

Arquitectura interoperable de tele-rehabilitación domiciliaria

J. Solana Sánchez^{1,2}, O. Renda⁴, C. Cáceres Taladriz^{1,2}, P. Rodríguez Rajo³, A. Serrano Rubio^{1,2}, E. Opisso Salleras³, P. Cingolani⁴, P. Giorgianni⁴, R. Sánchez-Carrión Abascal³, J.M. Tormos Muñoz³, S. Scattareggia Marchese⁴, E.J. Gómez Aguilera^{1,2}

¹ Grupo de Bioingeniería y Telemedicina, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España, {jsolana,ccaceres,aserranor,egomez@gbt.tfo.upm.es}

² Centro de Investigación Biomédica en Red en Bioingeniería, Biomateriales y Nanomedicina, Madrid, España

³ Instituto Universitario de Neurorehabilitación Guttmann-UAB, Barcelona, España, {prodriguez,eopisso,rsanchezcarrion,jmtormos@guttmann.com}

⁴ Signo Motus, Italia, {olgarenda,pasqualecingolani,paologigiorgianni,sandroscattareggia@signomotus.it}

Resumen

La arquitectura de tele-rehabilitación aquí presentada ofrece funcionalidades que permiten a los profesionales médicos gestionar y evaluar las sesiones de rehabilitación realizadas por los pacientes en un entorno domiciliario, además de ofrecer los medios de comunicación necesarios para realizar un seguimiento adecuado de las terapias. Habilis, la plataforma de tele-rehabilitación desarrollada bajo esta arquitectura, es una plataforma abierta y distribuida, que integra distintos módulos funcionales bajo una interfaz de usuario diseñada teniendo en cuenta los criterios de usabilidad específicos para pacientes con alguna discapacidad de origen neurológico. El trabajo también muestra las capacidades de interoperabilidad de la arquitectura mediante su integración con Previrnec, un sistema existente de rehabilitación cognitiva.

1. Introducción

La discapacidad de origen neurológico causada por una lesión medular o por la instauración de un daño cerebral adquirido (DCA), se prevé que ocupará, en el año 2020, uno de los cinco primeros puestos entre los problemas de salud con mayor repercusión económica, ajustando su repercusión para la esperanza de vida de las personas afectadas [1]. Los avances médicos en las últimas décadas han posibilitado una mayor supervivencia de las personas con lesiones cerebrales adquiridas, principalmente traumatismos craneoencefálicos (TCE) y accidentes cerebrales vasculares (ACV). Este aumento de supervivencia se ha acompañado de un incremento del número de secuelas, y de su gravedad, que se manifiesta a diferentes niveles (físico, metabólico, cognitivo, emocional, conductual...), afectando considerablemente a la calidad de vida del individuo y de su entorno [1].

El envejecimiento supone el deterioro progresivo de todas las capacidades y se caracteriza por una reacción diferente ante los estímulos, un descenso en la densidad de los huesos, un rango de movimiento limitado, una reducción de la velocidad y la adaptación del sujeto a su “nuevo” cuerpo. Algunos de los aspectos a tratar cuando se aborda el proceso de envejecimiento tienen relación con problemas musculoesqueléticos, neurológicos y/o neumónicos.

La neurorehabilitación es un proceso clínico complejo dirigido a restituir, minimizar y/o compensar las alteraciones aparecidas en la persona afectada por una

discapacidad como consecuencia de una lesión del sistema nervioso [2]. Las enfermedades derivadas del envejecimiento, como son el dolor crónico, el deterioro cognitivo, la discapacidad física ó la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), también llevan asociadas tratamientos de rehabilitación. Sin embargo, la sostenibilidad de estos programas y su universalización en régimen de hospitalización o de atención ambulatoria supone un serio problema. En este contexto, la **tele-rehabilitación** hace referencia a la prestación de servicios de rehabilitación por medio de sistemas electrónicos, basados en las TIC.

La tele-rehabilitación es una solución innovadora que se fundamenta en la integración de distintos procedimientos establecidos en diferentes disciplinas, como la rehabilitación funcional, la rehabilitación neuropsicológica, las telecomunicaciones en general y la telemedicina en particular, la mecánica, la robótica, la informática, los sistemas de realidad virtual y realidad aumentada, la inteligencia artificial y la neurociencia. En la sociedad actual, la tele-rehabilitación ofrece una solución para una necesidad real, compleja y costosa [3]. El desarrollo de las TICs han convertido la telemedicina en una realidad, permitiendo extender la atención rehabilitadora más allá del ámbito hospitalario, en un entorno más ecológico, donde detectar nuevas limitaciones y evaluar la eficacia de la intervención con relación a las actividades de la vida diaria a un coste sostenible.

La incorporación progresiva de estas tecnologías a los servicios de salud está promoviendo un cambio profundo en la concepción y organización de las prestaciones sanitarias, que ven mejorados el proceso asistencial y la equidad de las actuaciones, al mismo tiempo que sitúan al paciente en el centro de todas las actuaciones.

Las mejoras en comunicación permiten compartir e intercambiar información entre los profesionales médicos, los pacientes, la familia, los cuidadores y los investigadores [4].

La **interoperabilidad** es fundamental a la hora de desarrollar sistemas de telemedicina, ya que asegura la capacidad de intercambiar y utilizar información entre diferentes sistemas informáticos. La interoperabilidad

permite que los sistemas puedan trabajar de manera conjunta y a través de organizaciones diferentes, incrementando así la efectividad en la entrega de servicios de salud para individuos y comunidades [5].

La arquitectura de tele-rehabilitación propuesta en este trabajo permite al equipo médico diseñar, desarrollar e implementar protocolos clínicos para la rehabilitación de personas en domicilio. La plataforma Habilis se ha desarrollado dentro del contexto del proyecto europeo CLEAR (Clinical Leading Environment for the Assessment and validation of Rehabilitation Protocols in home care) [6], cuyo objetivo es implementar servicios de tele-rehabilitación en cuatro estados miembros de la Unión Europea (Italia, España, Polonia y Holanda), con el propósito final de sentar las bases para ofrecer servicios de tele-rehabilitación en toda Europa. Esta arquitectura se caracteriza por ser abierta e interoperable, ofreciendo diferentes servicios de tele-rehabilitación que ofrecen tratamiento para diversas afecciones y discapacidades. Se integran distintos módulos funcionales creados por equipos de desarrollo diferentes, utilizando soluciones heterogéneas, tanto software como hardware. Asimismo, esta arquitectura ofrece a cada centro la posibilidad de configurar el número de servicios que desean ofrecer, ajustándose de esta manera a sus necesidades concretas.

2. Arquitectura de tele-rehabilitación

La arquitectura interoperable de telerrehabilitación y teleasistencia presentada en este trabajo está basada en tecnologías web 2.0, dividiéndose en cinco módulos principales, como se puede observar en la Figura 1.

Estos cinco módulos agrupan funcionalidades relacionadas entre sí, compartiendo todos ellos la interfaz de usuario (que será personalizada dependiendo del rol de cada usuario). Hay que tener en cuenta que la seguridad en este tipo de sistemas es un aspecto crítico, debido a que se maneja información confidencial de los pacientes, por lo que todas las conexiones se realizarán de manera segura. Para ello, se define un módulo de nivel superior que se encarga desde la gestión de claves al registro de accesos, que permite reproducir todas las acciones llevadas a cabo por los usuarios y realizar auditorías cuando así sea requerido.

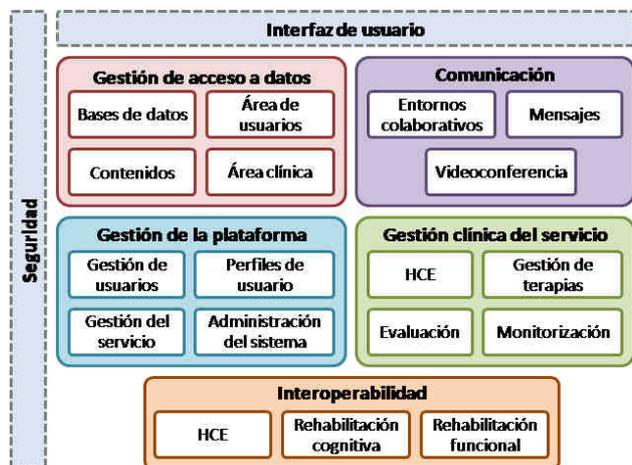


Figura 1. Módulos de la arquitectura

A continuación, se describe cada uno de los cinco módulos principales más en detalle:

1. *Gestión de acceso a datos*: este módulo controla el acceso a los datos relativos a las diferentes áreas, así como la gestión de los diferentes contenidos terapéuticos y el control de acceso a las bases de datos.
2. *Comunicación*: es el módulo encargado de ofrecer servicios de comunicación entre los usuarios, asíncrona (mensajes) y síncrona (videoconferencia). Además, se define una plataforma web, formada por áreas tanto públicas como privadas, que proporciona herramientas para compartir información entre comunidades virtuales. Esta plataforma también se utiliza para llevar a cabo la diseminación de las distintas actividades relacionadas con la estandarización de protocolos de rehabilitación y difusión del conocimiento.
3. *Gestión de la plataforma*: consiste en la gestión del servicio desde la perspectiva clínica y contiene a su vez cuatro módulos: 1) gestión de usuarios; 2) gestión del servicio; 3) perfiles de usuario; 4) administración del sistema.
4. *Gestión clínica del servicio*: es el módulo a través del cual se proporciona el tratamiento específico de tele-rehabilitación al paciente, permitiendo la planificación de sesiones y la evaluación de los resultados por parte de los terapeutas, así como la gestión de la HCE relativa a los pacientes.
5. *Interoperabilidad*: gestiona el flujo de información entre los sistemas informáticos del centro clínico y las diferentes plataformas de rehabilitación integradas.

La implementación y desarrollo de la plataforma se ha realizado con una filosofía de utilización de software y tecnologías de libre distribución. El entorno de desarrollo elegido es JAVA, siguiendo un patrón de diseño Modelo Vista Controlador (MVC), basado en la separación, en tres capas, de los componentes con distintas responsabilidades que forman la aplicación, como la gestión de las peticiones de usuario y la capa de presentación.

Para la gestión de la base de datos se ha utilizado MySQL, que aporta muchas ventajas al tratarse de un sistema relacional, multihilo y multiusuario.

3. Interfaz de usuario

El diseño de la interfaz de usuario se ha basado en un modelo de Diseño Centrado en el Usuario (DCU), siguiendo las guías de accesibilidad [7][8].

El diseño se ha centrado en conseguir una interfaz de usuario que sea: **fácil de usar**, evitando confusiones y demandando los conocimientos previos mínimos posibles para el usuario; **fácil de aprender**, intentando siempre que el entrenamiento necesario sea mínimo; **fácil de recordar**, de modo que el usuario sea capaz de repetir sin esfuerzo una operación ejecutada con antelación, aspecto clave teniendo en cuenta que muchos de los usuarios pueden tener dañadas funciones cognitivas como la

memoria o la atención; **tolerante a errores** del usuario, contemplando los potenciales errores de los usuarios (teniendo en cuenta que habrá usuarios que tengan afectadas funciones como la inhibición, comportándose de manera incontrolada); **ajustada a las necesidades** del usuario, proporcionando las funciones e información que necesitan y no otras, para no saturar nunca al usuario; **adecuada a las organizaciones** donde se instale, sin causar cambios significativos en la estructura de los centros que incorporen los servicios ofrecidos o en las prácticas médicas; **flexible**, dejando abierta la posibilidad de poder ser utilizado en un futuro por usuarios y en entornos diferentes de los que se plantean en el diseño inicial; **eficiente y efectiva**, consiguiendo que el usuario (tanto el profesional médico como el paciente) realice las tareas en el mínimo tiempo posible, con el mínimo número de errores, con el mínimo coste tanto humano como del sistema, y la mayor calidad; y, por último, **atractiva y atrayente**, lo que proporciona satisfacción al usuario, aspecto que puede ser determinante para el éxito final del sistema.

Existen los siguientes perfiles de usuario, diseñando una interfaz personalizada para cada caso concreto:

- **Paciente:** todo usuario que utilice los servicios de tele-rehabilitación ofrecidos, además las funcionalidades que les permiten comunicarse con sus terapeutas.
- **Terapeuta:** la plataforma le permite gestionar sus pacientes y comunicarse con ellos, planificando sesiones de rehabilitación personalizadas y monitorizando y evaluando su terapia.
- **Supervisor:** supervisan el trabajo de los terapeutas, además de encargarse de las asignaciones entre pacientes y terapeutas.
- **Administrador de contenidos:** utilizan la plataforma para gestionar los contenidos terapéuticos utilizados para asignar sesiones de tele-rehabilitación, como son las tareas de rehabilitación cognitiva.
- **Gestor de servicio:** aquellos usuarios que se encargan de monitorizar el servicio, mediante el uso de estadísticas sobre los terapeutas y las sesiones de rehabilitación de los pacientes.
- **Administrador del Servicio:** utilizan la plataforma para gestionar el acceso al servicio, encargándose de la gestión de los diferentes perfiles del usuario.

Un ejemplo del diseño de la interfaz puede verse en la Figura 2, donde se muestra el módulo de gestión de terapias que utiliza el terapeuta para crear una sesión de rehabilitación, asignando ejercicios en los días seleccionados.

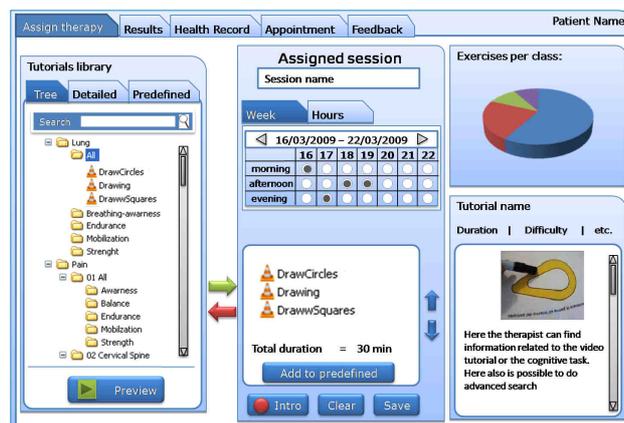


Figura 2. Ejemplo de interfaz de gestión de sesiones de rehabilitación

4. Interoperabilidad en tele-rehabilitación cognitiva

Considerando que existen diferentes escenarios dentro del proyecto donde se desarrollan los pilotos, en este trabajo únicamente se describe la solución adoptada para integrar un módulo de rehabilitación cognitiva existente (Previrnec) en la arquitectura propuesta en este trabajo.

4.1. Objetivos específicos

El objetivo de integración dentro del proyecto CLEAR consiste en proporcionar a los usuarios ciertas funcionalidades adicionales, que incluyen la planificación, la ejecución y la evaluación de las sesiones de tele-rehabilitación cognitiva. Estas funcionalidades son ofrecidas por la plataforma Previrnec que, integrada dentro de la misma interfaz de usuario, permite que ambos sistemas trabajen simultáneamente para proporcionar una experiencia coherente al usuario.

4.2. Descripción de Previrnec

Previrnec es una plataforma de rehabilitación cognitiva desarrollada por el Institut Guttmann en colaboración con otras entidades, entre ellas el Grupo de Bioingeniería y Telemedicina de la Universidad Politécnica de Madrid. En ella, el terapeuta dispone de una interfaz que permite la elaboración de planes terapéuticos personalizados, mediante la asignación de tareas computerizadas definidas por neuropsicólogos. Asimismo, el paciente, de forma asíncrona, se conecta al servidor que envía los parámetros de la tarea a realizar. La tarea se ejecuta en modo local y envía los resultados de vuelta al servidor, de manera que el terapeuta puede consultar los resultados de ejecución de las mismas.

4.3. Casos de uso

Se han considerado tres escenarios que implican la utilización de Previrnec desde Habilis:

1. Un terapeuta desea asignar, modificar o borrar una sesión de rehabilitación cognitiva para uno de sus pacientes.
2. Un terapeuta desea evaluar los resultados de una sesión de rehabilitación cognitiva realizada por uno de sus pacientes.

3. Un paciente debe realizar una sesión que le ha sido asignada por su terapeuta.

4.4. Tareas de integración

Cada escenario requiere un intercambio de información entre las dos plataformas, como la identidad de los usuarios implicados, datos de autenticación y otros parámetros. Se ha conseguido también simplificar el acceso a ambos sistemas de rehabilitación. El usuario, cuando inicia sesión en uno de los sistemas, automáticamente tiene acceso al otro, sin necesidad de repetir el proceso de autenticación (single sign-on, SSO). La interacción entre las plataformas se hace de manera transparente para el usuario, creando un identificador que tiene validez para cada sesión y que ambos sistemas consultan para autenticar al usuario. Al integrar Previrnec ha sido necesario modificar algunos procesos nativos de la plataforma, de manera que se satisficiera la nueva demanda de información creada al trabajar conjuntamente con otro sistema.

La plataforma Previrnec dispone de una aplicación cliente, desarrollada en Java, que el paciente utiliza para ejecutar las tareas cognitivas asignadas a una sesión. En el funcionamiento normal de Previrnec, esta aplicación está instalada en el ordenador del paciente y, al ejecutarla, el paciente ha de autenticarse mediante su nombre de usuario y contraseña. Acto seguido, presenta una a una las tareas asignadas y registra los resultados de la ejecución del paciente. En la versión integrada, la aplicación cliente se lanza automáticamente desde el navegador. Para ello, se ha desarrollado un applet Java, integrándolo en la interfaz de usuario Previrnec. Cuando el paciente inicia la ejecución de tareas, el applet lee la información del mismo (nombre de usuario y contraseña) y lanza las tareas asignadas directamente sin presentar la ventana de autenticación. Cuando termina las tareas que tiene asignadas, se guardan los resultados y se devuelve el control al applet, que envía al usuario de nuevo al portal de Habilis de manera totalmente transparente.

Tanto Habilis como Previrnec fueron diseñados en un principio para trabajar de manera independiente, por lo que ha sido necesario realizar cierto grado de integración entre las bases de datos que permitiera el intercambio de información entre las dos plataformas. Por ejemplo, los usuarios de Habilis que utilicen las funcionalidades de rehabilitación cognitiva, deben ser registrados también en la plataforma Previrnec, para así poder gestionar sesiones de rehabilitación ó visualizar resultados. Para lograrlo se ha empleado un **motor de integración** que de manera rápida y automática mantiene ambas bases de datos sincronizadas. Esto incluye mantener un registro del código que identifica a un mismo usuario en ambas bases de datos, de manera que cada plataforma siga trabajando con sus propios códigos y variables nativas. Este motor de integración está continuamente vigilando las tablas involucradas en ambas bases de datos. Cuando se aplican cambios en Habilis que implican alguna modificación en las tablas de Previrnec, este motor se encarga de hacerlo de manera transparente. La creación de nuevos usuarios en Previrnec requiere la generación de algunos

parámetros que no son necesarios en Habilis, como el idioma del usuario, que se crean con valores por defecto.

5. Conclusiones

La arquitectura propuesta en este documento ofrece una solución abierta e interoperable novedosa para el tratamiento de pacientes que sufren alguna discapacidad de origen neurológico, tanto funcional como cognitiva. Permite al paciente rehabilitarse en su entorno domiciliario, con el consecuente ahorro económico que se deriva de esto. Tanto terapeutas como pacientes disponen de una plataforma de telemedicina que les permite comunicarse entre ellos, mediante mensajes y videoconferencia. Los pilotos que se están realizando en Italia, España, Polonia y Holanda, servirán para evaluar su utilidad a la hora de extender los procesos tradicionales de rehabilitación a un ambiente domiciliario.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el proyecto europeo CLEAR (CIP-ICT-PSP-2007-1). Los autores expresan su agradecimiento a todo el consorcio, formado por las siguientes empresas e instituciones: Signo Motus, Fundacio Privada Institut de Neur. Guttmann, Istituto Superiore di Sanità, Roessingh Research and Development, Rehabilitation Centre Het Roessingh, The Medical University of Warsaw, Azienda Unità Sanitaria Locale 11, Assessorato Al Diritto Alla Salute Toscana, Polish National Centre for Health Information System, Fundació Privada Centre Tic i Salut e Institut de l'Envelliment.

Referencias

- [1] Junqué C, Bruna O, Mataró M. Traumatismos craneoencefálicos: un enfoque desde la neuropsicología y la logopedia. Barcelona, Masson, 1998.
- [2] Fundación Institut Guttmann. "Tecnologías Aplicadas al Proceso Neurorrehabilitador: Estrategias para valorar su eficacia". 2008, pp. 9-43, 81-93, 145-163, 223-249, 349-365, 377-393.
- [3] Tormos Muñoz JM, Gómez EJ, Opisso E, García-Molina A, Maspons R. Análisis del estado actual de los servicios de telemedicina enfocado a evaluar la viabilidad de un programa de telerrehabilitación en pacientes con una gran discapacidad de origen neurológico. Informes de evaluación de tecnologías sanitarias. AATRM núm 2006/11.
- [4] Brennan PF. AMIA recommendations for national health threat surveillance and response. J Am Med Inform Assoc 2002; 9:204-6.
- [5] Página web de la Healthcare Information and Management Systems Society (HIMSS). <http://www.himss.org>. (Consulta: agosto 2010).
- [6] Página web del proyecto CLEAR. <http://www.habiliseurope.eu> (Consulta: agosto 2010).
- [7] Sanz M. Metodología de desarrollo de interfaces de usuario gráficas para sistemas de información interactivos con alta usabilidad. Tesis doctoral, Grupo de Bioingeniería y Telemedicina, UPM. Febrero 1996.
- [8] Gómez EJ, Quiles JA, Sanz MF, Del-Pozo F. A User-Centered Cooperative Information System for Medical Imaging Diagnosis. pp. 810-816, Journal of the American Society for Information Science, Ed.: John Wiley and Sons, 49 (9), 1998.