

# CloudRehab: Plataforma para la TeleRehabilitación de Pacientes con Daño Cerebral

Angel Ruiz-Zafra, Manuel Noguera, Kawtar Benghazi,  
Gustavo Cuberos y Alfonso Caracuel

## Resumen

*Los programas de rehabilitación para pacientes con daño cerebral se articulan en torno a programas de entrenamiento que ayudan a dichos pacientes a recuperar, en la medida de lo posible, sus capacidades motoras, cognitivas y emocionales. En estos programas, cada paciente realiza periódica y repetidamente una serie de ejercicios bajo la supervisión in situ -normalmente en un centro médico o, más raramente, en el domicilio del paciente-, de profesionales médicos durante cada sesión de entrenamiento. Este modelo clásico ha ido evolucionando hacia modelos alternativos que permiten reducir significativamente los desplazamientos y los gastos derivados, como los sistemas de teleasistencia y más concretamente los sistemas de telerehabilitación, los cuales usan dispositivos móviles. De igual manera, los dispositivos móviles y los nuevos paradigmas de computación, como la computación en la nube, pueden servir de instrumento para facilitar la cooperación e interacción entre profesionales médicos, pacientes y sus familiares. Este artículo describe CloudRehab, una plataforma de telerehabilitación personalizable basada en tecnología cloud, que ha sido probada con pacientes con daño cerebral, y que hace uso de dispositivos móviles, bandas de pulso cardíaco y tecnología web.*

## Palabras clave

Telerehabilitación, daño cerebral, computación en la nube, dispositivos móviles

# 1. Introducción

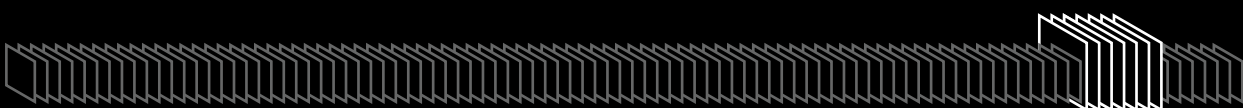
El Daño Cerebral Adquirido (DCA) es una lesión cerebral producida de forma súbita cuyas principales causas son: accidentes, Traumatismo Craneoencefálico (TCE), accidentes cerebrovasculares (ACV), tumores, anoxemia, etc. Sólo en España, existen actualmente unos 420.000 casos de pacientes con DCA [1].

El objetivo de los programas de rehabilitación es ayudar a los pacientes con daño cerebral a recuperar sus capacidades motoras, cognitivas y emocionales para recuperar el estilo de vida previo a las lesiones. Normalmente, la terapia de rehabilitación se planifica en una serie de sesiones las cuales son realizadas varias veces por semana en un centro médico [2], lo que implica que el paciente deba desplazarse de su hogar al centro médico en igual número de ocasiones durante un largo periodo de tiempo (por lo general desde meses hasta años), incrementando los costes.

En este sentido, un programa basado en telerehabilitación que permita la supervisión remota del paciente durante la ejecución de los ejercicios prescritos, disminuiría la necesidad de que el paciente y profesional médico tengan un contacto directo.

En este artículo se presenta una plataforma cloud de telerehabilitación para pacientes con daño cerebral basada en dispositivos móviles y que permite ayudar a este tipo de pacientes a realizar los ejercicios de rehabilitación de manera correcta y sin necesidad de desplazarse al centro médico.

El artículo está organizado como se muestra a continuación. La Sección 2 muestra el trabajo relacionado, donde se exponen proyectos similares a este ámbito. El diseño general de la plataforma CloudRehab y su funcionamiento en el proceso de rehabilitación se muestran en la Sección 3. La Sección 4 describe un estudio de validación y efectividad de la plataforma en casos reales, aportando datos obtenidos como resultado de la prueba piloto del sistema con varios pacientes. Por último, en la Sección 5 se presentan las conclusiones y trabajo futuro.



## 2. Trabajo Relacionado

El crecimiento y uso de la computación móvil, así como la necesidad de definir programas de rehabilitación a distancia (telerehabilitación), ha propiciado que en los últimos años hayan aparecido numerosos sistemas con este objetivo.

En numerosas ocasiones, la telerehabilitación se realiza usando sistemas basados en captura de movimientos [3][4]. Este tipo de sistemas están basados normalmente en sensores que se acoplan a alguna parte del cuerpo y transmiten la información a través de Wifi o bien la almacenan localmente para su posterior procesamiento.

Además de estos sistemas de ámbito más general, han aparecido otros sistemas de rehabilitación diseñados específicamente para enfermedades/discapacidades concretas, como el mostrado en [5], para la rehabilitación de las extremidades superiores o el descrito en [6] para la rehabilitación de las rodillas. Algunos de estos sistemas, por lo general los de más reciente creación, están basados en el uso de dispositivos móviles, como los mostrados en [7][8], que ayudan mediante el uso de dispositivos móviles a la rehabilitación de pacientes que sufren de algún problema cardíaco.

Por los que respecta a los sistemas de telerehabilitación para pacientes con daño cerebral, existen diferentes plataformas diseñadas y desarrollada por grupos de investigación y compañías privadas. Entre ellos cabe destacar HABITAT [9], un entorno y una herramienta que oferta distintos tipos de actividades, proporcionando una plataforma que da soporte a la rehabilitación de afectados de DCA, a la vez que permite la gestión y el seguimiento de los afectados por parte de los especialistas.

Otro novedoso sistema es BioTrack Home [10], un sistema para la telerehabilitación de pacientes con daño cerebral que permite realizar las sesiones de entrenamiento desde casa y que ha sido desarrollado conjuntamente por la Universidad Politécnica de Valencia (LabHuman-I3BH), médicos del Servicio de NeuroRehabilitación de los Hospitales de NISA al Mar y Sevilla Aljarafe y la empresa de realidad virtual Bienetc.

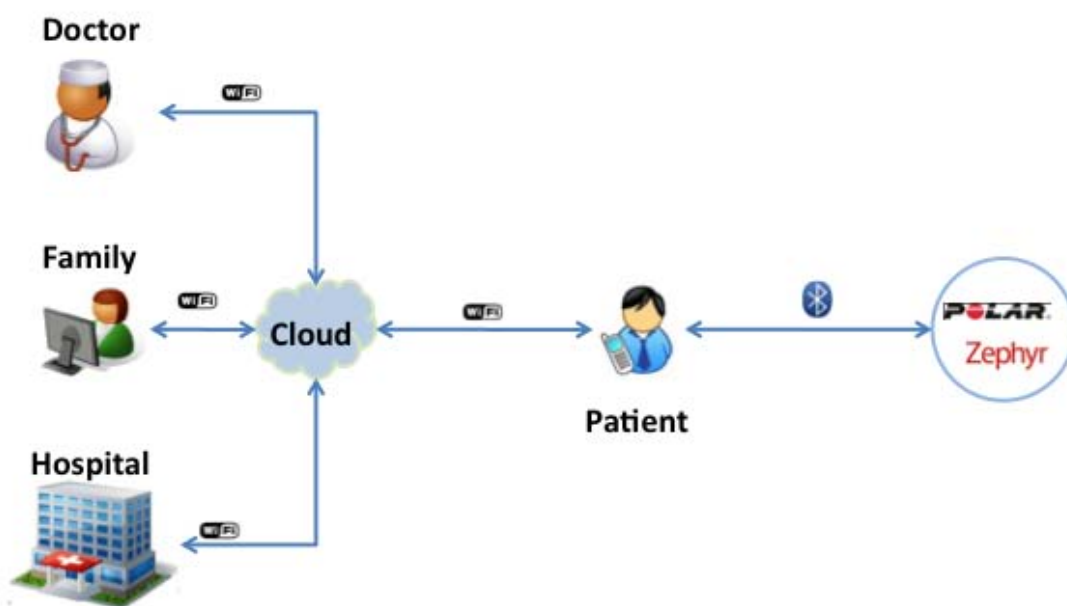
## 3. CloudRehab

El principal objetivo de CloudRehab es facilitar a los profesionales médicos

la capacidad de supervisar remotamente el proceso de rehabilitación del paciente a través de sesiones de entrenamiento.

### 3.1 Descripción General

En cada sesión de entrenamiento se almacena distinta información: datos resultantes de la ejecución de los ejercicios (grabación de vídeo) junto con los valores del pulso cardíaco obtenidos usando una banda-pulsómetro basada en Bluetooth [11]. Esta información se almacena, tanto en el propio dispositivo móvil, como en un servidor remoto con tecnología cloud [12]. De esta manera, el vídeo, los valores de pulso cardíaco y otra información contextual generada por la realización de la sesión están disponibles para el personal médico, pacientes y sus familiares en cualquier momento y en



**Figura 1.** Escenario general de CloudRehab

cualquier lugar. Esta posibilidad de interacción continua y remota entre pacientes y personal médico es una de las características más relevantes de CloudRehab. La Figura 1 muestra una visión general del escenario que la plataforma pretende cubrir.

El paciente está conectado en todo momento a través de su dispositivo móvil con el servidor con tecnología cloud. De esta manera, mientras se realiza la sesión de entrenamiento la información se va almacenando de manera totalmente transparente para el paciente. A su vez, el paciente está conectado a un pulsómetro para obtener su pulso cardíaco que es gestionado por la propia aplicación.

Una vez finalizada la sesión, se sube la información de sesión y otros datos



relevantes (hora de inicio y de fin, valoración personal del paciente sobre la sesión, etc.) al servidor cloud. Esta información será la que el profesional médico visiona a posteriori para realizar una evaluación de la sesión y observar la evolución del paciente.

### **3.2 Descripción Técnica**

Las distintas aplicaciones que forman la plataforma CloudRehab están soportadas por una plataforma llamada Zappa [13]. Zappa es una plataforma del ámbito de la salud con soporte para tecnología cloud y una arquitectura basada en componentes.

Cada uno de estos componentes han sido diseñados e implementados para que sean totalmente modulares y reutilizables. De esta manera existen componentes con el objetivo de cubrir diferentes requisitos presentes en un sistema del ámbito de salud [14], entre las que destacan: gestión de la información, gestión de las comunicaciones (Wifi, Bluetooth, ZigBee), comunicación con tecnología cloud [12] o gestión de los dispositivos médicos (detección, sincronización).

De esta manera, resulta fácil para el desarrollador usar los componentes que desee con el fin de componerlos adecuadamente para generar nuevas aplicaciones. Además, este diseño permite ir añadiendo nuevos componentes o bien modificar internamente algún componente sin variar el comportamiento de los sistemas que se basan en él, garantizando la extensibilidad y versatilidad de la plataforma.

### **3.3 Aplicaciones de la plataforma**

La plataforma está compuesta por dos aplicaciones: Aplicación Web y Aplicación Móvil. A continuación se describen en detalle cada una de ellas.

#### **3.3.1 CloudRehab Web**

La aplicación web está diseñada para ser usada por cualquier usuario del sistema (profesionales médicos, pacientes y sus familiares). Cada usuario tiene una interfaz distinta con unas funcionalidades concretas. Las diferentes funcionalidades que provee son:

Gestión de la información del paciente: Los profesionales médicos pueden dar de alta en el sistema sus propios pacientes.

Gestionar las sesiones del paciente: Una sesión está compuesta por un vídeo de entrenamiento grabado en una sesión de entrenamiento, un conjunto de audios e imágenes usadas como apoyo para reducir el nivel de estrés del

paciente, el vídeo resultante de la grabación generada, los valores de pulso cardíaco, etc.

Revisar la información generada por el paciente, como por ejemplo las sesiones finalizadas (Figura 2) o valores cardíacos entre un rango de fechas

Monitorización en tiempo real de la realización de las sesiones por parte del paciente.



Figura 2. Información de una sesión finalizada

### 3.3.2 CloudRehab Móvil

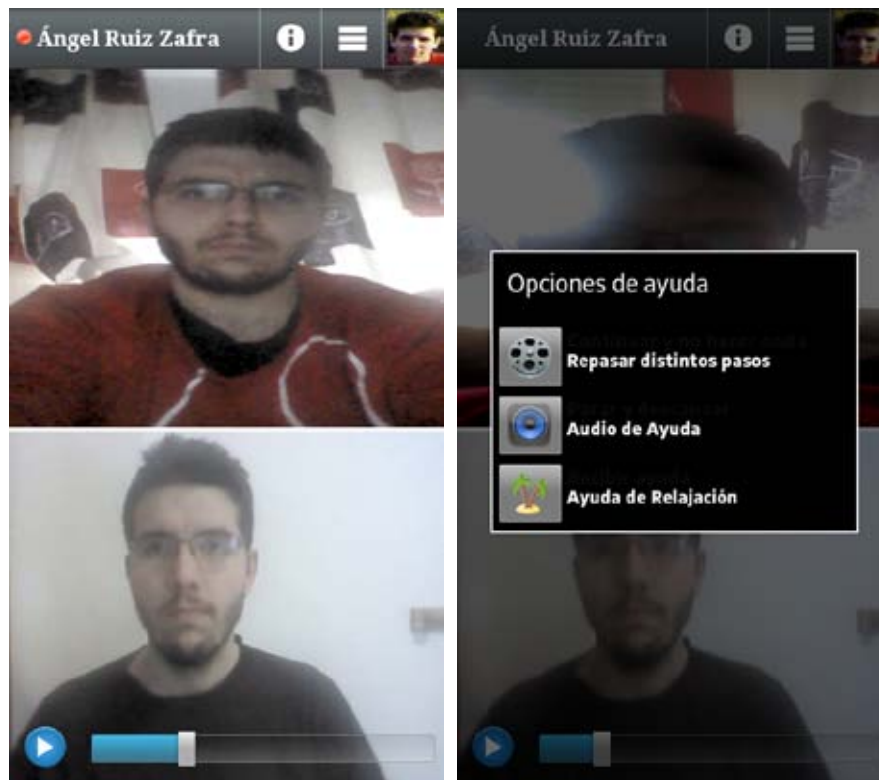
Esta segunda herramienta es una aplicación móvil basada en el sistema operativo Android. Permite a los pacientes grabar la realización del ejercicio diseñado por el profesional y monitorizar su pulso cardíaco usando un banda-pulsómetro [11] para controlar el nivel de estrés.

La aplicación divide la pantalla del dispositivo en dos partes. La mitad superior muestra la imagen actual capturada por la cámara frontal, mientras que la mitad inferior muestra el vídeo de entrenamiento grabado previamente en las sesiones de entrenamiento entre el paciente y el terapeuta (Figura 3 – Izquierda). Esto provee una retroalimentación en tiempo real muy útil al paciente sobre cómo realizar correctamente el ejercicio y como lo está realizando. Mejorando así su ejecución y evolucionando en su proceso de rehabilitación.

Mientras el paciente realiza el ejercicio de rehabilitación, si la aplicación detecta que el pulso cardíaco del paciente ha alcanzado un nivel límite (definido por los profesionales en la aplicación web), la aplicación reproduce un sonido



informativo y muestra un diálogo emergente con diferentes opciones de relajación (revisar el vídeo de entrenamiento paso a paso, reproducir un audio personalizado de ayuda o visionar imagines y audios de relajación) (Figura 3 – derecha), con el objetivo de reducir su nivel de estrés.



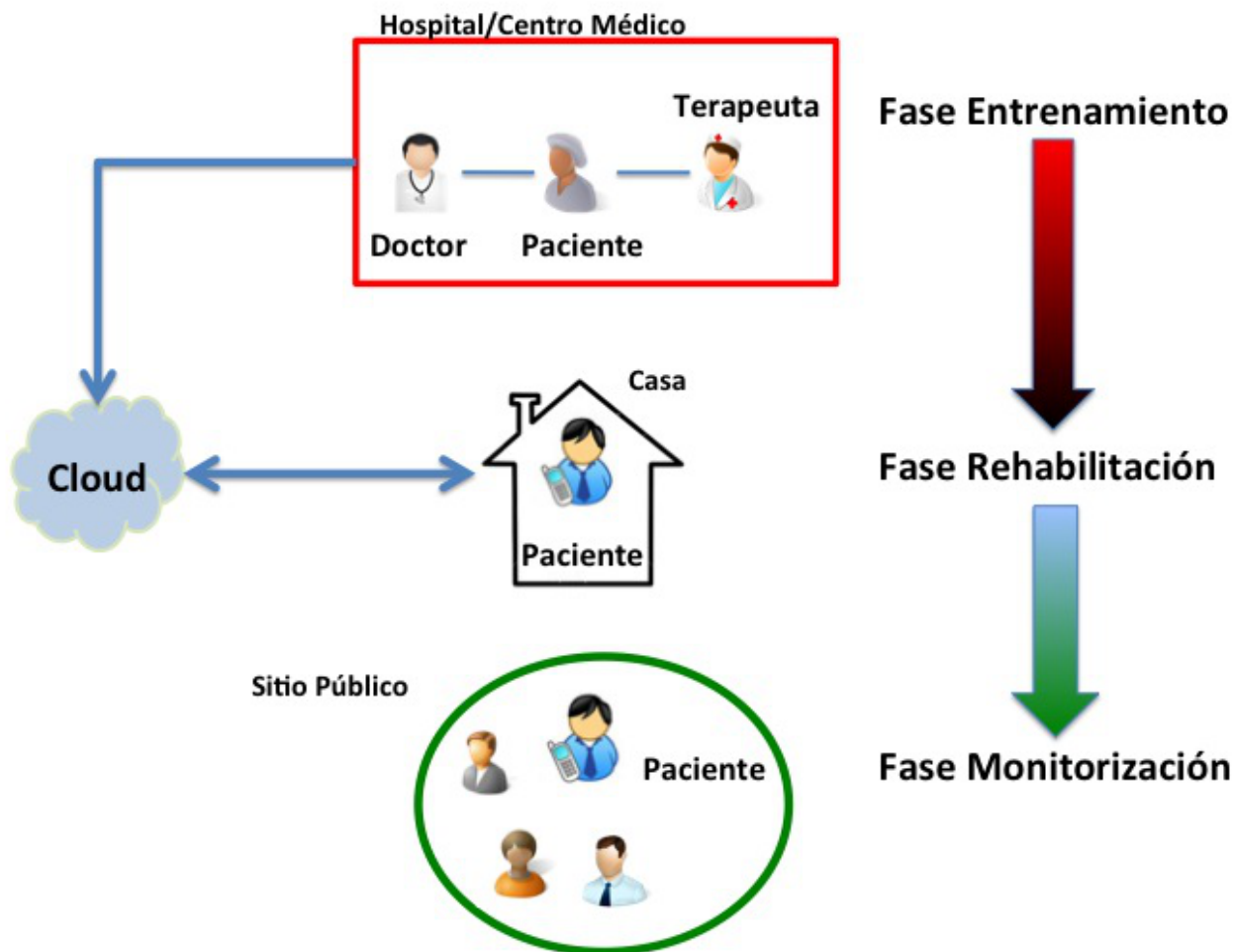
**Figura 3.** Grabación de una sesión (izquierda) y menú con opciones de relajación (derecha)

### 3.4 Proceso de Rehabilitación con CloudRehab

La plataforma CloudRehab está orientada y diseñada con la ayuda de personal médico cualificado para garantizar que los pacientes con daño cerebral puedan realizar una rehabilitación más rápida y efectiva que con la rehabilitación clásica, gracias a la continua y supervisada realización de ejercicios específicos.

La plataforma se usa para monitorizar las actividades de la vida diaria (AVD), como pueden ser tomar el almuerzo, cambiarse de ropa, cepillarse los dientes, etc. Así, el paciente puede realizar estas actividades para mejorar en la realización de las mismas a lo largo del tiempo.

El proceso de rehabilitación definido por profesionales médicos y sobre el que se basa la plataforma CloudRehab se muestra en la Figura 4 y tiene tres fases principales: entrenamiento con el terapeuta, sesiones de rehabilitación y fase de monitorización.



**Figura 4.** Proceso de rehabilitación en CloudRehab

### 3.4.1 Fase de entrenamiento

El paciente debe realizar junto con el terapeuta la realización del ejercicio de rehabilitación. Una vez que el paciente no presenta dificultades relevantes para realizar el ejercicio bajo supervisión, el terapeuta graba al paciente realizando correctamente dicho ejercicio. Este vídeo lo usará el propio terapeuta cuando configure las sesiones de entrenamiento a través de la aplicación web (3.3.1) y posteriormente lo usará el paciente en la segunda fase del proceso de rehabilitación (Figura 3 Izquierda, imagen inferior de la pantalla).

### 3.4.2 Fase de rehabilitación

Una vez que el paciente ha superado la primera fase, realiza desde casa y de manera remota el ejercicio previamente grabado con el terapeuta. Este ejercicio se realizará durante un periodo determinado con una frecuencia concreta ayudando al paciente a evolucionar más rápido que con el modelo clásico.

Para ayudar al paciente en este proceso de evolución, la aplicación móvil





posibilita al paciente asignar una puntuación y un audio de evaluación cuando finaliza una sesión y al profesional médico ir variando los parámetros de las sesiones. Estas variaciones que introduce el personal médico pueden ser: ajuste de los valores de pulso cardíaco, desactivar el vídeo de entrenamiento para obligar al paciente a que se esfuerce más realizando correctamente el ejercicio al no tener ningún tipo de retroalimentación y gestionar los archivos de ayuda para ayudar al paciente a controlar su nivel de estrés.

### **3.4.3 Fase de monitorización**

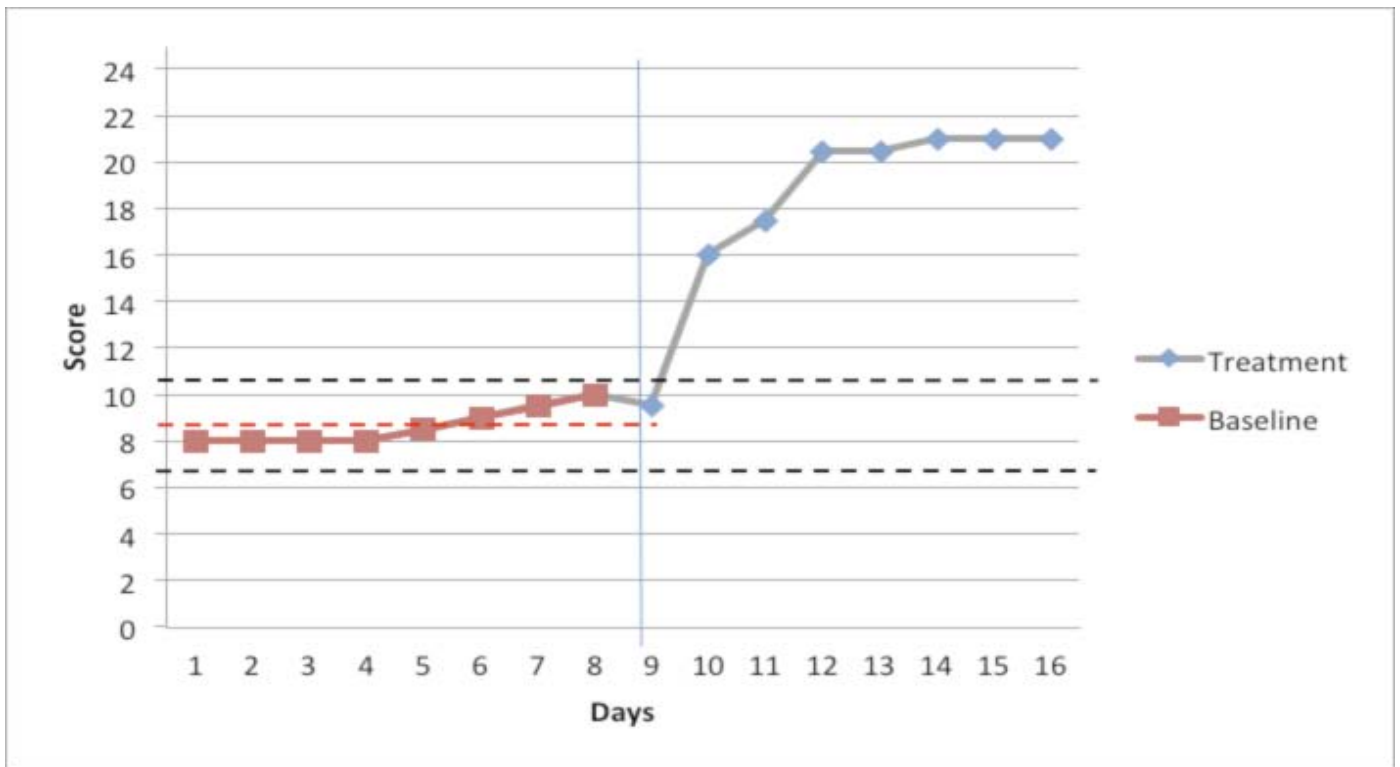
El principal objetivo de esta fase es que el paciente no tenga que realizar las actividades diarias mencionadas en la Fase 1 y 2 en su hogar o sitio habitual, si no que pueda realizar una vida normal (salir a cenar, pasear, etc.) y que la aplicación controle su estado de salud como último paso en el proceso de rehabilitación. Si el pulso cardíaco se eleva por encima del límite permitido, el móvil mostrará un dialogo que simulará una llamada entrante donde el paciente podrá oír un audio de relajación personalizado.

## **4. Evaluación**

La plataforma CloudRehab ha sido usada en un estudio piloto con tres pacientes con daño cerebral adquirido (DCA) con satisfactorios resultados en todos los casos. El principal estudio y el más completo se llevó a cabo con un varón de 51 años de edad el cual sufrió un DCA hace 2 años, lo que le ocasionó una hemiplejía derecha, una consecuencia bastante común en este tipo de accidentes [15].

Para estudiar la efectividad de la plataforma se diseñó un estudio de caso único con dos fases: una correspondiente a la realización de un proceso de rehabilitación siguiendo el método clásico (8 días) y la segunda un proceso de telerehabilitación usando CloudRehab (8 días).

Para evaluar al paciente los terapeutas tuvieron en cuenta diversos criterios médicos [16] así como la propia evaluación del paciente sobre cada sesión de rehabilitación. El resultado final después de un proceso del tratamiento de los datos corresponde con la gráfica de la Figura 5, donde la línea roja representa la fase uno y la línea azul la fase dos.



**Figura 5.** Evaluación del Paciente.

## 5. Conclusiones Y Trabajo Futuro

El principal objetivo de los sistemas de rehabilitación es ayudar a los pacientes en la recuperación de funciones cognitivas, emocionales y conductuales. El principal problema de los programas que ayudan a la rehabilitación de los pacientes es su alto coste y los constantes desplazamientos.

CloudRehab es una plataforma para la monitorización de las actividades diarias de pacientes con daño cerebral y su estado de salud (monitorizando su pulso cardíaco) haciendo uso de dispositivos móviles, pulsómetros y tecnología cloud. Toda esta información es accesible desde cualquier lugar y en cualquier momento tanto por pacientes como por personal médico.

La plataforma ha sido probada satisfactoriamente en pacientes con daño cerebral, obteniendo unos resultados positivos en una primera fase de pruebas.

Con respecto al trabajo futuro y desde un punto de vista técnico se está trabajando en el diseño y desarrollo de nuevas funcionalidades. En el ámbito sanitario, se intenta conseguir más casos de estudio para obtener unos resultados más generales y relevantes.



# Agradecimientos

El presente trabajo ha sido subvencionado por el CEI BioTIC (Granada) bajo el proyecto 20F12/36, la Oficina de Innovación de la Junta de Andalucía bajo el proyecto TIN-6600, el Ministerio de Economía y Competitividad bajo el proyecto TIN2012-38600 y el Servicio Andaluz de Salud de la Junta de Andalucía bajo el proyecto PI-0776-2013. Los autores quieren además agradecer la contribución de: COST Action IC1303 - AAPELE, Architectures, Algorithms and Platforms for Enhanced Living Environments

## Referencias

**[1] Federación Española de Daño Cerebral (FEDACE)** – [www.fedace.org](http://www.fedace.org).

**[2] Anne-Lise Christensen, B.P. Uzell.** International Handbook of Neuropsychological Rehabilitation. 119-120

**[3] H. Zhou and H. Hu. 2007.** Human motion tracking for rehabilitation A- survey. Biomedical Signal Processing and Control, vol. 3. 1- 18

**[4] Huiyu Zhou, Housheng Hu and N. Harris. 2005.** Application of wearable inertial sensors in stroke rehabilitation. Engineering in Medicine and Biology Society EMBS, 27th Annual International Conference. 6825-6828.

**[5] H. Zhou, H.Hu, T. Stone and N. Harris. 2007.** Use of multiple wearable inertial sensors in upper limb motion tracking. Med. Eng. Phys. vol.30. 123-133

**[6] Mobolaji Ayode, Lee Morton, Lynne Baillie. 2011.** Investigating the feasibility of a wireless motion capture system to aid in the rehabilitation of total knee replacement patients. Pervasive Computing Technologies for Healthcare (PervasiveHealth), 5th International Conference. 404-407

**[7] Valérie Gay, Peter Leijdekkers, Edward Barin. 2009.** A Mobile Rehabilitation Application for the Remote Monitoring of Cardiac Patients after a Heart Attack or a Coronary Bypass Surgery, Proceedings of the 2nd International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments. 2-4

**[8] Salminen, J. , Koskinen, E , Kirkeby, O. , Korhonen, I. 2009 .** A home- based care model for outpatient cardiac rehabilitation based on mobile technologies. Pervasive Computing Technologies for Healthcare, 1-8

**[9] Francisco J. Navarro, Elena Navarro, Francisco Montero, 2012.** HABITAT: Una herramienta para el soporte de actividades interactivas útiles en el tratamiento del daño cerebral. XIII Congreso Internacional de Interacción Persona Ordenador

**[10] [www.biotracksuite.com](http://www.biotracksuite.com)**

**[11] [http://www.polar.com/en/products/accessories/Polar\\_WearLink\\_transmitter\\_with\\_Bluetooth](http://www.polar.com/en/products/accessories/Polar_WearLink_transmitter_with_Bluetooth)**

**[12] <http://www.gnubila.com/>**

**[13] Ángel Ruiz-Zafra, Kawtar Benghazi, Manuel Noguera, José Luis Garrido. 2013.** Zappa: An Open Mobile Platform to Build Cloud-based m-Health Systems. IV International Symposium on Ambient Intelligence (ISAmI), Advances in Intelligent and Soft Computing, Springer-Verlag

**[14] Journal of Medical Internet Research.** “What is e-Health?”. 10.2196/jmir.3.2.e20

**[15] C.Luke,K.J.Dodd,andK.Brock. 2004.** Outcomes of the Bobath concept on upper limb recovery following stroke. Clinical Rehabilitation, vol. 18, no. 8, 888–898

**[16] Angel Ruiz-Zafra, Manuel Noguera, Kawtar Benghazi, Jose Luis Garrido, Gustavo Cuberos Urbano, Alfonso Carracuel. 2013.** A Mobile Cloud-Supported eRehabilitation Plaform for Brain-Injured Patients. PervasiveHealth - Rehab Workshop



# Sobre los autores

**Ángel Ruiz Zafra.** Ingeniero en Informática y actualmente estudiante de doctorado. Desarrolla su actividad investigadora y profesional en el campo de los sistemas de ámbito de e-Salud basados en la computación en la nube computación móvil. Sus temas de interés se centran en el diseño y desarrollo de Arquitecturas orientadas a Servicios; cloud computing; metodologías de desarrollo en sistemas de e-Salud y en la integración y especificación de dispositivos biomédicos. [angelr@ugr.es](mailto:angelr@ugr.es)

**Manuel Noguera** es profesor Contratado Doctor en la Universidad de Granada, (España) y se doctoró dicha universidad en 2009. Es investigador principal y responsable de desarrollo de CloudRehab, una plataforma móvil de telerehabilitación que utiliza tecnología cloud para personas con daño cerebral adquirido. Sus temas de trabajo se orientan hacia métodos de especificación, diseño e implementación de arquitecturas de sistemas y software, groupware e ingeniería dirigida por ontologías. Actualmente, participa en varios proyectos de investigación y transferencia tecnológica en el ámbito de mhealth, deporte y bienestar, y es miembro del Comité de Gestión de la Acción COST europea AAPELE (Algorithms, Architectures and Platforms for Enhanced Living Environments). [mnoquera@ugr.es](mailto:mnoquera@ugr.es)

**Kawtar Benghazi** es actualmente profesora contratada doctora de la Universidad de Granada y doctora por la misma universidad desde el año 2009. Sus temas de interés se centran en la especificación formal y diseño de soluciones software aplicadas a dominios o ámbitos específicos, particularmente e-salud, calidad de vida y computación ubicua. Asimismo, investiga y trabaja en soluciones software basadas en arquitecturas orientadas a servicios. [benghazi@ugr.es](mailto:benghazi@ugr.es)

**Alfonso Caracuel.** Doctor en Psicología. Actividad docente, asistencial e investigadora en la Universidad de Granada: profesor del departamento de Psicología Evolutiva, psicólogo clínico de la Clínica Universitaria (coordinador del programa Rehabilitación Neuropsicológica) y miembro del grupo de investigación en Neuropsicología Clínica en las líneas de Rehabilitación del daño cerebral y de las funciones ejecutivas, Desarrollo de instrumentos de evaluación y Aplicación de las TICs en la rehabilitación y estimulación cognitiva. [acaracuel@ugr.es](mailto:acaracuel@ugr.es)



© Leonardo Infante

## CloudRehab: Plataforma para la TeleRehabilitación de Pacientes con Daño Cerebral

*Los programas de rehabilitación para pacientes con daño cerebral se articulan en torno a programas de entrenamiento que ayudan a dichos pacientes a recuperar, en la medida de lo posible, sus capacidades motoras, cognitivas y emocionales. En estos programas, cada paciente realiza periódica y repetidamente una serie de ejercicios bajo la supervisión in situ -normalmente en un centro médico o, más raramente, en el domicilio del paciente-, de profesionales médicos durante cada sesión de entrenamiento. Este modelo clásico ha ido evolucionando hacia modelos alternativos que permiten reducir significativamente los desplazamientos y los gastos derivados, como los sistemas de teleasistencia y más concretamente los sistemas de telerehabilitación, los cuales usan dispositivos móviles. De igual manera, los dispositivos móviles y los nuevos paradigmas de computación, como la computación en la nube, pueden servir de instrumento para facilitar la cooperación e interacción entre profesionales médicos, pacientes y sus familiares. Este artículo describe CloudRehab, una plataforma de telerehabilitación personalizable basada en tecnología cloud, que ha sido probada con pacientes con daño cerebral, y que hace uso de dispositivos móviles, bandas de pulso cardíaco y tecnología web.*