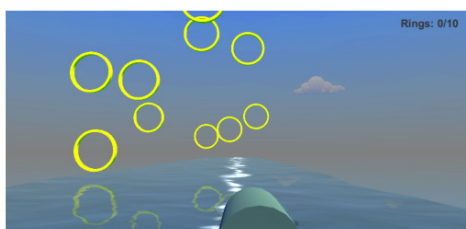
**Figura 5.** Juego Pong.



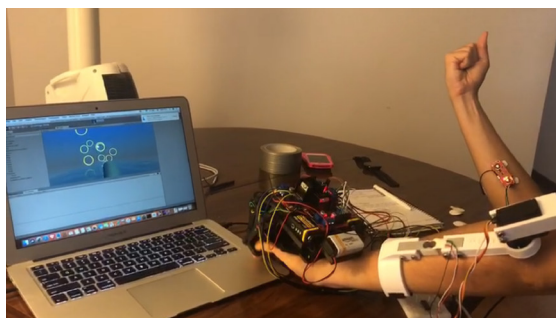


**Figura 6.** Prueba de juego Pong.

De igual forma, se desarrolló un segundo videojuego que integrara el movimiento del brazo y de la mano por igual. Dicho juego consiste en un cañón que dispara bolas y se deben encestar en los anillos que van apareciendo por el aire de forma aleatoria. Mediante el movimiento del brazo se puede subir y bajar el cañón; y, mediante el cierre de la mano se dispara una bola. A continuación, se aprecia el juego en funcionamiento y las pruebas realizadas sobre el mismo.



**Figura 7.** Juego de anillos.



**Figura 8.** Prueba de juego de anillos.

## CONCLUSIONES

Se ha diseñado, fabricado, montado y testeado un exoesqueleto de mano y otro de brazo. Se ha integrado un microcontrolador para controlar los movimientos del paciente y ayudar en el proceso de movilidad. Se le ha añadido al microcontrolador

la funcionalidad de comunicarse con el ordenador de propósito general con el fin de enviar la información del movimiento del paciente y poder integrarlo con la aplicación de pc. Se han desarrollado dos videojuegos para que el usuario ejercite el movimiento de brazo y mano a medida que avanza en los juegos.

Se le han dado funcionalidades al sistema para poder ser tratado como mecanismo de rehabilitación y ejercitación para pacientes con reducción de movilidad en brazo y mano.

El uso con pacientes ha sido satisfactorio y ha suscitado un amplio interés.

## **AGRADECIMIENTOS**

Este trabajo ha sido desarrollado y financiado dentro del grupo de investigación TEP-108: Robótica y Tecnología de Computadores de la Universidad de Sevilla.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- [1] Bagnall, D.L. (2010). Physiatry: What's the end game? *PM&R*, 2(1), pp. 3-5.
- [2] Greenemeier, L. (2011). Robotic Exoskeletons from Cyberdyne Could Help Workers Clean Up Fukushima Nuclear Mess. *Scientific American*, 9(11), p. 11.
- [3] Backus, S.B., Odhner, L.U., y Dollar, A.M. (2014). Design of hands for aerial manipulation: Actuator number and routing for grasping and perching. En *Intelligent Robots and Systems (IROS 2014), IEEE/RSJ International Conference*. IEEE, 2014. pp. 34-40.
- [4] León, R. y Freddy, J. (2018). *Diseño y validación experimental de un dispositivo de rehabilitación adaptable para los dedos de la mano: DReAM*.
- [5] Manguerra, M.V., et al. (2018). Active Motor Control for an Upper Extremity Exoskeleton. *Advanced Science Letters*, 24(11), pp. 8837-8840.
- [6] Kontadakis, G., et al. (2018). Gamified platform for rehabilitation after total knee replacement surgery employing low cost and portable inertial measurement sensor node. *Multimedia Tools and Applications*, pp. 1-28.
- [7] Komarova, S. (2018). *Design a solution and a prototype for hand rehabilitation after trauma injures and post stroke*.