

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

a. **Título:** Optimización de hardware y software para implementación 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; sin embargo, se detectaron varias áreas de oportunidad de mejora. Una de ellas es la unificación de ambos dispositivos (el imitador y el guía) en un solo, para facilitar el manejo y transporte del mismo, así como para reducir el costo y esfuerzo de fabricación del mismo, y de esta manera hacerlo más accesible para la mayor parte de la población. Por lo anterior, el propósito general de este proyecto es la optimización del hardware del sistema [MoveLeg](#) (sensores, motores, tarjetas controladoras, etc.) para reducir el espacio requerido, y de esta manera unificar en un solo dispositivo las funciones del imitador y del guía. Consecuentemente, esto conlleva una optimización del software embebido asociado, el cual deberá soportar funcionalidad en tiempo real, para seguir interactuando con la PC donde se registran los resultados de las terapias.

c. **Productos académicos comprometidos:** Un artículo de revista indexada 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>