

# Exoesqueleto del miembro inferior

Serafín Castañeda Cedeño  
Billy Arturo Flores Medero Navarro

Ingeniería en Mecatrónica.  
Facultad de Ingeniería de la UNAM

Ponencia presentada el 26 de agosto de 2016,  
Instituto de Investigaciones Sociales IIS-UNAM



**Serafín Castañeda Cedeño**



**Billy Arturo Flores Medero Navarro**

Precisamente hoy intentaremos hacer una exposición no tan técnica. En la medida de lo posible trataré de utilizar un lenguaje un tanto más casual para que sea fácil entenderlo. El título de la presentación del día de hoy es “Exoesqueleto del miembro inferior”, es decir, cómo la tecnología puede ser aplicada a la discapacidad.

Vamos a empezar con ¿qué es un exoesqueleto? “Exo” viene del latín y significa fuera y básicamente lo que vamos a interpretar es que sostiene el cuerpo desde el exterior. ¿Cuál sería la diferencia contra una órtesis? Bueno, resulta que los exoesqueletos son dispositivos que lo que nos va hacer es aumentar la fuerza de alguno de los miembros del cuerpo, y cuando estos dispositivos se usan en el área médica se les llama órtesis. ¿Para quién va dirigido? Bueno, principalmente este prototipo que estamos desarrollando es para personas o pacientes que tienen una lesión medular completa, eso significa, son lesiones torácicas a nivel T5.

¿Cuál sería en términos generales la ventaja de tener o utilizar un exoesqueleto? En primer instancia nos puede servir en el aspecto médico precisamente para terapias de movimiento, es decir, si una persona padeció un accidente y tiene que recibir rehabilitación, el exoesqueleto puede ayudar a esta tarea: ejercitar alguna parte del cuerpo.

También evita las úlceras por presión, es decir, a diferencia de otros sistemas donde los métodos de sujeción son muy fuertes, con el exoesqueleto tenemos esa ventaja de amoldar el soporte de acuerdo a la anatomía de cada persona. También – esta es la parte más importante del uso del exoesqueleto- brindan un poco de independencia para que el usuario pueda realizar ciertas tareas de forma individual. Es decir, para una persona que ya ha estado cierto tiempo en una silla de ruedas o que no puede levantarse podría utilizarlo para tener algo de independencia en primera instancia en su casa. Donde se le brinde la libertad de levantarse y salir de la cama, probablemente ir al comedor, desayunar algo y regresar. Esa sería la principal ventaja.

No somos los primeros en desarrollar este proyecto, a nivel internacional surgieron a raíz de aplicaciones militares donde se intenta que los soldados puedan cargar equipo y que no sufra su espalda ni sus piernas y puedan recorrer grandes distancias. En este caso la aplicación es médica y en ese sentido tenemos tres diferentes exoesqueletos: uno de ellos se conoce como *Phoenix* y tiene el costo aproximado de 40,000 dólares. Tenemos otro exoesqueleto, *Vanderbilt* del orden de 80,000 dólares. Y un tercero que es el *Re-walk*, el cual su precio oscila en 200,000 dólares. Creo que difícilmente dada la economía del país cualquiera de nosotros podría pagar un dispositivo de estos, entonces es aquí donde entra la universidad; por ahí en alguna de las ponencias mencionaban la labor de la UNAM, en este caso incluyo la labor de la Facultad de Ingeniería; del Departamento de Ingeniería Mecatrónica quien trata de hacer un poco más asequibles este tipo de productos a la población. O en su defecto, tratar de empezar a sembrar esa semilla para que mediante algún convenio con instituciones públicas o privadas se pueda obtener.



**Figura 1. "Exoesqueleto de 8 Grados de Libertad, desarrollado en la U.N.A.M."**

**Nota.** Fuente: Hernández, M. (2016). Crean exoesqueleto para auxiliar a discapacitados. *Gaceta Digital UNAM*, No. 4,807, p.4. Recuperado de <http://www.gaceta.unam.mx/20160825/wp-content/uploads/2016/08/250816.pdf>

En ese sentido, el prototipo que les estamos mostrando el día de hoy tiene las siguientes características: Es una estructura de aluminio y el peso oscila en los 25 kilogramos. Tiene cuatro grados de libertad por pierna (2 en cadera, 1 rodilla y 1 tobillo), El hecho de que tenga cuatro grados nos permite tratar de simular el movimiento de las piernas. Este diseño tiene una autonomía de una a dos horas dependiendo las condiciones de operación; no es lo mismo que se esté trabajando en una superficie inclinada, pendiente o rampa todo el tiempo o que trabaje en una superficie tipo escaleras.

En términos generales para entender cómo está funcionando y qué estamos haciendo, o cómo lo estamos operando. Resulta que tiene una pequeña computadora en la parte de atrás. Ella es la que se encarga de recibir diferentes señales para que pueda determinar cuál es el proceso que tiene que realizar. Por proceso me refiero si tiene que hacer una marcha, es decir caminar, si se tiene que poner de pie o si se tiene que sentar. El usuario es quien lo determina y la computadora lo ejecuta, internamente el propósito es utilizar una cantidad de electrónica lo suficientemente robusta para que pueda procesar todas esas señales y al final mande lo que nosotros llamamos actuadores, que son motores o pistones para que puedan hacer los movimientos que nosotros requerimos.

Lo que estamos haciendo internamente es utilizar diferentes trayectorias que ya están bien establecidas de acuerdo a la patología y a la biomecánica de usuario, donde podemos conocer cuál es el comportamiento de la marcha, por ejemplo, ¿Cuál es el movimiento de la pierna derecha? Lo que incluye el muslo, el tobillo y cómo se tiene que comportar la pierna izquierda cuando damos un primer paso. Cuando logramos hacer esto ¿qué sucede con el siguiente paso? La mayoría de

nosotros que tenemos la fortuna de tener las piernas en buen estado lo hacemos de manera inconsciente pero al momento de tratar de reproducirlo en una máquina, no es tan sencillo. De hecho me gustaría agregar que una de las desventajas es que nosotros los usuarios –permítanme la palabra entre comillas- “normales” de piernas, sentimos, podemos sentir una piedra en el zapato. Pero si una persona con paraplejía usa un equipo que no está en condiciones adecuadas puede sufrir un pequeño o grave accidente. Porque, por ejemplo, puede tener algún movimiento el exo que lesione la rodilla. Nosotros como usuarios podemos determinar eso y efectivamente podemos pararlo; pero un usuario ya con cierta patología –por decirlo de alguna manera- no va a poder sentir esas sensaciones y va a ser algo complicado. Entonces hay que tener cuidado.

En esencia, las ventajas de hacer este tipo de desarrollo en México, particularmente en la universidad, es el costo es lo primero que llama la atención porque oscila entre 15 y 20 mil dólares, aunque no como quisiéramos. Pero si se reduce una buena parte del costo. Segundo: Precisamente podemos impulsar programas de emprendimiento donde queremos que nuestros alumnos no sólo egresados de la Facultad de Ingeniería sino de otras facultades puedan realizar en un equipo multidisciplinario entre administradores, diseñadores industriales y gráficos, mercadólogos, psicólogos, terapeutas, etc. Para que puedan participar de manera integral y puedan desarrollar este tipo de proyectos de tecnología. ¿Por qué?, porque simplemente y sencillamente desde la parte técnica es lo que estamos mostrando: un exoesqueleto. ¿Pero qué pasa con el aspecto psicológico del paciente? Nosotros como ingenieros no podemos tratarlo sino que necesitamos de un equipo completo para poder atacar desde diferentes aristas todas esas dificultades para tratar de reintegrar a esa persona en cierta medida con actividades que para nosotros son normales o cotidianas. Nosotros también impulsamos el desarrollo tecnológico. Afortunadamente es algo que caracteriza a la universidad. Si es que no me falla la memoria, somos la universidad con mayor número de patentes comparadas a nivel nacional. Este tipo de proyectos permite desarrollar nuestra propia tecnología. Y dentro de los aspectos primordiales en este tipo de desarrollos, los exoesqueletos, requerimos monitorear a los usuarios.



**Figura 2. “Rueda de prensa de la presentación del prototipo”**

**Nota.** Fuente: Fundación UNAM (2016). *Crea UNAM exoesqueleto para personas con discapacidad*. Recuperado de <http://www.fundacionunam.org.mx/vanguardia-unam/crea-unam-exoesqueleto-para-personas-con-discapacidad/>

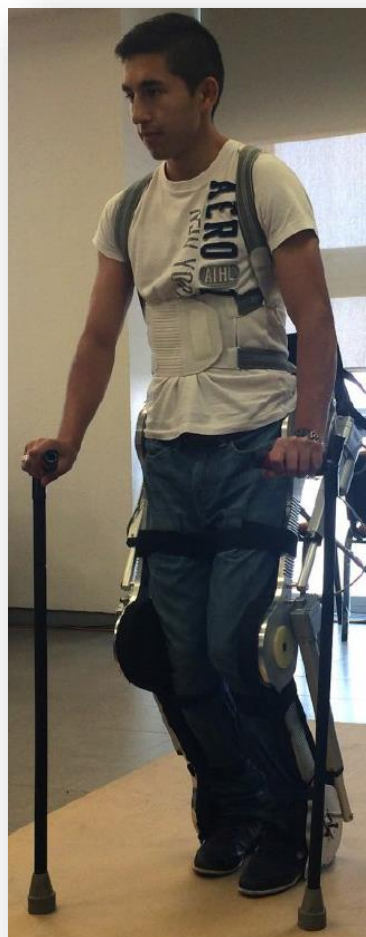
Es una de las ventajas de los desarrollos de esta universidad y de este país. De aquí surgen algunas preguntas y precisamente dentro de las más interesantes son: ¿El usuario puede realizar todos sus movimientos? ¿Puede ser totalmente independiente? ¿Se puede usar el exoesqueleto en cualquier lado, momento, o condición? También podríamos decir aprovechando una de las presentaciones anteriores ¿Un exoesqueleto puede reemplazar una silla de ruedas? ¿Por qué es tan caro? ¿Por qué hacer un desarrollo de miles de dólares? Y ¿qué falta por hacer? La primera pregunta era: ¿Puede realizar todos los movimientos? A estas alturas del proyecto como lo tenemos realizado podemos decir que no, desafortunadamente. ¿Por qué? Porque, por ejemplo, para nosotros es muy natural poder caminar hacia atrás pero para algunas otras personas es un tanto complicado suponiendo que usen muletas o algún otro aditamento. En el exoesqueleto que tenemos en este momento también es complicado que pueda realizar una marcha hacia atrás porque dependemos mucho de un usuario que pueda utilizar sus manos, sus brazos, y que tenga cierta fuerza en su tronco para apoyarse. Caminar hacia atrás implica que tendríamos que hacer un movimiento un tanto incómodo no natural de poner los bastones en la parte de atrás. Ahora lo tenemos limitado, eventualmente en el desarrollo tecnológico vamos a seguir tratando de resolver estos problemitas –por llamarles de alguna manera- precisamente para darle al usuario ese tipo de movimientos que sean lo más “naturales”.

La segunda pregunta, ¿Puede ser totalmente independiente? ¿Esto cómo lo podemos tomar? Desafortunadamente casi todas las cosas que tenemos hoy en día funcionan con energía y esa energía depende muchísimo de algo que nosotros llamamos baterías. En ese sentido el desarrollo que estamos presentando nos da una autonomía precisamente entre una a dos horas. Tiene una limitante porque no hemos logrado resolver algunos otros problemas tecnológicos donde podamos alimentar este exoesqueleto para que pueda funcionar 24 horas continuas. Dependemos de una fuente de energía, unas baterías con las cuales estamos limitados a cierto tiempo. La siguiente pregunta: ¿Se puede usar en cualquier lugar y en cualquier tiempo? Bueno, en cualquier lugar para como está este prototipo funcionando no lo podemos hacer. Es algo de lo que quisiéramos lograr y precisamente creo que puede funcionar bastante bien el comentario si logramos que una persona pueda utilizar un exoesqueleto, por ejemplo en un parque, que pueda levantarse y ponerse de pie en el césped y que lo logre hacer durante cinco o diez minutos creo que podemos decir misión cumplida. En este momento es un poco complicado por todo el desarrollo y lo que llevamos hasta este momento. Se pueden realizar algunas rutinas de movimientos que si puede hacer: pararse, ponerse de pie en las dos piernas y sentarse; hay un tercero, subir escaleras. Estos serían los movimientos que tenemos. Ojo, por ejemplo, para nosotros de manera natural si estamos caminando y queremos doblar hacia la derecha en una esquina simplemente giramos la cadera y lo conseguimos. En estos momentos esta es una de las limitantes en este proyecto, este prototipo. También es parte del trabajo que debemos de continuar, al igual que lograr ese movimiento que sea lo más parecido a la marcha.

Después, ¿Reemplazará a la silla de ruedas? Vale la pena utilizar como apoyo una silla de ruedas para tener un poco más de independencia. Y literal, podría ser una buena mezcla el proyecto de la silla con este exo para trayectorias un poco más largas para desplazarse de una forma más rápida. En algunos otros tipos de espacio, se deja la silla para utilizar el exo para que se empiece a caminar.

La otra pregunta es ¿por qué es tan costosa? Desafortunadamente este tipo de desarrollos tecnológicos tienen una cierta implicación, es decir, primero el costo de los materiales, el costo de la manufactura y el costo de toda la electrónica para que funcione. En este caso no estamos considerando ganancia alguna, no somos una empresa que se dedique a lucrar, por ser la universidad. Pero si esto se comercializa, evidentemente tiene que haber un margen de ganancia. Aquí es donde la patente va a ser de la UNAM y por lo mismo la va a proteger para tratar de conservar los precios relativamente bajos. ¿Y qué es lo que nos falta por hacer? Bueno, simple y sencillamente lograr un poco la parte de que los movimientos sean lo más naturales posibles, tratar de reducir el costo para que sean más accesibles así como el peso. Ahora son 25 kilos pero no los carga la persona. Afortunadamente el peso del exoesqueleto como tal se manda al piso. Estamos utilizando aluminio, necesitamos utilizar materiales propios de la ingeniería como fibra de carbono o algunos otros materiales o mezclas que nos permitan reducir el peso del equipo. También vale la pena involucrar otro tipo de situaciones como por ejemplo la computadora.

Todavía falta mucho por hacer, es un prototipo funcional. En los videos parece que funciona bastante bien pero todavía falta mucho trabajo por desarrollar.



**Figura 2.** “Pruebas de movimiento del exoesqueleto en persona sin patología.”

**Nota.** Fuente: mi patente (2016). *Universitarios desarrollan exoesqueleto cuatro veces más económico que los ya comerciales.* Recuperado de <http://www.mipatente.com/universitarios-desarrollan-exoesqueleto-cuatro-veces-mas-economico-que-los-ya-comerciales/#more>

## REFERENCIAS

Fundación UNAM (2016, 23 de agosto). Crea UNAM exoesqueleto para personas con discapacidad. Recuperado de <http://www.fundacionunam.org.mx/vanguardia-unam/crea-unam-exoesqueleto-para-personas-con-discapacidad/>

Hernández, M. (2016, 25 de agosto). Crean exoesqueleto para auxiliar a discapacitados. *Gaceta Digital UNAM*. Recuperado de <http://www.gaceta.unam.mx/20160825/wp-content/uploads/2016/08/250816.pdf>

Mi patente (2016, 6 de septiembre). Universitarios desarrollan exoesqueleto cuatro veces más económico que los ya comerciales. Recuperado de <http://www.mipatente.com/universitarios-desarrollan-exoesqueleto-cuatro-veces-mas-economico-que-los-ya-comerciales/#more>