

# DESARROLLOS EVOLUTIVOS DE ANDADORES AVANZADOS EN LA MEJORA DE LA SEGURIDAD, LA AUTONOMÍA Y EL GUIADO INTUITIVO

Ceres Ruiz R., Frizzera-Neto A., Martins M.\*\*\*

E-mail: ramon.ceres@csic.es

\* CSIC (Instituto Cajal), \*\* Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, \*\*\* Universidade do Minho, Gualtar-Braga

## 1 Introducción

La movilidad es una de las principales facultades del individuo no solamente por permitirle la deambulación libre y voluntaria sino por lo que ello supone en el desarrollo de las múltiples actividades de la vida diaria y la relación personal, laboral y social. Es amplio y creciente el colectivo de personas mayores en nuestra sociedad situándose en España en el 18,1% sobre el total de la población (Padrón Continuo-INE, enero de 2014). En este segmento la movilidad se encuentra a menudo comprometida por los deterioros propios del envejecimiento, principalmente de carácter músculo-esquelético y de tipo neurológico, que afectan seriamente a la propiocepción y a la coordinación neuromotriz con alteración frecuente de las pautas de marcha y del equilibrio estático y dinámico. A estos deterioros se unen ciertas patologías, tales como el Parkinson o la osteoartritis, con mayor incidencia en edades avanzadas y que limitan particularmente la marcha. En estas situaciones de déficit funcional es primordial el mantenimiento de la movilidad autónoma evitando, o al menos retrasando, el uso prolongado de la silla de ruedas por los problemas de salud de tipo renal, dermatológico, digestivo y osteoarticular, entre otros, que ello origina.

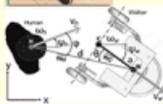
## 2 Materiales y Métodos

La línea de investigación que se presenta en este trabajo, mostrando varios prototipos desarrollados en colaboración por los equipos de los autores, se centra en el paradigma del andador como dispositivo de apoyo versátil y operativo para mantenimiento de la movilidad, tratando de aumentar su seguridad y autonomía, en un modo de guiado natural e intuitivo.

**El prototipo ASAS.** Fruto de un proyecto financiado por el IMSERSO se realizó un primer sistema, partiendo de una estructura de cuatro ruedas de tipo rollator en el que el movimiento se controlaba electrónicamente a partir de órdenes generadas por dos pulsadores en las empuñaduras sobre sendos motores DC autobloqueados. Se reducía así en gran medida el riesgo de caída por excesiva separación usuario-andador, especialmente en rampas, sin necesidad de accionar freno alguno, lo que requiere por otra parte un tono importante y una rápida respuesta de los mecanismos perceptivos y musculares. En este punto es preciso hacer notar que las caídas son la causa principal de lesión y muerte accidental en mayores de 85 años (Kosti, 1998), originando en el mejor de los casos miedo en el sujeto, con la consiguiente reducción de la actividad física y de la autonomía.



**Sistema SIMBIOSIS** es el resultado de un proyecto del Plan Nacional y surge basándose en el anterior ASAS, tratando de mejorar ciertos aspectos de seguridad pasiva (ergonomía y área de la base, apoyo de antebrazos y otros) y sobre todo introduciendo un nuevo concepto de guiado natural mediante la interacción sobre el andador del tren superior del usuario. Para ello se dispusieron en los apoyos de antebrazos y empuñaduras sendos sensores de fuerza triaxiales-extensiométricos. Se trataba de detectar e identificar las intenciones a partir de gestos del usuario, interpretando sus fuerzas de interacción en los diferentes tipos de movimiento, esto es, arranque y parada, giro a izquierda y derecha y marcha adelante y atrás, modulando además el grado o amplitud de cada comando de conducción. En paralelo se detectaba la evolución relativa de los pies durante la marcha mediante medidas ultrasónicas y aplicando filtros Fourier Linear Combiner (FLC) para la estimación y posterior eliminación de las componentes relacionadas con la cadencia y las oscilaciones del tronco durante la marcha.



Modelo interacción sujeto-andador

**Sistema UFES.** Los dos sistemas anteriores, desarrollados en el CSIC (Instituto de Automática Industrial) dieron paso a este tercer dispositivo desarrollado en la UFES (Vitória-Brasil) con un nuevo diseño físico de tres ruedas (ver figura), tratando de adquirir las fuerzas de interacción del tren superior del sujeto, de forma similar al SIMBIOSIS, mediante sensores 3D, combinándolas en este caso con los datos de las extremidades inferiores. Para esto incorpora un sensor de barrido láser LRF (Hokuyo) situado en el plano medio-inferior frente a los tobillos con el objeto de detectar en tiempo real la posición de los pies en todo momento. En lo referente a la estrategia de interacción, esta se basa en el movimiento de pies medido mediante el LRF y de tronco mediante un sensor inercial situado en la cintura del usuario. Esta fusión sensorial permite modular la velocidad lineal del andador siguiendo siempre al sujeto a una distancia determinada, incluso sin interacción física entre ambos agentes. Simultáneamente, la velocidad angular para generar los giros se logra mediante las fuerzas del tren superior, todo ello mediante un modelo de interacción (ver figura).



**Sistema ASBGo.** Este sistema se generó a partir de los ya descritos y opera captando igualmente información de la marcha del andador y de los pies y tronco del sujeto así como del entorno frontal. Para ello incorpora dos cámaras y un sensor láser de distancia y funciona según cuatro modos diferentes para dar respuesta personalizada según la terapia y la patología a tratar. En el modo autónomo, indicado para deficientes visuales s/g/o cognitivos, el andador se mueve automáticamente hasta un objetivo fijado, cuyas coordenadas han sido previamente registradas, evitando obstáculos del entorno. En el modo manual el sujeto guía el sistema libremente a partir de sus gestos sobre las empuñaduras. En su variante de modo seguro, el sistema detecta e informa al usuario de la presencia de obstáculos y, finalmente, en el modo de control remoto el terapeuta puede supervisar y corregir los movimientos del sistema.

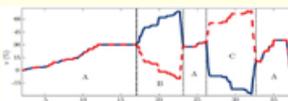
## 3 Resultados

El sistema ASAS fue experimentado y validado por la Sociedad Sogelba con personas entre 76 y 91 años, con un índice medio de Barthel de 70, mostrando una clara mejora en cuanto a las pautas de marcha, especialmente en giros avance y una mayor seguridad en suelos en pendientes. En lo referente al SIMBIOSIS, en las pruebas en el Laboratorio de Análisis de Movimiento del CSIC se realizaron medidas de la evolución de centro de presiones mediante plataformas dinamométricas (Kistler) poniendo de manifiesto el mantenimiento de la estabilidad dinámica con el balance postural del tronco. De igual forma se caracterizaron los movimientos de extremidades y tronco mediante un sistema de fotogrametría IR con reflectores pasivos (BTS). Las pruebas clínicas fueron llevadas a cabo en el Hospital Nacional de Paraplégicos de Toledo con sujetos con diferentes perfiles de lesión medular incompleta. Los resultados objetivos y subjetivamente satisfactorios se registraron con todos los parámetros cinéticos y cinemáticos, con un error medio de 3,23% en la estimación de la cadencia con el algoritmo WFLC.

SIMBIOSIS. Fuerzas en las empuñaduras. Ejemplo de comando de interacción de guiado (giro a derecha)

Numerosas pruebas del sistema UFES han validado la doble estrategia combinada de control de la velocidad lineal y angular en sujetos sanos, encontrándose actualmente en la validación clínica.

En cuanto al sistema ASBGo, ha sido validado en el Hospital de Braga. Un conjunto de pacientes atáxicos están siguiendo un programa de rehabilitación, consiguiendo mejorías con valores de 15 a 35 en la escala de Berg.



ASBGo. Aceleraciones de los motores (ejes: X=aproximado, Z=Z, Y=desviado)  
A: A: marcha recte, B: giro a izquierda, C: giro a derecha

## 4 Conclusiones

Estos andadores instrumentados (smart walkers) constituyen unos simples pero potentes sistemas, en ciertos casos únicos, para rehabilitación, compensación y mantenimiento de la movilidad de sujetos con déficits neuromotrices y perceptivos de una amplia variedad de patologías en el desarrollo independiente de las actividades de la vida diaria. Las numerosas pruebas de los distintos sistemas realizados demuestran que al incorporar elementos de seguridad estática y dinámica ofrecen una mejora de estabilidad, maniobrabilidad y fiabilidad en la conducción, evitando caídas, al operar de modo intuitivo, detectando gestos asociados a la propia marcha tanto en las extremidades inferiores como en las superiores y en el tronco.

## Agradecimientos

Este trabajo se ha desarrollado en las tres entidades mencionadas a cuyos equipos se desea expresar el reconocimiento así como a otras entidades financiadoras, desarrolladoras y clínicas de validación y, de un modo especial, a los múltiples usuarios que se han implicado en las pruebas y en las fases de diseño.