



---

## DOCTORADO EN INGENIERÍA

### RESUMEN EXTENDIDO DE TESIS DOCTORAL

**TESISTA:** Bioing. Melisa Frisoli

**DIRECTOR:** Dr. Ariel Braidot

#### TÍTULO:

**“Análisis biomecánico de miembro superior para la obtención de parámetros representativos del nivel de funcionalidad en patologías neurológicas”**

#### INTRODUCCIÓN

Las habilidades de agarrar y levantar pequeños objetos requieren la acción de patrones motrices complejos. Las enfermedades neurológicas que afectan el miembro superior disminuyen la capacidad de efectuar actividades de la vida diaria, implicando limitaciones cuantitativas del movimiento, como por ejemplo: reducción de la velocidad y falta de precisión, especialmente cuando las tareas requieren manipulación fina. Entender los factores que participan en la disfuncionalidad crónica del movimiento de miembro superior puede contribuir a la mejora de tratamientos y esclarecimiento de la fisiopatología de la recuperación motora.

El entendimiento de la dinámica intrínseca del gesto de alcanzar y agarrar en pacientes con disfuncionalidad motriz – como secuelas de Accidente Cerebro Vascular (ACV) u otras patologías neurológicas como Enfermedad de Parkinson (EP), Esclerosis Lateral Amiotrófica (ELA), Parálisis Cerebral (PC) - es una demanda requerida para comprender los patrones de coordinación no consistentes con aquellos característicos de la población sin patologías motoras.

La lesión de miembro superior es una secuela común luego del ACV, y frecuentemente, implica escaso control de movimiento y discapacidad a largo plazo. El movimiento de alcance y agarre es un componente necesario en numerosas tareas de la vida diaria, y las personas que sufren enfermedades neurológicas que afectan la motricidad de miembro superior, experimentan un detrimento de la autonomía y disminución de su calidad de vida.

El aumento de la esperanza de vida y los cambios en el estilo de vida de la población junto con un mayor control de los factores de riesgo de las enfermedades en la adultez mayor, ha descendido la mortalidad de las patologías de alta incidencia pero la morbilidad ha aumentando, y con ella la carga de enfermedad medida en años de

disfuncionalidad. Esto se refleja en la prevalencia de disfunciones motoras que impactan enormemente el costo económico social de asistencia médica. Es por eso que, realizar mediciones objetivas y precisas del movimiento de la extremidad superior es crucial para complementar las valoraciones clínicas que efectúan los profesionales de la salud a cargo de los procesos de rehabilitación.

El análisis dinámico del movimiento de alcance y agarre revela al menos dos componentes: una de transporte, donde la mano sigue una trayectoria característica mientras se dirige al objetivo, y otra de agarre donde la mano se abre primero, y cierra después, sobre el objetivo. La apertura de la mano está correlacionada con el inicio de la orientación del segmento hacia el objeto y la máxima apertura de agarre con el pico de desaceleración de la mano.

## **METODOLOGÍA**

En el desarrollo del Plan de Tesis Doctoral (PDT) se persiguieron los siguientes objetivos generales que guiaron las actividades de investigación:

- Registrar y caracterizar el movimiento de alcance y agarre de un grupo poblacional no patológico con los recursos técnicos disponibles en el Laboratorio de Biomecánica de la Facultad de Ingeniería.
- Registrar y caracterizar sujetos voluntarios con patologías neurológicas y disfuncionalidad motora de miembro superior (ACV y EP).
- Evaluar el aporte de los modelos biomecánicos mediante extracción de parámetros representativos de los niveles de disfuncionalidad motora para futuras intervenciones en los procesos de rehabilitación.

Se obtuvieron los patrones característicos de las excursiones angulares de 8 sujetos medidos con dos Sensores Inerciales de Movimiento (IMUs) en brazo y antebrazo durante el gesto de alcance y agarre, que permitían la estimación de variables cinemáticas relativas a los segmentos.

Seguidamente, se procedió a la adquisición de patrones de movimiento de alcance y agarre de miembro superior en población sana con el equipamiento de captura de movimiento mediante cámaras infrarrojas y software Motive de Natural Point de 120 fps, con una precisión de  $\pm 0,1$  mm.

Estos registros se efectuaron utilizando 26 marcadores reflectantes de modo bilateral, siguiendo el modelo de Rab et al y las recomendaciones de la Sociedad Internacional de Biomecánica. Estos indican una estimación estandarizada de los registros para registro de las posiciones anatómicas de referencia y la conformación de los sistemas coordenados locales.

Se efectuaron registros a 5 sujetos con secuelas post ACV con afección motora de miembro superior en las instalaciones del Laboratorio de Biomecánica. Se obtuvieron los parámetros y curvas parametrizadas de cinemática y dinámica del movimiento y se contrastaron con la población de control.

En esta última etapa de desarrollo se efectuó, además, un estudio comparativo pre y post tratamiento terapéutico intensivo de kinesiología convencional combinada con estímulos sensoriales aplicado a un sujeto con EP durante la evaluación de diversas pruebas de movimiento, además del gesto de alcance y agarre para reproducir actividades de la vida cotidiana como ser: movimientos de apertura y cierre de la mano, de los dedos pulgar e índice, prensión de objetos y clickeo de mouse.

## RESULTADOS

Se logró aplicar la modelización biomecánica tridimensional a la población de control registrada para establecer un espectro de funcionalidad correspondiente a las ejecuciones de movimiento de Alcance y Agarre en individuos sanos.

Se logró configurar los reportes estandarizados de las variables cinemáticas y dinámicas, normalizadas a un ciclo de movimiento en la ejecución del gesto. Esta información fué complementada con la cuantificación de parámetros espacio temporales como la máxima velocidad de agarre, la posición de la mano respecto al objetivo de agarre en relación el pico de velocidad, y las unidades de aceleración/desaceleración, o ajuste y reajuste del movimiento en la población con disfunción motriz.

En el estudio de caso comparativo aplicado a sujeto con EP, se valoraron parámetros biomecánicos pre y post terapia de rehabilitación basada en kinesiología convencional combinada con estímulos sensoriales durante movimientos de miembro superior.

## CONCLUSIONES

El uso de herramientas para la cuantificación del movimiento requiere un tiempo considerable de registro y de procesamiento lo cual en alguna medida limita su uso habitual en la clínica como complemento a la valoración por escalas estandarizadas. Sin embargo su utilización es respaldada y reconocida como técnica de validación y *retroalimentación de las acciones terapéuticas, principalmente durante investigaciones* que buscan arrojar evidencia sobre los efectos y posibles innovaciones de las técnicas terapéuticas en disfunciones motoras.

La extracción de parámetros mediante análisis biomecánico tridimensional del movimiento en sujetos con ACV permite obtener información relevante sobre el proceso de rehabilitación y el nivel de funcionalidad, propio y característico del nivel de afección. Por esta razón la heterogeneidad de las lesiones, complejiza la obtención de conclusiones generalizables a la muestra de sujetos bajo estudio.

En el caso de estudio de EP, el modelo biomecánico aplicado permitió la comparación de parámetros indicaron que la intervención terapéutica propició efectos favorables luego de cuatro semanas de fisioterapia convencional combinada con estimulación sensorial.

## PUBLICACIONES

1. M. Frisoli, A. Braidot. "Parameters Assessment in Upper Limb Biomechanics: a Comparative Case Study on a Parkinson Disease Subject" En preparación para el Journal: Acta of Bioengineering and Biomechanics.
2. M. Frisoli, G. González, A. Braidot. "Análisis Biomecánico del Miembro Superior: Estudio de Caso Aplicado a Valoración Terapéutica de Rehabilitación en Enfermedad de Parkinson". 2021. Modelización Computacional en Bioingeniería, Biomecánica y Sistemas Biomédicos. Congreso Argentino de Mecánica Computacional. 1 al 5 de Noviembre, Resistencia, Chaco.
3. M. Bouix, A. Braidot, M. Frisoli. "Caracterización del movimiento de alcanzar y agarrar en sujetos sanos y con ACV". 2018. XXVI Jornadas de Jóvenes Investigadores. 17 al 19 de octubre, Mendoza, Argentina.
4. M. Frisoli , J. M. Edelhoff , N. Gersdorff , J. Nicolet , A. Braidot & W. Engelke. "Comparative study using video analysis and an ultrasonic measurement system to quantify mandibular movement". 2016. CRANIO®, DOI: 10.1080/08869634.2015.1123376
5. A. Braidot, G. Favaretto, M. Frisol, D. Gemignani, G. Gumpel, R. Massuh , J. Rayan , M. Turin. "The valuable use of Microsoft Kinect™ sensor 3D kinematic in the rehabilitation process in basketball". 2016. Journal of Physics: Conference Series 705 (2016) 012064. doi:10.1088/1742-6596/705/1/012064.
6. M. Frisoli, A. Braidot, J. Nicolet, J. Edelhoff, N. Gersdorff, and W. Engelke. "Biostatistics Applied to Comparison of Jaw Movement Measurement Methods". 2015. VI Latin American Congress on Biomedical Engineering CLAIB 2014, Paraná, Argentina 29, 30 & 31 October 2014, IFMBE Proceedings 49, DOI: 10.1007/978-3-319-13117-7\_18.
7. C. A. Cifuentes, A. Braidot, M. Frisoli 2 , A. Santiago, A. Frizera, and J. Moreno "Evaluation of IMU ZigBee Sensors for Upper Limb Rehabilitation". 2013. Converging Clinical and Engineering Research on Neurorehabilitation Biosystems & Biorobotics. Volume 1, 2013, pp 461-465. ISBN: 978-3-642-34546-3. J.L. Pons et al. (Eds.) DOI: 10.1007/978-3-642-34546-3\_75
8. A. Braidot, C. Cifuentes, A. Frizera Neto, M. Frisoli, A. Santiago. "Development of a Wearable ZigBee Sensor System for Upper Limb Rehabilitation Robotics". IEEE International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics. 2013. ISBN 978-1-4577-1198-5. Roma, Italia.
9. M. A. Frisoli, C. A. Cifuentes, A. Frizera, A. Santiago, A. Braidot. "Sensor portable para registro cinemático con comunicación Zig Bee". XIV Jornadas de Ingeniería Clínica y Tecnología Médica ISBN 978-950-698-295-9. Paraná, Argentina.
10. A. Braidot, C. Cifuentes, A. Frizera Neto, M. Frisoli, A. Santiago. "Desarrollo de un Sistema de Sensores Portables ZigBee para Rehabilitación Robótica de Miembro Superior" ARGENCON, 2012. IEEE. ISBN 978-987-572-076-3. Córdoba, Argentina.