

# *El proyecto TAILOR: sistemas para la asistencia de la marcha*



**Antonio J. del Ama**

**Eng. Ph.D.**

Área de Tecnología

Electrónica

Universidad Rey Juan Carlos



**Juan C. Moreno**

**PhD**

Grupo de Neuro-rehabilitación, Instituto Cajal  
Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)



**Josep Maria Font**

**Doctor en Ingeniería Biomecánica,**

Director, Biomechanical Engineering Lab (BIOMECH)  
Director asociado, Research Centre for Biomedical Engineering (CREB)

*Andar es una función humana muy habitual, a la vez que muy compleja. Involucra a todos los niveles de los sistemas neurológico y musculoesquelético, así como el sistema cardiorrespiratorio. El patrón de marcha de las personas no es fijo, sino que difiere de unas a otras, y está muy influenciado por aspectos tales como la edad, la personalidad y el estado emocional.*

## *Rehabilitación de la marcha*

En las últimas décadas se ha constatado que la alteración de la capacidad de andar es una de las consecuencias más prevalentes, debido, por un lado, a la incidencia creciente de patologías de origen neurológico –ictus, daño cerebral, lesión medular, diferentes formas de esclerosis, etc., y al envejecimiento de la población, dado que una mayor longevidad conlleva, entre otras consecuencias, un aumento de la fragilidad y,

por tanto, una mayor afectación de la capacidad de andar. Cifras recientes sitúan la prevalencia asociada con la edad en un 10 % en el rango de 60 a 69 años, y supera el 60 % en personas con más de 80 años.

Debido a la importancia de esta función y, por tanto, a su impacto en la independencia y calidad de vida de las personas, la recuperación de la capacidad de andar de manera independiente es uno de los principales objetivos de los programas de rehabilitación. Si bien no se pretende dar aquí una visión completa y ortodoxa, en términos generales estos programas están compuestos por una combinación de terapias físicas y farmacológicas, y en algunos casos es necesaria la cirugía. El diseño y la composición precisa de cada programa se adapta, por parte del personal clínico encargado del tratamiento, al estado y las circunstancias de cada paciente –existencia de patologías previas, estado emocional, capacidad cognitiva, etc.–, con el objetivo de promover y dirigir adecuadamente la capacidad de reorganización del



*“El diseño y la composición precisa de cada programa se adapta, por parte del personal clínico encargado del tratamiento, al estado y las circunstancias de cada paciente [...] con el objetivo de promover y dirigir adecuadamente la capacidad de reorganización del sistema nervioso.”*

sistema nervioso (SN). Este fenómeno, denominado neuroplasticidad, se basa en la probada característica del sistema neuronal de realizar nuevas conexiones axonales.

Se trata de un mecanismo muy complejo, en el cual intervienen muchos factores bioquímicos, muchas veces alterados como consecuencia de la patología neurológica, pero en el que se ha demostrado que, en condiciones sanas, es posible formar y establecer nuevas conexiones neuronales.

Explicado de una manera muy reduccionista, dichas conexiones se forman cuando, en las inmediaciones de los axones, se producen excitaciones bioquímicas y eléctricas simultáneas (lo que se conoce como Teoría Hebbiana, postulada por Donald Hebb en 1949). En el caso de la marcha, esto se traduce en que es posible fomentar neuroplasticidad cuando se lleva a cabo, a la vez, una acción voluntaria –en el caso de la marcha, uno o varios comandos motores generados en el cerebro que viajan hacia las extremidades, o bien un arco reflejo originado en el sistema nervioso periférico (SNP)– y una o varias señales sensoriales originadas en las extremidades durante la ejecución del movimiento. Cabe mencionar que los arcos reflejos, en los que claramente no hay información desde el cerebro hacia la periferia, también están sujetos a mecanismos neuroplásticos. Sin embargo, la interacción entre las neuronas y las señales en los mecanismos reflejos es compleja y, en ocasiones, da lugar a problemas secundarios, como la espasticidad.



Debemos mencionar que el fenómeno de la plasticidad es uno de los factores más importantes que integran el proceso de aprendizaje motor, que puede ser definido de manera sencilla como aquellos mecanismos que permiten aprender, o reaprender, un determinado movimiento. Sucesivas investigaciones han demostrado que el aprendizaje motor se fundamenta en los siguientes principios generales:

#### *El aprendizaje debe ser contextualmente coherente*

En el caso de la marcha, se traduce en la ejecución de ejercicios relacionados con la marcha –mantenimiento del equilibrio, transiciones de sedestación a bipedestación, superación de obstáculos, cambios en la cadencia y/o longitud de paso– o bien en realizar marcha en la mayor diversidad posible de entornos.

#### *Repetición intensiva*

Es necesario generar el estímulo una y otra vez para lograr establecer y estructurar las conexiones. Por tanto, es necesaria la repetición continuada de los diferentes ejercicios para lograr las conexiones que generan el movimiento y, de este modo, que el aprendizaje llegue al nivel neuronal.

#### *Participación activa del paciente*

Como se ha mencionado anteriormente, para que la interconexión tenga lugar, se requiere que exista un impulso nervioso originado de manera voluntaria que viaje hasta la zona donde se necesita que se produzca la interconexión. Este impulso se genera en la corteza motora del cerebro cuando el paciente intenta realizar el movimiento. En el caso de que la movilización de las extremidades del paciente sea pasiva, en la que este no tiene una participación activa –no “intenta mover” la extremidad–, no se fomentará la interconexión, aunque sí se fomentarán interconexiones en circuitos neuronales reflejos, debido a la activación de los órganos sensoriales de la periferia.

#### *Fomento de adaptaciones motoras*

Si bien el objetivo es lograr restaurar la capacidad de marcha a su estado prepatológico, en muchas ocasio-

nes no es posible una rehabilitación total, y es necesario utilizar compensaciones, habitualmente mediante el uso de ayudas técnicas, para lograr una marcha lo más eficaz y eficiente posible. Por otra parte, es también necesario observar y evitar, o eliminar, las adaptaciones que puedan aparecer en la marcha del paciente que resulten en una marcha poco eficaz, poco eficiente o, incluso, que pueda derivar en lesiones.

Tomando estos aspectos básicos, entre las terapias físicas para la rehabilitación –en ocasiones también denominada reeducación– de la marcha, se encuentran:

- La movilización de articulaciones.
- Ejercicios de equilibrio en sedestación y bipedestación.
- Ejercicios de transición de sedestación a bipedestación.
- Realización de marcha con la utilización de ayudas técnicas –barras paralelas, andador, bastones, ortesis–.

Habitualmente, estos programas se complementan con tratamientos como la aplicación de estimulación eléctrica neuromuscular para la potenciación de la musculatura y diversas técnicas de neuromodulación.

#### *Robótica aplicada a la rehabilitación de la marcha*

Una de las terapias físicas que integra gran parte de los principios enumerados anteriormente es la realización de marcha sobre un tapiz rodante, en la que el paciente se suspende en un arnés para descargar parte de su peso corporal, y así sea capaz de movilizar sus piernas. En el caso de que, aun con la descarga del peso, el paciente no es capaz de generar movimiento, o es incompleto, las extremidades inferiores se movilizan gracias a la acción manual externa, a través de la acción coordinada de dos o más personas. La realización de este ejercicio, si bien fomenta los principios anteriormente mencionados, está limitada en su duración –uno de los aspectos esenciales– debido al cansancio acumulado por las personas encargadas

de la movilización de las piernas del paciente. Es entonces cuando, a comienzos del siglo XXI, se aplicó la robótica para aliviar a las personas externas de este trabajo tan repetitivo, monótono y cansado, dando lugar al entrenador robótico de la marcha Lokomat.

Desde su aparición en el mercado se han fabricado otros robots que, si bien pueden diferir en cuanto a su construcción y funcionamiento, tienen el mismo objetivo final: asistir en la movilización de las extremidades inferiores del paciente. La gran ventaja de estos robots es que la cantidad de tiempo que puede realizar la terapia el paciente es potencialmente ilimitada, además de que permiten ajustar con gran precisión las trayectorias y las fuerzas con las que las piernas son movilizadas. Asimismo, permiten medir estas y otras características de la marcha, con lo que aumenta la información disponible relacionada con el estado y el progreso del paciente en el tratamiento. Los entrenadores robóticos de la marcha constituyen hoy en día una alternativa terapéutica válida y eficiente para pacientes con una gran afectación de la marcha, dado que permiten realizar tratamiento funcional e intensivo que no podría hacerse mediante otros medios, fundamentalmente manuales.

### *Utilidad terapéutica de los exoesqueletos robóticos*

En aras de mejorar la eficacia del entrenamiento de la marcha con dispositivos robóticos en pacientes con una mejor preservación de la capacidad de la marcha, actualmente se sigue investigando la mejor forma de fomentar los principios básicos del aprendizaje motor a través de exoesqueletos robóticos. Estos sistemas son, en esencia, una ortesis en la que se han añadido motores y sensores en diversas articulaciones, generalmente en rodilla y cadera, que permiten generar el movimiento de flexión/extensión característica de





VENTA Y ALQUILER DE VIVIENDA ADAPTADA



ELIMINACIÓN DE BARRERAS Y ADAPTACIÓN DE LA VIVIENDA MEDIANTE OBRAS Y PROYECTOS TÉCNICOS



OBRA NUEVA ADAPTADA




MR

Movilidad Reducida

**SOLUCIÓN INTEGRAL PARA MEJORAR LA ACCESIBILIDAD DE LA VIVIENDA, ACCESOS Y ENTORNO.**

**¿Quiere vender, alquilar o comprar una vivienda accesible**  
para personas con movilidad reducida?

María Barrientos, 7 08028 BARCELONA  
[info@mrservicios.es](mailto:info@mrservicios.es) [www.mrmovilidadreducida.com](http://www.mrmovilidadreducida.com) Tel. 936 552 524



la marcha. Desarrollados a principios de los años setenta como una alternativa a las ortesis rígidas, para que los pacientes cuya capacidad de marcha ya no tenía margen de mejora pudieran caminar con un menor gasto energético, fueron abandonadas por falta de tecnologías adecuadas hasta los años noventa, cuando el departamento de proyectos militares de Estados Unidos (DARPA) financió varios proyectos, con el objetivo de crear exoesqueletos para la extensión de las capacidades físicas de los militares. Estos proyectos mejoraron la tecnología y permitieron que, en la primera década del siglo

xxi, se retomase su desarrollo e investigación como alternativa a las ortesis rígidas, para facilitar la marcha de los pacientes dependientes de la silla de ruedas.

En los últimos años han atraído la atención de los investigadores, puesto que permiten, de manera similar a los entrenadores robóticos, movilizar las piernas para realizar marcha, si bien no facilitan la descarga parcial del peso. Además, para su uso es necesario que el paciente tenga una participación activa y consciente durante la terapia, tratando de movilizar sus piernas y mantener el equilibrio durante el movimiento. Ambos factores generan un mayor esfuerzo físico y de concentración, aunque depende de la habilidad del paciente en el uso del exoesqueleto, por tanto, de su capacidad funcional y el entrenamiento.

*¿Cómo podrían adaptarse los exoesqueletos robóticos a las necesidades de cada paciente? El proyecto TAILOR*

En este contexto surge el proyecto TAILOR, cuyo objetivo principal es el desarrollo de sistemas modulares robóticos y neuroprotésicos personalizables para la asistencia de la marcha, que posibiliten la configuración de un sistema per-

sillas de ruedas · taller propio · vida diaria · ayudas movilidad · camas · rehabilitación · alquiler · ortopedia técnica · grúas · material antiescaras · asientos especiales · material de baño · más de 300m<sup>2</sup> de exposición



Disponemos de un equipo profesional para asesorarle sobre adaptación de vivienda, adaptación de vehículos, ayudas PUA, movilidad y autonomía personal y mucho más, ¡consúltenos!

Tel. 93 411 15 96 · email: [info@ortopediaguzman.com](mailto:info@ortopediaguzman.com)  
tienda online: [www.ortopediaguzman.com](http://www.ortopediaguzman.com)

C/ María Barrientos, 15  
08028 Barcelona (Les Corts)  
nuevo horario: L-V: 9:00 -13:45h. / 16:00 - 19:00h.

 **J.GUZMAN**  
ajudes tècniques i ortopèdia, s.l.

  
**ELÍGENOS**



sonalizado a la capacidad funcional del paciente y a las necesidades terapéuticas. El proyecto está financiado por la Agencia Estatal de Investigación en la convocatoria de Proyectos de I+D Retos de investigación en 2018, y en el cual participan el Grupo de Rehabilitación Neural del Instituto Cajal del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, dirigido por el Dr. Juan C. Moreno; el Laboratorio de Ingeniería Biomecánica (BIOMECH) de la Universitat Politècnica de Catalunya, dirigido por el Prof. Josep M. Font; el Hospital Nacional de Parapléjicos, dirigido por el Dr. Ángel Gil Agudo, y el Institut Guttmann, dirigido por el Dr. Joan Vidal. Para posibilitar el desarrollo de estos sistemas modulares es necesario realizar investigación y desarrollo en áreas en las que el proyecto pretende avanzar en el estado actual del conocimiento. El proyecto está estructurado, a su vez, en tres subproyectos, cuyas actividades coordinadas permitirán alcanzar el objetivo principal.

El subproyecto 1, liderado por el Hospital Nacional de Parapléjicos y con la colaboración del Institut Guttmann, coordina todas las actividades de investigación, desarrollo y evaluación, asegurando que se involucren los usuarios finales –pacientes y clínicos– en todas las etapas del proyecto. Por otra parte, también tiene como objetivo la investigación en nuevas metodologías de cuantificación de la marcha de los pacientes. Si bien existen numerosas métricas para evaluar la marcha, estas se han desarrollado tomando en consideración una patología concreta, lo que, por una parte, impide su aplicación a otras, y por otra, dificulta la comparación del estado de la marcha entre dos pacientes con patologías diferentes. Partiendo del hecho de que ciertas alteraciones en la marcha pueden ser observadas en pacientes de diferentes patologías, se está trabajando en el desarrollo de nuevas métricas para cuantificar la marcha sin

tener en consideración las particularidades patológicas, en aras de conseguir una mayor aplicabilidad e intercomparación entre patologías.

Otro de los objetivos es fomentar la participación activa de los usuarios destinatarios de estas tecnologías –pacientes y clínicos– durante todo el proyecto, ya que la posibilidad de personalizar el exoesqueleto y la neuroprótesis no garantizan por sí mismas mejores resultados terapéuticos. En primer lugar, se deben establecer los criterios que ayuden a diseñar el conjunto de módulos óptimo para cada paciente, algo que actualmente no existe. Y en segundo lugar, es necesario ofrecer al paciente y al clínico una tecnología que cumpla, en la mayor medida posible, no solo los requerimientos funcionales, sino también las expectativas y necesidades de ambos. Estos aspectos responden a la idea clave de las metodologías de Diseño Centrado en el Usuario, que precisamente pretenden convertir al usuario final –en este caso, el paciente y el clínico– en actores centrales en todas las actividades de desarrollo. Estas metodologías se han implementado en el proyecto TAILOR a través de este subproyecto, si bien se da un paso más, en el sentido de que no solo se están derivando de él los requerimientos funcionales y de diseño, sino que se está analizando el impacto emocional en los pacientes de estas tecnologías, tanto las expectativas iniciales como el grado de satisfacción y objeciones de las tecnologías finales.

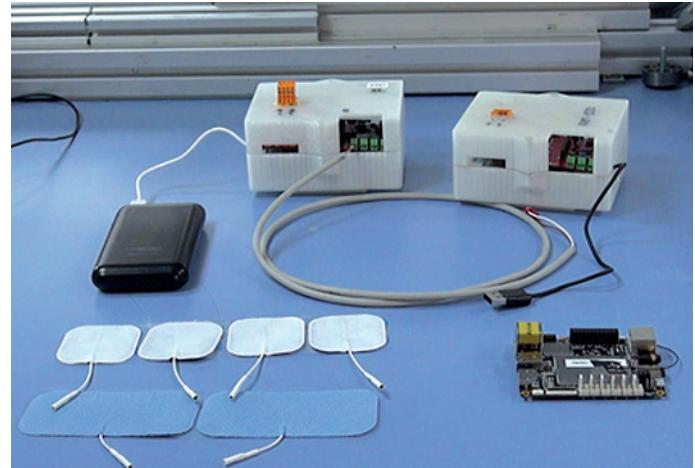
El subproyecto 2, liderado por el Instituto Cajal del CSIC, tiene como objetivos el diseño de los sistemas modulares, tanto exoesqueleto como neuroprótesis, el desarrollo e integración de los algoritmos de control, y la hibridación, tanto en el dispositivo como en la comunicación y control de los módulos de exoesqueleto y neuroprótesis, configu-

rando una unidad híbrida. La investigación está orientada a la concepción del exoesqueleto como una plataforma de módulos, cada uno para una articulación de la extremidad inferior –cadera, rodilla, tobillo–, con actuadores y sensores seleccionados para diferentes necesidades, además de sistemas de fijación adicionales. Estos sistemas pueden ser configurados y ensamblados entre sí para dar respuesta a un déficit de la marcha de un paciente en particular.

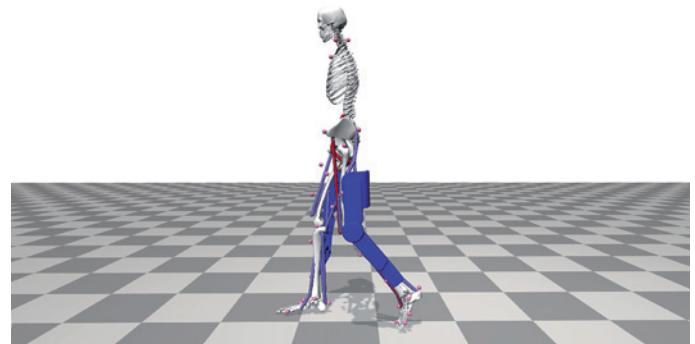
Actualmente, este subproyecto ha desarrollado y patentado una neuroprótesis modular que permite la utilización de diferentes módulos, en función del número de articulaciones sobre las que se va a actuar mediante EEF. Permite la configuración desde 1 a 4 módulos, teniendo una unidad central que posibilita la gestión y comunicación entre los diferentes módulos, como la comunicación con los sistemas externos –exoesqueleto, interfaz del terapeuta–. Por otra parte, también ha logrado la integración de esta neuroprótesis modular con un exoesqueleto comercial, en colaboración con ABLE Human Motion, modificado para lograr la modularidad requerida en este proyecto.

Otro de los objetivos de este subproyecto es desarrollar estrategias de control híbridas para la asistencia de la marcha mediante la acción conjunta del exoesqueleto y la neuroprótesis en una o varias articulaciones de la extremidad inferior. Dada la diversidad en la capacidad de marcha esperable de los pacientes con patología neurológica, es posible que en algunos pacientes sea necesaria una actuación híbrida, en la que la estimulación de la musculatura aportada por la neuroprótesis sea complementada con actuación robótica. Esto exige desarrollar nuevas estrategias de control en las que el efecto de la estimulación y del motor del exoesqueleto resulten en un movimiento adecuado para desarrollar la marcha.

Por último, el subproyecto 3 tiene como principal objetivo desarrollar un marco de simulación, tanto programas como algoritmos y estrategias de simulación, para estudiar el efecto sobre la compensación motora de la acción combinada de los módulos del exoesqueleto y la neuroprótesis. El desarrollo y validación de las estrategias de si-



mulación permitirá analizar y predecir el efecto sobre la marcha del paciente de una determinada configuración de módulos robóticos y neuroprótesis, proporcionando una manera eficiente para la elección de los módulos de asistencia y su configuración final.



*Simulación de la acción combinada de los módulos del exoesqueleto y la neuroprótesis.*

#### *El futuro inmediato*

En la actualidad, el proyecto TAILOR está cerca de conseguir de los siguientes hitos:

- Nuevas formas y criterios para el diseño de exoesqueletos ambulatorios modulares, optimizados en peso y dimensiones, con posibilidades de combinación con estimulación muscular.

- Una nueva neuroprótesis modular específica para la generación de movimiento, con capacidades de comunicación y control compatible con sistemas externos.
- Un novedoso marco de simulación para el análisis de la respuesta motora de un paciente, con sus características biomecánicas, antropométricas y funcionales, en respuesta a la acción combinada de fuerzas externas generadas por módulos robóticos y activación muscular artificial mediante estimulación.
- Criterios y procedimientos para la elección y configuración de tecnologías robóticas y neuroprótesis motoras personalizadas a las necesidades funcionales específicas de la persona.
- Una nueva metodología de análisis de datos, para condensar la información obtenida del análisis tridimensional de la marcha en un subconjunto de valores representativos de la capacidad de andar de la persona.

- Nuevos datos sobre las necesidades y expectativas de las personas usuarias de estas tecnologías, que permitirán no solo mejorar los diseños, sino también la manera en la que se ofrecen y aplican estas tecnologías con los usuarios finales, tanto personas con patologías como el personal clínico.

En definitiva, el proyecto TAILOR supone un paso importante en la investigación sobre tecnologías robóticas aplicadas a la compensación motora, promoviendo el desarrollo de una nueva generación de tecnologías robóticas para la asistencia a la marcha modulares, con mayor compatibilidad con las extremidades y con motores más pequeños y eficientes, combinados con neuroprótesis que estimulen la musculatura de manera coherente con el movimiento. Estas nuevas tecnologías proporcionarán una experiencia de uso mucho más satisfactoria, optimizada a las necesidades funcionales de la persona, que podrá reconfigurarse y adaptarse a medida que la capacidad del paciente progrese.

**¿Necesitas mayor Autonomía en tu hogar?**

AHORA YA NO HAY QUE PENSAR EN CAMBIAR DE DOMICILIO

**Adom** by ERREKA & BJ ADAPTACIONES  
ACCESIBILIDAD I ADAPTACIÓN I AUTONOMÍA  
[www.adom-autonomia.com](http://www.adom-autonomia.com)

¡INFÓRMATE! ➤ Proyectos personalizados. Expertos en soluciones para cada discapacidad. Te asesoramos en la obtención de ayudas y subvenciones.

**PÍDENOS PRESUPUESTO SIN COMPROMISO**

info@adom-autonomia.com    T. 93 285 04 37