



# USO DE LOS SENSORES INERCIALES EN LA VALORACIÓN DE LA LOCOMOCIÓN HUMANA EN AMBIENTE EXTRA HOSPITALARIO

**Diana Sofia Agreda Diaz**

Estudiante del programa de Fisioterapia  
Universidad Santiago de Cali



El conocimiento es de todos

Minciencias



Enlazando el futuro de los jóvenes Vallecaucanos

## DEPARTAMENTO DE SALUD Y KINESIOLOGÍA

**Grupo de Investigación Comportamiento Motor**  
Tutoría a cargo del Dr. Jeff Haddad  
*Universidad de Purdue (Estados Unidos)*

## DEPARTAMENTO DE SALUD

**Grupo de Investigación Salud y Movimiento**  
Tutoría a cargo del Dr. Diana Maritza Quijanás  
*Universidad Santiago de Cali (Colombia)*

## DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA

**Grupo de Investigación GIEIAM**  
Tutoría a cargo del Dr. Erick Javier Argüello Prada  
*Universidad de Santiago de Cali - Colombia*

**Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación**  
**Gobernación del Valle del Cauca**  
**Instituto Financiero para el Desarrollo del Valle del Cauca INFIVALLE**  
**Universidad Santiago de Cali**

Pasantía Internacional "Nexo Global Valle del Cauca"  
Santiago de Cali, Colombia  
21 de marzo de 2021

## COMITÉ EDITORIAL DE LA UNIVERSIDAD SANTIAGO DE CALI

**Carlos Andrés Pérez Galindo**  
*Rector*  
**Claudia Liliana Zúñiga Cañón**  
*Directora General de Investigaciones*  
**Edward Javier Ordóñez**  
*Editor*

## DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN

**Juan Diego Tovar Cardenas**  
[librosusc@usc.edu.co](mailto:librosusc@usc.edu.co)



El conocimiento es de todos

Minciencias

# USO DE LOS SENSORES INERCIALES EN LA VALORACIÓN DE LA LOCOMOCIÓN HUMANA EN AMBIENTE EXTRA HOSPITALARIO

*Use of inertial sensors in the assessment of human locomotion in an out-of-hospital environment*

**Diana Sofia Agreda Diaz**

Estudiante del programa de Fisioterapia

Universidad Santiago de Cali-Colombia

 [diana.agreda01@usc.edu.co](mailto:diana.agreda01@usc.edu.co)

**Resumen.** El presente artículo busca evidenciar al proyecto de Investigación realizada en la Universidad de Purdue gracias al programa de Nexo Global Valle en el periodo de 6 meses en Estados Unidos. El proyecto realizado en la Universidad Extranjera en el departamento de Salud y Kinesología es acerca del Uso de los Sensores Inerciales en el análisis de la marcha humana en un ambiente exterior, proyecto a cargo del docente Jeffrey Haddad. Descripción de los laboratorios del departamento de H & k y laboratorios de Fisioterapia de la Universidad Santiago de Cali.

**Palabras clave:** IMU, Sensores Inerciales, Análisis de la marcha, Unidades de medida inerciales, Biomecánica de la marcha, Sistemas de registro, Sistemas portables.

**Abstract.** This article seeks to demonstrate the research project conducted at Purdue University thanks to the Global Nexus Valley program in the United States for a period of 6 months. The project conducted at the Foreign University in the Department of Health and Kinesiology is about the Use of Inertial Sensors in the analysis of human gait in an outdoor environment, a project led by Professor Jeffrey Haddad. Description of the laboratories of the H & k department and Physiotherapy laboratories of the Universidad Santiago de Cali.

**Keywords:** IMU, Inertial Sensors, Gait Analysis, Inertial Measurement Units, Gait Biomechanics, Recording Systems, Portable Systems.

## INTRODUCCIÓN

La Universidad de Purdue representa y construye un sistema de ayuda del Estado de Indiana (Estados Unidos) la cuál fue fundada en 1.869. El campus principal de esta reconocida Universidad se encuentra en West Lafayette, Indiana; no obstante, existen otras sedes con campus regionales en Columbus, Fort Wayne, Calumet y North Central. Esta Universidad cuenta con un alumnado de aproximadamente 39.102. Ofreciendo así para todas las personas interesadas alrededor de 400 especialidades de pregrados y postgrados en las diferentes áreas de Educación, Ingeniería, Agricultura, Consumo y Ciencias de la Familia, Ciencias de la Salud,

Humanidades, Administración, Enfermería, Farmacia y Ciencias Farmacéuticas, Ciencia, Tecnología y Medicina Veterinaria. (Connect, 2019).

El departamento de Salud Y Kinesología ubicado en el edificio Lambert Fieldhouse, recibe con puertas abiertas a estudiantes investigadores de pregrado del cual hice parte gracias al programa de "Nexo Global Valle del Cauca", el cuál fue una pasantía Internacional de Investigación en el cual se escogieron a veinte (20) estudiantes de pregrado de diversas carreras y universidades del Departamento del Valle del Cauca (Colombia), fomentando

la investigación en las vocaciones, aportando así al desarrollo de la ciencia y a la resolución de problemáticas de la sociedad actual vallecaucana una vez terminada la pasantía internacional de investigación.

El ser parte del Departamento de Salud y Kinesiología (Health and Kinesiology), en el cual se enfrentan problemáticas relacionadas con el ámbito de la salud a través de la investigación, el aprendizaje activo de los estudiantes y la participación de todo el personal encargado del movimiento humano, el rendimiento, la gestión deportiva, el ejercicio, estado físico, y la prevención de enfermedades en los diferentes grupos poblacionales.

Este Departamento cuenta con un equipo multidisciplinario, Health and Kinesiology es uno de los equipos líder en investigación dirigida por profesores especializados y centrada en los estudiantes los cuales son parte fundamental de este grupo.

Este departamento fomenta el ámbito investigativo en todos los estudiantes para ayudar a otros estudiantes y a la sociedad a desarrollar y mantener un estilo de vida saludable y activo. Cuenta con diferentes grupos de investigación internos, los cuales están abordando problemas de salud global en el transcurso de la actualidad.

Tanto docentes como estudiantes del Departamento de Salud y Kinesiología tienen acceso a una variedad de laboratorios e instalaciones de punta, los cuales brindan investigación en los diferentes temas relacionados con la salud y con el movimiento humano, aprendizaje estudiantil y ayuda comunitaria en las poblaciones afectadas en la calidad de vida.

A continuación, se describen los laboratorios vinculados al departamento Health and Kinesiology.

#### **Laboratorio de Rendimiento Humano Max E. Wastl:**

En este laboratorio de investigación parte de la fisiología del ejercicio, la cual se basa en el estudio de la manera en que nuestra estructura y función corporal es alterada al hacer ejercicio. Este laboratorio está conformado por equipos especializados en los distintos cambios a nivel corporal y dos estaciones divididas para pruebas de metabolismo del cuerpo y pruebas de esfuerzo, por otro lado, se encuentra conformado por un laboratorio de química húmeda para permitir el análisis de músculos, sangre y otros fluidos corporales, cuenta con equipos para realizar técnicas de inmunología celular.

**Laboratorio de Comportamiento Motor:** En este laboratorio se encuentra un sistema de captura de movimiento magnético de última generación, se encuentra amoblado para el desarrollo de temas investigativos en el laboratorio, se enfoca

en cuestiones teóricas sobre la sincronización del movimiento corporal humano, los errores espaciotemporales que suceden durante el movimiento como factores extrínsecos los cuales repercuten en esta actividad así como la compensación de la precisión de la velocidad. Se utilizan técnicas analíticas de procesamiento de información estándar, así como algunos enfoques de sistemas dinámicos para comprender la naturaleza fundamental del control y el aprendizaje motor el cuál es el dominio y comprensión del movimiento ya adquirido.

**Grupo de Comportamiento Motor Humano:** Este grupo está conformado por cinco (5) profesores, los cuales trabajan en un entorno de laboratorio e investigación altamente interactivo. Este grupo se centra e involucra en aspectos científicos fundamentales del comportamiento motor el cuál se define como las actividades y manifestaciones motrices con el medio ambiente, exterior. Explora soluciones innovadoras para mejorar la calidad de vida de distintas poblaciones. Se estudia el comportamiento motor sano y patológico a lo largo de la vida de las distintas poblaciones de la comunidad, con personas cuyas edades están comprendidas entre los cuatro (4) meses y los noventa y un (91) años. Este grupo se basa en marcos teóricos e investigaciones que incluyen técnicas tanto experimentales como de modelado.

Cuenta con laboratorios equipados con sistemas de captura de movimiento basados en la visión humana y sistemas magnéticos de última generación, transductores de fuerza, placas de fuerza y varios equipos hechos a la medida para estudiar la prehensión, la locomoción, el equilibrio humano, y lo que se desee evaluar referente al movimiento corporal humano.

#### **Laboratorio de desarrollo y control de motores de vida útil:**

En este laboratorio se investigan los procesos motores y cognitivos latente a los cambios en el equilibrio y la movilidad a lo largo de la vida de la comunidad, usando diversos equipos que incluyen placas de fuerza y sistemas de capturas de movimiento en 3D.

#### **Laboratorio de Psicología del Deporte y el Ejercicio:**

Se encuentra equipado para realizar grupos focales, entrevistas, cuestionarios y evaluaciones observacionales tanto internas como por fuera del campo, de esta manera poder así administrar y analizar datos cualitativos y cuantitativos que respalden las actividades de investigación en el deporte, el ejercicio, la actividad física y el comportamiento de la salud.

**Laboratorio de Enseñanza y Aprendizaje:** Este laboratorio cuenta con un aula experimental, un gimnasio altamente equipado, biblioteca de recursos y un laboratorio de computa-



ción, la cuál incorpora una variedad de herramientas de evaluación tanto cuantitativa como cualitativa para el estudio de métodos de enseñanza innovadores en el aula y el gimnasio.

**Centro AH Ismail para la salud, el ejercicio y la nutrición:** Fue un esfuerzo de colaboración con el Departamento de Ciencias de la Nutrición, el cual tiene como objetivo promover la investigación sobre la salud, el ejercicio y la nutrición, sirve como laboratorio clínico para los estudiantes.

El Departamento de Salud y Kinesiología continúa trabajando en temas de investigación sobre los grandes retos que enfrenta el mundo el cual se encuentra en constantes cambios de manera abrupta, enfocados desde aquellos cambios que influyen en el desarrollo saludable de los jóvenes, hasta los que como última instancia, limitan la calidad y la esperanza de vida de diferentes poblaciones.

Por otro lado en nombre de la Facultad de Salud de la Universidad Santiago de Cali, del programa de Fisioterapia cuenta con profesionales expertos en el campo del movimiento corporal humano, con respecto a la funcionalidad y sus desórdenes, con altos estándares científicos y académicos, sentido humanístico y ético; este programa busca el desarrollo de un pensamiento creativo y autónomo en los estudiantes, respetando así la diversidad; en la formación de estudiantes capaces de investigar e interpretar las demandas sociales mediante la apropiación, generación y aplicación de los procesos de diagnóstico, promoción, prevención, habilitación y rehabilitación en salud, impactando así en el desarrollo y mejoramiento de la calidad de vida de las comunidades y sus problemáticas actuales. (Santiago de Cali, 2019) (1)

En cuanto a laboratorio y espacios de práctica, la Universidad Santiago de Cali (USC) cuenta con un hospital simulado, siendo el más grande y altamente equipado de América Latina, el cual cuenta con un quirófano real, una Unidad de Cuidados Intensivos, una sala de partos y una de recuperación de partos, una sala neonatal, una sala de recuperación de mujeres y otra de hombres, un consultorio para atención de pacientes, igualmente cuenta con áreas de atención para instrumentación quirúrgica, farmacia, enfermería, fonoaudiología, psicología, control y monitoreo y central de esterilización. Todos estos espacios conforman el Hospital Simulado USC, han sido dotados con equipos de tecnología de punta provenientes de Japón y Estados Unidos.

El programa a su vez cuenta con tres (3) laboratorios específicos de Fisioterapia, los cuales se mencionan a continuación.

**Laboratorio de Clínica Fisioterapia C– Prescripción del Ejercicio y Rehabilitación Virtual:** En el cual se permite realizar prácticas tanto en docencia como en

investigación acerca de posturas corporales, desplazamiento en plataforma, etc.; dichos sistemas ayudan al mejoramiento de patologías humanas que mediante ejercicios y tratamiento corrigen estos procesos.

El laboratorio cuenta con los siguientes equipos:

- Software en 3D y 2D para análisis biomecánico de movimiento.
- Plataforma de presiones plantares.
- Kinect.
- Banda sin fin con monitor de signos vitales.
- Estación de Análisis de Postura.
- Equipo de Función Pulmonar con Espirometría y Chest Caliper.
- Elementos de evaluación musculo esquelética tales como:
  - ✓ Dinamometría.
  - ✓ Inclínometro.
  - ✓ Goniometría.
  - ✓ Antropometría.

**Laboratorio de Clínica Fisioterapia A– Equipos y Ayudas Terapéuticas:** En este laboratorio se evalúa y diagnostica cualquier alteración a nivel muscular, posteriormente se prepara para el racionamiento clínico, planeación, ejecución, seguimiento y evaluación para el paciente, así mismo las distintas intervenciones necesarias para recuperar la capacidad funcional del individuo.

Este laboratorio es dirigido a docentes especializados en el área de las modalidades físicas y cinéticas como medios terapéuticos utilizados para el mantenimiento, recuperación y potencialización de la capacidad de movimiento corporal.

En este laboratorio se encuentran modalidades físicas de fisioterapia necesarias para la formación en:

- Termoterapia.
- Crioterapia.
- Ultrasonido.
- Láser Terapéutico.
- Electroterapia.
- Presoterapia.

Igualmente se practican y enseñan en este espacio las modalidades cinéticas como:

- Fundamentos de la terapia manual e inducción miofascial.
- Masaje terapéutico.

- Técnicas de flexibilidad muscular.
- Entrenamiento del balance y equilibrio.
- Ejercicios terapéuticos para movilidad articular y de entrenamiento de fuerza muscular.

**Laboratorio de Clínica Fisioterapia B- Neurodesarrollo:** El laboratorio de Fisioterapia evalúa y diagnostica alteraciones a nivel neurológico, los cuales nos indican en qué aspectos de la vida el individuo puede presentar problemas, se prosigue a la toma de decisiones en cuanto a la planeación, ejecución, seguimiento y evaluación de las intervenciones necesarias para recuperar la capacidad funcional del usuario.

En este laboratorio se desempeña para la docencia especializada en el área de fisioterapia neuromusculoesquelética, la enseñanza de técnicas de facilitación y la valoración de patrones de movimiento desde el enfoque de las teorías del aprendizaje y control motor, así mismo de los elementos de cognición y movimiento. Involucra elementos de base para la intervención de fisioterapia en la disfunción del movimiento corporal especialmente en su modulación, tales como colchonetas, balones terapéuticos, camillas neurológicas, equipo básico de rehabilitación virtual, estimulación sensorial y motriz.

La investigación realizada en la Universidad de Purdue, basaba en mi proyecto de grado. Se acopló inmediatamente en el **Grupo de Comportamiento Motor Humano**, en el cual el docente Dr. Jeff Haddad prosiguió a ser mi tutor, el objetivo de este estudio, fue desarrollar una metodología que permitiera utilizar pequeños sensores llamados (Inertial Measurement Unit System) IMUS, para recopilar patrones básicos de la locomoción humana. Se formó parte de un estudio preliminar, el cual esperaba que la información obtenida permitiera aportar información relevante como base para futuros estudios diseñados para evaluar la estabilidad al caminar en pacientes con trastornos neurológicos.

Cada usuario que debía ser evaluado, debía disponer de aproximadamente sesenta (60) minutos para desarrollar el total de las pruebas. Se requería que las poblaciones tuvieran entre dieciocho (18) y sesenta y cinco (65) años de edad y que cumplieran con los criterios de inclusión pertinentes, tales como:

- Tener entre 18 y 85 años.
- Deben ser capaces de caminar de forma independiente durante al menos 10 minutos sin ayuda.
- No pueden tener problemas visuales corregidos (las gafas o las lentes de contacto están bien).

- No pueden tener dolores que les impidan caminar o mantener el equilibrio.
- No pueden sentirse inestables de manera que puedan caerse al caminar. Las pruebas eran construidas por diez (10) tareas de caminar distintas, las cuales el usuario debía realizarlas dos (2) veces seguidas con un periodo de 3 minutos entre cada serie. Durante todo el procedimiento se debe grabar para que posteriormente esta información es recolectada en una base de datos de la universidad, información netamente con propósitos investigativos.

Toda la información proyectada fue recolectada mediante el uso de 5MbientLab los cuales son sensores para la creación de prototipos, investigación etc, en la cual se registran las aceleraciones lineales, los ángulos de Euler y los datos del magnetómetro, estos datos serán recopilados en las IMU a 100 Hz.

Los sensores son situados en la cabeza, cintura y ambos tobillos, mediante el uso de correas de velcro. Estos sensores registrarán los movimientos del cuerpo para la evaluación del comportamiento al caminar. Posteriormente se debe explicar las diferentes tareas que se deban realizar. Todos los participantes realizarán la evaluación funcional de la marcha (FGA). La FGA es una evaluación de la marcha de diez (10) elementos que se adaptó del índice de marcha dinámica y perturbaciones que se pudieran presentar al momento de la marcha.

Estas tareas incluyen caminar hacia atrás, caminar de punta a punta de pies, caminar mientras se inclina la cabeza hacia arriba, abajo y hacia los lados y caminar con los ojos cerrados. Posterior a terminar el primer bloque de las diez (10) tareas se proporciona un descanso de 3 minutos antes de empezar el 2 bloque.

Los hallazgos de esta investigación permitirán ayudar a desarrollar los procedimientos necesarios para utilizar IMUS en un entorno externo al clínico, con lo cual se puede diagnosticar o evaluar problemas de movilidad en personas que presenten alguna deficiencia neurológica.

Se me capacitó para la colocación y calibración de los IMUS, planificación y recopilación de la información, contando así con cada ítem los cuales se puntúan en una escala tipo Likert de cuatro puntos, así, 0 = deterioro severo, 1 = deterioro moderado, 2 = deterioro leve y 3 = deambulación normal. La prueba se realiza en una pasarela de 6 metros de largo, 20,5 cm de ancho y una escalera. El único equipo requerido es una caja de zapatos y un cronómetro.

Para plasmar los datos obtenidos se hizo uso de una plantilla en software Excel, en la cual se debían registrar los tiempos de cada



tarea y observaciones, se debe anotar el tiempo de inicio y finalización con su respectiva marcación dependiente.

Para recolectar los registros se utilizaron los videos a grabados anteriormente grabados de los usuarios. La hora, minuto y segundo en que comienza la tarea eran vistos en los videos para ser registrados en la hoja de codificación de la IMU.

Los resultados obtenidos al finalizar el semestre acerca de la investigación realizada fueron los cambios en la simetría y mayor aceleración lineal en la población joven evaluada con respecto a los individuos mayores, dichas asimetrías hizo que obtuvieran una puntuación más baja en el FGA002E

Por otro lado, se está llevando a cabo un artículo de reflexión crítica aparte de este, en compañía de los 2 tutores Vinculados a la pasantía internacional "Nexo Global Valle del Cauca" asignados, el cuál será publicado en revistas indexadas. Artículo el cuál habla del uso de los sensores inerciales en la evaluación de la marcha humana como actividad diaria. Se implementaron términos de búsqueda como: Sensores inerciales, sistemas de captura, análisis de la marcha, IMU, Inertial Measurement Unit, movimiento, locomoción humana, dispositivos portables.

Actualmente el avance de la tecnología trae consigo nuevos conocimientos y herramientas las cuales son usadas por el ser humano, dichas herramientas tienen cabida en diferentes áreas del desarrollo humano, logrando una mayor eficiencia, efectividad y productividad en las personas, incrementando así su calidad de vida.

En el área de salud estos avances han traído consigo numerosos artefactos que pueden ser implementados en la valoración de la marcha humana, recogiendo de esta manera los datos de la marcha humana y sus fases de manera precisa, es por esto que la implementación de los sistemas IMU en laboratorios han ido creciendo de manera rápida, siendo dispositivos de menor costo en su obtención y de fácil manejo, lo que significa que no requiere de personal especializado en este tema. Por otro lado, son de uso portátil, lo que hace que la valoración no solo sea dentro del ámbito hospitalario ya que puede ser implementado por fuera del mismo, lo que en efecto suma una gran ventaja contra los antiguos sistemas de captura para la valoración de la marcha debido a su tamaño y peso, estos sensores disminuyen o eliminan posibles alteraciones en el momento de la locomoción que otros sistemas de gran tamaño puedan causar haciendo inválidas o erróneas las medidas obtenidas.

De esta manera, las Unidades de Medición Inercial (IMU por sus siglas en inglés), son pequeños dispositivos los cuales transmiten

en tiempo real datos específicos de lo que se desea documentar, estos dispositivos cuentan con fácil acceso a los datos obtenidos desde teléfonos, concentradores, tabletas, computadoras o servidores.

Por lo anterior se le cataloga como un producto ideal para estudios clínicos, seguimientos, creación de prototipos, análisis de la marcha, juegos, prevención de caídas, lo anteriormente mencionado es gracias a la ejecución de los movimientos por medio del acelerómetro, el cual tiene el alcance de registrar y calcular la velocidad en relación con la ejecución del movimiento, catalogándolo como una herramienta de alta tecnología para la captura y análisis del movimiento.

Esta temática desempeña un gran papel en el campo especializado de la fisioterapia, ya que dentro de los procesos de rehabilitación de fisioterapia se efectúa el análisis del movimiento corporal humano, el cual requiere estrategias como el uso de los sensores inerciales los cuales pueden orientar la rehabilitación y el tratamiento adecuado de los pacientes, por lo anterior se requiere que continúen en investigación los parámetros adecuados del proceso de rehabilitación, instrucciones rápidas y previas a seguir mediante el uso de esta tecnología, basadas en los resultados previos obtenidos.

La aplicación de los sensores inerciales en el ámbito de la salud ha tenido un gran crecimiento debido a las ventajas que ofrecen, lo cual permite conocer la kinésica en la locomoción humana de forma anticipada, una vez obtenida esta información es posible relacionar el diagnóstico y evaluación de posibles desórdenes de los movimientos causados por diversos factores neurológicos y osteomusculares.

## LOS SENSORES INERCIALES (IMU)

La investigación realizada habla acerca de la importancia de implementar nuevas herramientas para la valoración de la locomoción humana, mediante el uso de los dispositivos inerciales analizando diversos parámetros como la velocidad de la zancada, longitud de zancada, longitud de paso, ancho de paso, cadencia, ángulo de paso, orientación de los segmentos del cuerpo, orientación de los segmentos del cuerpo (Clave, 2016).

De este mismo modo, se realizó un estudio en el año 2021, cuyo objetivo era obtener los parámetros de la marcha más significativos mediante el uso IMUS, se determinó que la implementación de estas unidades de medida inercial en los momentos de la marcha, con respecto al tiempo de doble apoyo, velocidad del tiempo de

paso y número de pasos de la marcha son usadas para evaluar los problemas en la locomoción humana.

Por consiguiente, las mediciones que pueden ser analizadas dependerán de la posición de los sensores inerciales en el segmento deseado, dando como ejemplo si estos son situados en los pies, podrán medir datos relacionados con la posición del mismo en determinado momento de la marcha (ángulo de despegue, ángulo de impacto del talón y espacio libre.) (Herran, 2014).

Existen diversas generaciones de estos dispositivos portables, anteriores versiones han sido evaluadas en pequeños grupos de control y su validación ha demostrado ser confiable al momento de la comparación con otros sistemas diseñados con el mismo propósito.

En cada individuo es posible examinar estos patrones, los cuales serán documentados mediante el uso de estos sensores la velocidad, los pasos y la longitud de la zancada, cadencia, oscilaciones del centro de masa de la persona, cabe resaltar que, estos tipos de datos dependen de la posición en las que se sitúen dichos sensores, por ejemplo si se desea conocer los datos que arroja el giroscopio, los IMU deberán estar situados en las articulaciones conectadas por el correspondiente segmento, si se requiere conocer los datos de todo el cuerpo, deberán situarse en el centro de dicho segmento. (Ruiz, 2021).

Se debe tener en cuenta a la población en la que se usan estos sensores, ya que, los marcadores o reflectores para muchos resultan ser incómodos, especialmente en la población adulta mayor, causando así molestias al restringir el libre movimiento al momento de la evaluación. (Ruiz, 2021).

No obstante, estos sensores cuentan con una pequeña margen de error debido al lugar en el que estén situados, por ejemplo, si se presenta una modificación en la colocación con inclinación del IMU mayor o igual a  $10^\circ$ , esto afectaría en parte el rendimiento y la información que se pueda recolectar. (Saravanan, 2020).

Con respecto a otros sistemas optoelectrónicos se realiza la comparación de ambos sistemas, demostrando de este modo que, los dispositivos IMU demuestran parámetros de la marcha eficientes como en la evaluación de los parámetros espacio-temporales fundamentales de la marcha humana, gracias al registro eficiente y sencillo que desarrollan dichos dispositivos, lo cual hace que sean una opción viable y confiable para la cuantificación de la marcha en un entorno clínico y extra hospitalario, especialmente en poblaciones poco cooperativas o donde no se es posible utilizar un sistema de marcha optoelectrónico tradicional

de forma 3D. (Trojaniello, 2013).

Aun así, lo mencionado anteriormente demuestra la necesidad de un sistema confiable, eficaz, óptimo y portátil para el análisis, evaluación y seguimiento de la locomoción humana en los pacientes, desempeñando su rol en un ambiente cotidiano, lo que puede permitir al personal encargado de esta área análisis y resultados confiables en sus intervenciones.

Muchos de estos dispositivos constan de acelerómetro, magnetómetro y giroscopio, donde el magnetómetro se usa para seguir el norte magnético, para determinar la dirección de IMU. Hay muchos diseños de IMUs disponibles y de fácil acceso para los diferentes negocios en el mercado. (Zago, 2013).

Estos dispositivos portables han sido aplicados en diversos estudios para el análisis y la evaluación de la marcha humana en enfermedades neurodegenerativas como el Parkinson. Se evidenció que el uso de ésta tecnología aplicada en este grupo de enfermedad proporciona información real y precisa sobre la marcha de los pacientes, ha demostrado ser eficaz en cuanto a los parámetros de la marcha, se adapta fácilmente a su portador, demostrando así su portabilidad y aplicabilidad en diferentes entornos y en diversos participantes. (Goncalvez, 2013).

Otro estudio realizado en Alemania, demostró que al ser usados para la detección de cambios durante la marcha en los adultos mayores que presentaban enfermedad de Parkinson eran fiables, estos participantes eran evaluados en una pasarela electrónica mientras realizaban diferentes tareas de desplazamiento por el laboratorio (Romijnders, 2021).

Así mismo, el análisis de la marcha humana en individuos con Parkinson según un estudio realizado en Italia en el año 2021, se buscaba evidenciar el uso de estos dispositivos con respecto a los datos espacio-temporales que pudiesen recolectar de forma viable en los pacientes afectados, utilizando el Análisis Instrumentado de la Marcha (AG), dio como resultado una representación cuantitativa y objetiva de la función de la locomoción humana.

## REFLEXIÓN

## CONCLUSIÓN

Como conclusión gracias a los datos obtenidos durante la pasantía internacional de investigación, se evidencia que el uso de los dispositivos portables para la valoración de la marcha es un



método viable debido a su alta precisión al momento de medir los parámetros escogidos en los sujetos de prueba. Se demuestra que hay estudios acerca de la tele rehabilitación mediante el uso de estos dispositivos, permitiendo una correcta recuperación de la alteración presente en la población.

Se espera poder implementar todas las estrategias, e instrumentos y métodos aprendidos a lo largo de la pasantía en la población Vallecaucana, permitiendo de esta manera resolver los problemas relacionados con la movilidad e independencia de las diferentes poblaciones en sus actividades básicas cotidianas. Permitir innovar en el ámbito de la ciencia de la Salud con tecnología de punta, implementando así en los diferentes niveles de atención como en la promoción, prevención, intervención y rehabilitación.

Estos sensores inerciales pueden ser usados no sólo en el ámbito de la salud, es viable su uso en las aplicaciones desde el área de la ingeniería hasta el deporte y/o realidad virtual.

Todo su funcionamiento y aplicación podrá ser realizado mediante capacitaciones, realizando así el respectivo seguimiento de cada una de las personas evaluadas por estos dispositivos, mediante la base de datos del software Excel.

Igualmente, el uso de los IMUS generará facilidad al momento del análisis de la biomecánica corporal, debido a que presenta un pequeño margen de errores y no requiere de personal especializado para su aplicación.

Por lo cual tiene como ventaja su fácil acceso y manejo, con lo anteriormente demostrado, el uso de los sensores en un ambiente exterior es efectivos, permitiendo observar y analizar el comportamiento motor humano en un ambiente exterior, sin las interrupciones de luces, temperatura, equipos o cualquier otro factor que pueda intervenir en el movimiento personal de cada individuo.

Se espera la implementación de estos dispositivos portables en la evaluación de pacientes adulto mayor con patologías que alteren el movimiento corporal humano, con el fin de obtener resultados que puedan ser implementados en diferentes estrategias para evitar las caídas las cuáles conllevan a ser una de las principales causas de morbimortalidad de ésta población.

La estudiante seguirá en la investigación de la Universidad de Purdue, el paso a seguir será la aplicación de los IMUs en población adulta mayor, pudiendo así recolectar información que permita generar estrategias para evitar el alto riesgo a caída que tiene esta población en específico debido a procesos naturales de envejecimiento.

La realización de esta pasantía internacional de investigación en la Universidad de Purdue, Indiana ha creado una nueva línea en mi vida personal y profesional, un espacio que ha ampliado mi visión y el manejo de pacientes en el exterior, trayendo consigo grandes expectativas al momento de realizar una maestría o doctorado en esta universidad altamente reconocida por su calidad en investigación. El haber sido parte de este proceso desarrolló otro grado de madurez e independencia al momento de estar en un lugar ajeno a lo conocido y experimentar nuevos espacios con personas extranjeras, creando así nuevas estrategias de resolución de problemáticas o situaciones en los que me haya visto involucrada. La convivencia en nuevo espacio y el desarrollo de diversos temas en laboratorios de punta de la Universidad de Purdue, demuestra la importancia de invertir en investigación es en los diferentes ámbitos profesionales con el fin de aportar mayor conocimiento a la ciencia y enfrentar temas que puedan estar afectando o trayendo consigo impedimentos con respecto a la calidad de vida de los individuos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Conect, I. (2019, 26 mayo). *Purdue university*. hotcourseslatinoamerica. Recuperado 21 de febrero de 2022, de <https://www.hotcourseslatinoamerica.com/study/us-usa/school-college-university/purdue-university/72090/international.html>
- Universidad Santiago de Cali. (26 marzo del 2022). Fisioterapia. <https://salud.usc.edu.co/index.php/programas-de-grado/cali/profesionales/fisioterapia>
- Clave P. Fases de la marcha humana Human walking phases. Scielo [Internet]. 2016;2(44-99):1-7. Available from: <https://www.elsevier.es/es-revista-revista-iberoamericana-fisioterapia-kinesiologia-176-articulo-fases-marcha-humana-13012714>
- Muro-de-la-Herran, A., Garcia-Zapirain, B. y Mendez-Zorrilla, A. (2014). Métodos de análisis de la marcha: una descripción general de los sistemas portátiles y no portátiles, destacando las aplicaciones clínicas. *Sensores (Basilea, Suiza)*, 14 (2), 3362-3394. <https://doi.org/10.3390/s140203362>
- Ruiz-Ruiz, L.; Jimenez, A.R.; Garcia-Villamil, G.; Seco, F. Detecting Fall Risk and Frailty in Elders with Inertial Motion Sensors: A Survey of Significant Gait Parameters. *Sensors* 2021, 21, 6918. <https://doi.org/10.3390/s21206918>
- Saravanan, P., Yao, J. y Menold, J. (2020). Sistema portátil de análisis de marcha con integración de sensor Kinect y unidades

de medición inercial. Actas del Simposio Internacional sobre Factores Humanos y Ergonomía en el Cuidado de la Salud, 9 (1), 73-78. <https://doi.org/10.1177/2327857920091044>

Trojaniello, D., Cereatti, A., & Della Croce, U. (2013). Comparative Evaluation of Gait Event Detection Methods Based on a Single IMU: Error Sensitivity Analysis to IMU Positioning. *Biosystems & Biorobotics*, 741-745. doi:10.1007/978-3-642-34546-3\_120

Matteo Zago, Chiarella Sforza, Ilaria Pacifici, Veronica Cimolin, Filippo Camerota, Claudia Celletti, Claudia Condoluci, Maria Francesca De Pandis, Manuela Galli, Gait evaluation using inertial measurement units in subjects with Parkinson's disease, *Journal of Electromyography and Kinesiology*, Volume 42, 2018, Pages 44-48, ISSN 1050 6411, <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2018.06.009>.

Helena R. Gonçalves, Ana Rodrigues, Cristina P. Santos, Gait monitoring system for patients with Parkinson's disease, *Expert Systems with Applications*, Volume 185, 2021, 115653, ISSN 0957-4174, <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.115653>.

Romijnders, R., Warmerdam, E., Hansen, C. et al. Validation of IMU-based gait event detection during curved walking and turning in older adults and Parkinson's Disease patients. *J NeuroEngineering Rehabil* 18, 28 (2021). <https://doi.org/10.1186/s12984-021-00828-0>

### Cita recomendada

Agreda Diaz, D. S. (2022). Uso de los sensores inerciales en la valoración de la locomoción humana en ambiente extra hospitalario. *Nexo Global. Artículos de reflexión*, pp. 1-10.