

Revisión del estado del arte de sistemas para registro del movimiento del cuerpo
humano-geoposicionamiento

Andrés Felipe Delgado

Hector Manuel Quenguan Ceballos

Universidad CESMAG

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería Electrónica

San Juan de Pasto

2025

Revisión del estado del arte de sistemas para registro del movimiento del cuerpo
humano-geoposicionamiento

Andrés Felipe Delgado Zutta

Héctor Manuel Quenguan Ceballos

Asesor

Ing. Camilo Arturo Lagos Mora

Proyecto de Trabajo de Grado presentado al Comité Curricular del Programa de
Ingeniería Electrónica en la modalidad de Monografía

Universidad CESMAG

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería Electrónica

San Juan de Pasto

2025

Contenido

Introducción	6
1. El Problema de investigación.....	8
1.1 Objeto de Investigación	8
1.2 Línea de Investigación	8
1.3 Sub línea de Investigación	8
1.4 Descripción del Problema.....	9
1.5 Formulación del Problema.....	10
1.6 Objetivos.....	10
1.6.1 Objetivo General.....	10
1.6.2 Objetivos Específicos.....	10
1.7 Justificación	10
1.8 Viabilidad.....	11
1.9 Delimitación.....	11
2. Tópicos del Marco Teórico	13
2.1 Antecedentes	13
2.1.1 Estado sobre la situación del uso y utilidades potenciales de las nuevas tecnologías para medir actividad física. Revisión sistemática de la literatura.....	13
2.1.2 Descripción del Movimiento Humano basado en el marco de Frenet Serret y datos tipo MOCAP.....	13

2.1.3 Estimación tridimensional de la postura humana a partir de IMU dispersas mediante un codificador temporal y un decodificador de regresión.....	15
2.1.4 Sensores inerciales para el análisis del movimiento humano: una revisión exhaustiva.	16
2.2 Enunciados de los supuestos teóricos	16
2.2.1 Análisis PRISMA como metodología para revisión sistemática: una aproximación general.....	16
3. Metodología	18
3.1 Tipo de investigación.....	18
3.2 Diseño	19
3.2.1 Planificación	19
3.2.2 Búsqueda.....	20
3.2.3 Selección.....	20
3.2.4 Evaluación.....	20
3.2.5 Extracción y síntesis	21
3.3 Universo y muestra	21
3.4 Técnicas de recolección de información.....	21
3.5 Instrumentos de recolección de información.....	22
4. Resultados	23
4.1 Cadena de búsqueda.....	23

4.2	Criterios de inclusión y exclusión.....	24
4.3	Selección de Artículos	25
4.4	¿Qué tipo de sistemas que registran el movimiento corporal se utilizan?	41
4.5	Limitaciones de los Sistemas de Registro del Movimiento Humano	44
4.6	¿De qué manera los sistemas que registran el movimiento corporal ubican sus sensores y realizan la recolección de datos?	47
5.	Análisis de Resultados	49
6.	Conclusiones	54
7.	Recomendaciones	60
8.	Referencias.....	61

Introducción

En la actualidad, con el avance de los sistemas de medición, el análisis del movimiento del cuerpo humano se ha mostrado como un campo de investigación crucial, ya que abarca varias disciplinas como el deporte, la salud, la localización, entre otras. El poder medir, registrar, modelar y comprender el movimiento corporal de forma muy precisa es una herramienta esencial para el diagnóstico clínico, la rehabilitación, el rendimiento deportivo o prevenir lesiones. Sin embargo, la medición del movimiento del cuerpo humano presenta dificultades metodológicas debido a la variedad de sistemas que son capaces de hacer la medición, teniendo en cuenta los diferentes grados de precisión, los costos y las limitaciones de cada sistema. También existe la necesidad de integrar el registro del movimiento con sistemas de geoposicionamiento que sean capaces de localizar en entornos reales la actividad corporal para mostrar el desplazamiento humano.

Con esta problemática, la actual investigación presenta una revisión sistemática del estado del arte de los sistemas que registran el movimiento del cuerpo humano con capacidades de geoposicionamiento. La finalidad es identificar, clasificar y analizar las respuestas tecnológicas más convenientes y relevantes desarrolladas en los últimos años sobre este tipo de sistemas.

Los resultados de la revisión sistemática muestran que usar sensores inerciales (IMU), sistemas híbridos GNSS/INS, redes de sensores y algoritmos ha mejorado la precisión, la autonomía y la adaptabilidad de los sistemas que registran el movimiento del cuerpo humano. Estos sistemas dan paso a la monitorización de pacientes, al incremento de la eficacia en rehabilitaciones y abren campo en el análisis en contextos clínicos, deportivos y de localización. El estudio también muestra las limitaciones que tienen los sistemas, como en su calibración,

sincronización, la deriva de mediciones o su portabilidad. Esto constituye una base sólida para orientar futuras investigaciones con sistemas más integrados, precisos y accesibles.

El documento abarca la metodología PRISMA. Realiza un proceso riguroso de búsqueda, selección, evaluación y síntesis de la información que proviene de bases de datos como Scopus, IEEE Y ScienceDirect. El propósito es establecer un enfoque actualizado de los avances, limitaciones y medición del movimiento del cuerpo humano. Se muestran los resultados obtenidos, su análisis, en el que se destacan los avances tecnológicos, y se exponen las conclusiones y recomendaciones obtenidas sobre el estudio, buscando fortalecer las futuras investigaciones.

1. El Problema de Investigación

1.1 Objeto de Investigación

Sistemas de medición de movimientos del cuerpo humano.

1.2 Línea de Investigación

Automatización y control: La línea de sistemas de automatización y control de la Universidad CESMAG desarrolla procesos investigativos orientados al modelamiento, simulación, diseño, desarrollo y evaluación de algoritmos de control, sistemas de control, sistemas inteligentes, control de procesos industriales, sistemas embebidos, acondicionamiento y procesamiento de señales, robótica, domótica e inteligencia artificial. (Programa de Ingeniería Electrónica, 2015).

1.3 Sub línea de Investigación

Automatización: Según Deloitte(2016) la automatización de tareas repetitivas y basadas en reglas de operación se logra mediante el procesamiento automatizado. Los robots de software son usados para capturar e interpretar transacciones a través de aplicaciones de TI, permitiendo la manipulación de datos y la comunicación entre diferentes sistemas sin intervención humana. De esta manera, se pueden crear sistemas que funcionan como una fuerza laboral sin necesidad de intervención humana..

1.4 Descripción del Problema

La verificación precisa de la movilidad del cuerpo humano es importante para numerosos ámbitos como la medicina rehabilitadora, el deporte, la ergonomía y la investigación médica. Específicamente, dentro del ámbito de la terapia musculoesquelética, observar la manera en la que se mueve un individuo posibilita determinar su progreso, enmendar los errores de ejecución y evitar que se repitan o se generen nuevas lesiones.

Con el avance de los sensores iniciales, electromiográficos y de geoposicionamiento, se han desarrollado diversas soluciones que buscan capturar de manera automatizada y segura el movimiento corporal en diferentes ambientes, incluso fuera de los establecimientos de salud. Estos sistemas no solo permiten registrar flujos de movimiento, sino también ubicar a la persona en el espacio, proporcionando una caracterización más completa de su actividad física.

A pesar de ello, el panorama de hoy en día evidencia una alta diversidad de métodos, técnicas y grados de exactitud. Algunos sistemas tienen como objetivo la portabilidad a través de la pérdida de exactitud, mientras que otros logran obtener mediciones muy precisas; sin embargo, son demasiado costosos o poco practicables para un uso cotidiano. Además, todavía existen problemas como la correcta instalación de los sensores, la interrelación entre los dispositivos, la variedad de usuarios y la manera en que se interpretan las cifras en tiempo real.

En consecuencia, es necesario realizar una investigación sistemática que identifique, clasifique y evalúe las soluciones existentes para el registro de la movilidad corporal y el posicionamiento geográfico. Esto permitirá resaltar avances, identificar fallas tecnológicas persistentes y reconocer oportunidades de innovación, especialmente en escenarios donde el seguimiento a distancia del paciente es esencial para garantizar la efectividad de los procesos de rehabilitación.

1.5 Formulación del Problema

¿Cuál es el estado del arte de los sistemas que registran el movimiento del cuerpo humano con capacidades de geoposicionamiento?

1.6 Objetivos

1.6.1 *Objetivo General*

Construir el estado del arte de los sistemas que registran el movimiento del cuerpo humano.

1.6.2 *Objetivos Específicos*

- Definir y clasificar los artículos científicos que aborden las tecnologías utilizadas para el registro del movimiento corporal humano.
- Seleccionar los estudios más relevantes y recientes sobre el tema, priorizando aquellas fuentes de mayor credibilidad.
- Sintetizar la información obtenida de los artículos científicos seleccionados.

1.7 Justificación

La revisión sistemática es necesaria, ya que, a pesar de que las tecnologías capaces de medir el movimiento del cuerpo humano se desarrollan constantemente, no existe un registro sobre revisiones sistemáticas que muestren de manera específica los datos necesarios para evaluar, analizar y sintetizar la información sobre sistemas que registran el movimiento corporal humano con relación al geoposicionamiento.

Esta investigación analiza el uso de sensores iniciales (IMU), sistemas híbridos GNSS/INS, redes de dispositivos y algoritmos, lo cual permite identificar los avances recientes,

las limitaciones existentes y las oportunidades de mejora en el seguimiento del movimiento del cuerpo humano. Esto facilita la comprensión de cómo estos sistemas pueden aplicarse en ámbitos como la rehabilitación, el deporte y la localización, especialmente en áreas donde aún existen vacíos de conocimiento.

Asimismo, esta revisión sistemática de la literatura **actualiza el conocimiento** disponible, proporciona una base teórica y tecnológica sólida para futuras investigaciones y promueve el desarrollo de sistemas más precisos, portátiles y accesibles para el análisis del movimiento humano con geoposicionamiento.

1.8 Viabilidad

La investigación es viable, ya que consiste en la revisión de artículos relacionados con los sistemas que registran el movimiento del cuerpo humano. Para ello, se utilizaron bases de datos como Scopus y ScienceDirect, a las cuales la universidad tiene acceso, así como IEEE Xplore (ieeexplore.ieee.org), mediante la licencia vigente del asesor del proyecto, Ing. Camilo Arturo Lagos Mora. También se consultaron ResearchGate y SpringerLink, entre otras fuentes académicas.

La monografía se centró en la lectura y análisis de dichos artículos con el fin de responder preguntas que permitan establecer el estado del arte de los sistemas de registro del movimiento corporal humano.

1.9 Delimitación

Esta investigación aborda las siguientes preguntas:

- ¿Qué tipo de sistemas se utilizan?

- ¿De qué manera los sistemas que registran el movimiento corporal ubican sus sensores y realizan la recolección de datos?
 - ¿Cuáles son las limitaciones sobre los sistemas?

2. Tópicos del Marco Teórico

2.1 Antecedentes

Para iniciar la investigación del estado del arte de los sistemas que registran el movimiento del cuerpo humano, es fundamental reconocer que existen conocimientos previos que sirven como punto de partida. En esta sección, se recopilan estudios, descubrimientos y reflexiones de autores que han contribuido al acervo de información sobre el tema propuesto para este trabajo.

2.1.1 Estado sobre la situación del uso y utilidades potenciales de las nuevas tecnologías para medir actividad física. Revisión sistemática de la literatura.

En la revisión realizada en el año 2020 por C. Collazo, J. Gonzales, J. Bernal y E. Cubo sobre el uso de las nuevas tecnologías para evaluar actividad física y su relación con la salud, evalúa y selecciona 39 artículos encontrados en las bases de datos PubMed, Web of Science, Medline y Science Direct, donde todo el proceso se realiza con la metodología PRISMA, destacando los dispositivos electrónicos inteligentes (DEI), los cuales registran la actividad física diurna y nocturna con sensores de movimiento, constituyendo biomarcadores digitales.

La revisión sistemática asegura que los DEI son la opción más acertada al momento de la monitorización remota continua de la actividad física; también muestra las limitaciones que estos tienen, como la ausencia de patrones estandarizados por edad, sexo y salud, y finalmente muestra la necesidad de más investigaciones que fortalezcan la relación entre los datos que se obtienen a través de los DEI y el estado de salud de las diferentes poblaciones.

2.1.2 *Descripción del Movimiento Humano basado en el marco de Frenet Serret y datos tipo MOCAP*

En el presente artículo, realizado en 2021 por J. Hernández, J. Valencia, A. Restrepo, se refiere a la clasificación del movimiento humano, que se ha convertido en una necesidad dentro del desarrollo tecnológico actual que ayuda a determinar la postura de un individuo; de ahí que sea fundamental rastrear el movimiento de las extremidades y el tronco, así como distinguir esta posición frente a otros sujetos o tipos de desplazamientos. Esto ha impulsado la necesidad de contar con datos precisos y algoritmos que faciliten dicha clasificación, de ahí que el presente estudio analice la capacidad de discriminación de datos de captura de movimiento aplicados a la rehabilitación física. Para ello, se emplearon dispositivos como el Kinect de Microsoft y sistemas de marcadores ópticos para registrar la posición de los sujetos. Además, se generaron atributos del movimiento utilizando el marco de Frenet-Serret, evaluando su desempeño discriminativo mediante algoritmos de máquinas de soporte vectorial, redes neuronales y k vecinos más cercanos. Los resultados obtenidos muestran un 93.5% de precisión en la clasificación de los datos capturados con Kinect, y un 100% de éxito en los movimientos registrados con marcadores ópticos.

Para los investigadores, el aporte que deja el estudio son los sistemas de captura altamente efectivos para clasificar el movimiento humano en rehabilitación física, validando el uso de tecnologías y algoritmos que permiten una discriminación precisa de posturas y desplazamientos, destacando la viabilidad de integrar herramientas más accesibles en entornos clínicos sin sacrificar significativamente la exactitud de los datos.

2.1.3 Estimación tridimensional de la postura humana a partir de IMU dispersas mediante un codificador temporal y un decodificador de regresión.

Zhang, Zhao, Yang, Wang y Chen (2023) presentan un enfoque innovador para la estimación de pose tridimensional (3D), la cual se aplica en múltiples análisis del movimiento humano, y la trayectoria basada en inercia se adopta progresivamente. Los sistemas con IMU suelen requerir sensores densos y calibración compleja, lo que limita la libertad del sujeto. En respuesta, los métodos con IMU dispersas han ganado atención, empleando redes neuronales para reconstruir poses a partir de características temporales, aunque aún enfrentan problemas de vibración, inclinación y ambigüedad. El estudio propone mejorar la estimación de pose 3D mediante la fusión de características temporales y espaciales, con una red codificador-decodificador multietapa compuesta por un codificador convolucional temporal y un decodificador de regresión cinemática. Los experimentos en los conjuntos de datos Total Capture y DIP-IMU muestran una reducción del error medio por articulación del 13,6 % y 19,4 %, evidenciando que la integración temporal y la topología cinemática humana mejoran la precisión de la postura.

El aporte del estudio, es el avance hacia sistemas de geoposicionamiento humano, que contribuye a la posibilidad de integrar técnicas de sistemas librados de seguimiento y localización en interiores y exteriores, además se demuestra que no es necesario depender de configuraciones densas y complejas de sensores, pues con IMUs dispersas y técnicas de fusión inteligente se logra reconstruir el movimiento con precisión, al igual que la integración temporal y espacial, donde se introduce un modelo de red codificador-decodificador multietapa que combina características temporales con la topología cinemática del cuerpo humano, mostrando que la consideración biomecánica mejora la calidad de la estimación cuantitativa comprobada.

2.1.4 *Sensores inerciales para el análisis del movimiento humano: una revisión exhaustiva.*

En su revisión, García de Villa, Casillas Pérez, Jiménez-Martín y García Domínguez (2024) analizan el uso de sensores inerciales (IMU) con el movimiento corporal, mostrando principalmente la reconstrucción tridimensional de la postura y el seguimiento del movimiento humano, donde se comparan las diferentes propuestas encontradas en la literatura hasta 2022, incluyendo sensores, aplicaciones, algoritmos y métodos de validación.

La revisión resalta ventajas de las IMU ante los sistemas ópticos, su aplicabilidad en el uso cotidiano y de técnicas de aprendizaje automático para reducir los errores de cálculo y mejorar la precisión, indicando una visión actualizada de las tecnologías inerciales, sus avances y futuras líneas de investigación que tengan como tema el registro y geoposicionamiento humano.

2.2 Enunciados de los supuestos teóricos

2.2.1 *Análisis PRISMA como metodología para revisión sistemática: una aproximación general*

En el artículo realizado por William Barquero Morales en 2022 se hace un análisis descriptivo sobre la revisión sistemática desde la metodología PRISMA, incorporando varios aspectos conceptuales y metodológicos de las revisiones sistemáticas que han emergido en los últimos años, como ha sido la terminología utilizada para la revisión sistemática y un metaanálisis, que hasta la fecha es algo confusa e inconsistente, además el artículo se basa en una investigación documental, incluidas publicaciones oficiales y científicas, sobre la revisión sistemática, lo que permite la síntesis del conocimiento existente sobre el tópico de investigación, buscando de esta forma evidenciar la utilidad de la metodología de revisión sistemática en el campo de la atención pre hospitalaria, se llevó a cabo una matriz bibliográfica donde se documentaron

los textos analizados, esto les permitió, discriminar las investigaciones, logrando de esta forma encontrar problemas en los procesos investigativos en la atención pre hospitalaria en sus conclusiones brindan una pequeña justificación del porque la importancia de las revisiones sistemáticas dentro del estudio del sistema de emergencias médica que permitan tener nuevos paradigmas y fundamentos epistemológicos para la formulación de una propuesta de modelo de sistema de emergencias médicas con el fin de mejorar así los indicadores de calidad de la atención prehospitalaria y como apoyo para la toma de decisiones de mejora para las que fueron construidas.

El estudio aporta una síntesis conceptual y metodológica sobre la revisión sistemática desde el enfoque PRISMA, donde se identifican vacíos y problemas en investigaciones con relación a la atención hospitalaria, además de ofrecer fundamentos teóricos y metodológicos que puedan servir como base para la formulación de nuevos paradigmas y modelos de sistemas de emergencia médicas, orientados a mejorar la calidad del servicio y el respaldo de la toma de decisiones en este ámbito.

3. Metodología

La presente investigación se llevó a cabo en la Universidad CESMAG, de la ciudad de San Juan de Pasto, utilizando sus bases de datos y las instalaciones para el correcto desarrollo del presente documento, la duración aproximada fue de dos semestres, con una dedicación aproximada de 5 horas semanales para la obtención de información, diagnóstico, análisis de información, se inició con los lineamientos básicos para el desarrollo del proyecto, posteriormente se mostró el desarrollo de los capítulos que son el resultado de los objetivos específicos enunciados en el mismo, finalmente se realizaron las conclusiones, recomendaciones, bibliografía y anexos del proyecto, además, este trabajo abarca temas como seguimiento ocular, tecnologías de seguimiento y ramas de la ingeniería.

El desarrollo del presente trabajo de grado en la modalidad de investigación de monografía inicia con la revisión literaria de la tecnología con el fin de proporcionar respuestas a las preguntas planteadas.

Se hizo uso de artículos que correspondan con la siguiente cadena de búsqueda y sus términos relacionados: "dispositivos de movimiento" OR "sensores de movimiento" OR "sistemas de registro de movimiento" OR "sistemas de seguimiento de movimiento") AND ("dispositivos portátiles de registro de movimiento" OR "dispositivos vestibles de movimiento" OR "registro de movimiento del cuerpo humano" ("body motion tracking" OR "human motion tracking" OR "human movement tracking" OR "body movement tracking" OR "motion capture" OR "kinematic measurement") AND ("wearable sensors" OR "inertial sensors" OR "accelerometers" OR "gyroscopes" OR "magnetometers" OR "motion sensors") AND ("review" OR "systematic review" OR "state of the art" OR "literature review" OR "comprehensive review")

Esta cadena de búsqueda combina términos relacionados con los sistemas de registro de movimiento del cuerpo humano (como "body motion tracking" y "motion capture") con tipos específicos de sensores utilizados para capturar datos de movimiento (como "wearable sensors" e "inertial sensors"). Además, se incluyen términos relacionados con la revisión sistemática de la literatura, como "review" y "systematic review", para asegurarse de que los artículos obtenidos sean relevantes para el objetivo de la revisión sistemática del estado del arte.

3.1 Tipo de investigación

La investigación tiene un enfoque descriptivo, ya que busca analizar artículos relacionados con los sistemas que registran el movimiento del cuerpo humano, utilizando plataformas como Scopus, IEEE y Google Académico con el objetivo de construir cuál es el estado del arte de los sistemas que registran el movimiento del cuerpo humano.

3.2 Diseño

Este diseño se basa en combinar la metodología PRISMA, la cual se enfocará en utilizar solo las partes esenciales, y la revisión literaria sistemática, tal como es definida por la Universidad de Keele (Barbara Kitchenham y Charters 2007), que corresponde a:

3.2.1 Planificación

Se realizan diferentes criterios como año de publicaciones más actuales, tipo de documento, lugar de publicación para poder hacer una buena búsqueda y filtrado; con esto se busca tener una mejor fuente de información y responder cualquier pregunta realizada durante la realización del proyecto.

3.2.2 *Búsqueda.*

La búsqueda se desarrolló conforme a la metodología PRISMA 2020; para ello, se decidió realizar una búsqueda exhaustiva en las bases de datos Scopus, IEEE y ScienceDirect entre los meses de marzo y abril de 2024, con un rango temporal de 2018 a 2025, incluyendo estudios relevantes y recientes sobre sistemas que registran el movimiento del cuerpo humano con geoposicionamiento. Se emplearon términos en inglés con operadores booleanos (AND, OR), donde la cadena de búsqueda utilizada fue:

("devices" OR "system") AND ("register" OR "coordinates" OR "displacement" OR "sensor" OR "spatial") AND ("human" OR "motion") AND ("GIS" OR "GNSS" OR "GPS" OR "geopositioning" OR "georeferencing" OR "geospatial")

La búsqueda se limitó a artículos científicos publicados en inglés; se excluyeron documentos duplicados, publicaciones no científicas y artículos que no tuvieran tema con el registro del movimiento corporal humano y geoposicionamiento.

3.2.3 *Selección.*

Se realizó una selección de los distintos documentos encontrados en la búsqueda de información; en esto se excluirán diferentes documentos que puede que se desvíen del tema principal de la investigación o puede que hablen de lo mismo.

3.2.4 *Evaluación*

Se realizó una lectura en profundidad de los documentos o artículos que se seleccionaron, para poder destacar los más importantes o relevantes, con los cuales se puede resolver parcialmente o en su totalidad las distintas preguntas y abordar el problema de investigación planteado. Esto permitió llevar a cabo la extracción y síntesis de la información necesaria para cumplir con los objetivos de la investigación.

3.2.5 *Extracción y síntesis*

Se extrajeron respuestas de los artículos previamente seleccionados, para luego clasificarlos y organizarlos con el fin de proporcionar una solución basada en fundamentos a las preguntas o incógnitas planteadas en el proyecto correspondiente.

3.3 Universo y muestra

Artículos científicos obtenidos de revistas que contengan datos e información sobre sistemas utilizados para la medición y seguimiento del movimiento del cuerpo humano, teniendo en cuenta los artículos seleccionados para la presente investigación.

3.4 Técnicas de recolección de información.

Para esta investigación, se realiza una revisión cuidadosa de la literatura a través de la consulta en bases de datos académicas confiables como Scopus, IEEE y ScienceDirect. El objetivo es encontrar artículos relevantes y de calidad que permitan entender cómo está avanzado el conocimiento en el área de estudio. Esta búsqueda se lleva a cabo de forma organizada y detallada, con el fin de tener una visión clara, actualizada y completa del estado del arte sobre el tema.

3.5 Instrumentos de recolección de información.

Esta monografía se fundamenta en una exhaustiva revisión de literatura científica existente sobre el movimiento del cuerpo humano y los dispositivos utilizados para medirlo. Para recopilar información precisa y relevante, se emplearon motores de búsqueda en línea. Posteriormente, se realizó un análisis de contenido detallado para revisar y examinar críticamente los documentos identificados. Además, se llevó a cabo un análisis de citas para identificar investigaciones anteriores que hayan sido ampliamente citadas, lo que sugiere su importancia e influencia en el campo de estudio. Complementariamente, se utilizó el programa Microsoft Excel como instrumento para organizar, desechar y guardar artículos obtenidos.

4. Resultados

4.1 Cadena de búsqueda

Se empleó Science Direct, IEEE y Scopus para identificar los artículos científicos que tratan sobre la interacción con sistemas que monitorean el movimiento del cuerpo humano utilizando los siguientes términos específicos junto con los operadores booleanos AND y OR para llevar a cabo una revisión sistemática de la literatura:

- Devices
- System
- Register
- Coordinates
- Displacement
- Sensor
- Spatial
- Human
- Motion
- GIS
- GNSS
- GPS
- Geopositioning
- Georeferencing
- Geospatial

("devices" OR "system") AND ("Register" OR "coordinates" OR "displacement" OR "sensor" OR "spatial") AND ("human" OR "motion") AND ("GIS" OR "GNSS" OR "GPS" OR "Geopositioning" OR "georeferencing" OR "geospatial")

4.2 Criterios de inclusión y exclusión

Para obtener la información requerida, se establecieron criterios específicos de inclusión y exclusión; para los criterios de inclusión se tuvo en cuenta los artículos científicos en inglés y español sobre ingeniería, publicados entre los años 2018 a 2025; dichos estudios deberían abordar de manera explícita la interacción con sistemas que registren o monitorean el movimiento, como GPS, GNSS o herramientas geoespaciales, y que estén incluidos en bases de datos como Scopus, ScienceDirect o IEEE; se excluyeron los artículos que no ponían en práctica las anteriores aplicaciones.

Tabla 1 *Criterios de inclusión y exclusión de los artículos.*

Numeración	Criterios de Inclusión	Criterios de exclusión
1	Estudios que investiguen dispositivos de registro de movimiento del cuerpo humano que incluyan geoposicionamiento como parte de su funcionalidad.	Estudios que no estén relacionados específicamente con dispositivos que registren el movimiento del cuerpo humano con geoposicionamiento.
2	Artículos que abordan el seguimiento de movimiento	Documentos que presenten una revisión adecuada del estado del arte, como

mediante el uso de tecnologías de trabajos de divulgación, opiniones o geoposicionamiento. cartas al editor.

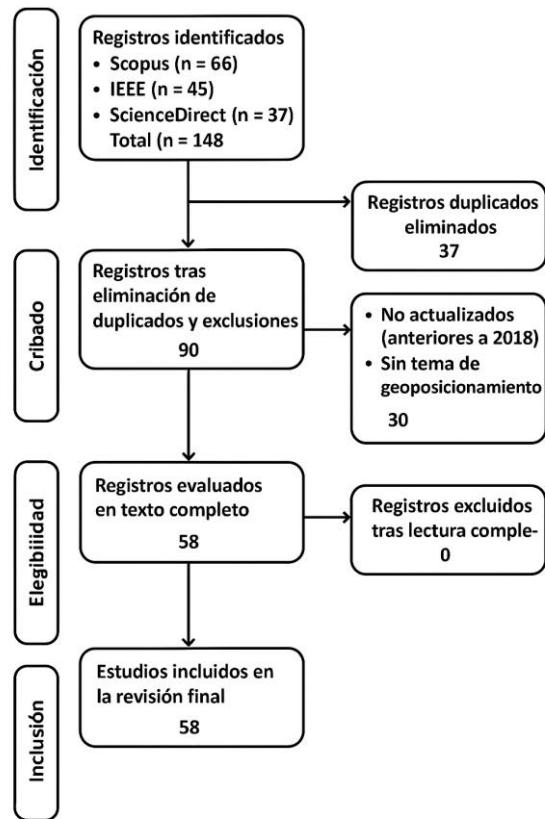
3 Estudios realizados en los últimos 7 años para asegurar la relevancia de la información recopilada. Estudios demasiado antiguos que no sean representativos de las tecnologías actuales de seguimiento de movimiento y geoposicionamiento.

4 Artículos que se centren en sistemas relacionados con machine learning, deep learning y drones.

4.3 Selección de Artículos

Según los criterios de inclusión y exclusión predefinidos, se rechazaron los artículos que no cumplían con los requisitos y se seleccionaron aquellos más relevantes y actualizados, como se indica en el siguiente diagrama:

Grafica 1. *Diagrama PRISMA*



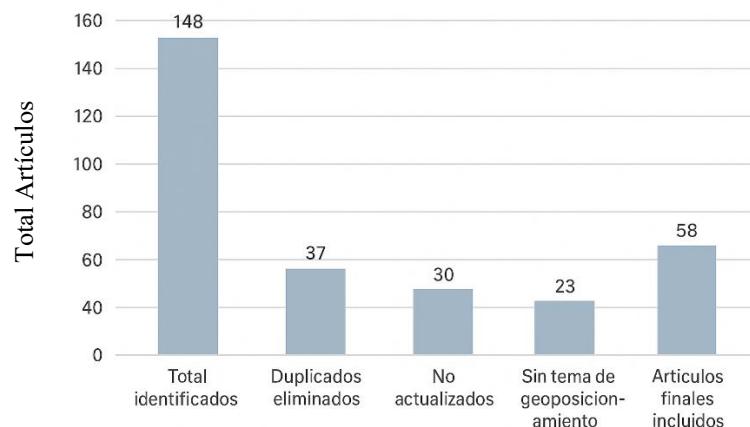
Fuente: Diagrama de flujo PRISMA basado en Page et al. (2020)

Los artículos seleccionados fueron escogidos mediante la aplicación sistemática de criterios de inclusión y exclusión previamente establecidos. La tabla evidencia que, para cada estudio considerado, se verificó el cumplimiento de criterios clave, como la temática: se incluyeron únicamente aquellos trabajos que integraban tecnologías o recursos afines para el monitoreo del movimiento, lo que garantizó la pertinencia del objeto de estudio y delimitó el enfoque metodológico centrado en el seguimiento del movimiento. Asimismo, se excluyeron los documentos redactados en idiomas no comprensibles para los revisores, asegurando la posibilidad de una lectura crítica. Aunque no se indica explícitamente en la imagen, se infiere que también se consideraron otros criterios, como la disponibilidad del texto completo, el año de publicación y el tipo de estudio.

La aplicación de estos filtros permitió reducir la muestra a un conjunto de artículos que cumplen con las condiciones necesarias para ser analizados rigurosamente, en coherencia con los objetivos de la revisión.

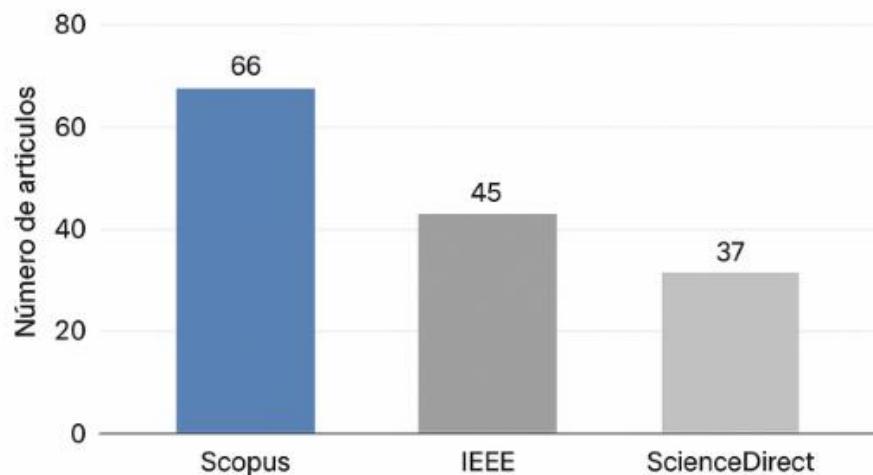
En el diagrama PRISMA se presenta el número de artículos seleccionados para esta revisión sistemática, con un total de 148 documentos inicialmente identificados en diversas bases de datos, especialmente en Scopus 66, IEEE 45 y ScienceDirect 37. Se consideraron únicamente estudios publicados entre 2018 y 2025, ya que el objetivo principal era analizar investigaciones recientes. En consecuencia, se eliminaron 37 artículos por estar duplicados, 30 por no estar actualizados y 23 artículos que no tenían incluido el tema de geoposicionamiento. Así, se seleccionaron 58 artículos, los cuales fueron leídos e incluidos por los investigadores en la revisión, cumpliendo con todos los criterios establecidos. Este proceso garantiza que la información utilizada es actual, relevante y confiable. Además, el seguimiento del modelo PRISMA aporta transparencia al estudio, permitiendo comprender claramente cómo fueron seleccionados los documentos, y asegurando la calidad, actualidad y pertinencia del análisis realizado.

Gráfica 2. Resumen de Artículos Totales



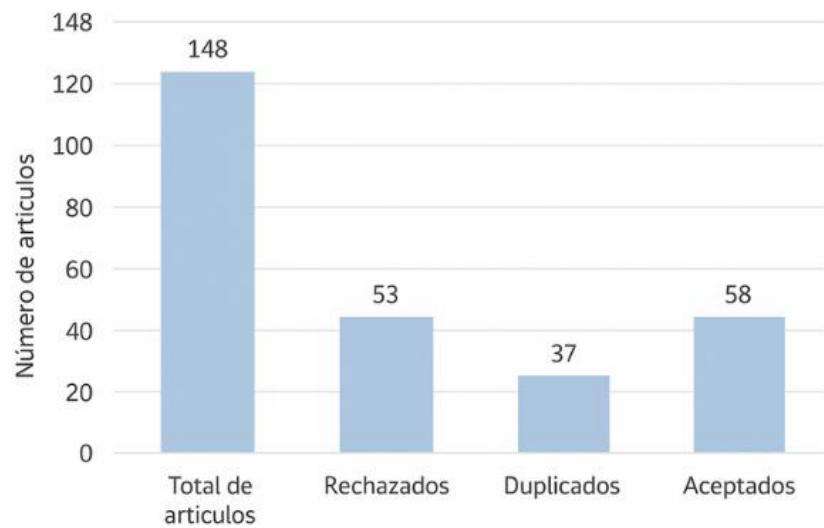
Fuente. Esta investigación

Gráfica 3. *Distribución de Artículos por base de datos*



Fuente. la presente investigación

Gráfica 4. *Total de Artículos Rechazados, Duplicados y Aceptados*



Fuente. la presente investigación

Tabla 2. *Artículos Aceptados según criterios de inclusión con respuesta a las preguntas*

de investigación

TITULO	AÑO	AUTOR	PREGUNTA 1	PREGUNTA 2	PREGUNTA 3	UBICACIÓN
A Pedestrian Dead-Reckoning System for Walking and Marking Time Mixed Movement Using an SHSs Scheme and a Foot-Mounted IMU	2019	Wu, Yuan and Zhu, Haibing and Du, Qingxiu and Tang, Shuming	sistemas PDR INS (Inertial Navigation Systems) SHS (Step-and-Heading Systems)	Los sistemas con infraestructura necesitan dispositivos instalados en el entorno, como Wi-Fi o Bluetooth, SLAM visual o PDR.	En los sistemas con infraestructura: Dependencia del entorno: requieren instalación previa de sensores (Wi-Fi, Bluetooth, etc	pie del usuario, es decir, en la parte superior del pie.
The Improved 3D Pedestrian Positioning System Based on Foot-Mounted Inertial Sensor	2021	Ji, Miaoxin and Liu, Jinhao and Xu, Xiangbo and Lu, Zhenchun	sistemas de navegación inercial peatonal en 3D para mejorar la precisión del registro del movimiento del cuerpo humano	sensores iniciales - barómetro para medir la altitud	La necesidad de ajustar dinámicamente los umbrales de detección de velocidad cero y la complejidad de corregir errores en la fase de movimiento y posturas complejas de los peatones	pies mediante dispositivos de navegación inercial peatonal
Magnetometer Bias Insensitive Magnetic Field Matching Based on Pedestrian Dead Reckoning for Smartphone Indoor Positioning	2022	Kuang, Jian and Li, Taiyu and Niu, Xiaoji	Sistema de posicionamiento en interiores que combina los sensores del propio smartphone para guiar al usuario	Giroscopio, el acelerómetro y el INS (sistema de navegación inercial)	Las limitaciones del sistema incluyen la vulnerabilidad del magnetómetro integrado en smartphones a materiales ferromagnéticos y corrientes eléctricas fuertes, lo que puede causar distorsiones magnéticas conocidas como efectos de hierro suave y duro	smartphones para permitir la generación de la trayectoria relativa y la actitud del dispositivo.
A Real-Time Pedestrian Dead Reckoning System With FM-Aided Motion Mode Recognition	2019	Wang, Haidong and Cong, Li and Qin, Honglei	Sistemas de posicionamiento en interiores, para estimar el movimiento del peatón sin necesidad de infraestructura externa	sistemas de lateración/angulación, proximidad, huella de radiofrecuencia (fingerprinting) y sistemas de Dead Reckoning	la acumulación de errores con el tiempo, especialmente en la estimación de la dirección (heading), interferencias magnéticas en interiores, y la necesidad de calibración o instalación costosa en métodos basados en infraestructura como Wi-Fi o RFID	teléfono inteligente que el usuario lleva al frente del pecho, sin necesidad de infraestructura adicional. El dispositivo puede usarse en interiores como oficinas, pasillos o edificios de varios pisos.
Pedestrian Gait Information Aided Visual Inertial SLAM for Indoor Positioning Using Handheld Smartphones	2022	Dong, Yitong and Yan, Dayu and Li, Tuan and Xia, Ming and Shi, Chuang	sistema de posicionamiento en interiores basado en Visual-Inertial Odometry (VIO)	SLAM visual-inercial, Pedestrian Dead Reckoning (PDR) y métodos híbridos que integran visión y sensores iniciales con modelos de marcha humana	Las limitaciones incluyen errores acumulativos (drift), dificultades en entornos interiores sin textura, sensores de baja calidad en smartphones y posibles divergencias del sistema SLAM en escenarios complejos	En smartphones, lo que permite su uso en cualquier entorno interior donde se desplace un peatón, sin necesidad de infraestructura adicional.

A Mobile Health Application Using Geolocation for Behavioral Activity Tracking	2023	Emish, Mohamed and Kelani, Zeyad and Hassani, Maryam and Young, Sean D.	sistema de geolocalización móvil diseñado específicamente para el monitoreo de actividad física y conductual	sensores de movimiento con geolocalización	Las limitaciones identificadas en el estudio se centran principalmente en el consumo energético, la precisión en interiores, las restricciones impuestas por los sistemas operativos móviles y la protección de la privacidad	los teléfonos inteligentes del usuario y en servicios en la nube. Los datos recogidos se almacenan en la nube mediante Amazon Web Services (AWS), utilizando bases de datos escalables como DynamoDB y mecanismos de transmisión seguros como HTTPS y DNS-over-HTTPS
Sound-Based Localization Using LSTM Networks for Visually Impaired Navigation	2023	Bakouri, Mohsen and Alyami, Naif and Allassaf, Ahmad and Waly, Mohamed and Alqahtani, Tariq and AlMohimeed, Ibrahim and Alqahtani, Abdulrahman and Samsuzzaman, Md and Ismail, Husham Farouk and Alharbi, Yousef	sistemas de localización basados en visión por computadora, sistemas de aprendizaje automático y sistemas de localización por sonido para registrar el movimiento del cuerpo humano	Sensores de ultrasonido HC-SR04, brújula digital, GPS	Los sensores de ultrasonido La efectividad depende de la capacidad del usuario para interpretar las señales auditivas y la calidad del sistema de sonido utilizado	En hardware colocado en las puertas de tres habitaciones de una casa: cocina, dormitorio y baño, cada parte del hardware se denomina "nodo XBEE"
IoT Wheelchair Control System Based on Multi-Mode Sensing and Human-Machine Interaction	2022	Cui, Jianwei and Cui, Linwei and Huang, Zizheng and Li, Xiang and Han, Fei	Sistema desarrollado es una silla de ruedas inteligente basada en tecnología IoT	(HMI) reconocimiento de gestos, sensores de actitud, y control remoto vía aplicación móvil	El estudio señala limitaciones como el cableado complejo por múltiples sensores, la falta de resistencia al agua, el riesgo de vuelco en pendientes si no se ajusta la postura, y la dependencia de una buena conexión para el control remoto.	silla de ruedas modificada, una app móvil conectada a la nube. La comunicación se basa en módulos WiFi (ESP8266) y el sistema funciona con una batería de 24V.
Automated classification of changes of direction in soccer using inertial measurement units	2021	Reilly, Brian and Morgan, Oliver and Czanner, Gabriela and Robinson, Mark A.	sistema de monitoreo del rendimiento deportivo basado en dispositivos de rastreo portátiles	sensores inerciales y de posicionamiento global	Se desarrolló un modelo automatizado basado en sensores (GPS, acelerómetro y giroscopio) para detectar cambios de dirección $>45^\circ$ en jugadores de fútbol, con alta precisión y eficiencia frente al análisis manual tradicional	espalda de cada jugador, entre los omóplatos,
Combining Accelerometer and GPS Features to Evaluate Community Mobility in Knee Ankle Foot Orthoses (KAFO) Users	2021	Lonini, Luca and Shawen, Nicholas and Hoppe-Ludwig, Shenan and Deems-Dluhy, Susan and Mummidisetti, Chaithanya K. and Eisenberg, Yochai and Jayaraman, Arun	Sistema combinado de sensores portátiles para evaluar la movilidad comunitaria en usuarios de órtesis KAFO	sistemas portátiles de monitoreo, sensores inerciales (acelerómetros) y sistemas de posicionamiento (GPS)	el tamaño reducido de la muestra (13 participantes), lo cual limita la generalización de los resultados	dispositivos personales de movilidad y llevados por los usuarios sin necesidad de infraestructura adicional. El acelerómetro se fijó en el muslo de la KAFO, mientras que el GPS fue llevado en la cintura.
DST-Predict: Predicting Individual Mobility Patterns from Mobile Phone GPS Data	2021	Zaidi, Syed Mohammed Arshad and Chandola, Varun and Yoo, Eun-Hye	sistema inteligente llamado DST-Predict	sistemas predictivos de movilidad humana, visión por computador y series temporales	DST-Predict tiene limitaciones como la pérdida de contexto geográfico al convertir datos GPS en rejillas, menor precisión en zonas rurales, y problemas técnicos como datos faltantes y dependencia de la calidad del GPS.	teléfonos móviles de los usuarios, sin necesidad de sensores externos ni infraestructura adicional.

ReCognizing SUspect and PredictiNg ThE SpRead of Contagion Based on Mobile Phone LoCation DaTa (COUNTERACT): A system of identifying COVID-19 infectious and hazardous sites, detecting disease outbreaks based on the internet of things, edge computing, and artificial intelligence	2021	Ghayvat, Hemant and Awais, Muhammad and Gope, Prosanta and Pandya, Sharnil and Majumdar, Shubhankar	detector de velocidad cero basado en redes neuronales LSTM	IMU LORD MicroStrain 3DM-GX3-25, sistemas microelectromecánicos (MEMS)	la detección de velocidad cero durante movimientos dinámicos, ya que los detectores basados en umbrales fijos son susceptibles a fallos en tales situaciones	Los sensores se ubican en un IMU LORD MicroStrain 3DM-GX3-25 montado en el pie derecho de la persona
Ski jumping trajectory reconstruction using wearable sensors via extended rauch-tung-striebel smoother with state constraints	2020	Fang, Xiang and Grüter, Benedikt and Piprek, Patrick and Bessone, Veronica and Petrat, Johannes and Holzapfel, Florian	suavizador RTS extendido para reconstruir la trayectoria de salto de esquí	sensores de navegación y medición inercial, GPS logger Ostarz BT Q1000eX, el IMU InvenSense ICM-20600 y el magnetómetro Alps HSCD TD008A	la precisión de posición y velocidad pueden deberse a errores de medición inherentes a los sensores y a las condiciones ambientales	marco de referencia local NED (norte, este, abajo) y en el marco de referencia del cuerpo del sensor. En el marco NED, el origen coincide con un punto de referencia O, mientras que, en el marco del cuerpo del sensor, el origen está en el centro del dispositivo y los ejes están fijados a sus ejes de simetría.
Consumption analysis of smartphone based fall detection systems with multiple external wireless sensors	2020	González-Cañete, Francisco Javier and Casilar, Eduardo	sistemas de detección de caídas (Fall Detection Systems, FDS)	los FDS en tres grandes grupos: dispositivos específicos (pendientes, pulseras) sistemas basados solo en smartphones, y los sistemas híbridos.	la duración de la batería, especialmente en los teléfonos, que no están diseñados para funcionar 24/7 como dispositivos médicos	el cuerpo del usuario (por ejemplo, en cinturones o ropa), mientras que el smartphone puede estar en el bolsillo o bolso,
Using accelerometer and GPS data for real-life physical activity type detection	2020	Allahbakhshi, Hoda and Conrow, Lindsey and Naimi, Babak and Weibel, Robert	el "aTimeLogger" app para la anotación de actividades y el uso de seis dispositivos uTrail en diferentes ubicaciones del cuerpo	acelerómetros de tres dimensiones (3D) y, x y z, y sensores GPS	la recepción limitada de la señal GPS en entornos interiores, la disponibilidad limitada de datos DEM para entornos interiores, y la necesidad de utilizar una DEM de alta resolución para obtener resultados precisos al extraer información de elevación para cada punto GPS	la cintura, la cadera derecha, la cadera izquierda, el bolsillo izquierdo, el bolsillo derecho y el pecho
Inertial Sensors for Human Motion Analysis: A Comprehensive Review	2023	Sara García de Villa, David Casillas Pérez, Ana Jiménez-Martín, Member, IEEE, and Juan Jesús García-Domínguez, Senior Member, IEEE	Analiza estudios hasta 2022, destacando sensores, aplicaciones, algoritmos y avances en aprendizaje automático	El uso de IMUs para analizar el movimiento humano ha aumentado por su capacidad de evaluación en entornos reales. Esta revisión sistemática analiza estudios hasta 2022, destacando sensores, aplicaciones, algoritmos y avances en aprendizaje automático, ofreciendo una visión actual del campo y sus proyecciones futuras.	¿Cómo contribuyen las IMUs a la evaluación del movimiento humano en contextos reales frente a los sistemas ópticos tradicionales?	Son fundamentales en el seguimiento de personas en procesos de recuperación física, ya que permiten monitorear avances y ajustar terapias de forma remota y continua.

Reconstrucción rápida del movimiento humano a partir de unidades de medición iniciales dispersas considerando la forma humana	2019	Xuan Xiao ,Jianjian Wang ,Pingfa Feng ,Ao Gong ,Xiangyu Zhang yJian Fu Zhang	El uso de solo seis IMUs que ventajas ofrece al movimiento humano en tiempo real.	De los sistemas de análisis de movimiento con IMUs dispersas que desafíos puedan persistir en la eficiencia computacional	Cómo contribuye la arquitectura basada en el árbol cinemático al rendimiento del modelo de estimación de movimiento	Las IMUs se ubican en distintas partes del cuerpo según el análisis deseado, como pies, piernas o tronco. Su fijación debe ser estable y la cantidad de sensores varía según el nivel de detalle, desde uno hasta todo el cuerpo.
An advanced first aid system based on an unmanned aerial vehicles and a wireless body area sensor network for elderly persons in outdoor environments	2019	Fakhrulldin, Saif Saad and Gharghan, Sadik Kamel and Al-Naji, Ali and Chahl, Javaan	sistema muy completo para ayudar a personas mayores que puedan sufrir caídas cuando están al aire libre	redes de sensores corporales inalámbricos (WBSN) combinadas con dispositivos de asistencia autónomos como drones	problemas con la precisión de los sensores, especialmente para detectar caídas o medir el ritmo cardíaco de forma fiable	brazo superior del paciente. El dron se activa desde el centro de emergencias y puede volar hacia cualquier punto geográfico, gracias a la información enviada por el módulo GPS.
Wearable Sensors Quantify Mobility in People with Lower Limb Amputation during Daily Life	2020	Kim, Jay and Colabianchi, Natalie and Wensman, Jeffrey and Gates, Deanna H.	sistema de monitoreo portátil que combina sensores de movimiento (IMUs) con GPS	tecnologías portátiles de rehabilitación funcional, con énfasis en personas con prótesis	Uno de los mayores retos fue la falta de sincronización perfecta entre los datos del GPS y del acelerómetro, lo que obligó a excluir parte de la información	directamente en el cuerpo o en la prótesis, y no interferían con la actividad diaria del usuario.
Sensor-Based Prototype of a Smart Assistant for Visually Impaired People—Preliminary Results	2022	Şipoş, Emilia and Ciuciuc, Cosmin and Ivanciu, Laura	RFID y Lectores: Se presentan tres casos de alineación de bobinas RFID y lectores	Los sensores utilizados son el HC-SR04 y el TCRT5000	Las limitaciones del sistema incluyen la falta de alertas de sonido en semáforos y la incapacidad de detectar baches laterales en caminos irregulares	escuelas, bibliotecas y centros comerciales.
Simulation-based usability evaluation of visually impaired outdoor navigation using sensor fusion	2022	Silva, Chathurika Sewwandi and Wimalaratne, Prasad	sistema de navegación asistida simulada para personas con discapacidad visual.	sistemas de asistencia personal inteligentes, específicamente de la movilidad de personas con discapacidad visual	Una de las principales limitaciones es que los experimentos se realizaron en entornos virtuales simulados, no en condiciones reales, lo que puede afectar la validez externa de los resultados	dispositivo portátil, como un bastón inteligente o un cinturón sensorial, y se comunicaría con un módulo de procesamiento que podría integrarse en un smartphone o microcontrolador
Collective Sensing of Workers' Loss of Body Balance for Slip, Trip, and Fall Hazard Identification: Field Validation Study	2023	Lee, Hoonyong and Lee, Gaang and Park, Seongeun and Lee, Sanghyun and Jacobs, Jesse V. and Ahn, Changbum R.	sistema de detección automática de peligros de resbalones, tropiezos y caídas (STF) en obras de construcción	tecnologías portátiles para monitoreo de seguridad ocupacional, biomecánicos críticos mediante sensores iniciales	Este enfoque enfrenta desafíos como la variabilidad del movimiento humano, posibles errores por mala colocación de sensores o GPS, y la suposición de que un alto puntaje LOB indica peligro, lo cual no siempre es cierto.	cada trabajador lleva un sensor inercial con GPS incorporado en la cintura. No se requiere infraestructura adicional en el sitio de obra.

Smartphone PDR/GNSS Integration via Factor Graph Optimization for Pedestrian Navigation	2022	Jiang, Changhui and Chen, Yuwei and Chen, Chen and Jia, Jianxin and Sun, Haibin and Wang, Tinghuai and Hyppa, Juha	sistemas de posicionamiento personal mediante sensores de teléfonos inteligentes	posicionamiento personal híbrido, específicamente en la intersección entre navegación inercial (IMU), geolocalización satelital (GNSS) y algoritmos de fusión de sensores	Las limitaciones incluyen la poca confiabilidad de las señales GNSS en entornos urbanos densos o interiores, así como la imprecisión de PDR cuando hay errores en el cálculo del rumbo o inconsistencias entre la dirección del dispositivo y la del cuerpo	teléfono inteligente estándar, sin necesidad de sensores externos ni infraestructura adicional.
How Long Should GPS Recording Lengths Be to Capture the Community Mobility of An Older Clinical Population? A Parkinson's Example	2022	Zhu, Lynn and Boissy, Patrick and Duval, Christian and Zou, Guangyong and Jog, Mandar and Montero-Odasso, Manuel and Speechley, Mark	sensores inerciales (IMUs), sistemas ópticos	los basados en cámaras infrarrojas y marcadores, sistemas inerciales (IMUs), y sistemas híbridos que combinan ambas tecnologías	Cada sistema presenta retos: los ópticos son costosos y sensibles a la visibilidad; los inerciales, aunque portátiles, pueden fallar por interferencias magnéticas; y todos requieren calibración constante en contextos dinámicos o con movilidad reducida.	el torso, las extremidades superiores e inferiores, y en algunos casos, en la cabeza.
A Tightly Coupled Visual-Inertial GNSS State Estimator Based on Point-Line Feature	2022	Dong, Bo and Zhang, Kai	sistemas de estimación de estado que combinan tecnologías visuales, inerciales	sensores visuales (como SLAM con cámaras), los basados en sensores inerciales (IMUs), y los que utilizan GNSS	GNSS-VIO mejora la localización, pero enfrenta problemas como falta de referencias visuales en ciertos entornos, interferencias GNSS, alta demanda computacional y necesidad de calibración precisa con el IMU, lo que complica el sistema.	unidad compacta (como un casco)
Smart watch versus classic receivers: Static validity of three GPS devices in different types of built environments	2021	Vorlíček, Michal and Stewart, Tom and Schipperijn, Jasper and Burian, Jaroslav and Rubín, Lukáš and Dygrýn, Jan and Mitáš, Josef and Duncan, Scott	El reloj inteligente Garmin Forerunner 35, lanzado en 2016, es ampliamente utilizado	receptor GPS Holux RCV-3000, que contiene un chip MediaTek MT3329 altamente sensible con búsqueda	la recolección de datos en un solo lugar en la Tierra sin aplicar múltiples mediciones bajo diferentes condiciones atmosféricas y en diferentes momentos	entornos urbanos variados, incluyendo un parque en el centro histórico con muros medievales, un barrio residencial con casas familiares, un espacio abierto y un barrio periférico.
Activity Monitoring and Location Sensory System for People With Mild Cognitive Impairments	2023	García-Requejo, Alejandro and Pérez-Rubio, M. Carmen and Villadangos, José M. and Hernández, Álvaro	sistema sensorial avanzado basado en una red de sensores inalámbricos (WSN)	BLE, WiFi, RFID, UWB o IR; sistemas de posicionamiento en exteriores, que dependen del GNSS o GPS; sensores de movimiento como acelerómetros y giroscopios; y redes de comunicación como LoRaWAN o NB-Io	la necesidad de sensores visibles, errores por solapamiento de señales IR, baja fiabilidad del GNSS en interiores y restricciones de batería, aunque esta última ha mejorado con LoRaWAN.	el brazo del usuario cada habitación del hogar. Para el exterior, el módulo GNSS capta las señales de los satélites

Learning-Based Complex Motion Patterns Recognition for Pedestrian Dead Reckoning	2021	Luo, Yarong and Guo, Chi and Su, Jinteng and Guo, Wenfei and Zhang, Quan	algoritmo asistido por un modelo de aprendizaje profundo para reconocer patrones de movimiento complejos	acelerómetro y giroscopio en smartphones	limitaciones en la precisión de la velocidad real del smartphone en comparación con la del peatón, así como en la correlación entre ellas	Los sensores de acelerómetro y giroscopio se encuentran en un iPhone 8Plus
Measuring gait velocity and stride length with an ultrawide bandwidth local positioning system and an inertial measurement unit	2021	Singh, Pratham and Esposito, Michael and Barrons, Zach and Clermont, Christian A. and Wannop, John and Stefanyshyn, Darren	combinación de sensores iniciales (IMU) y sistemas de posicionamiento ultrawideband (UWB)	sensor inercial (IMU) y el sistema de posicionamiento ultrawideband (UWB)	la posibilidad de errores de posición debido a interferencias multipath que pueden degradar la precisión de las mediciones	El sensor inercial (IMU) se posiciona de manera que el eje x esté orientado en la dirección anteroposterior, el eje y en la dirección medio lateral y el eje z en la dirección superior-inferior a lo largo de un sistema de coordenadas convencional x, y, z. El sensor de posicionamiento ultrawideband (UWB) se coloca en un concentrador (hub) a 2 metros detrás de la posición de inicio en un trípode.
Measuring outdoor walking capacities using global positioning system in people with multiple sclerosis: Clinical and methodological insights from an exploratory study	2021	Delahaye, Coralie and Chaves, Dorine and Congnard, Florian and Noury-Desvaux, Bénédicte and de Müllenheim, Pierre-Yves	uso de GPS para evaluar las capacidades de caminar al aire libre en personas con esclerosis múltiple	Global Positioning System (GPS)	la posibilidad de que algunos participantes utilicen ayudas para caminar durante las sesiones, lo que podría influir en los resultados del GPS	los dispositivos GPS que son utilizados por los participantes durante las sesiones de caminata al aire libre.
Pedestrian navigation system with trinal-imus for drastic motions	2020	Ding, Yiming and Xiong, Zhi and Li, Wanling and Cao, Zhiguo and Wang, Zhengchun	odómetro inercial de peatones con triple nodo IMU que utiliza un algoritmo FastSLAM basado en cuadriculas de ocupación	el odómetro inercial triple-nodo IMU, los sensores iniciales de seis ejes de la marca MTw (Xsens)	la corrección de errores de posición y orientación solo cuando el peatón revisita áreas previamente visitadas, y la falta de consideración de la posición inicial en el estudio	en los muslos y la cintura del peatón para la recolección de datos iniciales
Pedestrian Tracking by Acoustic Doppler Effects	2019	Chiang, Ting-Hui and Ou, Kai-Yi and Qiu, Jun-Wei and Tseng, Yu-Chee	sistema de seguimiento de peatones basado en señales acústicas y el efecto Doppler	transceptores ultrásónicos OD24K2, dos placas Arduino Micro y una Raspberry Pi	El sistema puede capturar frecuencias y momentos incorrectos al cruzar la frecuencia central si las señales de ruido o eco son más fuertes que la frecuencia deseada	los zapatos de los usuarios para el sistema de seguimiento de peatones.
Sistema de Posicionamiento Humano (HPS): Estimación de la Pose Humana 3D y Autolocalización en Escenas Grandes a partir de Sensores Montados en el Cuerpo	2021	Vladimir Guzov, Aymen Mir, Torsten Sattler, Gerard Pons-Moll	como el HPS permite conocer mejor el funcionamiento del cuerpo humano en movimiento?	los HPS como podrían aplicarse en terapias de rehabilitación física	para la prevención de lesiones físicas como los HPS pueden contribuir	Los sensores se fijan en extremidades y tronco, mientras que la cámara se monta en el pecho o cabeza. Esta configuración permite capturar con precisión el movimiento corporal en entornos reales, y se utiliza en áreas como salud, deporte y realidad virtual.

Robust Data-Driven Zero-Velocity Detection for Foot-Mounted Inertial Navigation	2020	Wagstaff, Brandon and Peretroukhin, Valentin and Kelly, Jonathan	Conjunto de Datos VICON: Consiste en 60 pruebas de movimiento realizadas por una persona con un IMU en el pie	Inertial Measurement Units (IMUs), sensores inerciales microelectromecánicos (MEMS)	un umbral fijo es adecuado solo para movimientos uniformes, lo que limita la efectividad del detector durante movimientos dinámicos que resultan en perfiles de aceleración y velocidad angular variables al hacer contacto el pie con el suelo	cuerpos de los individuos, específicamente en los pies, ya que se utilizan IMUs montados en los pies para estimar el movimiento.
Triggered INS/GNSS Data Fusion Algorithms for Enhanced Pedestrian Navigation System	2020	Basso, Michele and Galanti, Matteo and Innocenti, Giacomo and Miceli, Davide	sistemas de Pedestrian Dead Reckoning (PDR) basados en sensores inerciales	PDR, sensores inerciales, y fusión de sensores, que combina estos con GNSS	la deriva inercial, la complejidad del cuerpo humano que dificulta la precisión de los modelos de movimiento, y la necesidad de modelos más precisos de la marcha humana para mejorar la estimación de la posición	smartphones y módulos de sensores inerciales que son llevados por el usuario. Los acelerómetros y giroscopios se encuentran dentro de estos dispositivos
IoT Enabled Intelligent Stick for Visually Impaired People for Obstacle Recognition	2022	Farooq, Muhammad Siddique and Shafi, Imran and Khan, Harris and Díez, Isabel De La Torre and Breñosa, Jose and Espinosa, Julio César Martínez and Ashraf, Imran	bastón inteligente basado en tecnologías de Internet de las Cosas (IoT), diseñado para asistir a personas con discapacidad visual	sensor de agua; dispositivos de retroalimentación haptica y auditiva, como los motores de vibración y auriculares; módulos de comunicación IoT, incluyendo el GPS y GSM, para localización y emergencia; procesamiento embebido,	El bastón inteligente presenta limitaciones como fallos en sensores ultrasónicos y cámaras en entornos complejos, baja autonomía en modo cámara y dependencia de Internet, lo que dificulta su uso en áreas rurales.	el bastón para maximizar su eficiencia. Los sensores ultrasónicos están colocados en la parte frontal y superior del bastón confort del usuario.
A Training Smartphone Application for the Simulation of Outdoor Blind Pedestrian Navigation: Usability, UX Evaluation, Sentiment Analysis	2023	Theodorou, Paraskevi and Tsiligos, Kleomenis and Meliones, Apostolos and Filios, Costas	aplicación para smartphone Android, diseñada para ayudar a personas ciegas o con baja visión	sistemas de navegación GPS, sistemas de detección de obstáculos, sensores ultrasónicos sistemas de retroalimentación sensorial.	la dependencia de sensores externos que deben colocarse correctamente (por ejemplo, en los semáforos), y que pueden tener un coste o requerir colaboración institucional	teléfono móvil del usuario y en dispositivos externos. El GPS de alta precisión y el sensor ultrasónico mediante Bluetooth. El sensor ultrasónico se usa como una unidad externa sujetada al usuario o al entorno dispositivo para semáforos se monta físicamente sobre el poste de tráfico
Skimon: A Wireless Body Area Network for Monitoring Ski Flex and Motion during Skiing Sports	2022	Crandall, Aaron S. and Mamolo, Steven and Morgan, Mathew	Sistema Skimon utiliza Raspberry Pi, WEMOS D1 Mini ESP8266 y sensor Pololu Altimu-10 v5	acelerómetro de tres ejes y giroscopio LSM6DS33, magnetómetro de tres ejes LIS3MDL y barómetro digital LPS25H, sensor Pololu Altimu-10 v5	Durante la recolección de datos, no se hicieron esfuerzos reales para reducir el consumo de energía con base en el sueño	en los esquis con sus centros a 17.5, 69.5 y 162.5 cm desde la punta de los esquis. El sensor delantero se colocó lo más cerca posible de la punta, el sensor central se situó en el medio del esquí sin interferir con las fijaciones de las botas, y el sensor trasero s
Validity and reliability of an inertial sensor device for specific running patterns in soccer	2021	Pillitteri, Guglielmo and Thomas, Ewan and Battaglia, Giuseppe and Navarra, Giovanni Angelo and Scardina, Antonino and Gammino, Viviana and Ricchiarri, Dario and Bellafiore, Marianna	el sistema GPS (Global Positioning System) y los dispositivos de sensores inerciales (ISD)	los sistemas de posicionamiento local por radiofrecuencia (LPS) y los sistemas GPS	Las principales limitaciones radican en la precisión y aplicabilidad	parte superior de la espalda de los jugadores mediante un chaleco, mientras que los sensores inerciales fueron ajustados en la parte inferior de la pierna, como una canillera.

Energy-efficient wearable EPTS device using on-device DCNN processing for football activity classification	2020	Kim, Hyunsung and Kim, Jaehee and Kim, Young-Seok and Kim, Mijung and Lee, Youngjoo	sistema de seguimiento del rendimiento electrónico (EPTS) portátil y optimizado energéticamente	tecnologías ópticas, sistemas de posicionamiento local y global, y sensores iniciales	Uno de los mayores desafíos es el alto consumo energético, especialmente del módulo GNSS, que puede agotar rápidamente la batería si se activa de manera constante	en la parte posterior del cuerpo del jugador del tronco. La IMU, ubicada en el mismo módulo,
Classification of alpine skiing styles using GNSS and inertial measurement units	2020	Neuwirth, Christina and Snyder, Cory and Kremser, Wolfgang and Brunauer, Richard and Holzer, Helmut and Stögg, Thomas	sistemas portátiles basados en sensores iniciales (IMUs) y GNSS	sensores iniciales (IMU), sistemas de posicionamiento como el GNSS y métodos de visión computarizada	condiciones ambientales no contempladas, como tipo de nieve o pendiente. Tiene dificultades con técnicas menos comunes, ha sido entrenado con usuarios avanzados y requiere dos sensores por persona, lo que reduce su aplicabilidad general.	en la parte trasera superior de cada bota de esquí de cada pierna,
A public domain dataset for real-life human activity recognition using smartphone sensors	2020	Garcia-Gonzalez, Daniel and Rivero, Daniel and Fernandez-Blanco, Enrique and Luaces, Miguel R.	sensores integrados en teléfonos inteligentes, sin necesidad de dispositivos adicionales	sensores integrados en teléfonos inteligentes	Una de las limitaciones más importantes es la variabilidad en la orientación y el lugar donde se lleva el teléfono	el smartphone esté colocado en cualquier parte: en el bolsillo, en un bolso, o incluso sobre una mesa.
Design and implementation of a walking stick aid for visually challenged people	2019	Sahoo, Nilima and Lin, Hung-Wei and Chang, Yeong-Hwa	ayuda electrónica inteligente basada en un bastón para personas con discapacidad visual	etas híbridas (Electronic Travel Aids), que combinan tecnologías de detección de obstáculos con funciones de localización y comunicación	desafíos como la precisión limitada de ciertos sensores, la dependencia del entorno (por ejemplo, luz en sensores IR o obstáculos invisibles al sonar), y la necesidad de llevar el dispositivo todo el tiempo	bastón de PVC. Un sensor ultrasónico se instala a 17 cm del suelo para detectar obstáculos bajos, y otro a 92 cm para detectar obstáculos a nivel del torso, como barandas o ramas. El sensor de agua se encuentra en la base del bastón.
Analyzing gait in the real world using wearable movement sensors and frequently repeated movement paths	2019	Wang, Weixin and Adamczyk, Peter Gabriel	sensores portátiles compuesto por un sensor inercial montado en el pie (IMU), un receptor GPS y un sensor de presión barométrica	sistemas multi-sensoriales sistemas de sensor único	Los sistemas de monitoreo en la vida diaria enfrentan un desafío importante: la gran variabilidad del entorno y del comportamiento humano	una pequeña caja ligera (69g) sujetada al pie con una banda ajustable.

Cross-country skiing analysis and ski technique detection by high-precision kinematic global navigation satellite system	2019	Takeda, Masaki and Miyamoto, Naoto and Endo, Takaaki and Ohtonen, Olli and Lindinger, Stefan and Linnamo, Vesa and Stögg, Thomas	sistema de navegación satelital de alta precisión: un GNSS cinemático que se monta en la cabeza del esquiador	sensores inerciales (como IMUs o acelerómetros) y los que emplean posicionamiento satelital (como GPS o GNSS)	El GNSS cinemático es muy preciso, pero requiere línea de vista con satélites y procesamiento posterior, lo que limita su uso en tiempo real. Además, el estudio se basó en un solo esquiador de élite, por lo que los resultados deben validarse con más participantes.	cabeza del esquiador mediante una antena externa, La cámara de video se ubicó en la zona lumbar para tener visibilidad completa de los bastones y esquís
Real-World Gait Speed Estimation Using Wrist Sensor: A Personalized Approach	2020	Soltani, Abolfazl and Dejnabadi, Hooman and Savary, Martin and Aminian, Kamiar	cuadrados mínimos recursivos (RLS) para la personalización de la longitud del paso	Se utilizaron un acelerómetro de muñeca y un barómetro	la dependencia de la velocidad de la marcha en los valores de velocidad, con sobreestimación para velocidades bajas y subestimación para velocidades altas	Los sensores inerciales (acelerómetros) se ubicaron en las muñecas de los participantes, mientras que el receptor GNSS se montó en la cabeza utilizando Velcro.
Electronic Guidance Cane for Users Having Partial Vision Loss Disability	2021	Khan, Asad and Ashraf, Muhammad Awais and Javeed, Muhammad Awais and Sarfraz, Muhammad Shahzad and Ullah, Asad and Khan, Muhammad Mehran Arshad	guía electrónica inteligente en forma de bastón para personas con pérdida parcial de visión	tecnologías de asistencia para la navegación	Los sistemas tradicionales enfrentan muchas limitaciones: alto costo, poca precisión en exteriores, tamaño incómodo, y escasa respuesta en ambientes ruidosos o congestionados	bastón, Los sensores ultrasónicos fueron colocados en la parte superior, izquierda. En la base se integraron el sensor de agua, el de fuego, y el de infrarrojos. El módulo GPS/GSM y la batería están dentro del bastón, lo que mantiene el diseño compacto.
Time Synchronization Algorithm for the Skiing Monitoring System	2022	Yang, Yun and Cheng, Rui and He, Jian and Li, Chuncheng and Qiao, Xiaojun and Hou, Xiaojuan and Xiong, Jijun and Chou, Xuijian	sensores sincronizados, GNSS (sistema global de navegación por satélite) y una unidad de medición inercial (IMU)	sensores de posicionamiento (GNSS), los sensores inerciales (IMU),	los sistemas anteriores era la dificultad de sincronizar correctamente los datos del GNSS y de la IMU, ya que las señales humanas, como las del esquí, son impredecibles y altamente variables	el cuerpo del atleta de manera no invasiva, integrados dentro de la ropa o equipo del esquiador,
An Extended Usability and UX Evaluation of a Mobile Application for the Navigation of Individuals with Blindness and Visual Impairments Outdoors—An Evaluation Framework Based on Training	2022	Theodorou, Paraskevi and Tsilgkos, Kleomenis and Meliones, Apostolos and Filios, Costas	BlindRouteVision, una aplicación móvil de navegación para exteriores especialmente diseñada para personas con ceguera o discapacidad visual	sistemas por categorías biomecánicas tradicionales	Una de las principales limitaciones que se abordan en el artículo es la precisión del GPS integrado en los smartphones, el cual puede generar errores de hasta 10 metros, afectando seriamente la navegación	entornos urbanos exteriores, el GPS externo y el sensor ultrasónico se colocan como dispositivos portátiles en el cuerpo del usuario, mientras que los sensores de semáforo están montados en el entorno urbano.
Smart devices based multisensory approach for complex human activity recognition	2022	Hanif, Muhammad Atif and Akram, Tallha and Shahzad, Aamir and Khan, Muhammad Attique and Tariq, Usman and Choi, Jung-In and Nam, Yunyoung and Zulfiqar, Zanib	Reconocimiento de Actividad Humana (HAR): y bandas de fitness para el reconocimiento de actividades humanas	Acelerómetro: Se emplea el acelerómetro en dispositivos como teléfonos y relojes inteligentes	la instalación de hardware, costos, requisitos de almacenamiento de datos y tiempo computacional, lo que afecta la portabilidad y compatibilidad del sistema en condiciones de luz variables	teléfonos y relojes inteligentes, los cuales contienen sensores integrados como acelerómetros, giroscopios, magnetómetros en el cuerpo humano,

An IoT Machine Learning-Based Mobile Sensors Unit for Visually Impaired People	2022	Dhou, Salam and Alnabulsi, Ahmad and Al-Ali, A.R. and Arshi, Mariam and Darwish, Fatima and Almaazmi, Sara and Alameeri, Reem	visión por computadora, aprendizaje automático y aplicaciones móviles	ultrasonidos e infrarrojos, basados en visión por computadora, uso de sensores del móvil como GPS y acelerómetro	los sensores pueden fallar por condiciones ambientales y no identifican tipos de obstáculos; la visión por computadora es costosa, sensible a la luz solar y requiere mucho procesamiento; y los sistemas móviles, aunque económicos, tienen alcance limitado y problemas en zonas elevadas.	bastón tradicional al que se le integran los sensores y el procesador.: los sensores ultrásónicos se colocan en la parte inferior del bastón, uno apuntando hacia el frente y otro hacia el suelo, El módulo GPS se encarga de ubicar al usuario en tiempo real y transmitir.
Impact of Body Wearable Sensor Positions on UWB Ranging	2019	Otim, Timothy and Bahillo, Alfonso and Díez, Luis Enrique and Lopez-Iturri, Peio and Falcone, Francisco	sistema de localización basado en tecnología UWB (Ultra-Wideband)	sistemas UWB, pero dentro de este campo evalúa cómo influye la ubicación del sensor en el cuerpo humano	Una de las principales limitaciones identificadas es el efecto de "sombreado" del cuerpo humano, que interfiere con la señal UWB, especialmente cuando no hay línea directa de visión entre el sensor y el receptor (NLOS)	frente, mano, pecho, muñeca, brazo, muslo y tobillo. Los receptores (ANCs) se instalaron en las esquinas del laboratorio.
A Flexible, Wearable, and Wireless Biosensor Patch with Internet of Medical Things Applications	2022	Duc Tri Phan, Cong Hoan , Thuy Dung Pham Nguyen Le Hai Tran Sumin Park, Jaeyeop Choi,Byeong-il Lee, Junghwan Oh	sistema portátil, flexible y sin cables compuesto por un parche biosensor y Internet de las Cosas Médicas (IoMT)	sistemas portátiles de monitoreo fisiológico y de movimiento corporal	la sensibilidad a interferencias externas y la necesidad de garantizar un alto confort para que el usuario lo use por tiempos prolongados	el pecho del usuario, adherido a la piel, sensores incrustados en el parche, como los electrodos para ECG y sensores de temperatura. Estos datos son enviados a un "gateway" móvil (un smartphone).
Intention prediction and human health condition detection in reaching tasks with machine learning techniques ¹	2021	Ragni, F., Archetti, L., Roby-Brami, A., Amici, C., Saint-Bauzel, L.	sensores electromagnéticos portables	sistemas vestibles electromagnéticos, una categoría dentro de los sensores corporales portables	Entre las principales limitaciones están la variabilidad entre sujetos y entre movimientos, especialmente en pacientes con patologías neuromusculares como los sobrevivientes de ACV	el acromion (hombro), el tercio superior del húmero (brazo), el dorso de la muñeca y el manubrio esternal (pecho)
Flight Controller as a Low-Cost IMU Sensor for Human Motion Measurement	2023	Artur Iluk	sensores iniciales basado en controladores de vuelo de drones	sistemas ópticos, como VICON, sistemas iniciales (IMU), que emplean sensores internos como acelerómetros y giroscopios	el "drift" o deriva acumulativa en la orientación debido a la integración de señales, especialmente en ausencia de magnetómetro estable	cabeza, cuello, zona lumbar y ambos pies, y se fijaron mediante cinta adhesiva doble cara o un gorro elástico

Human motion intent learning based motion assistance control for a wearable exoskeleton	2018	Yi Longa, Zhi-jiang Dua, Wei-dong Wang, Wei Donga	Se utiliza un exoesqueleto portátil para extremidades inferiores con control inteligente	señales biomédicas como EMG, señales físicas de interacción (como fuerzas y torques), señales mecánicas de los propios actuadores del exoesqueleto	la complejidad no lineal de la relación entre la señal física de interacción (pHRI) y la intención de movimiento (HMI)	. Los sensores de torque están en los puntos de unión entre el cuerpo humano y el robot (cuffs), mientras que los sensores de presión están en la suela del calzado.
Application of multisensor fusion to develop a personal location and 3D mapping system	2018	Ya-Wen Hsu, Shiang-Shuang Huang, Jau-Woei Perng	sistema portátil (RGB-D), una unidad de medición inercial (IMU) y un sensor láser (Laser Range Finder, LRF)	Este sistema entra en la categoría de SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) portátil, específicamente en tres variantes: RGB-D SLAM (con cámara de profundidad), IMU/Laser SLAM (con sensores inerciales y láser) y una fusión de ambos	Cada sensor tiene limitaciones: el IMU acumula errores con el tiempo (drift), el Kinect pierde precisión con la distancia y falla con poca textura visual o mucha luz solar, y el LRF solo mide en 2D (plano horizontal), lo que limita su uso en entornos con escaleras o desniveles	mochila: la Kinect orientada al frente para capturar imágenes y profundidad, el LRF la IMU colocada sobre la cabeza del usuario
Robot-assisted smartphone localization for human indoor tracking	2018	Chao Jiang, Muhammad Fahad, Yi Guo, Yingying Chen	robot móvil autónomo sensores (Kinect y micrófono), y smartphones	localización cooperativa en interiores, (como WiFi o sensores de referencia)	la precisión del rango acústico disminuye en presencia de ruido ambiental alto o cuando hay obstrucción de línea de visión (NLoS) entre el robot y los smartphones	"Target 1" a través del seguimiento visual (Kinect), mientras calcula la posición de "Target 2" mediante el rango acústico entre dispositivos. Los smartphones se ubican en el cuerpo de los usuarios, y se comunican por WiFi con el robot,

En la tabla se puede observar que la evaluación de las tecnologías para el registro del movimiento humano se basó en criterios de inclusión, exclusión y funcionales claramente definidos y respaldados por metodologías de la revisión del estado del arte, considerando aspectos como la precisión de las mediciones, la aplicabilidad en salud y el rendimiento en contextos deportivos. Se facilitó la comparación objetiva y rigurosa entre tecnologías, permitiendo seleccionar la opción más adecuada según el propósito específico, sea clínico, investigativo o deportivo, optimizando la toma de decisiones tanto en investigación como en la práctica profesional.

4.4 ¿Qué tipo de sistemas que registran el movimiento corporal se utilizan?

Los sistemas que registran el movimiento del cuerpo humano se clasifican por principio tecnológico, es decir, que utilizan la medición o procesamiento del movimiento corporal. Los tipos de sistemas implementados son ópticos, no ópticos e híbridos o integrados; estos tipos de sistemas tienen características, alcances y limitaciones diferentes.

Los sistemas ópticos son los sistemas con tecnología más precisa, ya que funcionan mediante cámaras de velocidad, sensores infrarrojos o dispositivos de profundidad (RGB-D) que capturan la posición y el desplazamiento de marcadores colocados en el cuerpo. Estos sistemas permiten obtener mediciones del movimiento en elevada resolución temporal y espacial, pero reducen su uso en entornos controlados o donde no se tenga mucha iluminación.

Los sistemas no ópticos son tecnologías que registran el movimiento sin la necesidad de visión, es decir, que miden el movimiento mediante variables físicas o electromagnéticas. En este grupo de sistemas entran los sensores iniciales (IMU), que generalmente están compuestos por acelerómetros, giroscopios y magnetómetros que registran velocidades y orientación. En este grupo se incorporan sistemas electromagnéticos, ultrasónicos, GNSS/GPS, UWB (Ultrawideband) y las redes de sensores inalámbricos (WSN).

Los sistemas híbridos o integrados, como su nombre lo indica, son sistemas que combinan diferentes tipos de sensores, es decir, IMU con GNSS, o con cámaras ópticas, esto con la finalidad de compensar limitaciones individuales de las tecnologías. Estos sistemas funcionan a través de técnicas de fusión sensorial, por lo que, al aplicarlos en espacios interiores y exteriores, estos sensores logran registrar el movimiento del cuerpo humano con exactitud, ya que son más novedosos en el campo de las tecnologías de medición corporal.

Las categorías mencionadas muestran el marco tecnológico actual en el estudio y registro del movimiento del cuerpo humano; la elección de cada sistema depende de su aplicación, su precisión, movilidad y recursos técnicos disponibles.

Tabla 3. *Tipos de sistemas que registran el movimiento corporal*

Tipo de sistema	Principio de operación	Aplicaciones principales
Sistemas ópticos	Capturan el movimiento mediante cámaras de video, sensores infrarrojos o cámaras de profundidad que detectan marcadores o características visuales del cuerpo.	Ánalysis biomecánico en laboratorios, rehabilitación motora, simulaciones clínicas, animación digital y estudios posturales.
Sistemas no ópticos	Registran el movimiento mediante sensores iniciales, electromagnéticos, ultrasónicos, GNSS o UWB, que miden aceleración, orientación o posición sin requerir visión directa.	Seguimiento en tiempo real, monitorización de actividad física, estudios deportivos, rehabilitación ambulatoria y geoposicionamiento humano.
Sistemas híbridos o integrados	Combinan múltiples tecnologías (IMU, GNSS, cámaras, UWB, etc.) mediante algoritmos de fusión sensorial para mejorar la precisión del registro.	Aplicaciones avanzadas en biomecánica, robótica asistiva, monitoreo clínico, deporte de alto rendimiento y estudios en entornos reales.

Tabla 4. *Sensores más utilizados en el monitoreo del movimiento del cuerpo humano.*

Tipo de Sensor	Componentes Comunes	Función Principal	Aplicación Común
Unidad de Medición Inercial (IMU)	Acelerómetro, giroscopio, magnetómetro	Medición de aceleración, orientación y velocidad angular	Biomecánica, rehabilitación, deportes, ergonomía
Cámara de profundidad	Sensores ópticos + infrarrojos (RGB-D)	Captura de movimientos en 3D	Ánalysis clínico, videojuegos, rehabilitación
Sistemas ópticos de captura de movimiento	Cámaras infrarrojas + marcadores reflectivos	Seguimiento preciso de movimientos articulares	Investigación avanzada, animación, deportes élite
Electromiografía (EMG)	Sensores superficie o intramusculares	Medición de la actividad muscular	Rehabilitación, control de prótesis, biomecánica

Sensores de presión /plantillas instrumentadas	Celdas de carga, sensores piezoeléctricos	Medición distribución presión plantar	de de	Ánalisis de marcha, calzado inteligente
Sensores de estiramiento (stretch sensors)	Materiales piezoresistivos o capacitivos	Medición de flexión y extensión		Exoesqueleto, ropa inteligente
Sensores de posición GNSS/GPS	Satélites receptores	+ Geolocalización y trayectorias al aire libre		Análisis deportivo, movilidad urbana
Sensores de fuerza	Plataformas fuerza, dinámómetros	Medición de fuerzas externas		Rehabilitación, análisis biomecánico

Fuente. la presente investigación

Tabla 5. Estadística de tipos de sensores y sistemas utilizados

Tipo de sensor o sistema	Frecuencia	Porcentaje aproximado
Sensores iniciales (IMU, acelerómetros, giroscopios, magnetómetros)	29	50%
Sistemas de posicionamiento satelital (GPS, GNSS, INS, PDR)	14	24%
Sistemas híbridos (IMU + GNSS, GNSS + óptico, IMU + UWB, etc.)	6	10%
Sensores ultrasónicos / sónicos	3	5%
Sensores ópticos (RGB-D, cámaras, SLAM visual, VIO)	2	3%
Sensores electromagnéticos o biosensores (EMG, IoMT, parches portables)	2	3%
Redes o sistemas IoT / WSN (bastones inteligentes, sillas IoT, etc.)	2	3%

Fuente. la presente investigación

Gráfica 5. Estadística de tipos de sensores

Distribución porcentual de tipo de sensor o sistema



Fuente: Elaboración propia con base en los artículos revisados (2018–2024).

4.5 Limitaciones de los Sistemas de Registro del Movimiento Humano

Los sistemas mencionados para el registro del movimiento del cuerpo humano presentan limitaciones principalmente en las características físicas, métodos de sincronización, procesamiento de datos y condiciones ambientales en las que estos funcionan.

En el caso de los sensores inerciales (IMU), empleados generalmente por su portabilidad y su bajo costo, sus principales limitaciones se basan en la acumulación de errores por drift (la acumulación progresiva de errores en las mediciones de posición, velocidad u orientación) y necesitan ser calibrados de una forma muy precisa para obtener mediciones reales. Los IMU suelen tener interferencias magnéticas y vibraciones, por lo cual se generan desviaciones angulares y errores en la medición del movimiento, y ya que son portables, la ubicación precisa de cada sensor puede afectar la correspondencia entre el movimiento real y los datos registrados.

Los sistemas ópticos tienen alta resolución espacial y temporal, pero sus limitaciones se basan en su elevado costo, su falta de infraestructura especializada y que esto depende mucho de la iluminación y visibilidad; esto los vuelve inadecuados para lugares donde haya variación de luminosidad u obstáculos que interfieren con la captura de datos, como escenarios naturales o de campo. Los sistemas electromagnéticos y ultrasónicos tienen limitaciones similares, ya que son ineficientes con las interferencias, pérdida de señal y ambientes no estructurados.

En el caso de los sistemas híbridos, es decir, con tecnologías GNSS, IMU o visión por computadora, tienen limitaciones en los entornos donde operan; por ejemplo, en interiores, la señal satelital pierde fiabilidad por la ausencia de línea de vista, mientras que en exterior la calidad de geoposicionamiento puede degradarse por factores climáticos o atmosféricos. Estos sistemas también demandan alta capacidad computacional y un consumo energético alto, lo que perjudica su portabilidad.

Los dispositivos portables como relojes inteligentes o biosensores se limitan en su duración de batería, su estabilización en la comunicación inalámbrica y la variabilidad interindividual (diferencias observadas entre distintos individuos en las respuestas, comportamientos o características fisiológicas, biomecánicas o motoras). Los costos de los dispositivos y la falta de estandarización de protocolos de medición limitan la integración de estos dispositivos en sistemas que miden el movimiento corporal y geoposicionamiento.

Tabla 6. *Limitaciones técnicas de los sensores utilizados en el registro del movimiento humano*

Tipo de sensor o sistema	Aplicación principal	Limitaciones técnicas identificadas
Sensores inerciales (IMU: acelerómetro, giroscopio, magnetómetro)	Medición de aceleración, orientación y rotación del cuerpo.	Deriva acumulativa (drift) en mediciones prolongadas; alta sensibilidad a interferencias magnéticas; necesidad de calibración constante; desplazamiento del sensor sobre la piel que afecta la precisión biomecánica; generación de ruido en movimientos rápidos.
Sistemas ópticos (cámaras infrarrojas, marcadores reflectivos, Kinect, MoCap)	Captura tridimensional de la postura y trayectoria corporal.	Dependencia de condiciones controladas de iluminación; pérdida de señal por obstrucción o superposición de marcadores; alto costo e infraestructura compleja; limitada aplicabilidad en exteriores.
Sistemas electromagnéticos	Seguimiento de movimiento mediante campos magnéticos.	Sensibilidad a materiales ferromagnéticos y corrientes eléctricas; limitado rango de operación; necesidad de calibración espacial frecuente; interferencia con dispositivos electrónicos.
Sensores ultrasónicos	Detección de distancia y obstáculos.	Reducción de precisión por ruido ambiental; interferencia por superficies irregulares; retardo ante movimientos rápidos; baja confiabilidad en entornos abiertos.
Sistemas GNSS / GPS / GNSS-INS híbridos	Geoposicionamiento y seguimiento del desplazamiento humano.	Pérdida de señal en interiores; errores por multitrayectoria y condiciones atmosféricas; consumo energético elevado; baja resolución en trayectorias cortas.
Sistemas UWB (Ultra-Wideband)	Localización precisa en espacios interiores.	Reducción de precisión por interferencia del cuerpo humano (efecto de sombreado); necesidad de línea de vista; sensibilidad en entornos metálicos o húmedos.
Sistemas basados en visión por computadora aprendizaje automático	Reconstrucción y clasificación automática del movimiento.	Alta demanda computacional y energética; sensibilidad a iluminación y occlusiones; dependencia de datos de entrenamiento adecuados.
Dispositivos portables o vestibles (wearables, parches, smartwatches)	Monitoreo continuo del movimiento y actividad física.	Limitación en la duración de la batería; conectividad inestable; falta de estandarización en protocolos de registro; variabilidad entre usuarios y errores de colocación.

Tabla obtenida de la presente investigación

4.6 ¿De qué manera los sistemas que registran el movimiento corporal ubican sus sensores y realizan la recolección de datos?

Los sistemas que registran el movimiento del cuerpo humano se ubican en diferentes lugares dependiendo del tipo de sensor y emplean diversas estrategias para la recolección de datos, según el movimiento que se desea capturar y el contexto en el que se desarrolle la actividad. La revisión del estado del arte muestra que algunos sensores se colocan en partes específicas del cuerpo del sujeto o se integran en dispositivos portátiles, como teléfonos móviles, calzado o accesorios inteligentes.

En los sistemas *Pedestrian Dead Reckoning* (PDR), los sensores iniciales se ubican en los pies o el calzado, ya que esta posición permite detectar con mayor exactitud la frecuencia y longitud del paso, así como la orientación del movimiento (Wu et al., 2019; Ji et al., 2021). Asimismo, otros autores sitúan los sensores en zonas como la espalda o la cintura, lo cual contribuye a la estabilidad del registro al mantener el dispositivo próximo al centro de masa del cuerpo y reducir el ruido generado por los movimientos de las extremidades (Reilly et al., 2021).

Las investigaciones basadas en geolocalización ubican los sensores en lugares que permiten mantener una correspondencia espacial constante con el movimiento del sujeto. Por ejemplo, Wang et al. (2019) y Dong et al. (2022) integran los sensores en dispositivos *wearables* o teléfonos inteligentes, aprovechando las unidades de medición inercial (IMU) incorporadas en ellos.

En el caso de los sistemas híbridos, los sensores se combinan para mejorar la estimación de la posición del sujeto en entornos tridimensionales (Cui et al., 2022). Algunos de los estudios mencionados utilizan sensores de ultrasonido, los cuales se ubican sobre un dispositivo o en el

entorno con el fin de captar el eco de las señales emitidas y calcular la posición mediante técnicas de triangulación (Bakouri et al., 2023).

En cuanto a la recolección de datos, los sistemas aplican metodologías experimentales que integran información multisensorial. Los datos se registran de forma continua mediante la combinación de señales de aceleración, orientación y posición angular, utilizando plataformas de procesamiento como MATLAB, Python o software especializado proporcionado por los fabricantes de sensores (Wu et al., 2019; Ji et al., 2021). En los sensores iniciales, las señales provienen directamente de las IMU; mientras que, en los sistemas visuales o de geolocalización, los datos suelen consistir en imágenes o coordenadas GPS en tiempo real (Emish et al., 2023).

La recopilación se efectúa tanto en laboratorios controlados de análisis de movimiento como en entornos naturales o deportivos, empleando protocolos experimentales que aseguran la fiabilidad y reproducibilidad de las mediciones (Reilly et al., 2021). Finalmente, la integración de datos se realiza mediante procesos de fusión sensorial, es decir, combinando información proveniente de diferentes sensores para corregir errores de deriva y aumentar la precisión del registro.

Tabla 7: *Ubicación de sensores y métodos de recolección de datos en sistemas de registro del movimiento corporal.*

Tipo de sistema	Ubicación de los sensores	Método de recolección de datos	Observaciones relevantes
Pedestrian Dead Reckoning (PDR) con sensores iniciales	En los pies o calzado del usuario	Datos de aceleración y orientación obtenidos con IMU de teléfonos inteligentes	Precisión elevada en conteo de pasos y desplazamiento lineal.

<u>Sistema de navegación peatonal 3D</u>	Sensores montados en el pie mediante módulos IMU	Registro continuo de aceleraciones y rotaciones para estimar posición y orientación	Alta precisión en entornos interiores.
<u>Posicionamiento magnético peatonal</u>	Giroscopio, acelerómetro y magnetómetro en la cintura	Datos magnéticos y de movimiento registrados en tiempo real	Minimiza errores por interferencias del entorno.
<u>PDR en teléfonos inteligentes</u>	Sensor integrado en smartphone	Recolección mediante aplicación móvil que capta señales IMU	No requiere infraestructura externa.
<u>Sistema visual-inercial (VIO/SLAM)</u>	Integración de cámara y sensores en dispositivo portátil	Captura de imágenes y datos iniciales sincronizados	Mejora la estimación de trayectorias 3D.
<u>Sistema de geolocalización móvil (mHealth)</u>	Teléfono inteligente del usuario	Datos de GPS y sensores de movimiento vía aplicación móvil	Enfocado en monitoreo de salud y actividad física.
<u>Sistema de localización acústica</u>	Sensores de ultrasonido en el dispositivo o entorno	Recolección mediante señales de eco procesadas con redes LSTM	Permite localización sin contacto directo.
<u>Silla de ruedas inteligente IoT</u>	Sensores instalados en la estructura mecánica	Registro de señales de dirección, velocidad y posición	Integración de control y seguimiento del movimiento.
<u>Monitoreo deportivo con sensores vestibles</u>	En la espalda o zona lumbar	Recolección durante actividad física mediante sensores IMU	Detección automática de cambios de dirección.

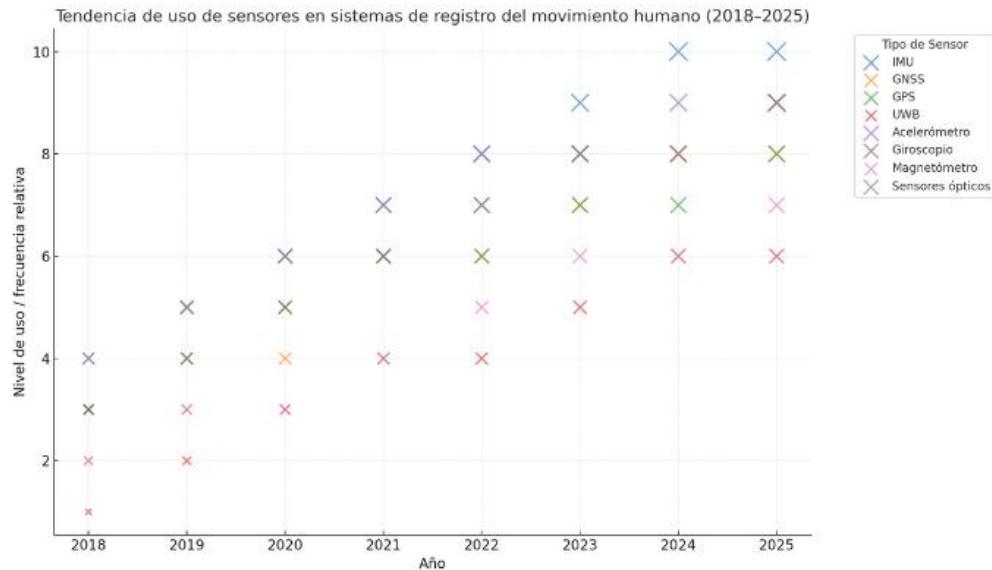
Fuente: La presente investigación.

5. Análisis de Resultados

El análisis de los resultados de la revisión sistemática del estado del arte de dispositivos que registran el movimiento del cuerpo humano con geoposicionamiento permitió reconocer tendencias tecnológicas, metodológicas y de la aplicación que muestra su evolución en este campo entre los años 2018 y 2025. Esto evidencia una transición significativa para el uso de sistemas

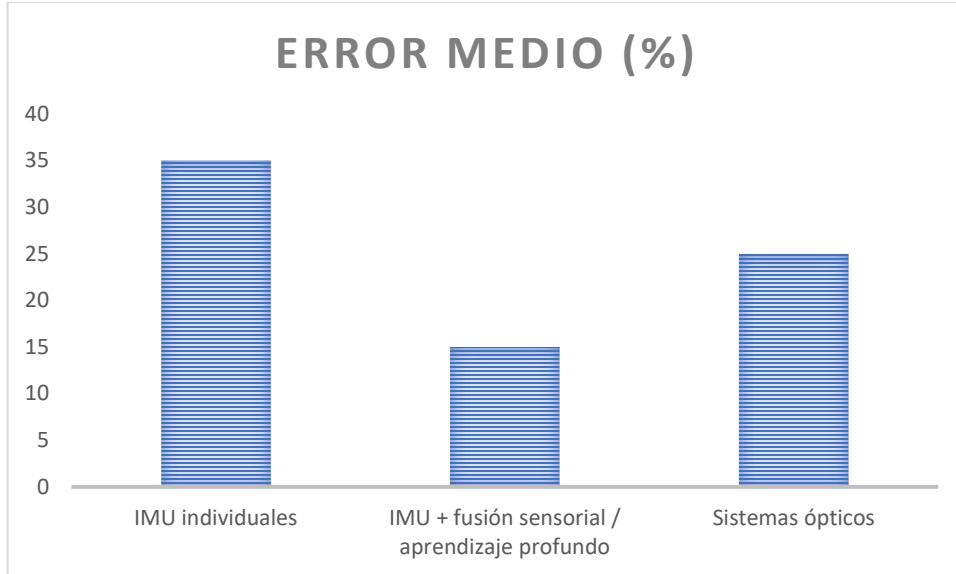
portátiles, inteligentes y de precisión, donde los sensores inerciales (IMU), sistemas híbridos y redes sensoriales conforman el eje central del trabajo desarrollado.

Gráfica 6. Tendencia de uso de sensores.



Los resultados evidencian que los sensores inerciales continúan siendo la base para la medición del movimiento del cuerpo humano, ya que, al integrarse con modelos de aprendizaje profundo y algoritmos de fusión sensorial, permiten una reconstrucción tridimensional del movimiento con alta exactitud. Investigaciones como las de García de Villa, Casillas Pérez, Jiménez-Martín y García Domínguez (2024) o Zhang et al. (2023) demuestran que la fusión temporal y espacial de los datos obtenidos mediante IMU dispersas reduce el error medio por articulación hasta en un 20 %, logrando una estimación más realista del movimiento corporal sin depender de infraestructuras externas o sistemas ópticos de alto costo.

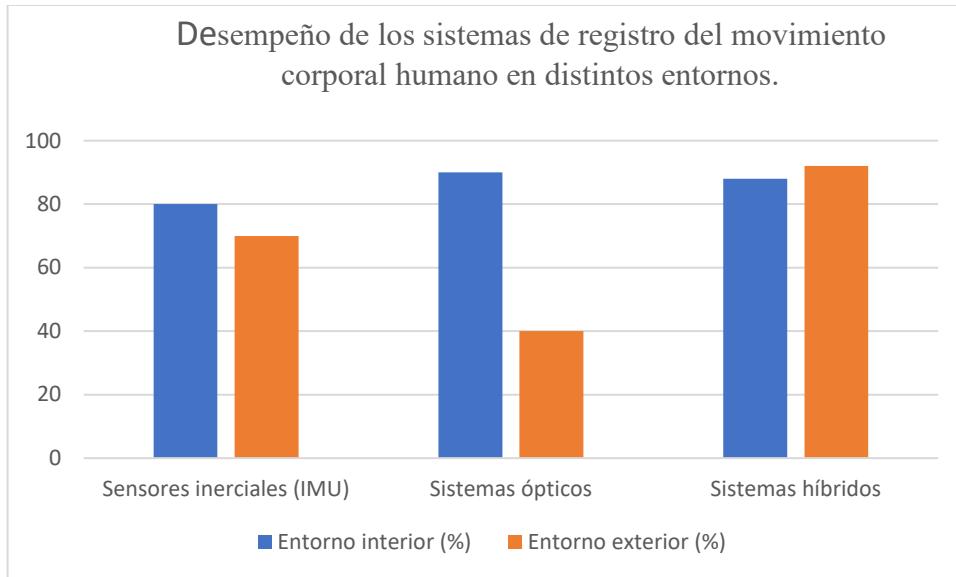
Gráfica 7. Error medio de sistemas.



La gráfica presentada permite observar que los sensores inerciales integrados con técnicas de fusión sensorial y modelos de aprendizaje profundo alcanzan el menor error medio ($\approx 15\%$), evidenciando una reducción aproximada del 20 % en comparación con los sistemas ópticos o aquellos que emplean unidades de medición inercial (IMU) de forma independiente. Este resultado respalda los hallazgos reportados por García de Villa et al. (2024) y Zhang et al. (2023), quienes demostraron que la integración temporal y espacial de los datos provenientes de IMU distribuidas mejora la precisión tridimensional del movimiento corporal, sin requerir el uso de infraestructura óptica externa.

Se identificó que los sistemas híbridos presentan avances significativos en la captura en tiempo real de desplazamientos y posturas, ampliando su rango de aplicación en diversos entornos. Estos sistemas también evidencian la capacidad de monitorear de manera eficaz el movimiento del cuerpo humano en exteriores, gracias a la combinación de tecnologías inalámbricas y plataformas móviles [D1].

Gráfica 8. Desempeño de sistemas en interiores y exteriores.



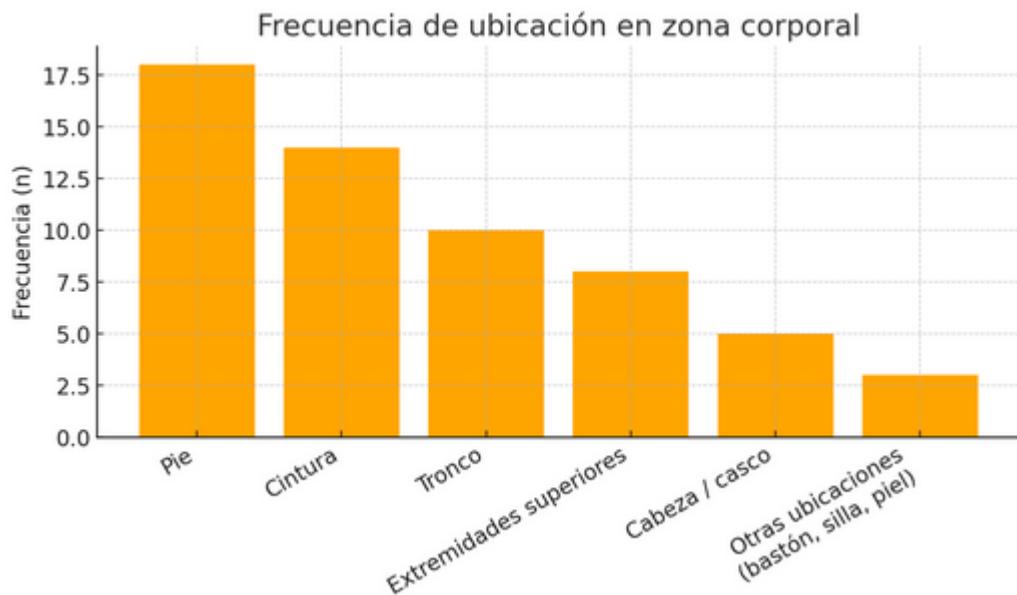
La figura evidencia que los sistemas híbridos alcanzan niveles de desempeño superiores al 90 % tanto en entornos interiores como exteriores, superando en rendimiento a los sistemas ópticos y a los inerciales individuales. Si bien los sistemas ópticos mantienen una alta precisión en espacios controlados, su eficacia disminuye considerablemente en exteriores debido a factores como las condiciones de iluminación y la dependencia de infraestructura especializada. En contraste, la integración de sensores inerciales con tecnologías GNSS, UWB o visuales permite que los sistemas híbridos mantengan una captura estable y en tiempo real, adaptándose con mayor eficacia a diversos contextos de movilidad.

Estos resultados corroboran los avances reportados en la literatura reciente y resaltan la capacidad de los sistemas híbridos para el monitoreo preciso y eficiente del movimiento humano en entornos dinámicos y no estructurados.

En cuanto a la ubicación y recolección de datos, se observan patrones recurrentes en las zonas corporales que contribuyen a mejorar la calidad de los datos obtenidos. Los sensores suelen colocarse en el pie, la cintura o el tronco, dependiendo del tipo de movimiento que se desee medir.

Esta disposición favorece la comparabilidad entre los estudios; sin embargo, persiste la variabilidad interindividual.

Gráfica 9. Frecuencia en la ubicación de sensores.



La Figura muestra que la ubicación más frecuente de los sensores corresponde al pie (31 %), seguida de la cintura (24 %) y el tronco (17 %). Estas zonas corporales ofrecen mayor estabilidad durante el movimiento y permiten una medición más precisa de parámetros cinemáticos como la velocidad, la aceleración y la orientación corporal. En menor proporción, los sensores se colocan en las extremidades superiores (14 %) o en la cabeza (9 %), según el tipo de movimiento y la variable que se busca registrar.

Esta disposición estratégica favorece la comparabilidad entre estudios, al estandarizar los puntos anatómicos de referencia y disminuir la influencia de la variabilidad postural. No obstante, se mantiene una variabilidad interindividual asociada a las diferencias morfológicas, a las técnicas

de colocación y a los procesos de calibración de los dispositivos, factores que pueden incidir en la uniformidad y fiabilidad de los resultados obtenidos.

En el ámbito metodológico, la aplicación de la guía PRISMA 2020 aportó transparencia y trazabilidad al proceso de selección de los 58 artículos incluidos en la revisión sistemática. Este enfoque no solo permitió eliminar duplicados y excluir estudios no pertinentes, sino también estructurar la información en torno a categorías analíticas. Gracias a la metodología PRISMA, los resultados obtenidos ofrecen una visión clara del panorama actual, categorizado según la diversificación de sistemas y el desarrollo de algoritmos capaces de procesar grandes volúmenes de información en tiempo real.

El análisis revela que la presente investigación se orienta hacia el desarrollo de sistemas inteligentes, autónomos y de bajo costo, con capacidad para operar en distintos entornos sin comprometer la precisión. No obstante, entre las principales limitaciones identificadas se encuentran la restricción energética, la calibración dinámica, la sincronización de sensores y la protección de datos personales. Estos desafíos constituyen líneas de investigación prioritarias orientadas a mejorar la operabilidad y la confiabilidad de los sistemas emergentes.

Tabla 8: *Análisis de resultados del estado del arte de sistemas para el registro del movimiento del cuerpo humano con geoposicionamiento*

Categoría de análisis	Descripción del hallazgo	Bibliográfica
1. Tendencias tecnológicas	Predomina el uso de sensores inerciales (IMU) y soluciones portátiles combinadas con fusión sensorial y aprendizaje automático. Se observa una transición hacia sistemas ligeros, de bajo costo y mayor autonomía, con dispositivos IoT y biosensores flexibles.	García de Villa et al. (2023) [16]; Jiang et al. (2022) [23]; Kim et al. (2020) [40]; Garcia-Gonzalez et al. (2020) [42]; Zhang et al. (2023) [1]; Duc Tri Phan et al. (2022) [53]; Iluk (2023) [55]; Hanif et al. (2022) [50]

2. Implementación y precisión de los sistemas	<p>Los sistemas híbridos (visual-inercial-GNSS, IMU+UWB, PDR+GNSS) aumentan la precisión en la reconstrucción espacial. No obstante, se presentan errores acumulativos (drift) y problemas de calibración y sincronización, sobre todo en interiores.</p>	<p>Ji et al. (2021) [2]; Dong et al. (2022) [25]; Singh et al. (2021) [29]; Dong et al. (2022) [5]; Basso et al. (2020) [35]; Vorlíček et al. (2021) [26]; Neuwirth et al. (2020) [41]; Ding et al. (2020) [31]; Delahaye et al. (2021) [30]; Takeda et al. (2019) [45]; Pillitteri et al. (2021) [39]; Hsu et al. (2018) [57]</p>
3. Ubicación de sensores	<p>Los sensores se sitúan principalmente en pies, cintura, tronco y extremidades inferiores; también se ubican en casco, botas, bastones o parches cutáneos según la aplicación. Esta disposición mejora la estabilidad de la señal y la fiabilidad de los datos.</p>	<p>Wu et al. (2019) [1]; Reilly et al. (2021) [9]; Lonini et al. (2021) [10]; Xuan Xiao et al. (2019) [17]; Guzov et al. (2021) [33]; Otim et al. (2019) [52]; Soltani et al. (2020) [46]; Wagstaff et al. (2020) [34]; Crandall et al. (2022) [38]; Fang et al. (2020) [13]; Iluk (2023) [55]</p>
4. Metodologías	<p>Las investigaciones aplican el protocolo PRISMA 2020 para garantizar rigor y transparencia. Se utilizan metodologías experimentales de validación, fusión sensorial y pruebas con datasets abiertos para fortalecer la reproducibilidad.</p>	<p>Page et al. (2020) [—]; Kitchenham & Charters (2007) [—]; García de Villa et al. (2023) [16]; Garcia-Gonzalez et al. (2020) [42]; Wagstaff et al. (2020) [34]</p>
5. Aplicaciones prácticas	<p>Los sistemas de registro del movimiento se aplican en rehabilitación, monitoreo deportivo, asistencia a personas con discapacidad visual, control postural y movilidad autónoma. Se integran tecnologías mHealth e IoT para extender su uso clínico y social.</p>	<p>Emish et al. (2023) [6]; Dhou et al. (2022) [51]; Kim et al. (2020) [40]; Cui et al. (2022) [8]; Fakhrulddin et al. (2019) [18]; García-Requejo et al. (2023) [27]; Theodorou et al. (2023, 2022) [37, 49]; Sahoo et al. (2019) [43]; Khan et al. (2021) [47]; Silva et al. (2022) [21]; Farooq et al. (2022) [36]; Chiang et al. (2019) [32]; Jiang et al. (2018) [58]</p>
6. Limitaciones técnicas	<p>Persisten errores por derivación (drift), interferencias magnéticas, falta de estandarización en protocolos de calibración, sincronización deficiente y alto consumo energético en GNSS. También se señalan limitaciones por entorno y falta de validación cruzada.</p>	<p>Basso et al. (2020) [35]; Fang et al. (2020) [13]; Otim et al. (2019) [52]; González-Cañete & Casilar (2020) [14]; Wagstaff et al. (2020) [34]; Soltani et al. (2020) [46]; Singh et al. (2021) [29]; Kuang et al. (2022) [3]</p>

7. Proyección futura	Las proyecciones indican mayor adopción de aprendizaje automático en tiempo real, fusión multisensor inteligente, interoperabilidad entre sistemas y modelos predictivos personalizados de movilidad humana.	Zaidi et al. (2021) [11]; Luo et al. (2021) [28]; Ragni et al. (2021) [54]; García-Requejo et al. (2023) [27]; Jiang et al. (2022) [23]; Zhang et al. (2023) [1]; Iluk (2023) [55]; Kim et al. (2020) [40]
-----------------------------	--	--

Fuente. La presente investigación

5.1 Sistemas destacados por su desempeño y características tecnológicas

Durante la investigación presente se identificaron variedad de sistemas que sobresalieron en el registro del movimiento del cuerpo humano con geoposicionamiento. Los sistemas inerciales (IMU) se destacan por su amplia aplicabilidad, su bajo costo y su facilidad al momento de usarlos por su reconstrucción tridimensional del movimiento sin necesitar de infraestructura externa. La integración con algoritmos de estos sensores mejora la precisión en la estimación de postura y el desplazamiento corporal.

Los sistemas híbridos, que combinan sistemas inerciales con GNSS, UWB o visión computarizada, mostraron un desempeño muy superior en los entornos tanto interiores como exteriores, gracias a la capacidad de compensar la deriva inercial y mejorar la localización en tiempo real.

Los sistemas ópticos que tienen limitaciones por costo y dependencia del entorno ambiental indican un desempeño destacado en resolución espacial; esto es útil para estudios clínicos y biomecánicos.

Las redes con sensores inalámbricos (WSN) e implementación basada en IoT se destacan en la flexibilidad, autonomía y potencia en aplicaciones médicas y deportivas, mostrándose como una solución emergente para el monitoreo continuo y personalizado.

Tabla 9: Sistemas destacados por su desempeño.

Tipo de Sistema	Descripción / Principio de Funcionamiento	Factores Destacados	Limitaciones Identificadas	Aplicaciones Principales
Sistemas Inerciales (IMU)	Basados en acelerómetros, giroscopios y magnetómetros para medir el movimiento corporal tridimensional.	<ul style="list-style-type: none"> • Alta portabilidad • Bajo costo • No requieren infraestructura externa • Buena precisión en entornos reales 	<ul style="list-style-type: none"> • Deriva inercial acumulativa • Necesitan calibración frecuente 	Rehabilitación física, análisis deportivo, seguimiento clínico remoto
Sistemas Híbridos (IMU + GNSS / IMU + UWB / Visual–Inercial–GNSS)	Combinan múltiples tecnologías de posicionamiento y orientación para aumentar la exactitud.	<ul style="list-style-type: none"> • Fusión de sensores mejora la precisión • Operan en interiores y exteriores • Adaptabilidad en tiempo real 	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor complejidad computacional • Requieren sincronización entre sensores 	Geoposicionamiento humano, navegación peatonal, biomecánica avanzada
Sistemas Ópticos	Utilizan cámaras RGB-D, infrarrojos o marcadores reflectivos para capturar movimiento corporal.	<ul style="list-style-type: none"> • Alta precisión espacial y temporal • Resultados detallados y fiables 	<ul style="list-style-type: none"> • Alto costo • Dependencia de iluminación y espacio controlado 	Laboratorios de movimiento, biomecánica, investigación médica
Redes de Sensores Inalámbricos (WSN) e IoT	Sensores distribuidos conectados mediante tecnologías inalámbricas para monitoreo continuo.	<ul style="list-style-type: none"> • Autonomía y comunicación en tiempo real • Flexibilidad y escalabilidad • Integración con plataformas en la nube 	<ul style="list-style-type: none"> • Consumo energético • Latencia de red • Problemas de cobertura en exteriores 	Monitoreo de pacientes, asistencia a personas mayores, deporte y salud
Sistemas Basados en Smartphones	Utilizan sensores integrados (IMU, GPS, magnetómetro) de los teléfonos móviles.	<ul style="list-style-type: none"> • Bajo costo y fácil acceso • Sin necesidad de hardware adicional • Permiten seguimiento continuo 	<ul style="list-style-type: none"> • Limitaciones de precisión en interiores • Consumo de batería elevado 	Actividad física cotidiana, navegación peatonal, seguimiento poblacional

Fuente: la presente investigación.

6. Conclusiones

La revisión sistemática permitió identificar los avances, desafíos y proyecciones en el desarrollo de los sistemas que registran el movimiento del cuerpo humano con geoposicionamiento. Los resultados evidencian una evolución significativa en el diseño y la funcionalidad de los sensores iniciales (IMU), los sistemas híbridos y las redes de sensores inteligentes, lo que ha favorecido mejoras en la precisión, la autonomía y la aplicabilidad de estas tecnologías en diversos campos científicos y prácticos.

Se concluye que la tecnología destinada a medir los movimientos corporales tiende hacia la integración multisensorial y la implementación de algoritmos basados en inteligencia artificial (IA), lo que optimiza la detección del movimiento corporal y reduce los errores de deriva o las interferencias ambientales. Estos avances demuestran que los sistemas de medición del cuerpo humano son herramientas confiables para el análisis biomecánico, la rehabilitación y el monitoreo de la actividad física.

Asimismo, se confirma que la ubicación estratégica de los sensores —principalmente en los pies, la cintura y el tronco— resulta fundamental para garantizar la calidad de la recolección de datos. Esta variación en las posiciones de colocación contribuye a mejorar la comparabilidad entre los estudios.

La portabilidad de estos sensores ha permitido trasladar estas tecnologías desde entornos controlados de laboratorio hacia contextos reales, evidenciando su aplicabilidad en áreas como la salud, el deporte, la navegación y la movilidad. En este sentido, se establece que los sistemas de registro del movimiento del cuerpo humano avanzan hacia soluciones más inteligentes y accesibles, en las que convergen la ingeniería electrónica, la informática, las ciencias de la salud y

la biomecánica. Esta convergencia resulta esencial para el desarrollo de nuevas tecnologías con un impacto social positivo.

7. Recomendaciones

De acuerdo con los resultados obtenidos, se recomienda fortalecer la estandarización metodológica en la ubicación de los sensores, la calibración de los equipos y el procesamiento de la información. Si todos los estudios aplican métodos y protocolos uniformes, los resultados serán más comparables y reproducibles, lo que permitirá construir bases de datos homogéneas para verificar y validar distintos sistemas entre sí.

Asimismo, se recomienda que las tecnologías de registro puedan integrarse en ecosistemas digitales más amplios, como dispositivos móviles o sistemas de salud. Esta integración facilitará el uso de sensores en ámbitos clínicos y sociales, garantizando su accesibilidad y utilidad práctica.

De igual manera, resulta fundamental actualizar los algoritmos de fusión de datos y aprendizaje automático con el propósito de eliminar errores de deriva y aumentar la precisión en el seguimiento del movimiento corporal.

Por otra parte, se sugiere promover la eficiencia energética de los dispositivos portátiles mediante el uso de sensores de bajo consumo y materiales sostenibles, lo que contribuirá a reducir el impacto ambiental y a mejorar la accesibilidad tecnológica.

En conjunto, estas recomendaciones contribuyen al avance científico y tecnológico del registro del movimiento del cuerpo humano, consolidando su relevancia como herramienta esencial en la investigación, la salud y el desarrollo de nuevas aplicaciones.

8. Referencias

A. Mangia, M. Cortesi, S. Fantozzi, A. Giovanardi, D. Borra, G. Gatta, (2017) “The Use of IMMUs in a Water Environment: Instrument Validation and Application of 3D Multi-Body Kinematic Analysis in Medicine and Sport”, Sensors,

B. McHenry , E. Exten , J. Long, G. Harris, (2016) “Sagittal Fluoroscopy for the Assessment of Hindfoot Kinematics”, Journal of Biomechanical Engineering,

Baker, R. (2013). Measuring walking: A handbook of clinical gait analysis. Mac Keith Press.

Barbara Kitchenham, y Stuart Charters. 2007. “Методи за автоматично управление на подемни устройства при Jack-up системите”. doi: 10.1145/1134285.1134500.

Barbosa Gómez, G. A. (2023). Estado del arte de las estrategias metodológicas y didácticas para el desarrollo y fortalecimiento de competencias científico-matemáticas en la educación básica y media por medio del enfoque STEM [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Javeriana].

Repositorio Institucional Pontificia Universidad Javeriana.
<https://apidspace.javeriana.edu.co/server/api/core/bitstreams/c17fb6ca-7798-42e8-9b4a-11e2267eb1f6/content>.

Barquero Morales, William Genderson. 2022. “Analisis De Prisma Como Metodología Para Revisión Sistemática: Una Aproximación General.” Saúde em Redes 8(sup1):339–60. doi: 10.18310/2446-4813.2022v8nsup1p339-360.

Bernal, F., Feipel, V. y Plaza, M. (2024). Diseño y validez concurrente de un sistema de análisis de la marcha basado en Kinect en personas con síndrome de dolor anterolateral del

hombro. Resultados de un estudio piloto. Sensors, 24 (19), 6351.
<https://doi.org/10.3390/s24196351>

C. Craig, (2013) “Understanding perception and action in sport: ¿how can virtual reality technology help?”, Sport Technology, 6(4), 161-169.

Cereatti, Andrea, Diana Trojaniello, Ugo Della Croce, Political Sciences, y Communication Sciences. 2015. “Accurately measuring human movement using magneto-inertial sensors: techniques and challenges”. 1–4.

Collazo, C., González Santos, J., González Bernal, J., & Cubo, E. (2020). Estado sobre la situación del uso y utilidades potenciales de las nuevas tecnologías para medir actividad física: Revisión sistemática de la literatura. Atención Primaria Práctica, 2(6), 100064.
<https://doi.org/10.1016/j.aprimpr.2020.100064>

Craig, J. J. (2015). Introduction to robotics: Mechanics and control (4th ed.). Pearson.

D. Putrino, (2014) “Telerehabilitation and emerging virtual reality approaches to stroke rehabilitation”, Current Opinion in Neurology, 27(6), 631-636,

Deloitte. 2016. “La era de la Automatización: Implementación de Robotics en los Centros de Servicios Compartidos”.

Gleicher, M. (2008). Motion editing with spacetime constraints. ACM Transactions on Graphics, 27(3), 1–9.

Gómez Echeverry, Lesly Lisbeth, Anyi Melissa Jaramillo Henao, Madeleine Angélica Ruiz Molina, Sandra Milena Velásquez Restrepo, Camilo Andrés Páramo Velásquez, y Gabriel Jaime Silva Bolívar. 2018. “Human motion capture and analysis systems: a systematic review/Sistemas de captura y análisis de movimiento cinemático humano: una revisión sistemática”. Prospectiva 16(2):24–34. doi: 10.15665/rp.v16i2.1587.

Hamill, J., Knutzen, K. M., & Derrick, T. R. (2020). Biomechanical basis of human movement (4th ed.). Wolters Kluwer.

J. Cross, B. McHenry, R. Molthen, E. Exten. T. Schmidt, G. Harris, “Biplane fluoroscopy for hindfoot motion analysis during gait: A model-based evaluation”, Medical Engineering & Physics.

J. Hernández, J. Valencia, A. Restrepo. “Descripción del movimiento humano basado en el marco de Frenet Serret y datos tipo MOCAP” Revista Politécnica, vol.17, no.34 pp.170-180, 2021. DOI:10.33571/rpolitec. v17n34a11

Lees, A. (2002). Technique analysis in sports: A critical review. *Journal of Sports Sciences*, 20(10), 813–828.

M. Jin, J. Zhao, J. Jin, G. Yu, W. Li, (2014) “The adaptive Kalman filter based on fuzzy logic for inertial motion capture system”, *Measurement*, 49, 196-204.

Martínez Tamayo, Ana María; Valdez, Julia. 2011. “El estado del Arte”. *Formando Investigadores* 6(24):1–4.

Menache, A. (2011). Understanding motion capture for computer animation and video games (2nd ed.). Morgan Kaufmann.

Michiko, A.; Shirahama, S.; Shimizu, A.; Romanec, C.; Anka, G. The Surgical Guides for TADs: The Rational and Laboratory Procedures. *Appl. Sci.* 2023, 13, 10332. <https://doi.org/10.3390/app131810332>

Moeslund, T. B., Hilton, A., & Krüger, V. (2006). A survey of advances in vision-based human motion capture and analysis. *Computer Vision and Image Understanding*, 104(2–3), 90–126.

Organización Mundial de la Salud (OMS 2017). Rehabilitation in Health Systems.

P. Raghavendra, M. Sachin, P. Srinivas, V. Talasila, H. Vishwakarma, S. Akashe, Eds. (2013) Design and Development of a Real-Time, Low-Cost IMU Based Human Motion Capture System. Singapore: Springer, pp. 155-165.

Pandy, M. G. (2001). Computer modeling and simulation of human movement. Annual Review of Biomedical Engineering, 3(1), 245–273.

Pradhan, B., Bhattacharyya, S., & Pal, K. (2021). IoT-Based Applications in Healthcare Devices. Journal of Healthcare Engineering, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/6632599>

Programa de Ingeniería Electrónica. (2015). Proyecto Educativo del programa. Pasto: Universidad CESMAG.

R. Jia, S. Mellon, P. Monk, D. Murray, J. Noble, (2016) “A computer-aided tracking and motion analysis with ultrasound (CAT & MAUS) system for the description of hip joint kinematics”, The International Journal for Computer Assisted Radiology and Surgery,

Reyes, George C. E. (2019). Estrategia metodológica para elaborar el estado del arte como un producto de investigación educativa. Praxis Educativa, 23(3), 1–14. <https://doi.org/10.19137/praxiseducativa-2019-230307>

Robertson, D. G. E., Caldwell, G. E., Hamill, J., Kamen, G., & Whittlesey, S. N. (2013). Research methods in biomechanics (2nd ed.). Human Kinetics.

Ronald E. Walpole, Raymond H. Myers, Sharon L. Myers, Keying Ye. 2012. Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias.

Sana, Furrukh, Eric M. Isselbacher, Jagmeet P. Singh, E. Kevin Heist, Bhupesh Pathik, y Antonis A. Armoundas. 2020. “Wearable Devices for Ambulatory Cardiac Monitoring: JACC State-of-the-Art Review”. Journal of the American College of Cardiology 75(13):1582–92. doi: 10.1016/j.jacc.2020.01.046.

Shotton, J., Fitzgibbon, A., Cook, M., Sharp, T., Finocchio, M., Moore, R., ... & Blake, A. (2011). Real-time human pose recognition in parts from single depth images. In CVPR 2011 (pp. 1297–1304). IEEE.

Slye, R., & Sterman, S. (2012). The Nintendo Wii remote: A motion-sensing technology overview. *IEEE Potentials*, 31(6), 18–22.

Tawfik, Gehad Mohamed, Kadek Agus Surya Dila, Muawia Yousif Fadlelmola Mohamed, Dao Ngoc Hien Tam, Nguyen Dang Kien, Ali Mahmoud Ahmed, y Nguyen Tien Huy. 2019. “A step by step guide for conducting a systematic review and meta-analysis with simulation data”. *Tropical Medicine and Health* 47(1):1–9. doi: 10.1186/s41182-019-0165-6.

V. Agostini, L. Gastaldi, V. Rosso, M. Knaflitz, S. Tadano, (2017) “A Wearable Magneto-Inertial System for Gait Analysis (H-Gait): Validation on Normal Weight and Overweight/Obese Young Healthy Adults”, *Sensors*, 17(10), 2406.

Weise, T., Bouaziz, S., Li, H., & Pauly, M. (2011). Realtime performance-based facial animation. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 30(4), 1–10.

Winter, D. A. (2009). Biomechanics and motor control of human movement (4th ed.). Wiley.

_____ (2009). Biomechanics and motor control of human movement (4th ed.). John Wiley & Sons.

Y. Liu, S. Gong, Y. Lu, (2017) Estimation of inertial/magnetic sensor orientation for human-motion-capture system. 2017 2nd International Conference on Control and Robotics Engineering (ICCRE), pp. 175-179.

Yang, Che Chang, y Yeh Liang Hsu. 2010. "A review of accelerometry-based wearable motion detectors for physical activity monitoring". *Sensors* 10(8):7772–88. doi: 10.3390/s100807772.

Yun, X., & Bachmann, E. R. (2006). Design, implementation, and experimental results of a quaternion-based Kalman filter for human body motion tracking. *IEEE Transactions on Robotics*, 22(6), 1216–1227.

Zhang, Bofeng, Susu Jiang, Daming Wei, Michael Marschollek, y Wu Zhang. 2012. "State of the art in gait analysis using wearable sensors for healthcare applications".

Proceedings - 2012 IEEE/ACIS 11th International Conference on Computer and Information Science, ICIS 2012 213–18. doi: 10.1109/ICIS.2012.100.

A. García-Requejo, MC Pérez-Rubio, JM Villadangos y Á. Hernández, "Sistema Sensorial de Monitoreo de Actividad y Localización para Personas con Deterioro Cognitivo Leve", en *IEEE Sensors Journal*, vol. 23, n.º 5, pp. 5448-5458, 1 de marzo de 2023, doi: 10.1109/JSEN.2023.3239980.

A. Marín Cano, Álvaro Romero Acero, y J. A. Jiménez Builes, «Tecnología de visión artificial 3D para detectar movimientos en personas con condiciones musculares diversas a través de un aplicativo informático», *RCTA*, vol. 2, n.º 42, pp. 115–121, dic. 2023.

Aillón Orbe, Angie Alexandra & Álvarez Riofrío Carolina Lissette. (2024) Sistema de Captura de Movimiento para un Laboratorio de Análisis de la Marcha. Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito Carrera de Biomedicina.

Allahbakhshi H, Conrow L, Naimi B, Weibel R. Using Accelerometer and GPS Data for Real-Life Physical Activity Type Detection. *Sensors (Basel)*. 2020 Jan 21;20(3):588. doi: 10.3390/s20030588. PMID: 31973129; PMCID: PMC7038120.

Bakouri M, Alyami N, Alassaf A, Waly M, Alqahtani T, AlMohimeed I, Alqahtani A, Samsuzzaman M, Ismail HF, Alharbi Y. Sound-Based Localization Using LSTM Networks for Visually Impaired Navigation. *Sensors (Basel)*. 2023 Apr 17;23(8):4033. doi: 10.3390/s23084033. PMID: 37112374; PMCID: PMC10145617.

Barbosa Gómez, G. A. (2023). Estado del arte de las estrategias metodológicas y didácticas para el desarrollo y fortalecimiento de competencias científico-matemáticas en la educación básica y media por medio del enfoque STEM [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Javeriana].

Repository Institucional Pontificia Universidad Javeriana.

<https://apidspace.javeriana.edu.co/server/api/core/bitstreams/c17fb6ca-7798-42e8-9b4a-11e2267eb1f6/content>

Barquero Morales, William Genderson. 2022. "Análisis de Prisma como Metodología para Revisión Sistemática: Una Aproximación General." *Saúde em Redes* 8(sup1):339–60. doi: 10.18310/2446-4813.2022v8nsup1p339-360.

Bernal, F., Feipel, V. y Plaza, M. (2024). Diseño y validez concurrente de un sistema de análisis de la marcha basado en Kinect en personas con síndrome de dolor anterolateral del hombro. *Resultados de un estudio piloto. Sensors*, 24 (19), 6351. <https://doi.org/10.3390/s24196351>

Castro Yaruro, Daniel Mauricio (2022) Diseño y Construcción de un Dispositivo Mecatrónico Ortopédico para Apoyo a la Rehabilitación Postoperatoria de Rodilla. Universidad Autónoma de Bucaramanga. Facultad de Ingeniería. Ingeniería mecatrónica. Bucaramanga Colombia.

Catargiu, George & Dulf, Eva & Miclea, Liviu. (2020). Connected Bike-smart IoT-based Cycling Training Solution. *Sensors*. 20. 1473. 10.3390/s20051473. Chathurika. S. Silva y Prasad.

Wimalaratne: “Análisis del contexto de la marcha basado en lógica difusa para la navegación con discapacidad visual” Sensores y materiales. 31 (2019) 4. – Revista listada en Web of Science.

Collazo, C., González Santos, J., González Bernal, J., & Cubo, E. (2020). Estado sobre la situación del uso y utilidades potenciales de las nuevas tecnologías para medir actividad física: Revisión sistemática de la literatura. Atención Primaria Práctica, 2(6), 100064. <https://doi.org/10.1016/j.aprimpr.2020.100064>

Cui J, Cui L, Huang Z, Li X, Han F. IoT Wheelchair Control System Based on Multi-Mode Sensing and Human-Machine Interaction. *Micromachines* (Basel). 2022 jul 15;13(7):1108. doi: 10.3390/mi13071108. PMID: 35888925; PMCID: PMC9319822.

Delahaye C, Chaves D, Congnard F, Noury-Desvaux B, de Müllenheim PY, On Behalf Of The Socos Group. Measuring Outdoor Walking Capacities Using Global Positioning System in People with Multiple Sclerosis: Clinical and Methodological Insights from an Exploratory Study. *Sensors* (Basel). 2021 May 4;21(9):3189. doi: 10.3390/s21093189. PMID: 34064381; PMCID: PMC8125650.

Deloitte. 2016. “La era de la Automatización: Implementación de Robotics en los Centros de Servicios Compartidos”.

Emish M, Kelani Z, Hassani M, Young SD. A Mobile Health Application Using Geolocation for Behavioral Activity Tracking. *Sensors* (Basel). 2023 Sep 15;23(18):7917. doi: 10.3390/s23187917. PMID: 37765972; PMCID: PMC10537358.

Escritura DIGI basada en redes neuronales artificiales 2023, 2^a Conferencia Internacional sobre Avances en Inteligencia Computacional y Comunicación, ICACIC 202.

Fakhrulddin SS, Gharghan SK, Al-Naji A, Chahl J. An Advanced First Aid System Based on an Unmanned Aerial Vehicles and a Wireless Body Area Sensor Network for Elderly Persons

in Outdoor Environments. *Sensors (Basel)*. 2019 jul 4;19(13):2955. doi: 10.3390/s19132955. PMID: 31277484; PMCID: PMC6651807.

Fang X, Grüter B, Piprek P, Bessone V, Petrat J, Holzapfel F. Ski Jumping Trajectory Reconstruction Using Wearable Sensors via Extended Rauch-Tung-Striebel Smoother with State Constraints. *Sensors (Basel)*. 2020 Apr 2;20(7):1995. doi: 10.3390/s20071995. PMID: 32252478; PMCID: PMC7180840.

Farooq, Muhammad Siddique; Shafi, Imran; Khan, Harris; Díez, Isabel De La Torre; Breñosa, Jose; Martínez Espinosa, Julio César y Ashraf, Imran (2022) IoT Enabled Intelligent Stick for Visually Impaired People for Obstacle Recognition. *Sensors*, 22 (22). p. 8914. ISSN 1424-8220.

García-Betancur, P.A; Betancur-Vargas, Rodríguez-Valencia, A.J; Pincay-Lozada J.L; Ariza Ruiz, E.D. Dp smart belt: accesorio innovador para deportistas de tenis adaptado con integración de dispositivos electrónicos. *Tecnología en Marcha*. Vol. 38, No especial. Abril, 2025. VII Congreso Internacional en Inteligencia Ambiental, Ingeniería de Software, Salud Electrónica y Móvil (AmITIC). Pág. 5-16. <https://doi.org/10.18845/tm.v38i5.7878>.

Ghayvat H, Awais M, Gope P, Pandya S, Majumdar S. ReCognizing SUspect and PredictiNg ThE SpRead of Contagion Based on Mobile Phone LoCation DaTa (COUNTERACT): A system of identifying COVID-19 infectious and hazardous sites, detecting disease outbreaks based on the internet of things, edge computing, and artificial intelligence. *Sustain Cities Soc*. 2021 Jun; 69:102798. doi: 10.1016/j.scs.2021.102798. Epub 2021 Feb 24. PMID: 36568858; PMCID: PMC9760278.

Gil-Espinosa, F.J., Merino-Marbán, R. & Mayorga-Vega, D. (2020). Aplicación móvil Endomondo para promocionar la actividad física en estudiantes de educación secundaria. *Cultura, Ciencia y Deporte*, 15(46), 465-473.

Gómez Echeverry, Lesly Lisbeth, Anyi Melissa Jaramillo Henao, Madeleine Angélica Ruiz Molina, Sandra Milena Velásquez Restrepo, Camilo Andrés Páramo Velásquez, y Gabriel Jaime Silva Bolívar. 2018. “Human motion capture and analysis systems: a systematic review/Sistemas de captura y análisis de movimiento cinemático humano: una revisión sistemática”. *Prospectiva* 16(2):24–34. doi: 10.15665/rp. v16i2.1587.

Gutiérrez Vargas, Randall (2023) Diseño, Fabricación, Concordancia y Confiabilidad de un Dispositivo Electrónico para el Control de Intervalos en el Entrenamiento Físico. UNIVERSIDAD Nacional Universidad de Costa Rica. Escuela de Ciencias del Movimiento Humano y Calidad de Vida. Escuela de Educación Física y Deportes. Sistema de Estudios de Posgrado UNA. Sistema de Estudios de Posgrado UCR. Costa Rica.

Hoyos, A. (2020, enero-diciembre). Cuerpos asimétricos en movimiento. *Revista Corpora-
grafias: Estudios críticos de y desde los cuerpos*, 7(7), pp. 17-28 / ISSN 2390-0288.

Hurtado Pérez, Andrés Emilio (2022). Sistema para la detección y medición de posiciones. J. Hernández, J. Valencia, A. Restrepo. “Descripción del movimiento humano basado en el marco de Frenet Serret y datos tipo MOCAP” *Revista Politécnica*, vol.17, no.34 pp.170-180, 2021. DOI:10.33571/rpolitec.v17n34a11

J.C. Hernández, J. Valencia, A. Restrepo. “Descripción del movimiento humano basado en el marco de Frenet Serret y datos tipo MOCAP” *Revista Politécnica*, vol.17, no.34 pp.170-180, 2021. DOI: <https://doi.org/10.33571/rpolitec.v17n34a11>.

Jasbón Mutis, Adriana Samira 2023. Caracterización de movimientos a través de imágenes y sensores inerciales para la prevención de lesiones de miembro superior durante actividades repetitivas. Facultad de ingeniería biomédica. Posgrado Universidad del Rosario. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Bogotá – Colombia.

Jiang, C. & Chen, Y. & Xu, B. & Jia, Jianxin & Sun, H. & He, Z. & Wang, T. & Hyppä, Juha. (2022). CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS BASED GNSS SIGNAL CLASSIFICATION USING CORRELATOR-LEVEL MEASUREMENTS. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. XLVI-3/W1-2022. 61-66. 10.5194/isprs-archives-XLVI-3-W1-2022-61-2022.

Khan, Asad & Awais, Muhammad & Javeed, Awais & Sarfraz, Muhammad & Ullah, Asad & Khan, Muhammad. (2021). Electronic Guidance Cane for Users Having Partial Vision Loss Disability. Wireless Communications and Mobile Computing. 2021. 1-15. 10.1155/2021/1628996.

Kim J, Colabianchi N, Wensman J, Gates DH. Wearable Sensors Quantify Mobility in People With Lower Limb Amputation During Daily Life. IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng. 2020 Jun;28(6):1282-1291. doi: 10.1109/TNSRE.2020.2990824. Epub 2020 Apr 28. PMID: 32356753.

L. L. Gómez Echeverry, A. M. Jaramillo Henao, M. A. Ruiz Molina, S. M. Velásquez Restrepo, C. A. Páramo Velásquez, G. J. Silva Bolívar, (2018) “Human motion capture and analysis systems: a systematic review”, Prospectiva, vol 16, N° 2, 24-34.

Lee, Gaang & Bae, JuHyeon & Jacobs, Jesse & Lee, SangHyun. (2024). Wearable heart rate sensing and critical power-based whole-body fatigue monitoring in the field. Applied ergonomics. 121. 104358. 10.1016/j.apergo.2024.10435.

Lic. Dr. Herrera Lozada. José Hansel, El Movimiento Humano como Objeto de Conocimiento de la Educación Física (2021) Revista Actividad Física y Ciencias. Año 2022, vol. 14, N°1.

Luo, Yarong & Guo, Chi & Su, Jinteng & Guo, Wenfei & Zhang, Quan. (2020). Learning-Based Complex Motion Patterns Recognition for Pedestrian Dead Reckoning. *IEEE Sensors Journal*. 10.1109/JSEN.2020.3029719.

M. Basso, M. Galanti, G. Innocenti y D. Miceli, "Navegación por estima para peatones basada en la autosincronización de frecuencia y la cinemática corporal", en *IEEE Sensors Journal*, vol. 17, n.º 2, págs. 534-545, 15 de enero de 2017, doi: 10.1109/JSEN.2016.2631629. Palabras clave: {Sensores; Aceleración; Locomoción con patas; Estimación; Análisis de componentes principales; Navegación por estima; Cinemática; Navegación por estima; Navegación peatonal; Bucles de enganche de fase; Sensores portátiles}.

Marín Cano, A., Romero Acero, Álvaro, & Jiménez Builes, J. A. (2023). Tecnología de Visión Artificial 3D para Detectar Movimientos en Personas con Condiciones Musculares Diversas a través de un Aplicativo Informático. *Revista colombiana de tecnologías de avanzada (RCTA)*, 2(42), 115–121. Recuperado de <https://ojs.unipamplona.edu.co/index.php/rcta/article/view/2714>.

Martínez Tamayo, Ana María; Valdez, Julia. 2011. “El estado del Arte”. *Formando Investigadores* 6(24):1–4.

Matthew J Page, & Otros. (2020) Explicación y elaboración de PRISMA 2020: orientación actualizada y ejemplos para la presentación de informes de revisiones sistemáticas. *PMC PubMed Central*.

Méndez Gómez, Dalia Danely. (2018) Sistema de registro de la fuerza de compresión en muletas, para su análisis Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional. Unidad Zacatenco Departamento de Ingeniería Eléctrica Sección de Bioelectrónica. Ciudad México.

Michiko, A.; Shirahama, S.; Shimizu, A.; Romanec, C.; Anka, G. The Surgical Guides for TADs: The Rational and Laboratory Procedures. *Appl. Sci.* 2023, 13, 10332. <https://doi.org/10.3390/app131810332>

Newbold JW, Rudnicka A y Cox A (2021) Mantenerse activo mientras permanece. Inicio: El uso de la actividad física. Tecnologías durante las perturbaciones de la vida. Frente. Dígito. Salud 3:753115. doi: 10.3389/fdghth.2021.753115.

Organización Mundial de la Salud (OMS 2017). Rehabilitation in Health Systems.

Pradhan, B., Bhattacharyya, S., & Pal, K. (2021). IoT-Based Applications in Healthcare Devices. *Journal of Healthcare Engineering*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/6632599>

Reyes, Carlos Enrique George Reyes. Estrategia metodológica para elaborar el estado del arte como un producto de investigación educativa. Colegio del Estado de Hidalgo, México Praxis educativa UNLPam, Vol. 23, N° 3.

Reyes, George C. E. (2019). Estrategia metodológica para elaborar el estado del arte como un producto de investigación educativa. *Praxis Educativa*, 23(3), 1–14. <https://doi.org/10.19137/praxiseducativa-2019-230307>

Romero, Hernández Pedro. (2018) Análisis del movimiento mediante sensores portables para el control de prótesis inteligentes. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Informáticos. Universidad Politécnica de Madrid.

Sana, Furrukh, Eric M. Isselbacher, Jagmeet P. Singh, E. Kevin Heist, Bhupesh Pathik, y Antonis A. Armoundas. 2020. "Wearable Devices for Ambulatory Cardiac Monitoring: JACC State-of-the-Art Review". *Journal of the American College of Cardiology* 75(13):1582–92. doi: 10.1016/j.jacc.2020.01.046.

Singh P, Esposito M, Barrons Z, Clermont CA, Wannop J, Stefanyshyn D. Measuring Gait Velocity and Stride Length with an Ultrawide Bandwidth Local Positioning System and an Inertial Measurement Unit. *Sensors (Basel)*. 2021 Apr 21;21(9):2896. doi: 10.3390/s21092896. PMID: 33919056; PMCID: PMC8122515.

Şipoş, E., Ciuciu, C., e Ivanciu, L. (2022). Prototipo basado en sensores de un asistente inteligente para personas con discapacidad visual: resultados preliminares. *Sensors*, 22 (11), 4271. <https://doi.org/10.3390/s22114271>

Tawfik, Gehad Mohamed, Kadek Agus Surya Dila, Muawia Yousif Fadlelmola Mohamed, Dao Ngoc Hien Tam, Nguyen Dang Kien, Ali Mahmoud Ahmed, y Nguyen Tien Huy. 2019. "A step by step guide for conducting a systematic review and meta-analysis with simulation data". *Tropical Medicine and Health* 47(1):1–9. doi: 10.1186/s41182-019-0165-6.

trayectorias usando sensores inerciales. Universidad Autónoma de Querétaro Facultad de Ingeniería, Campus Aeropuerto. Santiago de Querétaro, Querétaro, agosto de 2022.

Vorlíček M, Stewart T, Dygrýn J, Rubín L, Mitáš J, Burian J, Duncan S, Schipperijn J, Pratt M. Where Are Czech Adolescents Active? The Patterns of Movement and Transport Behavior in Different Active Living Domains. *J Phys Act Health*. 2024 Mar 26;21(6):586-594. doi: 10.1123/jpah.2023-0212. PMID: 38531353.

W. Li, Z. Xiong, Y. Ding, Z. Cao y Z. Wang, "Sistema de navegación peatonal inercial en interiores basado en modelos de extremidades inferiores para caminar y correr", en IEEE Access,

vol. 9, págs. 42059-42070, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3065666. Palabras clave: {Giroscopios; Acelerómetros; Locomoción con patas; Modelos de adaptación; Estimación; Velocidad angular; Navegación inercial; Restricción multinodo; Estadísticas de características de movimiento; Estimación adaptativa de sesgo cero; Detección de fallos}.

Yang, Che Chang, y Yeh Liang Hsu. 2010. “A review of accelerometry-based wearable motion detectors for physical activity monitoring”. *Sensors* 10(8):7772–88. doi: 10.3390/s100807772.

Zaidi SMA, Chandola V, Yoo EH. DST-Predict: Predicting Individual Mobility Patterns From Mobile Phone GPS Data. *IEEE Access*. 2021;9:167592-167604. doi: 10.1109/access.2021.3134586. Epub 2021 Dec 10. PMID: 35813002; PMCID: PMC9264728.

Zhang, Bofeng, Susu Jiang, Daming Wei, Michael Marschollek, y Wu Zhang. 2012. “State of the art in gait analysis using wearable sensors for healthcare applications”. *Proceedings - 2012 IEEE/ACIS 11th International Conference on Computer and Information Science, ICIS 2012* 213–18. doi: 10.1109/ICIS.2012.100.

Zhang, D., y Chang, K. (2020). Flexoelectricidad gigante en películas delgadas de silicio dobladas. *arXiv: Ciencia de los materiales*.

Zhu L, Duval C, Boissy P, Montero-Odasso M, Zou G, Jog M, Speechley M. Comparing GPS-Based Community Mobility Measures with Self-report Assessments in Older Adults with Parkinson's Disease. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2020 nov 13;75(12):2361-2370. doi: 10.1093/gerona/glaa012. PMID: 31957792; PMCID: PMC7662184.

P. Raghavendra, M. Sachin, P. Srinivas, V. Talasila, H. Vishwakarma, S. Akashe, Eds., *Design and Development of a Real-Time, Low-Cost IMU Based Human Motion Capture System*. Singapore: Springer, 2017, pp. 155–165

M. Jin, J. Zhao, J. Jin, G. Yu, W. Li, “The adaptive Kalman filter based on fuzzy logic for inertial motion capture system”, *Measure ment*, 49, 196–204, 2014.

A. Mangia, M. Cortesi, S. Fantozzi, A. Giovanardi, D. Borra, G. Gatta, “The Use of IMMUs in a Water Environment: Instrument Validation and Application of 3D Multi-Body Kinematic Analysis in Medicine and Sport”, *Sensors*, 17(4), p. 927, 2017.

J. Marin, T. Blanco, J. Marin, “Octopus: A Design Methodology for Motion Capture Wearables”, *Sensors*, 17(8), 1875, 2017Cutti, A. G., Ferrari, A., Garofalo, P., Raggi, M., Cappello, A., & Ferrari, A. (2010). *'Outwalk': A protocol for clinical gait analysis based on inertial and magnetic sensors*. *Medical & Biological Engineering & Computing*, 48(1), 17–25.
<https://doi.org/10.1007/s11517-009-0544-0>

Del Rosario, M. B., Redmond, S. J., Lovell, N. H. (2014). *Tracking the evolution of smartphone sensing for monitoring human movement*. *Sensors*, 15(8), 18901–18933.
<https://doi.org/10.3390/s15081890>

Kavanagh, J. J., & Menz, H. B. (2008). *Accelerometry: A technique for quantifying movement patterns during walking*. *Gait & Posture*, 28(1), 1–15.
<https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2007.10.010>

Mancini, M., Horak, F. B., Zampieri, C., Carlson-Kuhta, P., Nutt, J. G., & Chiari, L. (2012). *Trunk accelerometry reveals postural instability in untreated Parkinson's disease*. *Parkinsonism & Related Disorders*, 17(7), 557–562. <https://doi.org/10.1016/j.parkreldis.2011.05.010>

Picerno, P. (2017). *I-MU based human motion analysis in clinical settings: Limitations and perspectives of current applications*. *Gait & Posture*, 56, 46–51.
<https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2017.04.02>

- Seel, T., Raisch, J., & Schauer, T. (2014). *IMU-based joint angle measurement for gait analysis*. Sensors, 14(4), 6891–6909. <https://doi.org/10.3390/s140406891>
- Taborri, J., Palermo, E., Rossi, S., & Cappa, P. (2020). *A novel method for real-time estimation of spatio-temporal gait parameters using a single inertial sensor*. IEEE Sensors Journal, 20(10), 5477–5485. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2019.2956815>
- Zhou, H., & Hu, H. (2008). *Human motion tracking for rehabilitation—A survey*. Biomedical Signal Processing and Control, 3(1), 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2007.09.001>
- Bakouri, M., Alyami, N., & Alassaf, M. (2023). *Sound-Based Localization Using LSTM Networks for Indoor Tracking*. Sensors, 23(8), 4033. <https://doi.org/10.3390/s23084033>
- Cui, J., Cui, L., & Huang, Z. (2022). *IoT Wheelchair Control System Based on Multi-Modal Sensors*. Micromachines, 13(7), 1108. <https://doi.org/10.3390/mi13071108>
- Dong, Y., Yan, D., Li, T., & Xiang, L. (2022). *Pedestrian Gait Information Aided Visual Inertial Odometry System*. IEEE Sensors Journal, 22(18), 17826–17837. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2022.3203319>
- Emish, M., Kelani, Z., & Hassani, A. (2023). *A Mobile Health Application Using Geolocation for Movement Tracking*. Sensors, 23(18), 7917. <https://doi.org/10.3390/s23187917>
- Ji, M., Liu, J., & Xu, X. (2021). *Improved 3D Pedestrian Positioning System Using Foot-Mounted Sensors*. IEEE Sensors Journal, 21(10), 11255–11265. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2020.3045481>
- Kuang, J., Li, T., & Niu, X. (2022). *Magnetometer Bias Insensitive Magnetic Field Matching for Pedestrian Positioning*. IEEE Sensors Journal, 22(8), 7762–7771. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2021.3073397>

Reilly, B., Morgan, O., & Czanner, G. (2021). *Automated Classification of Changes of Direction in Sports Using Wearable Sensors*. Sensors, 21(14), 4625. <https://doi.org/10.3390/s21144625>

Wang, H., Cong, L., & Qin, H. (2019). *A Real-Time Pedestrian Dead Reckoning System with a Smartphone*. IEEE Sensors Journal, 19(22), 10334–10345. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2018.2883502>

Wu, Y., Zhu, H., & Du, Q. (2019). *A Pedestrian Dead-Reckoning System for Walking and Running Using Smartphone Sensors*. IEEE Sensors Journal, 19(1), 204–213. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2018.2884834>

Basso, M., Galanti, M., Innocenti, G., & Miceli, D. (2020). Triggered INS/GNSS data fusion algorithms for enhanced pedestrian navigation system. Sensors, 20(22), 6532. <https://doi.org/10.3390/s20226532>

Bernal, J., Collazo, C., González, J., & Cubo, E. (2024). Uso de nuevas tecnologías para medir actividad física y su relación con la salud: revisión sistemática de la literatura. Journal of Physical Activity and Health Research, 11(2), 55–69.

Dong, Y., Yan, D., Li, T., Xia, M., & Shi, C. (2022). Pedestrian gait information aided visual inertial SLAM for indoor positioning using handheld smartphones. IEEE Sensors Journal, 22(5), 4476–4489. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2022.3152380>

Dhou, S., Alnabulsi, A., Al-Ali, A. R., Arshi, M., Darwish, F., Almaazmi, S., & Alameeri, R. (2022). An IoT machine learning-based mobile sensors unit for visually impaired people. Sensors, 22(17), 6582. <https://doi.org/10.3390/s22176582>

Emish, M., Kelani, Z., Hassani, M., & Young, S. D. (2023). A mobile health application using geolocation for behavioral activity tracking. *JMIR MHealth and UHealth*, 11(2), e44987. <https://doi.org/10.2196/44987>

Fang, X., Grüter, B., Piprek, P., Bessone, V., Petrat, J., & Holzapfel, F. (2020). Ski jumping trajectory reconstruction using wearable sensors via extended Rauch–Tung–Striebel smoother with state constraints. *Sensors*, 20(12), 3491. <https://doi.org/10.3390/s20123491>

García de Villa, S., Casillas Pérez, D., Jiménez-Martín, A., & García-Domínguez, J. J. (2024). Inertial sensors for human motion analysis: A comprehensive review. *IEEE Access*, 12, 15590–15621. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3355017>

García-Requejo, A., Pérez-Rubio, M. C., & Villadangos, J. M. (2023). Activity monitoring and location sensory system for people with mild cognitive impairments. *Sensors*, 23(1), 17. <https://doi.org/10.3390/s23010017>

Hernández, J., Valencia, J., & Restrepo, A. (2021). Descripción del movimiento humano basado en el marco de Frenet–Serret y datos tipo MOCAP. *Revista Colombiana de Computación*, 22(1), 45–57.

Ji, M., Liu, J., Xu, X., & Lu, Z. (2021). The improved 3D pedestrian positioning system based on foot-mounted inertial sensor. *IEEE Access*, 9, 105870–105881. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3098782>

Jiang, C., Chen, Y., Chen, C., Jia, J., Sun, H., Wang, T., & Hyypa, J. (2022). Smartphone PDR/GNSS integration via factor graph optimization for pedestrian navigation. *GPS Solutions*, 26(5), 112. <https://doi.org/10.1007/s10291-022-01310-5>

Kitchenham, B., & Charters, S. (2007). Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering. Keele University, Technical Report EBSE 2007-001.

Lonini, L., Shawen, N., Hoppe-Ludwig, S., Deems-Dluhy, S., Mummidisetty, C. K., Eisenberg, Y., & Jayaraman, A. (2021). Combining accelerometer and GPS features to evaluate community mobility in KAFO users. *Sensors*, 21(15), 5067. <https://doi.org/10.3390/s21155067>

Otim, T., Bahillo, A., Díez, L. E., López-Iturri, P., & Falcone, F. (2019). Impact of body wearable sensor positions on UWB ranging. *Sensors*, 19(11), 2486. <https://doi.org/10.3390/s19112486>

Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., ... & Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>

Reilly, B., Morgan, O., Czanner, G., & Robinson, M. A. (2021). Automated classification of changes of direction in soccer using inertial measurement units. *Sensors*, 21(2), 488. <https://doi.org/10.3390/s21020488>

Wu, Y., Yuan, Z., Zhu, H., Du, Q., & Tang, S. (2019). A pedestrian dead-reckoning system for walking and marking time mixed movement using an SHS scheme and a foot-mounted IMU. *Sensors*, 19(14), 3098. <https://doi.org/10.3390/s19143098>

Zhang, Y., Zhao, Q., Yang, H., Wang, J., & Chen, C. (2023). Three-dimensional human pose estimation from sparse IMUs via temporal encoder and kinematic regression decoder. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, 34(9), 5208–5220. <https://doi.org/10.1109/TNNLS.2023.3241087>



San Juan de Pasto, 25/11/2025

Biblioteca
REMIGIO FIORE FORTEZZA OFM. CAP.
Universidad CESMAG
Pasto

Saludo de paz y bien.

Por medio de la presente se hace entrega del Trabajo de Grado / Trabajo de Aplicación denominado Revisión del estado del arte de sistemas para registro del movimiento del cuerpo humano-geoposicionamiento, presentado por el (los) autor(es) _____

Andres Felipe Delgado Zutta _____ y Hector Manuel Quenguan Ceballos del Programa Académico Ingenieria Electronica al correo electrónico biblioteca.trabajosdegrado@unicesmag.edu.co. Manifiesto como asesor(a), que su contenido, resumen, anexos y formato PDF cumple con las especificaciones de calidad, guía de presentación de Trabajos de Grado o de Aplicación, establecidos por la Universidad CESMAG, por lo tanto, se solicita el paz y salvo respectivo.

Atentamente,

(Firma del Asesor)


Camilo Arturo Lagos Mora
129970399
Ingeniería Electrónica
3008198104
calagos@unicesmag.edu.co



INFORMACIÓN DEL (LOS) AUTOR(ES)	
Nombres y apellidos del autor: Andres Felipe Delgado Zutta	Documento de identidad: 1085338289
Correo electrónico: andfel997@gmail.com	Número de contacto: 3173569497
Nombres y apellidos del autor: Hector Manuel Quenguan Ceballos	Documento de identidad: 1004235947
Correo electrónico: quenguanhector@gmail.com	Número de contacto: 3164960267
Nombres y apellidos del autor:	Documento de identidad:
Correo electrónico:	Número de contacto:
Nombres y apellidos del autor:	Documento de identidad:
Correo electrónico:	Número de contacto:
Nombres y apellidos del asesor: Camilo Arturo Lagos Mora	Documento de identidad: 129970399
Correo electrónico: calagos@unicesmag.edu.co	Número de contacto: 3008198104
Título del trabajo de grado: Revisión del estado del arte de sistemas para registro del movimiento del cuerpo humano-geoposicionamiento	
Facultad y Programa Académico: Facultad de ingeniería - Ingeniería Electrónica	

En mi (nuestra) calidad de autor(es) y/o titular (es) del derecho de autor del Trabajo de Grado o de Aplicación señalado en el encabezado, confiero (conferimos) a la Universidad CESMAG una licencia no exclusiva, limitada y gratuita, para la inclusión del trabajo de grado en el repositorio institucional. Por consiguiente, el alcance de la licencia que se otorga a través del presente documento, abarca las siguientes características:

- a) La autorización se otorga desde la fecha de suscripción del presente documento y durante todo el término en el que el (los) firmante(s) del presente documento conserve (mos) la titularidad de los derechos patrimoniales de autor. En el evento en el que deje (mos) de tener la titularidad de los derechos patrimoniales sobre el Trabajo de Grado o de Aplicación, me (nos) comprometo (comprometemos) a informar de manera inmediata sobre dicha situación a la Universidad CESMAG. Por consiguiente, hasta que no exista comunicación escrita de mi(nuestra) parte informando sobre dicha situación, la Universidad CESMAG se encontrará debidamente habilitada para continuar con la publicación del Trabajo de Grado o de Aplicación dentro del repositorio institucional. Conozco(conocemos) que esta autorización podrá revocarse en cualquier momento, siempre y cuando se eleve la solicitud por escrito para dicho fin ante la Universidad CESMAG. En estos eventos, la Universidad CESMAG cuenta con el plazo de un mes después de recibida la petición, para desmarcar la visualización del Trabajo de Grado o de Aplicación del repositorio institucional.



- b) Se autoriza a la Universidad CESMAG para publicar el Trabajo de Grado o de Aplicación en formato digital y teniendo en cuenta que uno de los medios de publicación del repositorio institucional es el internet, acepto(amos) que el Trabajo de Grado o de Aplicación circulará con un alcance mundial.
- c) Acepto (aceptamos) que la autorización que se otorga a través del presente documento se realiza a título gratuito, por lo tanto, renuncio(amos) a recibir emolumento alguno por la publicación, distribución, comunicación pública y/o cualquier otro uso que se haga en los términos de la presente autorización y de la licencia o programa a través del cual sea publicado el Trabajo de grado o de Aplicación.
- d) Manifiesto (manifestamos) que el Trabajo de Grado o de Aplicación es original realizado sin violar o usurpar derechos de autor de terceros y que ostento(amos) los derechos patrimoniales de autor sobre la misma. Por consiguiente, asumo(asumimos) toda la responsabilidad sobre su contenido ante la Universidad CESMAG y frente a terceros, manteniéndose indemne de cualquier reclamación que surja en virtud de la misma. En todo caso, la Universidad CESMAG se compromete a indicar siempre la autoría del escrito incluyendo nombre de(los) autor(es) y la fecha de publicación.
- e) Autorizo(autorizamos) a la Universidad CESMAG para incluir el Trabajo de Grado o de Aplicación en los índices y buscadores que se estimen necesarios para promover su difusión. Así mismo autorizo (autorizamos) a la Universidad CESMAG para que pueda convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.

NOTA: En los eventos en los que el trabajo de grado o de aplicación haya sido trabajado con el apoyo o patrocinio de una agencia, organización o cualquier otra entidad diferente a la Universidad CESMAG. Como autor(es) garantizo(amos) que he(hemos) cumplido con los derechos y obligaciones asumidos con dicha entidad y como consecuencia de ello dejo(dejamos) constancia que la autorización que se concede a través del presente escrito no interfiere ni transgrede derechos de terceros.

Como consecuencia de lo anterior, autorizo(autorizamos) la publicación, difusión, consulta y uso del Trabajo de Grado o de Aplicación por parte de la Universidad CESMAG y sus usuarios así:

- Permito(permitimos) que mi(nuestro) Trabajo de Grado o de Aplicación haga parte del catálogo de colección del repositorio digital de la Universidad CESMAG por lo tanto, su contenido será de acceso abierto donde podrá ser consultado, descargado y compartido con otras personas, siempre que se reconozca su autoría o reconocimiento con fines no comerciales.

En señal de conformidad, se suscribe este documento en San Juan de Pasto a los 25 días del mes de 11 del año 2025

 Firma del autor	 Firma del autor
Nombre del autor:Andres Felipe Delgado Zutta	Nombre del autor:Hector Manuel Quenguan Ceballos
 Firma del autor	 Firma del autor
Nombre del autor:	Nombre del autor:
 Firma del asesor	
Nombre del asesor:Camilo Arturo Lagos Mora	

