

# TRABAJO DE INVESTIGACIÓN: Co-simulación del Diseño Biomecánico para un Exoesqueleto Robótico del Miembro Inferior

María Cordero Alvarado  
Carolina Gutiérrez Brenes  
Lisethe Rojas Sánchez  
Marianne Ulrich Sáenz

Uso de varios programas simultáneos.

Se debe caracterizar por tener:

- Flexibilidad.
- Modularidad y escalabilidad.
- Precisión.

Estudio del movimiento y equilibrio de los cuerpos de seres vivos (marcha).

Factores biomecánicos:

- Grados de libertad.
- Rango de movimiento.
- Momento de fuerza en las uniones.

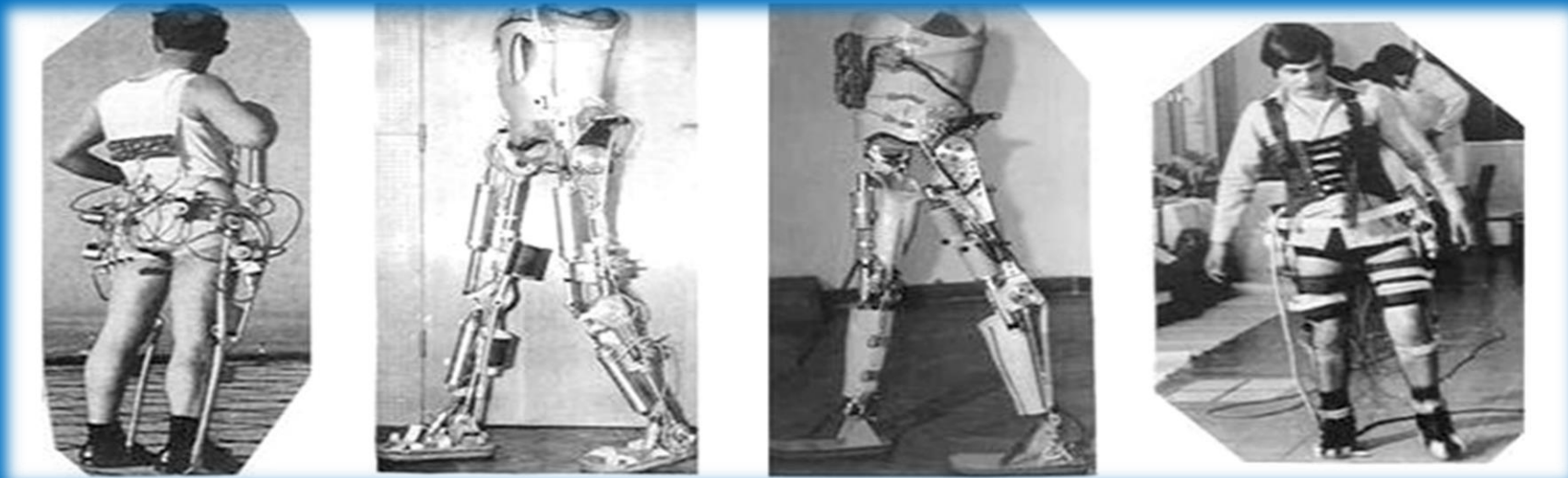
# Co-simulación del Diseño Biomecánico para un Exoesqueleto Robótico del Miembro Inferior

Aparato que busca mejorar las capacidades físicas de un individuo.

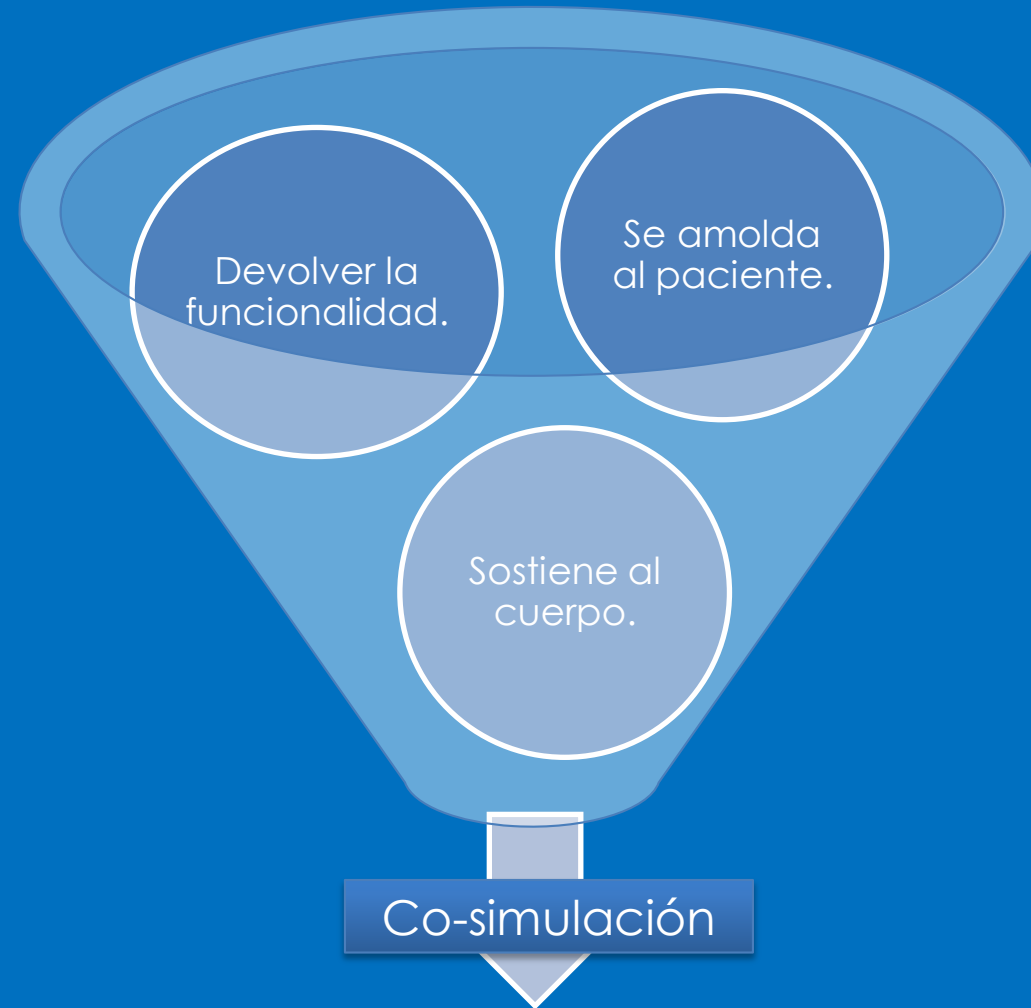


# ANTECEDENTES

- ¿Qué son exoesqueletos?
- Su fabricación empieza desde 1960 con el Lokomat.
- En 1993 se crea un exoesqueleto de cuerpo completo.
- Confección de exoesqueletos bajo la co-simulación.



# JUSTIFICACIÓN



Diseño del exoesqueleto

# IDENTIFICACIÓN Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA



# OBJETIVO GENERAL

Diseñar por medio del proceso de co-simulación un exoesqueleto robótico para personas con dificultades motoras en miembro inferior.

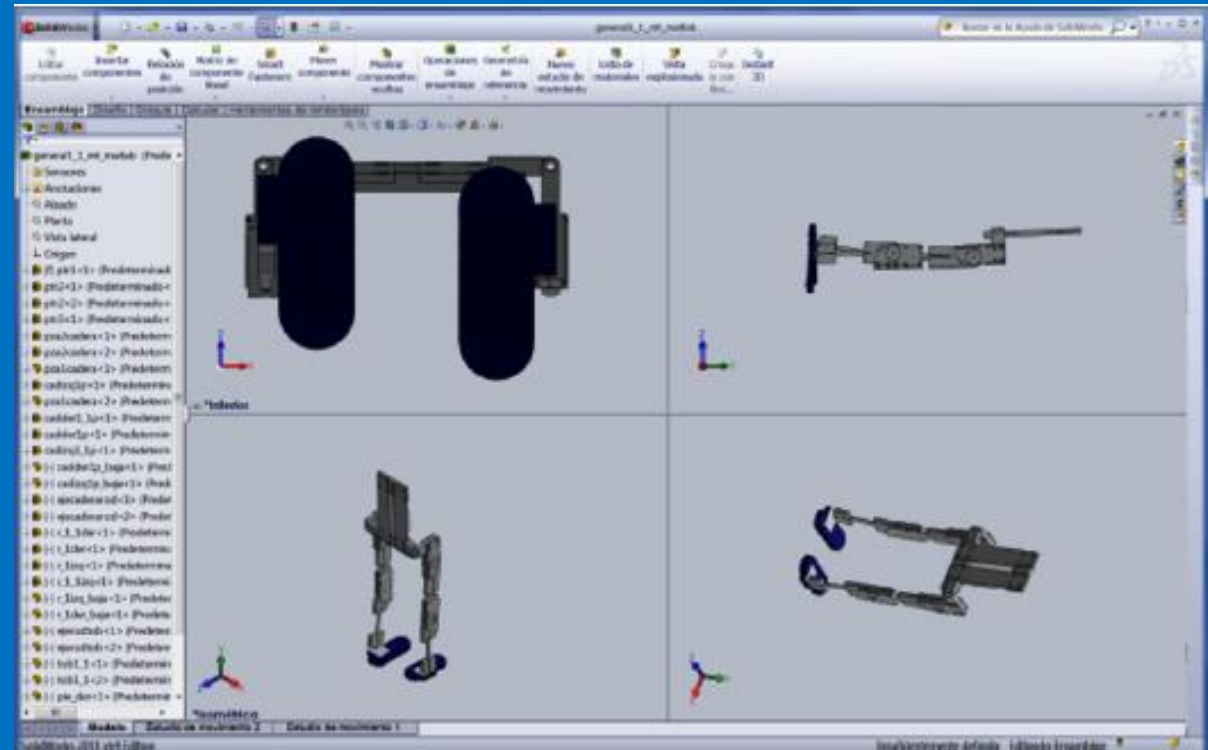
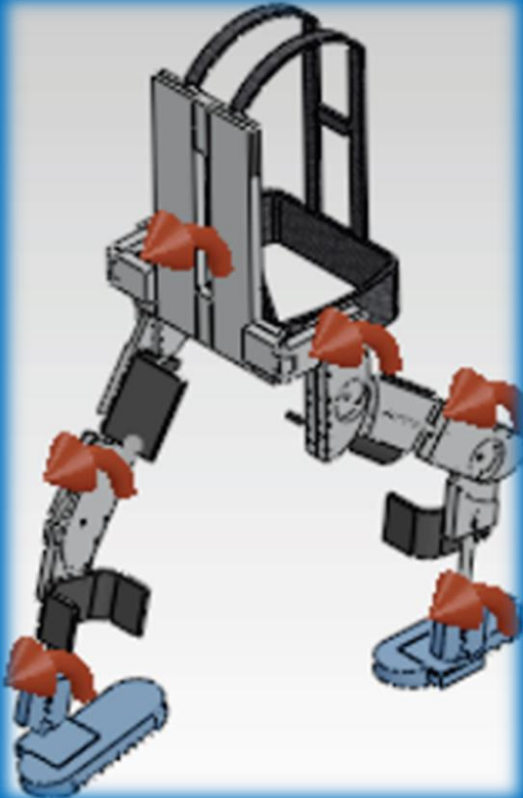




# OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar los procesos de fabricación de un exoesqueleto, basándose en la biomecánica básica del cuerpo y en los movimientos de flexo-extensión durante la marcha así como el equilibrio en bipedestación bajo la co- simulación de los programas Opensim, Solidworks y Matlab.
- Confeccionar el diseño del exoesqueleto robótico, tomando en cuenta las características de peso y altura del paciente, igualmente sus dimensiones, ángulos de movimiento y los momentos de fuerza al realizar la marcha.
- Validar la funcionalidad del diseño del exoesqueleto realizado bajo la co-simulación.

# POBLACIÓN Y UNIDAD DE ESTUDIO DEL ARTÍCULO





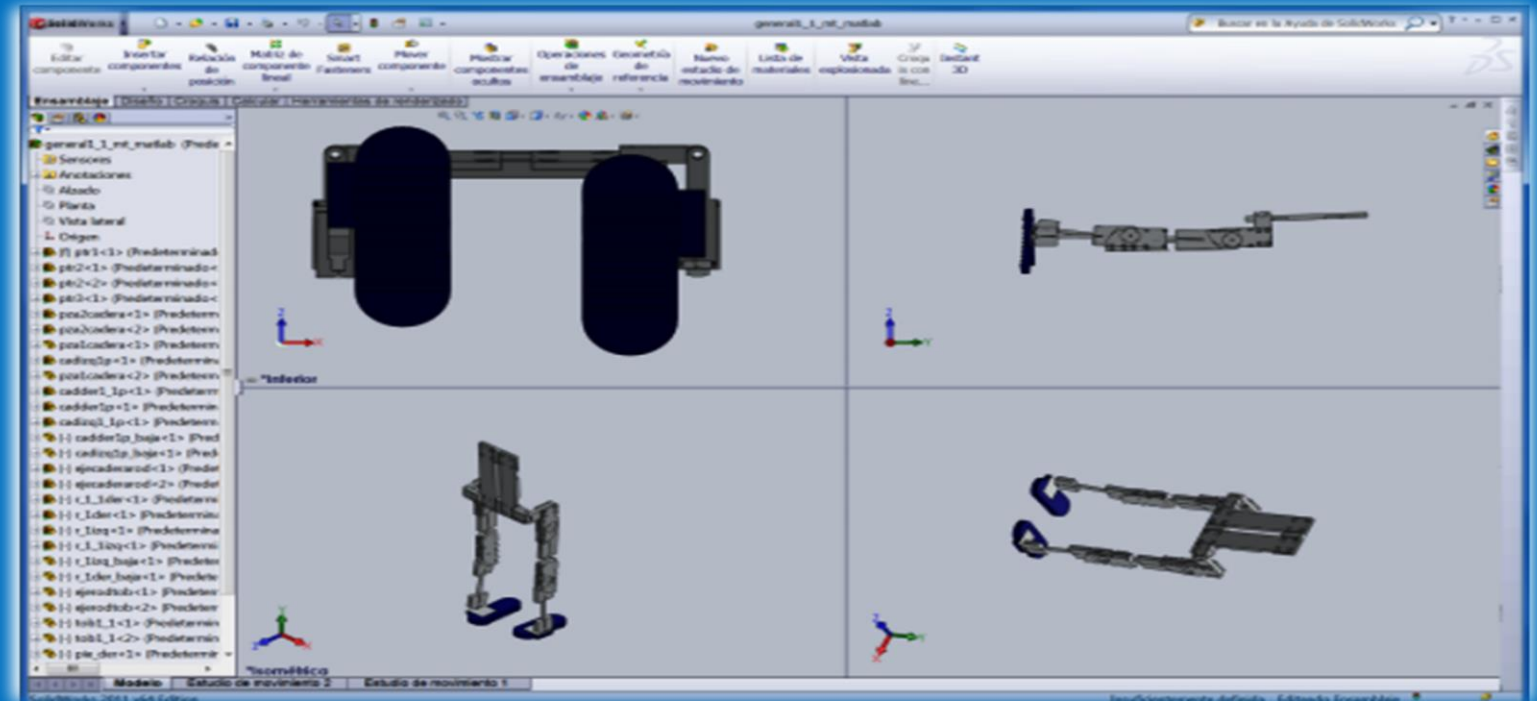
# TIPO DE ESTUDIO

- Es una investigación experimental.
- Identificar un fenómeno y controlar las variables del sistema.
- Investigador puede manipular las variables del estudio



# HERRAMIENTA DE RECOLECCIÓN

- Se utilizaron distintos programas:
  - OpenSim ®.
  - SolidWorks ®.
  - Matlab ®.



# SELECCIÓN DE LA MUESTRA



- Subgrupo de la población elegido por el investigador.
- El objeto de estudio es el exoesqueleto robótico de miembro inferior.
- Diseño mecánico a través de programas de co-simulación.
- La población es la misma unidad de estudio.



# RECOLECCIÓN DE DATOS

- Tabla 1. Grados de libertad (GDL) del miembro inferior.

Articulación	GDL	Características
Cadera	Tres	Flexión/extensión. Abducción/aducción. Rotaciones interna/externa.
Rodilla	Dos	Flexión/extensión. Rotaciones interna/externa.
Tobillo	Uno	Flexión/extensión.

# RECOLECCIÓN DE DATOS

- Tabla 2. Parámetros de la marcha.

Fuente	Cadencia (p/min)		Velocidad (m/s)		Longitud de zancada (m)	
	H	M	H	M	H	M
Murray	117	117	1,53	1,30	1,57	1,33
Chao	102	108	1,20	1,10	1,42	1,22
Kadaba	112	115	1,34	1,27	1,41	1,30
Perry	111	117	1,43	1,28	1,46	1,28
<b>Promedio</b>	<b>110,5</b>	<b>114,25</b>	<b>1,38</b>	<b>1,24</b>	<b>1,47</b>	<b>1,28</b>

# RECOLECCIÓN DE DATOS

- Tabla 3. Intervalos de movimiento.

<b>Movimiento</b>	<b>Velocidad angular (rad/s)</b>
Flexión hasta 18°	1,83
Extensión hasta 5°	0,89
Flexión hasta 65°	3,4
Extensión hasta 2°	3,97



# RECOLECCIÓN DE DATOS

- Tabla 4. Ángulos de movimiento biológicos de la cadera, rodilla y tobillo.

Descripción	Ángulos (grados)
Flexión de cadera	-11 a 95
Aducción de cadera	-50 a 15
Rotación de cadera	-20 a 20
Ángulo de rodilla	-120 a 0
Ángulo de tobillo	-30 a 30

# RECOLECCIÓN DE DATOS

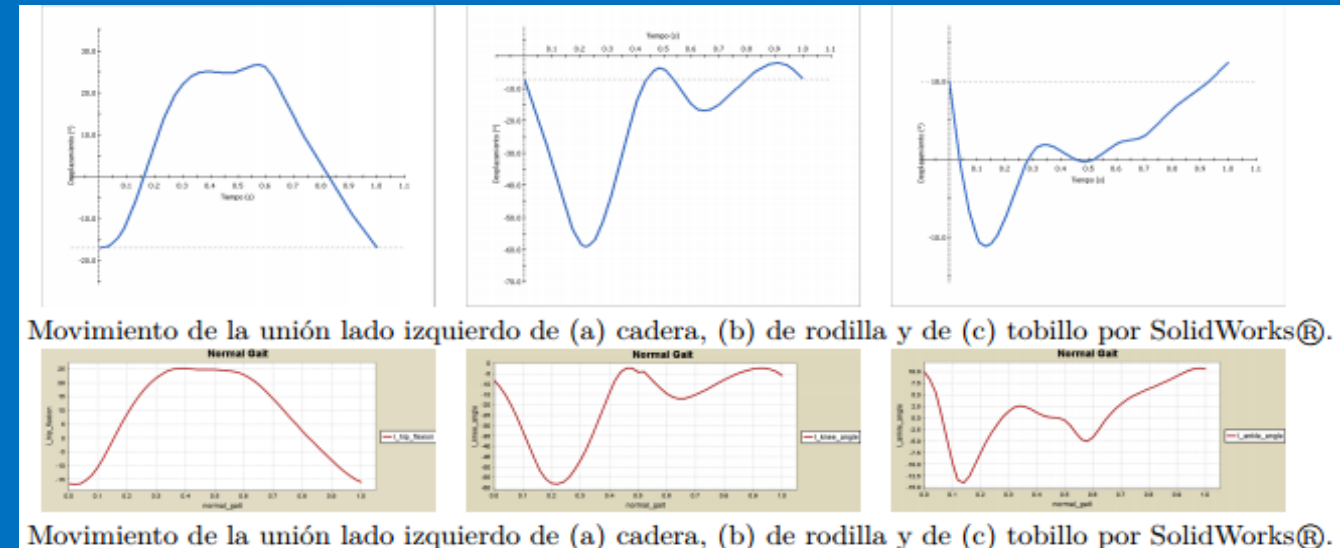
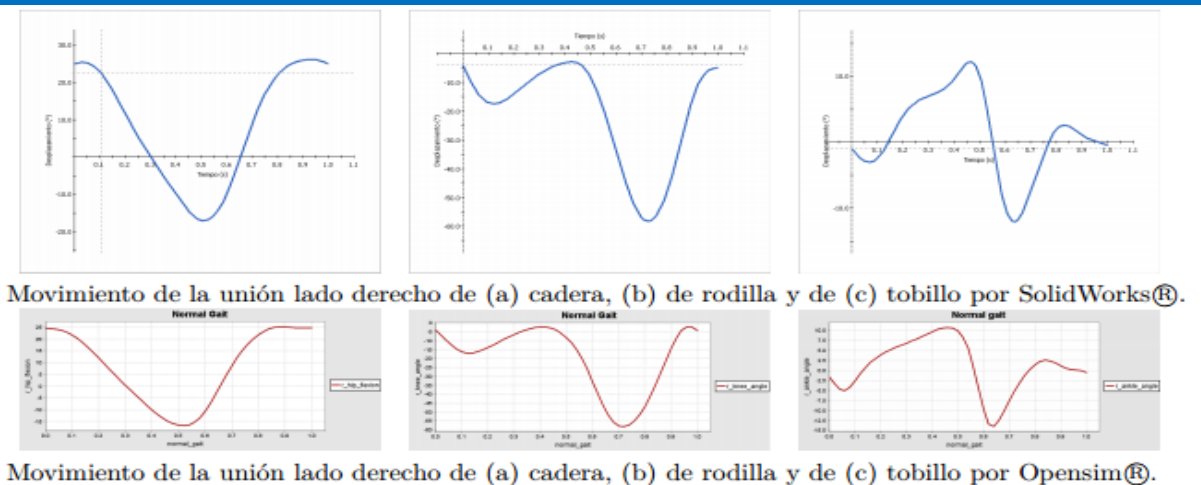
- Tabla 5. Características de diseño del exoesqueleto.

Característica	Diseño del exoesqueleto
Rango de movimiento en la cadera	0° a 90°
Momento de fuerza máxima de frenado en la cadera	150 N/m
Rango de movimiento en la rodilla	0° a -65°
Momento de fuerza máxima de frenado en la rodilla	120 N/m
Rango de movimiento en el tobillo	-25° a 15°
Momento de fuerza máxima de frenado en el tobillo	200 N/m

Todos los rangos de movimiento fueron medidos en el plano sagital.

# RECOLECCIÓN DE DATOS

- Figura 9. Comparación entre resultados gráficos de Opensim ® y SolidWorks ®.





# TÉCNICA ESTADÍSTICA

- Estadística descriptiva:
  - Presentar y resumir los datos.
  - Cuadros y gráficos.
- El promedio resume un grupo de valores en un solo número.
  - Promedio simple.
  - Permite las comparaciones de forma sencilla pero se ve afectado por los valores extremos.

# TÉCNICA ESTADÍSTICA

- Las proporciones también aparecen en el artículo.
  - Razón que relaciona dos número de un mismo universo y relaciona una parte con el todo.
  - Está entre 0 y 1.
  - Al multiplicar el resultado por 100 obtenemos el porcentaje.



# RESULTADOS

- Exoesqueletos representan para los pacientes una oportunidad para moverse de manera independiente y sin hacer grandes gastos de energía.
- Permite realizar de manera adecuada los movimientos de la marcha completa cubriendo cualquier tipo de restricción o limitación del usuario.
- Personalizado, ajustado y adecuado a las necesidades del paciente.





# RESULTADOS

- Capacidad de hacer modificaciones y evaluaciones sin la necesidad de tener que construir el exoesqueleto e incluirlas dentro del prototipo final.
- Autocad, Inventor, Ansys entre otros no brindan resultados tan rápidos y eficientes como SolidWorks, y representa el programa ideal para el manejo de estudiantes ya que es de libre acceso.
- Ahorro de tiempo, costos y pruebas de prototipo.

# CONCLUSIONES FINALES

- SolidWorks y OpenSim presentan resultados similares, donde la cinemática y dinámica del cuerpo humano son imitadas por el exoesqueleto.
- Para poder generar movimientos en el exoesqueleto es necesario que el paciente aun tenga movilidad y fuerza en sus extremidades superiores.
- Condiciones específicas: Altura, Peso, Balance y equilibrio y Fuerza.



# CONCLUSIONES FINALES

- Más barato en comparación con otro tipo de dispositivos.
- Uso de bastón o de andadera.
- Obtención de un producto personalizado, fácil de ajustar y al que se le puede dar mantenimiento de manera sencilla.

# BIBLIOGRAFÍA

- Alonso, A., García, E., García, L., Gil, B., León, I., & Ríos, L. (s.f.) *Métodos de Investigación de Enfoque Experimental*. [Recurso electrónico]. Recuperado de: [https://www.uam.es/personal\\_pdi/stmaria/jmurillo/InvestigacionEE/Presentaciones/Curso\\_10/Experimental\\_Trabajo.pdf](https://www.uam.es/personal_pdi/stmaria/jmurillo/InvestigacionEE/Presentaciones/Curso_10/Experimental_Trabajo.pdf)
- Castro, S., Lugo, E., Molina, A., & Ponce, P. (2014). Co-simulación del Diseño Biomecánico para un Exoesqueleto Robótico del Miembro Inferior. *Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica*, 35 (2).
- Cordero, J. M., Córdoba, A., & Fernández, S. (2002). *Estadística Descriptiva*. Madrid, España: ESIC Editorial.
- Quintana, C. (1996). *Elementos de Inferencia Estadística*. San José, Costa Rica: Editorial de la Universidad de Costa Rica.
- Ross, S. (2007). *Introducción a la estadística*. Barcelona, España: Editorial Reverté.
- Serrano Gallego, R. (2003). *Introducción al análisis de datos experimentales: tratamiento de datos en bioensayos*. Castellón de la plana, España: Publicacions de la Universitat Jaume.
- Vargas, A. (1995). *Estadística descriptiva e inferencial*. Murcia, España: Compobell, S.L.
- Vildósola, E. (s.f.). *Actuadores*. [Recurso electrónico] Recuperado de: <http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/actuadores.pdf>
- Villa, J. (s.f.). *Guía para la redacción de una propuesta de investigación*. [Recurso electrónico] Recuperado de: <http://ponce.inter.edu/cai/manuales/Guia-redaccion-propuesta-investigacion.pdf>
- Universidad de Chile. (2008). *Nociones Básicas de Estadística Utilizadas en Educación*. Santiago, Chile: Universidad de Chile.