Unidad Ejecutora:
Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas

Título del proyecto de investigación:
Desarrollo de un analizador de la marcha para adultos mayores

Programa de acreditación: CYTMA II
Código del proyecto: C2-ING-C022

Director del proyecto: Lic. Carlos E. Maidana
Co-Director del proyecto: Dr. José R. Jáuregui

Integrantes del equipo (según propuesta inicial)
Dr. Daniel A. Giulianelli
Ing. Fernando I. Szklanny
Ing. Manuel L. F. Guerrero (hasta 1.1.2016)
Sr. Gustavo Panza
Sr. Hernan A. Soares
Ing. Alejandro G. Fourcade (a partir del 1.6.2015)

Fecha de inicio:
1.1.2015
Fecha de finalización:
31.12.2016

Informe final

Contenido

Contenido 2
1.- Resumen del Proyecto: 3
1.1.- Palabras clave: 3
1.2.- Detalles del proyecto: 4
1.3.- Objetivos del proyecto: 4
1.4.- Metodología utilizada: 4
1.5.- Resultados esperados: 5
1.6.- Transferencia de resultados: 5
2.- Programación de actividades (GANTT),según la presentación original. 6
3.- Memoria descriptiva 8
3.1.- Introducción 8
3.2.- Estudios iniciales 8
3.3.- Metodología utilizada 8
3.4.- Topología de los teclados de membrana 9
3.5.- Descripción del sistema electrónico de control. 10
4.- Actividades desarrolladas. 11
5.- Conclusiones y proyecciones. 12
6.- Evaluación del grupo de trabajo 13
7.- Bibliografía y material de referencia utilizados 14

1.- Resumen del Proyecto:

De acuerdo con la presentación inicial del proyecto, el presente documento se refiere al desarrollo y construcción de un sistema analizador que permitirá recabar información digital de las variaciones de la marcha humana en población de adultos mayores de 65 años. El mismo permitirá obtener datos que cuantificarán riesgos a futuro de caídas, fragilidad y trastornos de la marcha asociados a déficits cognitivos incipientes.

Se pretende obtener al final de esta investigación un dispositivo electrónico (Plataforma – sendero) que permita registrar digitalmente la secuencia de pasos realizada por una persona, de manera tal que se puedan calcular parámetros inherentes al análisis de la marcha humana.

Este dispositivo (Plataforma – sendero) volcará sus datos a una computadora personal, en la que se deberá desarrollar un software de análisis de la cuantificación de riesgos y trastornos asociados a déficits cognitivos incipientes.

Para el diseño y construcción de la plataforma se estudiarán las posibles soluciones existentes, que permitirán de una manera no invasiva, recabar la información necesaria para su posterior análisis.

Se estudiarán los dispositivos electrónicos que mejor se adapten a la fabricación nacional, teniendo en cuenta su disponibilidad en el mercado y mejor relación costo beneficio.

El dispositivo en cuestión (Plataforma – sendero) se deberá construir en un laboratorio de la UNLaM para su puesta en marcha y posterior prueba.

Es necesario para un diagnóstico analizar las variaciones de velocidad de la marcha, las oscilaciones laterales de la marcha. Este dispositivo estará dotado de sensores (ópticos o de contacto o capacitivos) que permitirán digitalizar los movimientos y las pisadas del paciente. El dispositivo tendrá una plataforma final de cuatro metros de extensión donde se montarán los elementos que realizarán la adquisición de datos para su posterior análisis en una computadora personal.

Se desarrollará un software de análisis de los datos relevados, teniendo en cuenta los aspectos médicos para el diagnóstico.

1.1.- Palabras clave:

Adulto mayor, trastornos en la marcha, trastornos cognitivos.

1.2.- Detalles del proyecto:

ÁREA DE CONOCIMIENTO: Ingeniería de Comunicaciones, electrónica y control

CÓDIGO DE ÁREA DE CONOCIMIENTO: 1800

DISCIPLINA: Electrónica / Control

CÓDIGO DE DISCIPLINA: 1804/1805

CAMPO DE APLICACIÓN: Electrónica / Control

CÓDIGO DE CAMPO DE APLICACIÓN: 1804/1805

OTRAS DEPENDENCIAS DE UNLAM QUE INTERVINIERON EN EL PROYECTO: Ninguna

OTRAS INSTITUCIONES INTERVINIENTES EN EL PROYECTO: Ninguna

1.3.- Objetivos del proyecto:

- Desarrollar un analizador de la marcha humana para aplicar evaluaciones a población adulta mayor.
- Desarrollar dicho analizador de forma tal que sea transportable para su uso en distintos ámbitos
- Desarrollar un sistema sencillo de manipular, y que no requiera capacitación especial para su calibración, instalación, o puesta a punto.

1.4.- Metodología utilizada:

El proyecto de investigación plantea el diseño y construcción de un dispositivo que permitirá digitalizar la marcha de un ser humano. Para poder cumplir con este objetivo es necesario seleccionar transductores que sean eficientes y a su vez se ajusten a las necesidades y la disponibilidad del mercado argentino. La construcción del prototipo funcional permitirá analizar las variaciones de velocidad en la marcha, como así también los desplazamientos laterales al caminar, que permitirían realizar un diagnóstico preventivo del síndrome motor cognitivo.

1.5.- Resultados esperados:

Se espera lograr el desarrollo de un equipo de fabricación íntegramente nacional, y que transferir tecnología a la comunidad.

1.5.1.- Resultados en cuanto a la producción de conocimiento:

Es trascendental, por sus posibilidades de aplicación y utilización, el poder construir en el país un sistema de aplicación medicinal, que permita digitalizar la secuencia de la marcha humana y desarrollar un software que permita analizar patrones de marcha en los adultos mayores.

1.5.2.- Resultados en cuanto a la formación de recursos humanos:

El objetivo inicial del proyecto es el de realizar un desarrollo con la participación de investigadores en formación y becarios, para luego permitir la investigación y el diagnóstico en unidades de atención sanitaria, de investigación o educación de la comunidad.

1.5.3.- Resultados en cuanto a la difusión de resultados:

Se espera que el proyecto resulte de interés en la comunidad vinculada con la producción de equipamiento médico de industria nacional.

1.6.- Transferencia de resultados:

1.6.1.- Resultados en cuanto a transferencia hacia las actividades de docencia y extensión:

Permitirá enseñar sobre cómo construir equipos nacionales de calidad, con aplicación en el campo de la electro medicina, y en diferentes ramas de los sectores relacionados con la salud, la educación como elemento de simulación e investigación, y el diagnóstico en diferentes ramas de la medicina.

1.6.2 Resultados en cuanto a la transferencia de resultados a organismos externos a la UNLaM:

El proyecto, una vez transferido a la industria nacional, debería resultar un generador de desarrollo de tecnología nacional en su ámbito de referencia.

2.- Programación de actividades (GANTT), según la presentación original.

De acuerdo con la presentación inicial del proyecto, se dividió el avance del mismo en cuatro etapas, las que se detallan a continuación:

Fase 1: Análisis del sistema.

- Selección del método de adquisición de datos de la marcha humana.
- Evaluación de la capacidad de producción del mismo en la Argentina.

Fase 2: Etapa de diseño inicial.

- Diseño de circuitos eléctricos.
- Diseño de circuitos impresos.
- Desarrollo del firmware del dispositivo de adquisición.
- Desarrollo del software de análisis.

Fase 3: Prueba en campo del dispositivo y análisis de los resultados.

- Montaje y prueba en laboratorio de un dispositivo de dimensiones representativas para el análisis.
- Evaluación con personas del rango etario relevante del proyecto.
- Replanteo y corrección de errores.

Fase 4: Documentación y transferencia.

- Documentación.
- Diseño y construcción del dispositivo final
- Transferencia a la comunidad.

Luego de transcurrido el primer año de este proyecto y debido a las problemáticas que se detallaron ampliamente en el informe de avance, las tareas de los integrantes se vieron afectadas a una reconsideración, debido a que tres de sus integrantes no fueron incorporados o renunciaron luego de un año de trabajo. Gracias a la incorporación del Ing. Alejandro Fourcade, esta reasignación fue menos crítica de lo esperado.

Carlos Eduardo Maidana	4 horas semanales
José Ricardo Jáuregui	2 horas semanales
Fernando Ignacio Szklanny	4 horas semanales
Daniel Alberto Giulianelli	2 horas semanales
Alejandro Fourcade	4 horas semanales

Actividades / Responsables 1er Año	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12
1 CEM – JRJ - FIS - DAG – MLG – GP - HAS	**X**	**x**										
2 CEM – FIS - MLG			**x**									
3 MLG – GP - HAS				**x**								
4 GP - HAS					**x**	**x**						
5 CEM – FIS – GP - HAS							**x**	**x**	**x**	**x**		
6 MLG – DAG - JRJ									**x**	**x**	**x**	**x**

Actividades / Responsables 2do Año	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12
7 Todo el grupo	X	x										
8 JRJ – DAG			x	x								
9 Todo el grupo					x	x	x					
10 AF – CEM								x				
11 AF - CEM									x	x	x	
12 Todo el grupo												**x**

3.- Memoria descriptiva

3.1.- Introducción

El presente proyecto se concibió para desarrollar un sistema que permita analizar la marcha en adultos mayores y los trastornos en la misma, derivados de distintos problemas físicos o cognitivos.

3.2.- Estudios iniciales

Los estudios iniciales del proyecto dieron como resultado dos opciones para poder desarrollar el sistema propuesto. La primera alternativa proponía la utilización de dos cámaras de video, una de las cuales filmaría al paciente de frente, en tanto que la segunda realizaría una toma lateral. En ambas tomas se necesitaba de una gratícula calibrada que permitiera medir distancias, una pasarela totalmente pasiva y los resultados se analizarían posteriormente con un software de análisis de imágenes. Mediante el conocimiento de las dimensiones de la gratícula y la cantidad de cuadros por segundo de la filmación, se puede calcular la velocidad de desplazamiento.

Este método resultó descartado porque se necesita un lugar muy amplio para poder ubicar las cámaras y la pasarela, además de requerir una calibración previa al uso. De acuerdo con lo planteado en los objetivos del proyecto, uno de ellos, importante para el éxito del mismo, tiene que ver con la posibilidad de transporte y traslado del sistema desarrollado.

La segunda opción, que luego resultó ser la adoptada, consiste en utilizar la técnica de sensores de presión agrupados en una matriz total de, en principio, cuatro metros por cincuenta centímetros de ancho, conformada por módulos de 50 cm de lado, que permita el fácil transporte, y que además funcione como un sistema modular que permita la fácil modificación del largo y ancho de la pasarela, permitiendo su aplicación a diferentes necesidades. .

La adquisición de datos y su retransmisión a una computadora para realizar el análisis de la marcha se realiza mediante un microcontrolador, cuyas características quedarán determinadas en función de las necesidades del proyecto.

El sistema se pensó desde un primer momento como un sistema de procesamiento distribuido, en los que cada “baldosa” tiene autonomía de procesamiento y almacenamiento de la información adquirida. Todos estos elementos de funcionamiento autónomo se intercomunican con un concentrador que permite transmitir y recibir datos desde/hacia una computadora personal.

3.3.- Metodología utilizada

Se plantea un sistema de estudio de trastornos en la marcha de pacientes adultos mayores, cuyo funcionamiento no resulte invasivo, para lo cual se propone el desarrollo de una pasarela, de unos seis metros de longitud, dividido en dos segmentos: un primer segmento de dos metros de longitud que permiten iniciar la caminata, sin control alguno sobre la

marcha, y un segundo, de cuatro metros, en los que se realiza la verificación y medición de la marcha y sus alteraciones.

El análisis de la marcha en cuanto a su velocidad, cadencia y variabilidad del paso permite inferir con anterioridad a su ocurrencia posibles riesgos de futuras caídas, aumentos de la fragilidad y posibilidad de desarrollo de deterioro en las funciones cognitivas de los adultos mayores.

La construcción del prototipo funcional permitirá analizar las variaciones de velocidad en la marcha, como así también los desplazamientos laterales al caminar, que permitirían realizar un diagnóstico preventivo del síndrome motor cognitivo.

Con la información digital adquirida, el sistema de control realiza dos tipos de mediciones, de las cuales la primera se refiere al desplazamiento lateral de la marcha, según se observa en la figura 1.

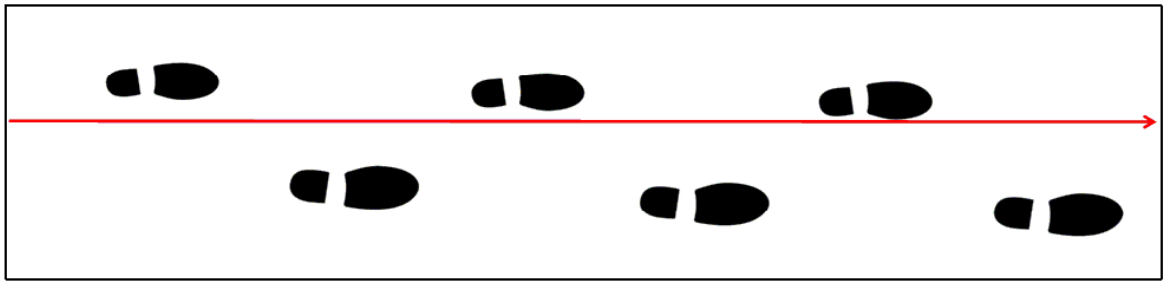

Figura 1 Medición del desplazamiento lateral.

La segunda medición, en tanto, se refiere a la diferencia temporal entre pisadas sucesivas, lo que se ilustra en la figura 2.

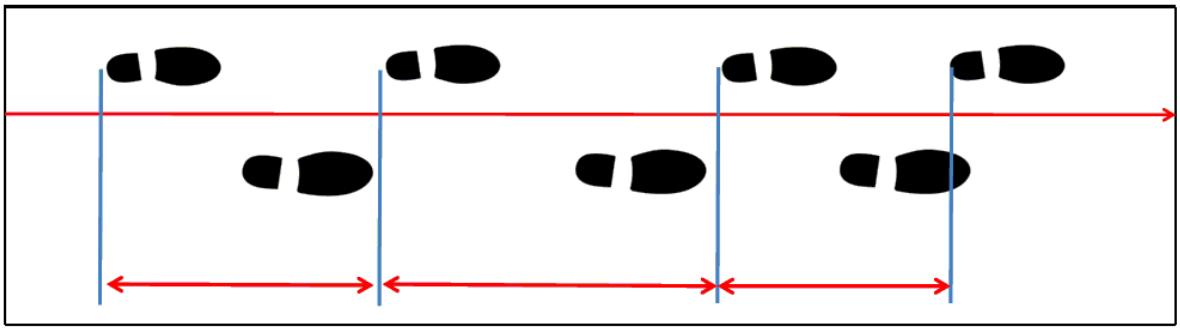

Figura 2 Medición de la diferencia temporal

3.4.- Topología de los teclados de membrana

Resuelto el tipo de sensor a utilizar, el siguiente problema a resolver consistía en la forma más adecuada de interconexión que permitiera minimizar el sistema de adquisición. Para ello se plantearon básicamente dos alternativas de configuración:

- Una matriz de filas y columnas unidas internamente en el teclado flexible.
- Una matriz de filas y columnas unidas externamente en un circuito impreso.

De acuerdo con los análisis iniciales, la primera opción planteada pareció ser la más apropiada. Sin embargo, aparecieron inconvenientes en el uso de la misma cuando se requirió analizar más de un punto de contacto “Si – No” al mismo tiempo en una misma fila. Para solucionar el problema surgido se hizo necesaria la inclusión de un diodo dentro del teclado flexible, lo que implicaba que se debían soldar en un elemento flexible estos elementos. Consultado el fabricante esta idea fue desechada.

Finalmente, la opción elegida fue la que se implementa con teclados individuales. La inclusión de los diodos se realizaría en el circuito impreso que además sirve de interconexión de la matriz.

De esta forma el microcontrolador que se incluye en cada módulo solo necesita 64 puntos de entrada salida, para poder analizar los 1.024 puntos de contacto de cada módulo, los que se plantean como una matriz de 32 filas por 32 columnas.

3.5.- Descripción del sistema electrónico de control.

Cómo se dejó ver en los puntos anteriores, el objetivo del sistema es adquirir y memorizar la marcha de una persona. Para ello se dispuso de una matriz de sensores “on –off” agrupados en un elemento que se decidió llamar “Baldosa”. La dimensión de cada baldosa es de 50 cm de lado, y los sensores están equidistantes a 1,5 cm aproximadamente entre sí. El sistema total estará formado por ocho baldosas más otras dos que no tienen sensores y que se ubican en el inicio del sendero. Estás baldosas falsas tienen como sentido permitir que la persona a evaluar inicie la marcha en forma anticipada para ingresar a la zona de adquisición ya con la marcha en régimen. Cada baldosa tiene 1024 puntos de medición, resolución que permite digitalizar con precisión la pisada de la persona bajo estudio.

Estos 1024 puntos de medición están agrupados en dos matrices de 16 por 32, que se conectan a través de dos buses de 16 bits y 32 señales de selección. Esa matriz se interconecta con una placa Discovery que incluye un microcontrolador ARM STM32F407, en el que se realiza en forma periódica, en un período programable que va desde los 20 ms hasta un máximo de 200 ms, una toma de muestras de los sensores, lo que permite recrear una imagen de la pisada. Esa imagen digital se envía a una placa Discovery similar que actúa de concentrador y que permite la comunicación con la PC en la que se realizará el análisis.

Como este tipo de placas poseen microcontroladores de la familia ARM M4, en este caso particular el STM32F407, abre un abanico de posibilidades en cuanto a las prestaciones del dispositivo, que cubre y supera las necesidades para el proyecto.

4.- Actividades desarrolladas.

Tal como fuera expresado en el informe de avance, el primer año del proyecto sirvió para determinar el tipo de sensor a utilizar. Como consecuencia de esto, se procedió a solicitar a los fabricantes de este tipo de dispositivos, los respectivos presupuestos, pero no se pudo concretar la fabricación de los dispositivos hasta el mes de octubre de 2016.

Esto claramente produjo un estancamiento, dado que no se tenía la materia prima necesaria para poder comenzar la fabricación del prototipo y las primeras pruebas de campo.

El hecho que recién en el mes de octubre estuvieron disponibles los materiales para la fabricación de los sensores, no fue una falta de previsión, debido a que en un estudio realizado en el anteproyecto, dio como resultado la disponibilidad de los mismos.

Aquí se sumaron dos factores, en primer lugar la falta de materia prima de origen extranjero que se agotó y no pudo ser repuesta por los fabricantes y el desfasaje que se produjo en la moneda nacional versus el valor del dólar. Es decir, la cantidad de dispositivos sensores que ahora se podían adquirir era apenas una cantidad mínima como para poder realizar pequeñas pruebas.

La compra de estos insumos agotó por completo los fondos disponibles y como la normativa de los proyectos CYTMA exige a los directores agotar los fondos asignados para poder solicitar la segunda cuota, en el mes de octubre ya no resultaba posible realizar la finalización, aunque sea parcial, del proyecto. Solo se pudo determinar el tipo de sensor y concretar la fabricación de una pequeña cantidad de sensores.

En los dos meses de ejecución que quedaban al proyecto, sin ningún tipo de material electrónico, solo se pudo fabricar el elemento que definimos como “baldosa” y poder determinar el valor real de la misma.

5.- Conclusiones y proyecciones.

Como consecuencia de todas las experiencias que se vivieron, el proyecto sentó las bases que permitieron verificar la topología de la matriz de sensores y elementos para su futura construcción.

Se desarrolló una superficie de soporte en madera para permitir la fijación de los mencionados elementos impresos (sensores), con lo que obtuvimos un elemento básico que permitiera iniciar las pruebas y ensayos requeridos.

De acuerdo con lo expresado en la presentación del proyecto, uno de los objetivos de éste era el de diseñar un dispositivo con componentes y materiales disponibles en el país, minimizando la utilización de componentes poco comunes en el mercado electrónico. Esto provocó gran parte de las demoras en la ejecución del proyecto, debido fundamentalmente a que no existen empresas radicadas en el país, que se dediquen a la fabricación de chips o circuitos impresos de múltiples capas o los insumos básicos para la fabricación de los elementos sensores.

No se debe olvidar que sumado a la solución existía un compromiso de costo por unidad de medición que no se podía desequilibrar. Luego de ser estudiado y puesto en discusión, no sólo con los miembros del grupo sino con colegas, que pertenecen al ámbito docente y también se desempeñan en el mercado electrónico local, como por ejemplo el Ing. Ignacio Zaradnick (Gerente de Ventas de la firma Electrocomponentes), el Ing. Daniel Lupi, perteneciente a la fundación de Nanotecnología, el Ing. Andrés Dmitruk representante de la UNLaM ante el Consejo Directivo del Centro de Micro y Nanotecnología del INTI, como así también fue planteado frente a los alumnos de la cátedra de Técnicas Digitales III, la solución más viable fue, en todo momento, la utilización de los teclados de membrana con domo metálico.

Luego de atravesar todas estas dificultades y dilaciones, en el momento que los sensores estuvieron disponibles para poder ser evaluados, ya prácticamente estaba agotado el tiempo de ejecución del proyecto; debido a esto, en el poco tiempo restante se trató de analizar la información con la que se contaba y en la que se podía confiar, y que existía una manera de poder calcular el costo de cada elemento que denominamos “baldosa”.

A lo largo del segundo año de ejecución, y tal como ya se ha detallado reiteradamente, el avance del proyecto en su aspecto constructivo y de implementación final se vio demorado debido a las limitaciones provocadas por la imposibilidad de importar los insumos necesarios, primero, y por los aumentos de costos derivados de las devaluaciones producidas a lo largo del mismo, después.

Esto hizo que el subsidio originalmente previsto para el proyecto no alcanzara para cubrir todas las necesidades planteadas en la presentación original. De hecho, no hubo posibilidad, a lo largo de este segundo año, ni de adquirir equipamiento originalmente previsto, ni de presentar los resultados del proyecto en Congreso o publicación alguna.

Se espera que de alguna manera este proyecto si bien quedó trunco en su ejecución final, sirva como base para implementación futura del dispositivo planteado.

6.- Evaluación del grupo de trabajo

Tal como se expresó en los apartados anteriores, el curso de la investigación se vio afectado por múltiples trastornos que influyeron en el normal desarrollo.

La incorporación del Ing. Alejandro Fourcade fue imprescindible y su aporte al proyecto lo considero invaluable demostrando en todo momento practicidad y dominio de las nuevas tecnologías. Su desempeño fue altamente satisfactorio.

El Ing. Fernando Szklanny aportó su vasta experiencia en lo tecnológico y en la gestión de proyectos, sumando un eslabón indispensable en la cadena. Sus aportes permitieron llevar adelante el proyecto que sin lugar a dudas hubiera quedado inmerso en el fracaso. Para calificar su desempeño no existe otra palabra que excelente.

El Dr. José R. Jáuregui aportó su conocimiento desde lo médico, para ayudar a entender qué factores se requería medir y los métodos más apropiados para dicha medición. La importancia de su aporte se verá reflejada en el momento en que se pueda concretar la fabricación del prototipo funcional, en el que se podrán realizar las pruebas de campo con pacientes reales y estudiar los factores que impulsaron la creación de este proyecto.

7.- Bibliografía y material de referencia utilizados.

- Evaluación del paciente con trastorno de la marcha. Lorena, Cerda A., Revista Hospital Clínico Universidad de Chile 2010; 21. Pág 326 – 336.
- Medición de las capacidades físicas. de adultos mayores de Quebec: un análisis secundario del estudio NuAge. José Alberto Ávila-Funes, Katherine Gray-Donald, HélènePayette, Publicado en salud pública de México / vol.48, no.6, noviembre-diciembre de 2006.
- Evaluación de la marcha en el adulto mayor. YennyGaneglius. Publicado en Carta Geriátrico Gerontológica 2011; 4(1): 1–36.
- Manejo del trastorno de la marcha del adulto mayor Lorena Cerda A. Publicado en Revista Médico Clínica Las Condes 2014.
- Gait Velocity as a Single Predictor of Adverse Events in Healthy Seniors Aged 75 years and older. Montero-Odasso et al. *Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences & Medical; Oct. 2005, Vol. 60A Issue 10, p1304*.
- Gait variability is associated with Frailty in Community-Dwelling Older Adults. Manuel Montero-Odasso, Susan W Muir, Maggie Hall, Timothy J Doherty, Marita Kloseck, Olivier Beauchet, Mark Speechley. *Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences & Medical,* May 2011;66(5):568-76.
- Prognostic value of usual gait speed in well-functioning older people –Results of the Health, Aging and Body Composition Study. Cesari Mateo, et. al. Journal of the American Geriatric Society. 2005 Oct; 53(10):1675-80.
- Gait variability at fast-pace walking speed: A biomarker of mild cognitive impairment?. O Beauchet, G. Allali, C. Launay, F.R. Herrmann, C. Annweiler. The Journal of Nutrition Health and Aging, March 2013, Vol 17, issue 3, pp. 235-239.
- Spatial variability during gait initiation while dual tasking is increased in individuals with mild cognitive impairment. S. Boripuntakul, , S. R. Lord, M. A. D. Brodie, S. T. Smith, P. Methapatara, N. Wongpakaran, SompornSungkara. The Journal of Nutrition Health and Aging, March 2014; Vol 18, issue 3, pp 307-312.

Lic. Carlos E. Maidana
Director del Proyecto