



**INFORME DE AVANCE DE INVESTIGACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

Proyecto: Funcionalidad de la tecnología de exoesqueletos y los requerimientos de movilidad de las personas con discapacidad motriz de miembros inferiores de la ciudad de Bogotá

1. Información general de proyecto

Código Interno	(no es necesario diligenciar este espacio)	Supervisor/ Director Centro de Investigación	Magda Viviana Monroy
Nombre del proyecto de investigación	Funcionalidad de la tecnología de exoesqueletos y los requerimientos de movilidad de las personas con discapacidad motriz de miembros inferiores de la ciudad de Bogotá	Fecha de inicio del proyecto.	Febrero 2016
Nombre del Investigador principal	Magda Viviana Monroy Silva	Fecha de finalización del proyecto.	17 de Diciembre 2017
Nombre de los co-investigadores	N/A	Fecha de presentación del informe de avance.	28 de Julio de 2017
Nombre de los auxiliares de investigación /estudiantes de semillero vinculados	Estudiantes del Semillero de Investigación en Mejoramiento de procesos: – Carlos Mario Arévalo Herrera – María José Gamarra Arrieta – Laura Shirley Niño Rodríguez – Lina María Ramírez Mora – Natalia López Osorio – Carlo Maximiliano Tovar Rodríguez – Michael Alexander Rodríguez Alfonso	Fecha de presentación del informe de cierre	30 de Noviembre de 2017
Grupo de Investigación/Semillero	– Grupo de Investigación en Procesos Organizacionales – Semillero de Investigación en Mejoramiento de procesos	Centro de costos asignado	(no es necesario diligenciar este espacio)
Nombre de la línea activa de investigación	Línea de Investigación en Gestión Organizacional	Facultad y programa	Facultad de Ingeniería Industrial

2. Informe del proceso investigativo

Título del proyecto

Funcionalidad de la tecnología de exoesqueletos y los requerimientos de movilidad de las personas con discapacidad motriz de miembros inferiores de la ciudad de Bogotá

Resumen

El 2.2% de la población colombiana se encuentra en condición de discapacidad (1.030.572 habitantes), de los cuales 34% presentan discapacidad para moverse o caminar. Según el DANE (2013), el 18% de las personas en Colombia con discapacidad permanente que altera el movimiento del cuerpo, manos, brazos y piernas se encuentra en Bogotá. La mayoría de las personas con limitación de movimiento de sus piernas utilizan la silla de ruedas como mecanismo para desplazarse dentro y fuera de su hogar, sin embargo dicha ayuda técnica también representa limitaciones de movilidad y tiene implicaciones negativas para su salud. Actualmente, se están contemplando mecanismos alternos, como el uso de los exoesqueletos para suplir la necesidad de desplazarse.

El objetivo de la presente investigación es determinar la funcionalidad de los exoesqueletos como mecanismo de movilidad de las personas con discapacidad motora de miembros inferiores de la ciudad de Bogotá. Es un estudio de carácter descriptivo y la población participante son 382 adultos usuarios de sillas de ruedas residentes en la ciudad de Bogotá. La recolección de información contempla la aplicación de encuestas y focus group con la población, para determinar específicamente las necesidades y limitaciones de movilidad, y la aceptabilidad del exoesqueleto como mecanismo de movilidad. Además, revisión de literatura científica para documentar las características de los exoesqueletos.

Los usuarios de sillas de ruedas refieren dificultades para movilizarse dentro de su hogar por el diseño de sus viviendas y fuera de su hogar por la infraestructura vial, la arquitectura de las edificaciones y la cultura ciudadana. Así mismo, presentan problemas de salud por la posición sedente prolongada. La tecnología de exoesqueletos ofrece a la persona con discapacidad la oportunidad de ponerse de pie, y favorecerse de los beneficios de la posición bípeda como autonomía, independencia, movilidad, activación del sistema osteomuscular, digestivo, respiratorio y circulatorio.

Palabras clave: Exoesqueletos, discapacidad física, discapacidad motriz, Bogotá

Problema de investigación con ajustes pertinentes

Dentro de la problemática social que afronta el mundo actual, se encuentra la inclusión de personas con discapacidad en todos los ámbitos de la sociedad (educación, trabajo,



relaciones sociales, recreación, política, entre otros). Existen diversos tipos de discapacidad a nivel físico, cognitivo y psicosocial, sin embargo el de mayor prevalencia corresponde a la discapacidad física motora, es decir personas con alguna disfunción del aparato locomotor que limita o altera el movimiento del cuerpo.

Las personas con discapacidad física motora tienen limitaciones para desarrollar con naturalidad actividades cotidianas, y su participación en actividades sociales, vocacionales y recreativas se ven disminuidas por su restricción de movilidad. Las discapacidades de movilidad están relacionadas con mayor frecuencia a alteraciones neurológicas, dentro de las que se encuentran los accidentes cerebro-vasculares, lesiones de médula espinal y lesión cerebral traumática (Sale, Franceschini, Waldner, & Hesse, 2012).

En muchas ocasiones, la discapacidad motora es temporal y puede ser superada a través de tratamientos terapéuticos y de rehabilitación, y en otros, el daño neurológico es severo y son pocas o nulas las posibilidades de recuperación (Sale, Franceschini, Waldner, & Hesse, 2012). Para las lesiones temporales existen varias estrategias de rehabilitación cuyo objetivo es restaurar el control muscular a través de terapias musculoesqueléticas para fortalecer y recuperar la funcionalidad en los grupos musculares y del esqueleto humano, y así mejorar la coordinación del paciente (Anama & Al-Jumaily, 2012) (Rajesh, 2013).

Los desarrollos tecnológicos han permitido la incursión exoesqueletos en los procesos de rehabilitación asistida y también como mecanismo para la movilidad de los discapacitados. Un exoesqueleto es una máquina móvil que un individuo puede llevar unida a partes y miembros funcionales del cuerpo humano, permitiéndole mejorar e incrementar su capacidad móvil y de carga con la ayuda de mecanismos robóticos computarizados (Anama & Al-Jumaily, 2012) (Chavéz Cardona, Rodríguez Espitia, & Baradica López, 2010).

Estudios sobre el impacto de los exoesqueletos en tratamientos médicos han demostrado que acompañados de esquemas de rehabilitación integral, permiten a los pacientes estar de pie, evolucionar en la recuperación de la marcha y estimular todos los órganos vitales, especialmente los pulmones y evitar problemas urológicos (Sale, Franceschini, Waldner, & Hesse, 2012) (Anama & Al-Jumaily, 2012) (Chavéz Cardona, Rodríguez Espitia, & Baradica López, 2010) (Gómez, Carrillo, & Archila, 2010) (Rajesh, 2013). Con el tiempo los pacientes recuperan la movilidad de su cuerpo y se pueden reincorporarse a la vida social y laboral.

En el caso de los pacientes con lesiones severas, el principal mecanismo de movilidad utilizado es la silla de ruedas; sin embargo también se está considerando el uso de los exoesqueletos para suplir la necesidad de desplazarse. La silla de ruedas es una ayuda técnica que favorece la independencia, autonomía y movilidad de las personas con discapacidad, sin embargo, en Colombia no satisface todas las necesidades de movilidad de esta población teniendo en cuenta que existen barreras como las características de infraestructura de las vías y la arquitectura de las edificaciones, dimensiones de acceso de puertas y áreas de circulación, falta de aplicación de normas de diseño especiales para personas con discapacidad en el servicio de transporte público, empresas, centros educativos, centros

comerciales, entre otros (Herrera Saray, Peláez Ballestas, Ramos Lira, Sánchez Monroy, & Burgos Vargas, 2013).

Los exoesqueletos son una estructura electromecánica que coincide con la forma y funciones del cuerpo humano; dentro de los beneficios que provee al usuario está la independencia en algunas actividades cotidianas, la posibilidad de mantenerse en posición bípeda y la estimulación de sus órganos vitales (Chavéz Cardona, Rodríguez Espitia, & Baradica López, 2010) (Gómez, Carrillo, & Archila, 2010). Se mueve en paralelo con el esqueleto del usuario, por lo que no se necesitan grados de libertad adicionales para el seguimiento de los movimientos de las personas (Sale, Franceschini, Waldner, & Hesse, 2012). Sin embargo, es una tecnología que se encuentra en desarrollo y aún no ha sido aplicado cabalmente como mecanismo de movilidad cotidiano, sus usos comunes son el incremento de la fuerza y la aceleración de los movimientos.

En Colombia, en 2013 se identificaron en total 1.030.572 personas con discapacidad que limita el movimiento del cuerpo (equivalente al 2,2% de la población nacional, de los cuales 731.154 personas presentan discapacidad para moverse o caminar (34% de la población discapacitada) y 299.418 para usar manos y brazos (Departamento Nacional de Planeación, 2013). Según el BID, Colombia es el segundo país en Latinoamérica, después de Brasil con mayor proporción de población discapacitada, equivalente al 6,3% (Ministerio de Salud, 2013) (DANE, 2013).

Justificación

El 2.2% de la población colombiana se encuentra en condición de discapacidad (1.030.572 habitantes), de los cuales 34% presentan discapacidad para moverse o caminar. De acuerdo con las estadísticas del DANE del año 2013, el 18% de las personas en Colombia con discapacidad permanente que altera el movimiento del cuerpo, manos, brazos y piernas se encuentra en Bogotá. Las localidades con mayor proporción de discapacitados son Kennedy (14,45%), Rafael Uribe (12,21%), Bosa (8,56%), Suba (7,44%), San Cristóbal (7,12%) y Engativá (7,10%); es decir sectores de estratos socioeconómicos 1, 2 y 3 (Departamento Administrativo Nacional de Estadística, Colombia, 2013).

En Bogotá, la mayoría de las personas con limitación de movimiento de sus piernas utilizan la silla de ruedas como mecanismo para desplazarse dentro y fuera de su hogar. El uso de esta ayuda técnica favorece la movilidad, sin embargo Bogotá es una ciudad en donde no se evidencia la consideración de las personas con discapacidad, no cumple con las normas de diseño para el acceso de los usuarios de sillas de ruedas a lugares en los que se desarrollan actividades laborales, de formación académica, comerciales, recreativas, y demás; no se cuenta con infraestructura vial para su desplazamiento, es difícil su acceso al servicio de transporte público y donde hay una cultura de indiferencia ante la condición de discapacidad.

Por otro lado, el uso frecuente de la silla de ruedas tiene implicaciones negativas para la salud de sus usuarios, por ejemplo, la posición sedente contribuye a la aparición

infecciones urinarias y la posición estática restringe el flujo sanguíneo e impacta el funcionamiento de varios órganos vitales.

Entonces, es importante contemplar otros mecanismos de movilidad que permitan el desplazamiento efectivo de las personas con limitación para caminar y que mejoren la calidad de vida de los usuarios. El desarrollo tecnológico ha generado la tendencia de la aplicación de sistemas mecanizados y automatizados que imitan los patrones de movimiento del cuerpo humano para superar limitaciones de movilidad de los segmentos corporales, y se está pensando en la incorporación de exoesqueletos como mecanismo de movilidad cotidiano, con el fin de aumentar para las personas con discapacidad las posibilidades de participar en actividades sociales, tener un empleo digno, una remuneración justa y mejora de la calidad de vida.

El exoesqueleto es una estructura externa que se asemeja la estructura ósea humana, se mueve en paralelo con el esqueleto del usuario y no adiciona mayor volumen al cuerpo humano (Sale, Franceschini, Waldner, & Hesse, 2012). Es decir, que supera los requerimientos de espacio que tienen las sillas de ruedas para su maniobrabilidad, permite que el desplazamiento se realice de forma natural en posición bípeda y estimula el funcionamiento de órganos vitales.

Por lo expuesto, este estudio pretende analizar si la tecnología de los exoesqueletos es un mecanismo eficaz de movilidad para las personas con discapacidad motora de miembros inferiores que dependen de una ayuda técnica para su desplazamiento en y hacia diferentes lugares para participar en actividades sociales, laborales, de recreación, entre otras. Se espera que este estudio provea un insumo que estimule la equidad social, mayor calidad de vida para la población discapacitada y su incorporación a la vida social y laboral.

Contemplar la tecnología de exoesqueletos como mecanismo de movilidad permitirá ofrecer a la persona con discapacidad la oportunidad de ponerse de pie, y favorecerse de los beneficios de la posición bípeda como independencia, movilidad, activación del sistema osteomuscular, digestivo, respiratorio y circulatorio.

Debido a que es un tema poco abordado este estudio provee un referente sobre los requerimientos de funcionalidad de los exoesqueletos para la movilidad de personas con discapacidad motora de miembros inferiores en el entorno de países en desarrollo donde no se han implementado todas las medidas de inclusión de las personas con discapacidad. Además, puede generar inquietudes sobre el desarrollo y aplicación de los exoesqueletos en Colombia.

Pregunta de Investigación

¿La tecnología de exoesqueletos es un mecanismo de movilidad efectivo para las personas con discapacidad motriz de miembros inferiores de la ciudad de Bogotá para su incorporación la vida social y laboral?

Objetivos de investigación con ajustes pertinentes

Objetivo General:

Determinar la funcionalidad de los exoesqueletos como mecanismo de movilidad de las personas con discapacidad motora de miembros inferiores de la ciudad de Bogotá.

Objetivos Específicos:

- Identificar las necesidades de movilidad de las personas con discapacidad motriz de miembros inferiores de la ciudad de Bogotá.
- Identificar las limitaciones de movilidad de las personas con discapacidad motriz de miembros inferiores de la ciudad de Bogotá
- Documentar las tecnologías, las características, y las condiciones de movilidad que los exoesqueletos proveen a sus usuarios.
- Determinar las características requeridas por los exoesqueletos para dar respuesta efectiva a las necesidades y limitaciones de movilidad de las personas con discapacidad motriz de miembros inferiores de la ciudad de Bogotá.

Marco teórico y ajustes pertinentes (teorías y conceptos abordados)

Discapacidad motriz

Las personas con discapacidad física motora tienen limitaciones para desarrollar con naturalidad actividades cotidianas, y su participación en actividades sociales, vocacionales y recreativas se ven disminuidas por su restricción de movilidad. Las discapacidades de movilidad están relacionadas con mayor frecuencia a alteraciones neurológicas, dentro de las que se encuentran los accidentes cerebro-vasculares, lesiones de médula espinal y lesión cerebral traumática (Sale, Franceschini, Waldner, & Hesse, 2012).

Las principales causas de discapacidad motora entre los adultos son neurológicas incluyen accidente cerebrovascular, enfermedad de Parkinson, la parálisis cerebral, esclerosis múltiple, lesión de la médula espinal y la lesión cerebral traumática (Anama & Al-Jumaily, 2012). Se ha demostrado que el envejecimiento es el factor de riesgo más importante para el accidente cerebrovascular, en las décadas posteriores a la edad de 55 años, la tasa de accidente cerebrovascular se duplica. Sin embargo, hay preocupación porque en los últimos años se ha incrementado el número de eventos en adultos en edad laboral activa (<65 años) (Rajesh, 2013).

En muchas ocasiones, la discapacidad motora es temporal y puede ser superada a través de tratamientos terapéuticos y de rehabilitación, y en otros, el daño neurológico es severo y

son pocas o nulas las posibilidades de recuperación (Sale, Franceschini, Waldner, & Hesse, 2012). Para las lesiones temporales existen varias estrategias de rehabilitación cuyo objetivo es restaurar el control muscular a través de terapias musculo-esqueléticas para fortalecer y recuperar la funcionalidad en los grupos musculares y del esqueleto humano, y así mejorar la coordinación del paciente (Anama & Al-Jumaily, 2012) (Rajesh, 2013).

El desarrollo tecnológico ha generado la tendencia de la aplicación de sistemas mecanizados y automatizados que imitan los patrones de movimiento del cuerpo humano para superar limitaciones de movilidad de los segmentos corporales. Es así como se ha permitido la incursión exoesqueletos en los procesos de rehabilitación asistida y también como mecanismo para la movilidad de los discapacitados. Un exoesqueleto es una máquina móvil que un individuo puede llevar unida a partes y miembros funcionales del cuerpo humano, permitiéndole mejorar e incrementar su capacidad móvil y de carga con la ayuda de mecanismos robóticos computarizados

Discapacidad motriz en Colombia

El 2.2% de la población colombiana se encuentra en condición de discapacidad (1.030.572 habitantes), de los cuales 34% presentan discapacidad para moverse o caminar. De acuerdo con las estadísticas del DANE del año 2013, el 18% de las personas en Colombia con discapacidad permanente que altera el movimiento del cuerpo, manos, brazos y piernas se encuentra en Bogotá. Las localidades con mayor proporción de discapacitados son Kennedy (14,45%), Rafael Uribe (12,21%), Bosa (8,56%), Suba (7,44%), San Cristóbal (7,12%) y Engativá (7,10%); es decir sectores de estratos socioeconómicos 1, 2 y 3 (Departamento Administrativo Nacional de Estadística, Colombia, 2013). Actualmente, tan sólo el 14,5% de las personas en condición de discapacidad tienen un trabajo formal (Departamento Nacional de Planeación, 2013).

En Colombia, en 2013 se identificaron en total 1.030.572 personas con discapacidad que limita el movimiento del cuerpo (equivalente al 2,2% de la población nacional, de los cuales 731.154 personas presentan discapacidad para moverse o caminar (34% de la población discapacitada total) y 299.418 para usar manos y brazos (Departamento Nacional de Planeación, 2013). Según el BID, Colombia es el segundo país en Latinoamérica, después de Brasil con mayor proporción de población discapacitada, equivalente al 6,3% (Ministerio de Salud, 2013) (DANE, 2013).

De acuerdo con las estadísticas del DANE del año 2013, el 18% de las personas en Colombia con discapacidad permanente que altera el movimiento del cuerpo, manos, brazos y piernas se encuentra en Bogotá. Las localidades con mayor proporción de discapacitados son Kennedy (14,45%), Rafael Uribe (12,21%), Bosa (8,56%), Suba (7,44%), San Cristóbal (7,12%) y Engativá (7,10%); es decir sectores de estratos socioeconómicos 1, 2 y 3 (Departamento Administrativo Nacional de Estadística, Colombia, 2013). Actualmente, tan sólo el 14,5% de las personas en condición de discapacidad tienen un trabajo formal (Departamento Nacional de Planeación, 2013).



Con referencia al ámbito laboral, a pesar de las estrategias establecidas por el gobierno para incentivar la inclusión laboral de personas con discapacidad, sigue siendo muy baja la proporción de discapacitados con trabajo (14,5%) (Departamento Nacional de Planeación, 2013). Por tal razón, el gobierno progresivamente ha establecido políticas, lineamientos y normatividad que estimulen la participación activa de las personas con discapacidad en la sociedad colombiana, orientados al mejoramiento de sus capacidades y la ampliación de sus oportunidades.

El plan de desarrollo nacional de Colombia contempla la inclusión social y laboral de las personas con discapacidad en general. En el CONPES 80 de 2004 (rediseñado con el CONPES 166 de 2013), se definió la Política Pública Nacional de discapacidad e inclusión social, y se establecieron intervenciones para evitar la discriminación y exclusión social de personas con discapacidad a través de estrategias que:

- (i) *“promovieran comportamientos favorables en la sociedad, que a su vez generaran actitudes positivas respecto a la discapacidad y la igualdad de oportunidades, la inclusión e integración social (acceso a bienes y servicios, al mercado laboral, seguridad social, protección de los derechos humanos, entre otros)*
- (ii) *fomentaran la participación de la comunidad en la prevención, mitigación y superación (habilitación y rehabilitación integral) de la discapacidad.”*

(Departamento Nacional de Planeación, 2013)

La Constitución Política de Colombia de 1991, desde el modelo de Estado Social de Derecho, consagra los derechos de las Personas con discapacidad, dentro de los que se encuentra, en el artículo 54, la obligatoriedad del Estado y los empleadores en la formación e inclusión laboral de las personas con discapacidad de acuerdo con sus condiciones de salud.

Sin embargo, estas estrategias han sido insuficientes. De acuerdo con la Encuesta de Calidad de vida de 2012 realizada por el DANE,

“El 28,6% de las personas con discapacidad se encontraban ocupadas (no necesariamente empleadas), el 3,4% se encontraban desocupadas y el 68% inactivas. Al indagar por la actividad principal que se encontraban realizando las personas con discapacidad en los últimos 6 meses, se observó que la mayoría (29,1%) tenía una incapacidad laboral permanente y no recibía pensión, el 21,7% se encontraba realizando oficios del hogar, y sólo el 14,5% de las personas con discapacidad identificadas se encontraba trabajando” (DANE, 2013).

Adicionalmente, el ingreso de las personas con discapacidad es limitado, se estima que 30 de cada 100 reciben menos de \$500.000 mensuales y 61 de cada 100 no reciben ingresos, es decir que aproximadamente el 91% de las personas reciben ingresos inferiores al SMLV. Esta población generalmente pertenece a estratos socioeconómicos bajos, por lo que el acceso a educación y a oportunidades laborales dignas es limitado (Departamento Nacional de Planeación, 2013).

Dificultades de movilidad de los usuarios de sillas de ruedas

Los usuarios de sillas de ruedas se enfrentan a diario con situaciones que limitan su independencia y autonomía en el momento de desplazarse en el interior de sus hogares y fuera de él. Las principales barreras que encuentran para moverse están relacionadas con el diseño de sus viviendas, la infraestructura vial, el diseño de la silla de ruedas, la arquitectura de las edificaciones y la cultura ciudadana (Herrera Saray, Peláez Ballestas, Ramos Lira, Sánchez Monroy, & Burgos Vargas, 2013).

La construcción estándar de las viviendas se caracteriza por accesos estrechos a través de puertas, pasillos, la presencia de escalones, entre otros, que limitan la movilidad en silla de ruedas. Adicionalmente, se presentan dificultades para maniobrar la silla dependiendo del material del piso, especialmente cuando es liso y cuando es rústico.

Los desplazamientos para participar en actividades laborales, sociales, recreativas y culturales tienen sus desafíos. Dentro de las barreras se encuentra el estado de las vías, cuando deben transitar por terrenos irregulares (ausencia de pavimento o en mal estado) y/o con una pendiente pronunciada, porque implica exposición a vibraciones, movimientos bruscos y altos requerimientos de fuerza, que en ocasiones genera la necesidad de apoyarse en otra persona para transitar por ellos. Adicionalmente, la ausencia de rampas y la altura de los andenes complican aún más el desplazamiento en sillas de ruedas y restringen la independencia de las personas con discapacidad (Organización Mundial de la Salud, 2008).

Por otro lado, debido a la condición de discapacidad los usuarios de sillas de ruedas la utilizan la mayor parte del día como soporte de su movilidad. La posición sedente, mantenida y prolongada en la que permanecen generan deformidades en el espaldar y la base de la silla, porque el material en la que se construyen no resisten eficazmente las presiones del cuerpo sobre él y esto genera incomodidad para el usuario y en ocasiones dolor. Esta situación genera la necesidad de realizar adaptaciones constantes a la silla (uso de espumas o cojines) para garantizar comodidad y poder soportar su uso largos períodos de tiempo (Herrera Saray, Peláez Ballestas, Ramos Lira, Sánchez Monroy, & Burgos Vargas, 2013).

Así mismo, el diseño arquitectónico de espacios educativos, recreativos, laborales, servicio de transporte público, entre otros; no cumple con las normas de diseño especiales para la inclusión de personas con discapacidad, se evidencia la ausencia de rampas, lugares de estacionamiento y espacios amplios para el desplazamiento con la silla de ruedas. Esta situación hace que los usuarios de sillas de ruedas tengan un sentimiento constante de limitación (Organización Mundial de la Salud, 2008).

Otra barrera tiene que ver con la cultura ciudadana, en vías de mucho tránsito peatonal no se respeta el paso de las personas en silla de ruedas, ni al acceder al servicio de transporte público, son víctimas de burlas y rechazo por su condición. Además, tienen restricciones para ser incluidos dignamente en actividades laborales, familiares y sociales. Se evidencia la

indiferencia de la sociedad frente a la condición de limitación de las personas con discapacidad motora de miembros inferiores.

Dependiendo de las características de la discapacidad, el usuario de las sillas de ruedas la puede percibir como una herramienta útil y funcional para su movilidad e independencia. Personas que tengan limitación de caminar por problemas articulares o con enfermedades crónicas osteomusculares con presencia de dolor, son usuarios de sillas de ruedas que enfrentan además problemas de fuerza y agarre para impulsarse, baja tolerancia a permanecer en la posición sedente, y a las vibraciones generadas en el desplazamiento, e incluso sienten dolor al utilizarlas, por lo tanto, no consideran que la silla de ruedas les provea autonomía e independencia. Las personas con discapacidad que no presentan dolor, en la mayoría de los casos ven la silla de ruedas como un apoyo importante y eficiente para su autonomía, e incluso algunos la adaptan para utilizarla como medio de trabajo, como es el caso de los que ejercen como vendedores ambulantes de dulces. (Herrera Saray, Peláez Ballestas, Ramos Lira, Sánchez Monroy, & Burgos Vargas, 2013)

Tecnología de exoesqueletos

Un exoesqueleto es una órtesis o un dispositivo móvil biomecánico que un individuo puede llevar unida a partes y miembros funcionales del cuerpo humano, permitiéndole mejorar e incrementar su capacidad móvil y de carga con la ayuda de mecanismos robóticos computarizados (Chavéz Cardona, Rodríguez Espitia, & Baradica López, 2010).

Es una estructura electromecánica usada por un beneficiario y coincide con la forma y funciones del cuerpo humano, siendo eficiente y muy útil para personas con discapacidad en miembros inferiores y superiores, funciona mecánicamente con el cuerpo humano y puede ser accionado de forma activo y/o pasiva dependiendo de la necesidad y la función requerida. También son considerados robots portátiles (Anama & Al-Jumaily, 2012).

A través de la historia, los exoesqueletos se han diseñado para permitirle al ser humano realizar individualmente funciones que de otra manera no efectuarían y se han enfocado en tres funcionalidades específicas: la potenciación de capacidades humanas como la fuerza, la velocidad y la resistencia; la intervención en procesos de rehabilitación de personas con discapacidad motora; y como alternativa de movilidad de los segmentos afectados a través de esquemas de teleoperación. Las aplicaciones anteriores han significado un beneficio muy alto en cuanto al servicio humano y la capacidad de rehabilitación tanto física como psicológica de personas con discapacidad (Anama & Al-Jumaily, 2012).

El primer exoesqueleto fue co-desarrollado por General Electric y los militares de Estados Unidos en la década de 1960, y fue nombrado Hardiman; permitía levantar 250 libras (110 kg) y la percepción del usuario era como levantar 10 libras (4,5 kg). Era poco práctico debido a sus 1,500 libras (680 kg) de peso. El proyecto no fue exitoso, debido a que cada intento de utilizar el exoesqueleto completo resultó en un movimiento violento incontrolado,

y como consecuencia nunca se probó con un usuario humano (Sale, Franceschini, Waldner, & Hesse, 2012).

Sin embargo el avance científico ha permitido el desarrollo de varios exoesqueletos funcionales que consienten la amplificación de la manipulación manual de cargas, la rehabilitación del control neuromotor y ayudan a reestablecer el control motor humano. En la práctica clínica de rehabilitación los exoesqueletos robóticos fueron concebidos como una ayuda a la movilidad, fortalecimiento muscular y el control motor tanto de miembros inferiores como de miembros superiores, están diseñados para ser utilizados en numerosos entornos (interiores y exteriores). Dependiendo del tipo de interfaz o sistema de ajuste para la extremidad, se puede utilizar una estructura unilateral o bilateral (Anama & Al-Jumaily, 2012).

Respecto a movilidad, el desarrollo de los exoesqueletos se ha enfocado principalmente en la recuperación de la marcha, el control motor y el fortalecimiento muscular de miembros inferiores. Estos dispositivos se encuentran controlados por ordenadores que generan trayectorias de las extremidades inferiores pasivamente guiadas, simétricas y consistentes con el patrón de marcha fisiológico normal (Sale, Franceschini, Waldner, & Hesse, 2012). Pueden intervenir en los tratamientos de rehabilitación o pueden utilizarse como mecanismo de movilidad e independencia del usuario en su vida cotidiana.

Una ventaja de los exoesqueletos, en cualquiera de sus funcionalidades, es que se mueve en paralelo con el esqueleto del usuario, por lo que no se necesitan grados de libertad adicionales para el seguimiento de los movimientos de las personas (Sale, Franceschini, Waldner, & Hesse, 2012).

En la Industria, las principales aplicaciones de los exoesqueletos se han dado en las fuerzas militares y policiales, teniendo en cuenta que permiten cargar grandes pesos, recorrer distancias considerables en condiciones desfavorables sin sentir fatiga e incrementar la velocidad del movimiento (Anama & Al-Jumaily, 2012). Otra aplicación es en actividades de mantenimiento industrial como montaje, soldadura, rectificado, pulido, manipulación de cargas, entre otras, en las que se requiere sostener herramientas pesadas por periodos prolongados de tiempo, en espacios estrechos e incómodos, con el fin de disminuir la fatiga de los trabajadores a causa de las exigencias físicas del trabajo (Miller, 2014).

De acuerdo Adam Miller (2015), de la Marina de los Estados Unidos, la aplicación de los exoesqueletos en las actividades de mantenimiento de buques en los astilleros navales, permitirá aumentar la productividad y disminuir la fatiga de los trabajadores, y la inversión en este tipo de tecnología se retribuirá a largo plazo con la disminución de la prevalencia de población con desórdenes musculoesqueléticos de origen laboral.

Por lo general los exoesqueletos para extremidades inferiores o superiores tienen varios factores en común en cuanto a su elaboración. Estos factores son (Chavéz Cardona, Rodríguez Espitia, & Baradica López, 2010):



- *Sensores de fuerza resistivos*: dispositivos de película de polímero que generan una disminución de la resistencia cuando aumenta la fuerza aplicada a la superficie activa. Su sensibilidad a la fuerza está optimizada para uso en el control por toque humano de dispositivos electrónicos.
- *Sensores micro-eléctricos*: llamados Sistemas Micro electromecánicos, que permiten pueden resolver muchos problemas con un microprocesador más el software o configuración con Chips integrados de aplicación específica. Pueden aplicarse utilizando un sin número de diferentes materiales y técnicas de fabricación; la elección dependerá del tipo de dispositivo que se está creando y el sector comercial en el que tiene que operar.
- *Grados de libertad*: corresponden al número de movimientos independientes que se puede realizar, como la capacidad de moverse a lo largo de un eje o de rotar lo largo del mismo, control motor de posición con apoyo de cables de transmisión, sensores de movimiento angular, medidores de tensión y actuadores.

Funcionalidad

La norma ISO 9126-1: 2000 define la funcionalidad como el conjunto de atributos que se relacionan con la existencia de un conjunto de funciones y sus propiedades específicas. Las funciones son aquellas que tienen como objetivo satisfacer las necesidades implícitas o explícitas para las cuales se realizó el diseño.

Otras definiciones indican que la funcionalidad se refiere a la utilidad práctica, en la que los requisitos funcionales determinan el comportamiento del sistema. Los requerimientos funcionales pueden ser medidas específicas, detalles técnicos, manipulación de datos, respuesta a estímulos, entre otros, que se supone el sistema debe cumplir.

Los requerimientos de funcionalidad de los exoesqueletos para que personas con discapacidad se acoplen a diversos escenarios de la vida cotidiana, deben definir las características de la interacción dinámica entre dicho dispositivo, su usuario y el entorno laboral en el que se va a desempeñar. Dentro de las características se encuentran:

- ***“Rango dinámico***. El dispositivo debe ser capaz de aplicar una amplia variedad de fuerzas, pares y cargas mecánicas dentro de una funcionalidad definida.
- ***Resolución***. Debe definir qué tan finamente se pueden regular las fuerzas y cargas mecánicas ejercidas, dentro del rango dinámico de la interfaz. Existen factores de tipo mecánico que pueden afectar la resolución tal como las holguras en los elementos de la transmisión mecánica.
- ***Grados de libertad (GdL)***. La definición del número de grados de libertad, tanto activos como pasivos, impone diversos compromisos en el diseño y la complejidad de la interfaz. La cadena cinemática puede aproximarse por 7 grados de libertad. Así, la inclusión en un dispositivo de un mayor número de grados de libertad



impone restricciones en cuanto a peso, tamaño, consumo de energía, etc., particularmente para interfaces portátiles. Esto es debido a necesidad de un mayor número de sensores, actuadores y sistemas de control. La mayoría de manipuladores encontrados en la literatura restringe los movimientos a 2 GdL, es decir, permite realizar movimientos en un plano específico.

- **Volumen de trabajo.** *El volumen de trabajo de la interfaz define el rango de movimiento que puede desarrollar el sujeto que utiliza el dispositivo. Particularmente se requiere un rango de movimientos que permita movimientos en actividades diarias. Dependiendo del número de GdL, el volumen de trabajo se puede describir por figuras geométricas tales como esferas o paralelepípedos, que abarcan las posiciones alcanzables por la interfaz.*
- **Seguridad.** *Uno de los aspectos más críticos en el diseño de una interfaz mecánica o plataforma acoplada a una persona, es la seguridad, teniendo en cuenta las fuerzas y cargas que pueden ejercerse sobre la persona. De esta manera, en el diseño deben considerarse sistemas redundantes de seguridad que eviten problemas potenciales o lleguen a poner en riesgo la integridad del sujeto. Entre estos sistemas deben considerarse limitaciones mecánicas, pulsadores de emergencia y limitaciones electrónicas y en las estrategias de control”.*

(Ruíz Olaya, 2008)

Metodología (instrumentos diseñados o empleados, población o muestra)

Población y muestra

Este estudio se dirigirá a los usuarios de mobiliario escolar, que se encuentran en Universidades dentro de la ciudad de Bogotá, hombres y mujeres, mayores de edad, a partir de 18 años. La muestra será no probabilística, utilizando el método de muestreo por conveniencia.

La población de estudio son personas colombianas residentes en la ciudad de Bogotá con discapacidad que limita el movimiento de su cuerpo, específicamente de sus miembros inferiores.

De acuerdo con el Censo realizado en el año 2010, en Bogotá hay 99.650 personas con discapacidad permanente que altera el movimiento del cuerpo, manos, brazos y piernas, de los cuales 37.197 son hombres y 62.463 son mujeres (Departamento Administrativo Nacional de Estadística, Colombia, 2010). La proporción de esta población que presenta discapacidad para moverse o caminar corresponde al 71%, es decir a 70.752 personas.

Para el cálculo del número de participantes en esta investigación se aplicará el muestreo probabilístico, específicamente muestreo aleatorio simple para poblaciones finitas. Teniendo en cuenta que sobre esta población no hay estudios anteriores en relación al tema de investigación, el valor de que asume p es de 0.5. Con un nivel de confianza del 95% y un error muestral del 5%, se considerará la participación de 382 personas residentes en la ciudad de Bogotá con discapacidad motora de miembros inferiores.

Procedimiento

La recolección de información contemplará dos enfoques, el primero dirigido a caracterizar las necesidades y limitaciones de movilidad de la población con discapacidad motora de miembros superiores, y el segundo en busca de identificar las características y las condiciones de movilidad que proveen los exoesqueletos.

La estrategia de recolección de información de la población con discapacidad motora de miembros inferiores contempla las siguientes actividades:

- **Reclutamiento de la población:** se identificarán las entidades oficiales que tienen programas dirigidos a la población de interés (ej: Secretaría Distrital de Salud y las alcaldías de las localidades de Bogotá) y se contactarán en busca de alianzas que faciliten el acceso a las personas con discapacidad y la aplicación masiva de los instrumentos de recolección de información.
- **Aplicación de Consentimiento informado:** El inicio de la encuesta presenta la información del proyecto y solicita el consentimiento con la opción “Acepto” a la pregunta ¿Desea hacer parte de este estudio?. Una vez se tiene el consentimiento se habilita el cuestionario de la encuesta.
- **Aplicación de encuesta:** se aplicará una encuesta autodirigida a través de la plataforma Survey Monkey, su objetivo será conocer las necesidades y limitaciones de movilidad por la discapacidad de los participantes, así como documentar las ventajas y desventajas de la silla de rueda, e indagar sobre la aceptabilidad de un exoesqueleto como mecanismo alternativo de movilidad.
- **Focus Group:** Se realizará una sesión grupal con la población de interés, como método cualitativo de recolección de información, con el fin de profundizar las respuestas obtenidas en las encuestas.
- **Procesamiento de resultados:** Se realizará la tabulación de las encuestas, la transcripción de la información registrada en audio y video de la sesión grupal y se procesarán los resultados.
- **Análisis de datos:** Se aplicarán técnicas de estadística descriptiva e inferencial para el procesamiento de las encuestas. En cuanto a la información cualitativa, se consolidarán las principales conclusiones y se tabularán para determinar frecuencias de respuesta.

Para determinar el potencial de los exoesqueletos frente a las necesidades de movilidad de la población evaluada se realizarán las siguientes actividades:



- **Revisión de literatura científica:** Se realizará una búsqueda sistemática en bases de datos, recopilación y organización de fuentes primarias y secundarias de información que permita identificar los beneficios y deficiencias de los exoesqueletos como mecanismo de movilidad para las personas con limitaciones para caminar.

Además, se realizará una revisión analítica y depuración de las fuentes bibliográficas, extracción de la información relevante para el estudio e identificación de unidades temáticas. La revisión se realizará dando prioridad a las fuentes primarias de información y luego a las fuentes secundarias.

- **Documentación de las características de los exoesqueletos:** se construirá una perspectiva documental relacionada con el tema principal en el que se presentará de forma crítica y estructurada la síntesis de la literatura científica analizada en la etapa anterior, en busca de determinar el potencial de los exoesqueletos como alternativa de movilidad de las personas con discapacidad motriz en miembros inferiores.

Análisis de los datos

Información de la población con discapacidad motriz de miembros inferiores. Se realizará la tabulación de las encuestas, la transcripción de la información registrada en audio y video de la sesión grupal y se procesarán los resultados. Adicionalmente, se aplicarán técnicas de estadística descriptiva e inferencial para el procesamiento de las encuestas. En cuanto a la información cualitativa, se consolidarán las principales conclusiones y se tabularán para determinar frecuencias de respuesta.

Documentación de las características de los exoesqueletos. Se construirá una perspectiva documental relacionada con el tema principal en el que se presentará de forma crítica y estructurada la síntesis de la literatura científica analizada en la etapa anterior, en busca de determinar el potencial de los exoesqueletos como alternativa de movilidad de las personas con discapacidad motriz en miembros inferiores.

Instrumento

Encuesta disponible en survey monkey en el link <https://es.surveymonkey.com/r/G5V8C2L>.

Avance alcanzado con respecto al cronograma inicial y ajustes pertinentes

En el siguiente cuadro se presentan las actividades cumplidas resaltadas con color azul y las pendientes con color gris. Asimismo, se evidencian los ajustes con respecto al cronograma inicial.



Actividad	Mes 1 Feb	Mes 2 Mar	Mes 3 Abr	Mes 4 May	Mes 5 Jun	Mes 6 Jul	Mes 7 Ago	Mes 8 Sep	Mes 9 Oct	Mes 10 Nov	Mes 11 Dic
Revisión instrumentos de recolección de información	X	X									
Prueba piloto instrumentos de recolección de información			X								
Reclutamiento de la Población				O	O	O					
Aplicación de encuesta Online			X	X			O	O			
Análisis de datos					X			O	O		
Informe Final						X			O	O	
Desarrollo de artículo científico							X	X		O	O

X: cronograma inicial

O: cronograma ajustado

Logros generales de la investigación hasta la fecha

- Documentación de las características de los exoesqueletos
- Revisión documental de las barreras de movilidad de la población usuaria de sillas de ruedas de la ciudad de Bogotá.
- Acercamiento con los representantes de discapacidad física distrital y de las localidades para el reclutamiento de la población
- Diseño de la encuesta de recolección de información
- Verificación y validación de la encuesta con apoyo de profesionales de la UDIES
- Vinculación de estudiantes del semillero en el desarrollo del proyecto

Dificultades enfrentadas en la realización del proyecto hasta la fecha

- Dificultad en la coordinación de reuniones para gestionar el acceso a la población con discapacidad física
- No acceso a bases de datos con la información de correo electrónico de la población con discapacidad

Observaciones de los supervisores

El proyecto tenía previsto cerrarse en septiembre de 2017, sin embargo por la dificultad de acceso a la población de interés, se amplió el cronograma para que el cierre del proyecto sea en diciembre de 2017.

En el caso que no sea posible cumplir la muestra planeada, se optará por realizar un muestreo por conveniencia que incluya al menos 30 personas con discapacidad motriz de miembros inferiores usuarias de sillas de ruedas.

3. Informe de producción investigativa

Tipo de producto (Artículo, ponencia, evento, libro, capítulo de libro, etc.)	Nombre de producto (Indique título del artículo, ponencia, evento, libro, capítulo de libro, etc.)	Fecha de revisión, publicación o presentación (Indique fechas de publicación, revisión o presentación en evento del producto)	Nombre de la revista/libro o evento en que se presenta el producto. (Si el producto no se ha finalizado indicar el medio en el que se proyecta la publicación o divulgación)	Modo de verificación (ISSN, ISBN, página web, etc. Si el producto no se ha finalizado, escribir “no se ha finalizado” en esta columna.)	Número de anexo (Incluya en los anexos, de manera ordenada el soporte escaneado que demuestre la existencia del producto o el envío a revisión .Si el producto no se ha finalizado, escribir “no se ha finalizado” en esta columna)
Artículo	Funcionalidad de la tecnología de exoesqueletos y los requerimientos de movilidad de las personas con discapacidad motriz de miembros inferiores de la ciudad de Bogotá	28 de octubre 2016	Libro de Resúmenes Simposio de Investigación USTAMED, Volumen 3	ISSN: 2463-0489	Anexo 1.
Ponencia	Funcionalidad de la tecnología de exoesqueletos y los requerimientos de movilidad de las personas con discapacidad motriz de miembros inferiores de la ciudad de Bogotá	28 de octubre de 2016	Simposio de Investigación USTAMED,	Certificado de participación como ponente	Anexo 2.
Artículo Categoría A4	Por definir	Por definir	Por definir	No se ha finalizado	No se ha finalizado

*Tenga en cuenta la tipología de productos de Colciencias.



4. Informe financiero

El presupuesto aprobado para el desarrollo del proyecto fue el siguiente:

PRESUPUESTO GLOBAL

Rubros	RECURSOS DE FACULTAD			Total
Personal	Nombre del investigador	Horas asignadas	Valor	1.993.000
	Magda Viviana Monroy Silva	10	1.993.000	
Material bibliográfico	0			0
Servicios técnicos	0			0
Organización de eventos	0			0
Salidas de campo	0			0
Movilidad académica	0			0
Publicaciones	500.000			500.000
TOTAL	2.493.000			2.493.000

El presupuesto ejecutado a 28 de julio de 2017, corresponde a:

Rubros	RECURSOS DE FACULTAD			
Personal	Nombre del Investigador	Dedicación mensual	Meses ejecutados	Valor ejecutado
	Magda Viviana Monroy Silva	10 horas	6 meses	996,500

Bibliografía

Anama, K., & Al-Jumaily, A. A. (2012). Active Exoskeleton Control Systems: State of the Art. *Procedia Engineering*, 41, 988-994.

Chavéz Cardona, M. A., Rodríguez Espitia, F., & Baradica López, A. (2010). Exoesqueletos para potenciar las capacidades humanas y apoyar la rehabilitación. (Universidad CES, Ed.) *Revista Ingeniería Biomédica*, 4(7), 52-59.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística, Colombia. (2010). *Población con registro para la localización y caracterización de las personas con discapacidad en Bogotá*. Obtenido de Discapacidad por localidades Bogotá: <http://www.dane.gov.co/index.php/esp/poblacion-y-registros-vitales/discapacidad/119-demograficas/discapacidad/2850-discapacidad-por-localidades-bogota>

Departamento Administrativo Nacional de Estadística, Colombia. (2013). *Población con registro para la localización y caracterización de las personas con discapacidad en*

Colombia. Obtenido de Discapacidad: <http://www.dane.gov.co/index.php/poblacion-y-demografia/discapacidad>

Departamento Nacional de Planeación. (2013). *CONPES SOCIAL 166. Política Pública Nacional de Discapacidad e Inclusión Social*. Bogotá.

Departamento Nacional de Planeación, Colombia. (2013). *CONPES SOCIAL 166. Política Pública Nacional de Discapacidad e Inclusión Social*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Salud de Colombia.

Gómez, A., Carrillo, M., & Archila, J. (2010). Estudio de ayudas técnicas tipo exoesqueleto para apoyo a pacientes con desordenes en el movimiento. (Universidad Industrial de Santander, Ed.) *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, 1(15), 52-59.

Herrera Saray, P., Peláez Ballestas, I., Ramos Lira, L., Sánchez Monroy, D., & Burgos Vargas, R. (2013). Problemas con el uso de sillas de ruedas y otras ayudas técnicas y barreras sociales a las que se enfrentan las personas que las utilizan. *Reumatología Clínica*, 9(1), 24-30.

Ministerio de Salud, C. (2013). *Discapacidad en Colombia: Registro para la localización y caracterización de personas con discapacidad*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Salud.

Organización Mundial de la Salud. (2008). *Pautas para el suministro de sillas de ruedas manuales en entornos de menores recursos*. Organización Mundial de la Salud.

Rajesh, S. M. (2013). Design of Human Exoskeleton Suit for Rehabilitation of Hemiplegic People. *Procedia Engineering*, 51, 544-553.

Ruíz Olaya, A. (2008). *Sistema Robótico Multimodal para Análisis y Estudios en Biomecánica, Movimiento Humano y Control Neuromotor*. Leganes, España: Universidad Carlos III de Madrid. Obtenido de http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/5636/Tesis_Andres_Felipe_Ruiz_Olaya.pdf?sequence=1

Sale, P., Franceschini, M., Waldner, A., & Hesse, S. (2012). Use of the robot assisted gait therapy in rehabilitation of patients with stroke and spinal cord injury. *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine*, 48(1), 111-121.