

Propuesta de Proyecto de Tesis de Maestría (Dr. Gilberto Borrego Soto)

- a. **Título:** Optimización de la interacción de usuario para un dispositivo y software de terapia espejo para la rehabilitación de extremidades inferiores.
- b. **Descripción del proyecto:**

Según el Instituto Nacional de Estadística y Geografía¹, en el 2020, las personas con algún tipo de discapacidad en México eran 6.1 millones. De estas personas, el 64.1% tienen dificultad para caminar o para subir o bajar escaleras; en su mayoría adultos mayores de 60 años. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud² la rehabilitación y los dispositivos asistenciales pueden hacer que las personas con discapacidad sean independientes. Se cuenta con varias técnicas de rehabilitación entre las cuales se incluyen dispositivos de asistencia mecatrónicos con movimiento pasivo continuo [1], adaptados anatómicamente al cuerpo del paciente, que han comprobado una alta eficacia en la recuperación de la movilidad del paciente [2], [3]. Estudios más actuales siguen reportando el uso exitoso de estos sistemas mecatrónicos para la rehabilitación, los cuales incluyen sistemas embebidos para su operación y control [4], [5]. También existen dispositivos comerciales como el Kinetec³ y CPMotion⁴ para la rehabilitación de extremidades inferiores, de los cuales se han reportado buenos resultados, pero su costo puede ser excesivo para economías emergentes como la mexicana.

Con base en el trabajo de Marghi et al. [6] y en dispositivos comerciales, en el Instituto Tecnológico de Ensenada se desarrolló un sistema robótico de terapia de espejo de bajo costo para la rehabilitación de las extremidades inferiores, llamado MoveLeg. Este sistema consta de 2 dispositivos: el guía y el imitador. En el dispositivo guía se coloca en una pierna del paciente (la menos afectada) y se realizan movimientos que son detectados por varios sensores. Luego, la pierna más afectada se coloca en el dispositivo imitador, y este replica los movimientos (mediante una serie de motores) capturados por el dispositivo guía, de tal manera que se ayuda a la pierna afectada a realizar los movimientos que la otra pierna puede hacer. Los datos generados, tanto por el dispositivo guía como los del imitador, son enviados en tiempo real a un programa en una PC, en donde se registran los movimientos y se programan las terapias que los pacientes ejecutan.

MoveLeg fue evaluado con éxito con pacientes y terapeutas de Ensenada, BC, en su etapa de prototipo, donde se detectaron varias áreas de oportunidad de mejora en la parte de mecatrónica y de software embebido. Estas mejoras la fueron efectuadas aplicando un diseño de sistema en tiempo real, con un microcontrolador ESP32 con FreeRTOS para controlar la operación de Moveleg, así como otras mejoras físicas del dispositivo. Sin embargo, quedan pendientes otras tareas de rediseño como la optimización de la interacción del paciente con el dispositivo, así como con el software que controla y alimenta al dispositivo. Esto implica un rediseño orientado al usuario tanto para el paciente como el terapeuta, así como elementos físicos que se requiera mejorar. También se pretende generar de forma automática un ajuste del nivel de exigencia de las terapias según el histórico de resultados de las sesiones de rehabilitación.

- c. **Productos académicos comprometidos:** Un artículo de congreso internacional o nacional y un artículo o poster en congreso nacional/regional.
- d. **Estancia:** Instituto Tecnológico de Ensenada, con la [Dra. Cristina Ramírez Fernández](#).

e. Referencias relacionadas:

- [1] S. W. O'Driscoll and N. J. Giori, "Continuous passive motion (CPM): theory and principles of clinical application.," *J. Rehabil. Res. Dev.*, vol. 37, no. 2, pp. 179–188, 2000.
- [2] M. Hillman, "2 Rehabilitation Robotics from Past to Present -- A Historical Perspective," in *Advances in Rehabilitation Robotics: Human-friendly Technologies on Movement Assistance and Restoration for People with Disabilities*, Z. Z. Bien and D. Stefanov, Eds. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2004, pp. 25–44. doi: 10.1007/10946978_2.
- [3] C. D. Takahashi, L. Der-Yeghiaian, V. Le, R. R. Motiwala, and S. C. Cramer, "Robot-based hand motor therapy after stroke.," *Brain*, vol. 131, no. Pt 2, pp. 425–437, Feb. 2008, doi: 10.1093/brain/awm311.
- [4] S. Pogo-Ateaga, C. Ortiz-Araujo, M. Escobar-Sánchez, and C. Andrade-Villacís, "Prototype of an Integrated System with IoT Technology for Physiotherapeutic Rehabilitation in Older Adults Through Assisted Technology in a Gerontological Center," in *Communication, Smart Technologies and Innovation for Society*, 2022, pp. 491–502.
- [5] V. Tiellacuri et al., "Design of Biomedical Soft Robotic Device for Lower Limbs Mechanical Muscle Rehabilitation and Electrochemical Monitoring under Reduced-Gravity Space Environment," in *2021 IEEE URUCON*, 2021, pp. 227–231. doi: 10.1109/URUCON53396.2021.9647197.
- [6] Y. M. Marghi, A. B. Farjadian, S.-C. Yen, and D. Erdogmus, "EEG-guided robotic mirror therapy system for lower limb rehabilitation.," *Annu. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc. IEEE Eng. Med. Biol. Soc. Annu. Int. Conf.*, vol. 2017, pp. 1917–1921, Jul. 2017, doi: 10.1109/EMBC.2017.8037223.

¹ https://www.inegi.org.mx/app/tabulados/interactivos/?pxq=Discapacidad_Discapacidad_01_29827fe7-b1cd-4bd2-81d6-9d08bda47df8&idrt=151&opc=t

² <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/assistive-technology#:~:text=Los%20productos%20de%20asistencia%20sirven,ejemplos%20de%20productos%20de%20asistencia>

³ <https://www.kinetecusa.com/>

⁴ <https://www.btlnet.es/productos-fisioterapia-cpmotion>