



UNIVERSIDAD DE  
**MURCIA**



---

# Consideraciones metodológicas en estudios técnicos de tecnología de seguimiento deportivo: Una revisión sistemática

Trabajo Fin de Máster  
Junio de 2019

Autor:  
**ALEJANDRO HERNÁNDEZ BELMONTE**  
48.728.884A

Tutor:  
Prof. Dr. José Pino Ortega

**Facultad de Ciencias del Deporte**  
Universidad de Murcia

---







El alumno D. Alejandro Hernández, con número de D.N.I. 48.728.884-A, estudiante del **Máster Oficial en Investigación en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte**, desarrollado por la Facultad de Ciencias del Deporte (Campus de San Javier) de la Universidad de Murcia, presenta su TRABAJO FIN DE MÁSTER, titulado:

**“Consideraciones metodológicas en estudios técnicos de tecnología de seguimiento deportivo: Una revisión sistemática”**

El presente TRABAJO FIN DE MÁSTER fue tutorizado por el Prof. Dr. D. José Pino Ortega. El cual acredita, a través de este documento, la idoneidad del presente trabajo de investigación y le otorga el Vº Bº a su contenido para llevar a cabo la defensa de pública ante un tribunal.

Para que así conste, se firma la presente en San Javier, a 27 de junio de 2019



Fdo.: José Pino Ortega



Hernández-Belmonte, A (2019). *Consideraciones metodológicas en estudios técnicos de tecnología de seguimiento deportivo: Una revisión sistemática*. Trabajo de Fin de Máster. Murcia: Universidad de Murcia.

## RESUMEN

**Contexto:** Los sistemas de posicionamiento global (GPS) y local (LPS) utilizados en el ámbito deportivo se encuentran influenciados por una serie de factores técnicos que afectan a la precisión de sus datos. Por ello, investigaciones técnicas que analicen la precisión de estas tecnologías deberían informar minuciosamente sobre estos factores. **Objetivo:** El presente estudio, tuvo como objetivo analizar la inclusión de la información referente a los diferentes factores que afectan a las tecnologías GPS y LPS, en aquellos estudios que examinan la validez y/o fiabilidad de estos sistemas. **Método:** Se llevó a cabo una revisión sistemática en las bases de datos Web of Science, Scopus, Medline, PubMed y ScienceDirect. Fueron considerados artículos elegibles, aquellos que examinasen alguna característica de la medida de dispositivos GPS o LPS, en el ámbito deportivo. **Resultados:** La estrategia de búsqueda utilizada identificó 744 artículos. Tras eliminar duplicados, aplicar los criterios de inclusión/exclusión y buscar artículos elegibles en otras fuentes, un total de 64 artículos fueron incluidos la síntesis cualitativa. El análisis de los estudios incluidos muestra que los factores menos reportados fueron: disolución horizontal de la precisión (DHOP) (52,2%) y número de satélites (43,5%) (estudios de GPS), procesamiento de los datos (71,4%) e información referente a la infraestructura de antenas (64,3%) (estudios de LPS); y DHOP/información referente a la infraestructura de antenas (75,0%) y criterio de referencia (50,0%) (estudios de GPS y LPS). Por su parte, el test utilizado y las variables analizadas se mostraron como los factores menos omitidos, siendo reportados en todos los estudios analizados. **Conclusiones:** Los principales hallazgos del presente estudio demuestran la elevada falta de información referente a los factores que afectan a los sistemas GPS y LPS, en aquellos estudios técnicos examinan estas tecnologías. En base a estos resultados, se insta a que futuros estudios se apoyen en la guía *checklist* de verificación que será propuesta al final de este documento.

Palabras clave: GPS, LPS, Validez, Fiabilidad, Precisión.





Hernández-Belmonte, A (2019). *Methodological considerations in technical studies of sport tracking technologies: A systematic review*. Trabajo de Fin de Máster. Murcia: Universidad de Murcia.

## ABSTRACT

**Background:** Global positioning systems (GPS) and local positioning systems (LPS) used in the sport field are influenced by several technical factors that affect the accuracy of their data. Therefore, technical studies that analyze the accuracy of these technologies should report these factors in detail. **Objective:** The objective of this study was to analyze the inclusion of the information referring to the different factors that affect GPS and LPS technologies in those studies that carry out a validity and/or reliability analysis of these systems. **Methods:** A systematic review of Web of Science, Scopus, Medline, Pubmed y ScienceDirect data bases was carried out. Eligible studies were those that examined some characteristic of the measurement of GPS or LPS devices, in the sport field. **Results:** The search strategy identified 744 studies. After duplicate removal, inclusion/exclusion criteria and search eligible studies in other sources, a total of 64 investigations were included in the qualitative synthesis. The analysis of the studies included shows that the least reported factors were: horizontal dilution of precision (HDOP) (52,2%) and number of satellites (43,5%) (GPS studies), data processing (71,4%) and information regarding the antennas' infrastructure (64,3%) (LPS studies); and HDOP/information regarding antennas' infrastructure (75,0%) and gold standard (50,0%) (GPS and LPS studies). On the other hand, the test used and variables analyzed were shown as the least omitted factors, since they were reported in all the studies examined. **Conclusions:** The main findings of the present study demonstrated the high lack of information about the factors that affect to the GPS and LPS systems in those technical studies that examine these technologies. Based on these results, future studies are encouraged to rely on the checklist guide that will be proposed at the end of this manuscript.

Keywords: GPS, LPS, Validity, Reliability, Accuracy



## AGRADECIMIENTOS

---

*A mis padres por ser ejemplo de lucha diaria, enseñándome el significado de las palabras trabajo, sacrificio y humildad. A mis abuelos/as por ser mi pilar fundamental y por inculcarme gran parte de los valores que tengo hoy en día. Al resto de mis familiares por el apoyo que día a día me mostráis.*

*A los amigos que me han acompañado durante este camino. En especial, a mi compañero y AMIGO Daniel Garrigós por acompañarme en tantos debates y contagiarme su espíritu perfeccionista.*

*A mi pareja María por entender todas las horas robadas para pasarlas bajo un flexo, gracias por comprenderme y nunca dejar de confiar en mí.*

*Al Dr. José Pino Ortega, por enseñarme todo lo que se sobre la temática que aborda este trabajo final de máster.*

*Finalmente, este trabajo va dedicado a ti, Abuela. A pesar de que esta enfermedad pueda separarte de nosotros, estoy seguro de que nunca lograré arrebatarte la sonrisa. Espero que desde donde vayas me sigas acompañando en este largo y arduo camino.*

---



---

## Índice del TFM

---

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>9</b>
1.1. Contextualización .....	11
1.2. Marco teórico .....	12
1.2.1. Sistemas electrónicos de seguimiento deportivo .....	12
1.2.2. Sistemas de navegación por satélite (GNSS) .....	13
1.2.3. Sistema de posicionamiento global (GPS) .....	14
1.2.3.1. Origen y aplicación en el ámbito deportivo .....	14
1.2.3.2. Funcionamiento y obtención de las variables principales .....	15
1.2.3.3. Factores con influencia en la tecnología GPS .....	16
1.2.4. Sistemas de posicionamiento local (LPS) .....	18
1.2.4.1. Origen y aplicación en el ámbito deportivo .....	18
1.2.4.2. Funcionamiento y obtención de las variables principales .....	18
1.2.4.3. Factores con influencia en la tecnología LPS .....	20
1.2.5. Otros factores comunes a ambas tecnologías .....	20
<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>23</b>
<b>METODOLOGÍA .....</b>	<b>27</b>
3.1. Estrategia de búsqueda bibliográfica .....	29
3.2. Selección de estudios .....	29
3.3. Extracción de datos .....	31
3.4. Evaluación de la calidad metodológica .....	31
<b>RESULTADOS .....</b>	<b>33</b>
4.1. Identificación y selección de estudios .....	35

---

4.2. Calidad metodológica .....	35
4.3. Descripción de la muestra .....	35
4.3.1. Características generales de los estudios.....	35
4.3.2. Características de la muestra.....	36
4.4. Factores técnicos sin reportar en los estudios examinados.....	37
<b>DISCUSIÓN .....</b>	<b>39</b>
5.1. DHOP (Factor de tecnología GPS) .....	41
5.2. Número de satélites conectados (Factor de tecnología GPS) .....	42
5.3. Infraestructura de antenas (Factor de tecnología LPS).....	43
5.4. Criterio de referencia (Factor de tecnología GPS y LPS).....	43
5.5. Dispositivo y frecuencia de muestreo (Factor de tecnología GPS y LPS) .....	44
5.6. Procesamiento de los datos (Factor de tecnología GPS y LPS).....	44
5.7. Ubicación del dispositivo (Factor de tecnología GPS y LPS).....	45
5.8. Variables analizadas (Factor de tecnología GPS y LPS).....	46
5.9. Test utilizado (Factor de tecnología GPS y LPS).....	46
6.0. Prospectivas de investigación .....	47
<b>CONCLUSIONES Y APLICACIONES PRÁCTICAS.....</b>	<b>49</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>53</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>65</b>
01.- Anexo I. Planilla de extracción de datos en los estudios que examinaron tecnología GPS.....	65
02.- Anexo II. Planilla de extracción de datos en los estudios que examinaron tecnología LPS.....	65
03.- Anexo III. Planilla de extracción de datos en los estudios que examinaron tecnología GPS y LPS. ....	65
04.- Anexo IV. Resultados detallados de la calidad metodológica de los estudios incluidos. .....	65
05.- Anexo V. Resumen de la calidad metodológica de los estudios incluidos.....	65

---

---

## Índice de TABLAS

---

<b>Tabla 1.</b> Sistemas electrónicos de análisis del rendimiento (elaborada a partir del trabajo de Sweeting et al., 2017).....	13
<b>Tabla 2.</b> Estrategia de búsqueda bibliográfica utilizada .....	29
<b>Tabla 3.</b> Criterios de inclusión y exclusión utilizados.....	31
<b>Tabla 4.</b> Modificación de los ítems utilizados y sistema de puntuación.....	32
<b>Tabla 5.</b> Frecuencia (n) de las categorías incluidas dentro de los factores analizados .....	36
<b>Tabla 6.</b> Factores técnicos sin reportar en los estudios de tecnología GPS, LPS, GPS/LPS38	





---

## Índice de ILUSTRACIONES

---

<b>Ilustración 1.</b> Número de estudios publicados usando dispositivos comerciales GPS desde el año 2001 hasta el año 2015 (extraído de Malone et al., 2017).....	14
<b>Ilustración 2.</b> Determinación trigonométrica de la posición (extraído de Larsson, 2003). ....	15
<b>Ilustración 3.</b> Influencia de la distribución espacial de los satélites conectados al dispositivo GPS sobre la DHOP y la precisión de los datos (elaboración propia). ....	17
<b>Ilustración 4.</b> Infraestructura de antenas de un sistema LPS (extraído de Bastida-Castillo et al., 2019). ....	19
<b>Ilustración 5.</b> Flujo de selección de estudios .....	30



---

## Índice de ABREVIATURAS

---

<b>Siglas</b>	<b>Aclaración terminológica</b>
Acc/Dec	Ratio aceleraciones/deceleraciones
AccInst	Aceleración instantánea
AccMáx	Aceleración máxima
AccMed	Aceleración media
CdD	Cambio de dirección
DecMáx	Deceleración máxima
DecMed	Deceleración media
DHOP	Disolución horizontal de la precisión
DT	Distancia total
F0	Fuerza máxima teórica
GNSS	Global Navigation Satellite Systems
GPS	Global Positioning System
Hz	Hercios
LPS	Local Positioning System
PMáx	Potencia máxima
PMet	Potencia metabólica
t	Tiempo
UWB	Ultra wide-band
V0	Velocidad máxima teórica
VInst	Velocidad instantánea
VMáx	Velocidad máxima
VMed	Velocidad media



# INTRODUCCIÓN

---



## 1.1. Contextualización

En los últimos años, los sistemas electrónicos de seguimiento han sido ampliamente incorporados en el ámbito deportivo, especialmente en los deportes colectivos. Este tipo de tecnología, es utilizada por entrenadores, preparadores físicos, analistas e investigadores para diferentes finalidades como: cuantificar la carga de entrenamiento (Akenhead y Nassis, 2016; Halson, 2014), evaluar el rendimiento físico (Barbero-Álvarez, Coutts, Granda, Barbero-Álvarez, y Castagna, 2010; Beenham et al., 2017; Yanci et al., 2017) y/o llevar a cabo análisis tácticos (Bastida-Castillo, Gómez-Carmona, De La Cruz Sánchez, y Pino-Ortega, 2019; Memmert, Raabe, Schwab, y Rein, 2019; Olthof, Frencken, y Lemmink, 2019). Entre la gama de tecnologías disponibles para el seguimiento y monitorización del rendimiento deportivo, las más utilizadas son los sistemas basados en radio frecuencias: sistema de posicionamiento global (GPS) y sistema de posicionamiento local (LPS) (Hoppe, Baumgart, Polglaze, y Freiwald, 2018). A medida que los sistemas GPS y LPS han ido incorporándose al ámbito deportivo, también se ha incrementado de manera exponencial el número de estudios llevados a cabo con la finalidad de constatar la “validez” y “fiabilidad” de estas tecnologías. En estas investigaciones, la validez de la medida ha sido examinada mediante el análisis del grado de acuerdo entre el dispositivo GPS y/o LPS objeto de estudio y otra herramienta considerada como criterio de referencia (en inglés, *gold standard*) (Currell y Jeukendrup, 2008; Hoppe et al., 2018; Linke, Link, y Lames, 2018). Por su parte, la fiabilidad ha sido examinada comparando el grado de acuerdo, bien entre las medidas reportadas por dos o más dispositivos del mismo modelo registrando simultáneamente una prueba (inter-dispositivo) (Akenhead, French, Thompson, y Hayes, 2014; Bastida-Castillo, Gómez-Carmona, De La Cruz Sánchez, y Pino-Ortega, 2018; Jackson, Polglaze, Dawson, King, y Peeling, 2018; Lacomme et al., 2019); o bien por el mismo dispositivo tras la ejecución de una prueba realizada en diferentes momentos bajo idénticas condiciones (inter-sesión) (Petersen, Pyne, Portus, y Dawson, 2009; Waldron, Worsfold, Twist, y Lamb, 2011a; Willmott, James, Bliss, Leftwich, y Maxwell, 2019).

Cabe lugar resaltar que, además de las consideraciones metodológicas propias de los estudios de validez y fiabilidad, las investigaciones que tengan como finalidad, analizar alguna característica de la medida reportada por sistemas GPS o LPS, deberían tener en cuenta una serie de factores técnicos de cada tecnología, que afectan al funcionamiento de ésta. Cabe

lugar resaltar algunos factores propios de estos sistemas, como el número de satélites o la disolución horizontal de la precisión (DHOP), en la tecnología GPS (Scott, Scott, y Kelly, 2016; Witte y Wilson, 2004); el número de antenas, ubicación y altura de éstas, en la tecnología LPS (Luteberget, Spencer, y Gilgien, 2018; Serpiello et al., 2018); o la frecuencia de muestreo, la ubicación del dispositivo y el proceso de obtención de los datos, en ambas tecnologías (Delaney et al., 2019; Ridolfi et al., 2018; Scott et al., 2016; Thornton, Nelson, Delaney, Serpiello, y Duthie, 2019). Estos factores, junto a otros elementos a tener en cuenta como el test o prueba llevada a cabo, el criterio de referencia utilizado y las variables objeto de estudio, condicionan en gran medida los resultados obtenidos por estas tecnologías en un proceso de validación, por lo que se hace necesario su reporte en investigaciones con dicha finalidad (Malone, Lovell, Varley, y Coutts, 2017).

## **1.2. Marco teórico**

### **1.2.1. Sistemas electrónicos de seguimiento deportivo**

Denominados por la Fédération Internationale de Football Association (FIFA) como *Electronic Performance Tracking Systems* (EPTS), los sistemas electrónicos de análisis de rendimiento deportivo representan una herramienta fundamental para entrenadores y analistas, especialmente en los deportes colectivos. Dentro de los EPTS, se encuentran las siguientes tecnologías: 1) sistemas de seguimiento mediante sensor óptico (VID), 2) sistemas de posicionamiento global (GPS) y 3) sistemas de posicionamiento local (LPS) (Sweeting, Cormack, Morgan, y Aughey, 2017) (Tabla 1). En la actualidad, las grandes desventajas de los sistemas VID, tanto manuales como semi-automáticos, sumado al desarrollo y perfeccionamiento de los sistemas GPS y LPS con la incorporación de sensores como acelerómetros y giroscopios (Barreira et al., 2017; Barrett, Midgley, y Lovell, 2014; Roell, Roecker, Gehring, Mahler, y Gollhofer, 2018), ha situado a los sistemas basados en radio frecuencia (GPS y LPS) como las herramientas más utilizadas para la monitorización de los deportistas en entrenamientos y partidos oficiales (Hoppe et al., 2018).



**Tabla 1.** Sistemas electrónicos de análisis del rendimiento (elaborada a partir del trabajo de Sweeting et al., 2017)

	Sistemas basados en sensor óptico (VID)		Sistemas basados en radio frecuencias	
	Sistema de video-análisis manual	Sistemas de seguimiento semi-automático	Sistema de posicionamiento global (GPS)	Sistemas de posicionamiento local (LPS)
Funcionamiento	Movimientos grabados con cámaras y codificados subjetivamente	Registro automático y simultáneo de múltiples jugadores a través de cámaras	Movimientos registrados a través del sistema de satélites	Movimientos registrados a través de un sistema local de antenas
Ventajas	- Método económico - No invasivo	- No invasivo - Elimina la subjetividad - Reduce requerimiento temporal - Alta frecuencia de muestreo - Posibilidad de seguimiento del balón	- Elevado número de variables - Escaso requerimiento temporal de instalación - Posibilidad de incorporar dispositivos electromecánicos (acelerómetro, giroscopio)	- Elevado número de variables - Mayor precisión de las variables reportadas - Menor influencia de factores externos - Válido para deportes interiores
Desventajas	- Gran requerimiento temporal - Registro individual de los jugadores - Validez no establecida - Subjetividad en la medida - Grabación en 2 planos (no registra plano vertical)	- Gran requerimiento temporal de instalación - Gran coste económico - Grabación en 2 planos dimensionales (no registra eje vertical) - Posibles oclusiones durante el registro	- Invasivos - Señal afectada por factores internos y externos - No válido para deportes interiores	- Invasivos - Gran requerimiento temporal de instalación

### 1.2.2. Sistemas de navegación por satélite (GNSS)

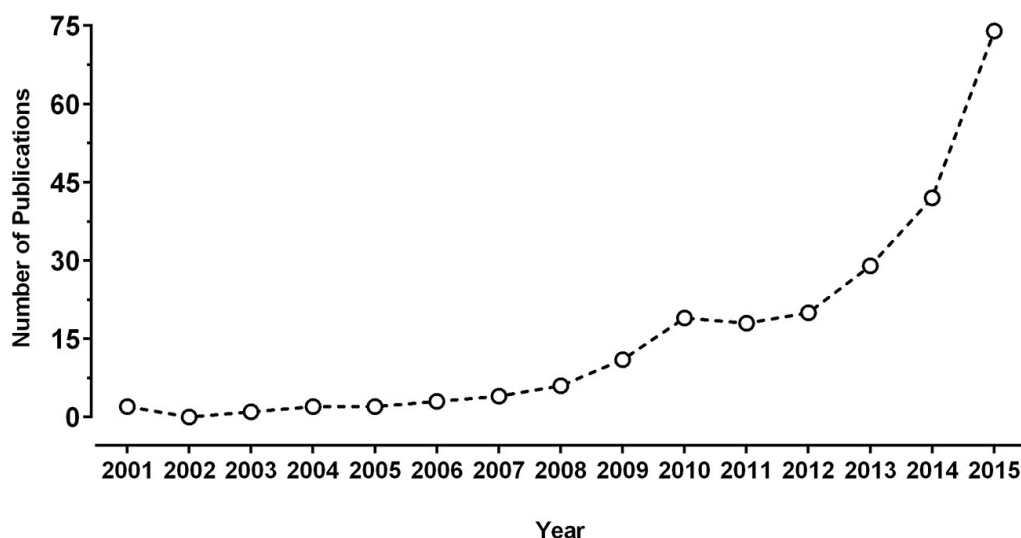
El sistema de navegación por satélite (en inglés, *Global Navigation Satellite Systems*) se compone de los diferentes sistemas utilizados para la localización terrestre, aérea y marítima. Aunque son cuatro los sistemas que componen el GNSS: 1) Global Positioning System (GPS), 2) Russian Globalnaya Navigazionnaya Sputnikovaya Sistema (GLONASS), 3) Galileo y 4) BeiDou; en la actualidad únicamente los sistemas GPS y GLONASS se encuentran completamente desarrollados (Li et al., 2015) y, por tanto, pueden ser utilizados para el seguimiento deportivo. Además, a pesar de que los últimos dispositivos electrónicos de análisis del rendimiento basados en satélites, comienzan a incorporar sensores que permiten conectarse, tanto al sistema GPS, como al sistema GLONASS (Delaney et al., 2019; Jackson et al., 2018); la mayoría de investigaciones que se han llevado a cabo hasta la fecha, han

empleado dispositivos capaces de conectarse únicamente al sistema GPS (Cummins, Orr, O'Connor, y West, 2013; Scott et al., 2016). Debido al escaso número de estudios técnicos que han utilizado ambos sistemas (GPS y GLONASS), el presente trabajo utilizará el término “tecnología o sistema GPS” para hacer referencia a los dispositivos que han utilizado un sistema de navegación por satélite, sin hacer distinción entre el uso de sensores GPS o GLONASS.

### 1.2.3. Sistema de posicionamiento global (GPS)

#### 1.2.3.1. Origen y aplicación en el ámbito deportivo

El GPS es un sistema de navegación originalmente desarrollado por el departamento de defensa de los Estados Unidos. Aunque fue creado principalmente con objetivos militares, con el paso de los años este sistema ha sido incorporado a diferentes ámbitos como el transporte aéreo, marítimo o terrestre. En sus inicios, el sistema GPS fue alterado deliberadamente por el departamento de defensa estadounidense, a través de la Disponibilidad Selectiva. Este mecanismo, consistente en introducir de manera voluntaria un error en los cálculos de localización, reducía el riesgo de que fuerzas hostiles pudiesen utilizar el sistema para fines bélicos (Malone et al., 2017; Schutz y Herren, 2000; Townshend, Worringham, y Stewart, 2008). Finalmente, la disponibilidad selectiva fue eliminada en 1999 y, con ello, se ampliaron sus posibilidades de uso (Larsson, 2003). Desde la primera referencia disponible de uso de un sistema GPS para la monitorización de la actividad física (Schutz y Chambaz, 1997), la investigación que ha utilizado este tipo de tecnología en el ámbito deportivo ha crecido exponencialmente (Ilustración 1).

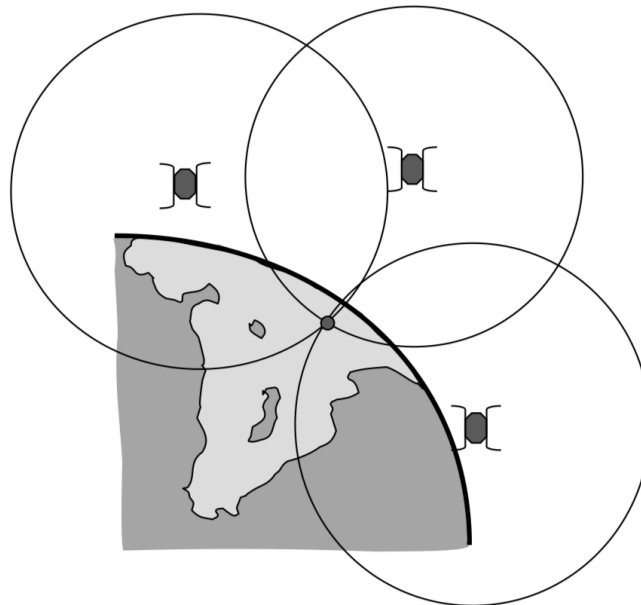


**Ilustración 1.** Número de estudios publicados usando dispositivos comerciales GPS desde el año 2001 hasta el año 2015 (extraído de Malone et al., 2017).

### 1.2.3.2. Funcionamiento y obtención de las variables principales

El sistema GPS, está compuesto por una red de 27 satélites que orbitan la tierra equipados con un reloj atómico (Scott et al., 2016). A continuación, se explica el proceso mediante el cual el sistema GPS consigue obtener la localización (Larsson, 2003):

1. Los satélites sincronizan su reloj atómico con el reloj del receptor GPS portado por el jugador.
2. Estos satélites envían constantemente información sobre la hora exacta al receptor GPS, a la velocidad de la luz (299.792.458 m/s).
3. Al comparar la hora dada por un satélite y la hora recibida por el receptor GPS, se calcula el tiempo que ha tardado la señal en realizar el trayecto satélite-receptor.
4. Multiplicando el tiempo del trayecto satélite-receptor por la velocidad de la luz, se obtiene la distancia a la que éste satélite se encuentra del receptor GPS.
5. Calculando la distancia de al menos tres satélites, puede ser trigonométricamente determinada la latitud y longitud del receptor GPS (Ilustración 2). Además, gracias a un cuarto satélite, sería posible determinar su altitud.



**Ilustración 2.** Determinación trigonométrica de la posición (extraído de Larsson, 2003).

Los dispositivos GPS comerciales utilizados para el monitorización deportiva, calculan principalmente las variables distancia y velocidad (primarias), a partir de las cuales obtienen otras variables derivadas (Jackson et al., 2018; Terziotti, Sim, y Polglaze, 2018). Estas

variables primarias, pueden ser obtenidas mediante dos métodos diferentes: diferenciación posicional o efecto Doppler (Townshend et al., 2008). La diferenciación posicional, utiliza los cambios en la localización del receptor GPS para proporcionar la variable distancia (posición 2 – posición 1 = distancia recorrida). Por su parte, el método Doppler utiliza los cambios en la frecuencia de la señal ofrecida por los satélites para proporcionar la variable velocidad (Schutz y Herren, 2000). A pesar de que, tradicionalmente, cada variable primaria ha sido obtenida por un método diferente (la distancia era calculada mediante diferenciación posicional y la velocidad era obtenida a través del método Doppler), ambas metodologías por separado son capaces de proporcionar las variables distancia y velocidad. De este modo, el método de diferenciación posicional puede calcular la velocidad a través de la derivación de la distancia; y el método Doppler puede calcular la distancia multiplicando la velocidad por el tiempo (Linke et al., 2018).

### **1.2.3.3. Factores con influencia en la tecnología GPS**

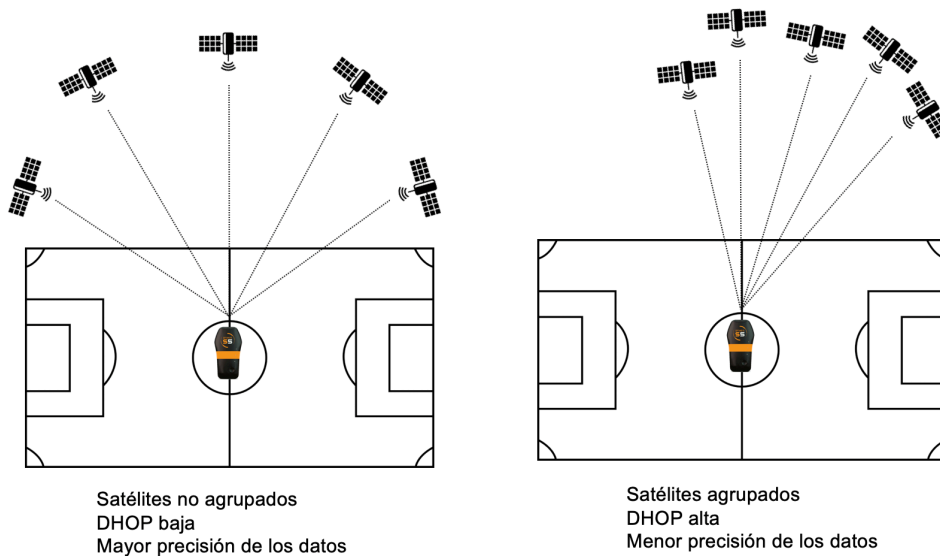
Al igual que ocurre en una gran cantidad de dispositivos tecnológicos, los sistemas GPS utilizados para el seguimiento deportivo se ven afectados por diversos factores, tanto internos como externos, que influyen sobre la precisión de sus datos:

Frecuencia de muestreo: Expresada en hercios (Hz), la frecuencia de muestreo hace referencia al número de veces por segundo que el sensor GPS y los satélites se comunican para determinar la posición del dispositivo (Cummins et al., 2013). Por ejemplo, un dispositivo con una frecuencia de muestreo de 5 Hz, recibe información de su posición cinco veces por segundo, mientras que un dispositivo de 15 Hz la recibe 15 veces por segundo.

Número de satélites conectados: A pesar de que el sistema de posicionamiento GPS se encuentra compuesto por un total de 27 satélites, es prácticamente imposible que el dispositivo GPS se enlace simultáneamente a todos ellos durante la práctica deportiva. El número de satélites que se encuentra conectado con el receptor GPS portado por el jugador durante el registro, afecta en gran medida a la exactitud de la localización espacial y, por tanto, a la precisión de los datos (Witte y Wilson, 2004).

Disolución horizontal de la precisión (DHOP): Además del número de satélites, otro de los aspectos que tiene una influencia en la precisión de los datos reportados, es la organización geométrica de éstos, conocida como Disolución Horizontal de la Precisión (DHOP) (Townshend et al., 2008; Witte y Wilson, 2004). La medida de DHOP es inversamente proporcional al volumen de un cono delimitado por la posición de los satélites en relación con el receptor portado por el jugador (Ilustración 3). Los valores de DHOP se pueden encontrar en un rango de entre 1 y 50 unidades arbitrarias (u. a). De este modo, a medida que los satélites conectados al dispositivo se encuentran más agrupados entre sí, los valores de

DHOP se aproximan a 1 u. a. y viceversa (Malone et al., 2017). Así, para reportar un valor de 1 u. a., un satélite tendría que estar ubicado directamente encima del receptor, mientras que el resto de los satélites se distribuirían equitativamente a lo largo del horizonte. Por el contrario, si todos los satélites estuvieran situados en un grupo cerrado directamente encima del receptor, la DHOP se acercaría al valor de 50 u. a (Scott et al., 2016).



**Ilustración 3.** Influencia de la distribución espacial de los satélites conectados al dispositivo GPS sobre la DHOP y la precisión de los datos (elaboración propia).

Procesamiento de los datos: La mayoría de los fabricantes de dispositivos GPS utilizados en el ámbito deportivo, han desarrollado softwares específicos para el procesamiento de los datos registrados. Estos softwares, incluyen algoritmos para identificar datos de baja calidad e implementar automáticamente técnicas de interpolación y suavizado (Malone et al., 2017). Por otro lado, el cliente/investigador tiene la posibilidad de obtener estos datos en bruto (en inglés “raw data”), aunque esta opción suele requerir un mayor coste temporal de extracción y análisis. Este procesamiento en bruto, cuenta con una serie de ventajas como: i) la eliminación de algoritmos aplicados automáticamente por el software del fabricante, ii) posibilidad de incorporar algoritmos propios y iii) posibilidad de crear nuevas variables (Thornton et al., 2019). Sin embargo, en la mayoría de los casos, estos datos en bruto están pre-filtrados por el firmware del dispositivo con la finalidad de reducir el ruido de la señal GPS (Varley, Jaspers, Helsen, y Malone, 2017). Este pre-filtrado, específico a cada modelo y versión de firmware, es ineludible por parte del cliente/investigador.

Ubicación corporal de dispositivo GPS: El lugar escogido para ubicar el dispositivo GPS durante el análisis de la validez de éste, también es un factor relevante para la precisión

de los datos obtenidos. Ubicaciones corporales como la parte alta de la escapula o la cabeza, reducen las posibles interferencias que ofrece el cuerpo sobre la señal GPS (Rehman, Gao, Chen, Parini, y Ying, 2007), mejorando de esta forma la precisión de los datos.

#### **1.2.4. Sistemas de posicionamiento local (LPS)**

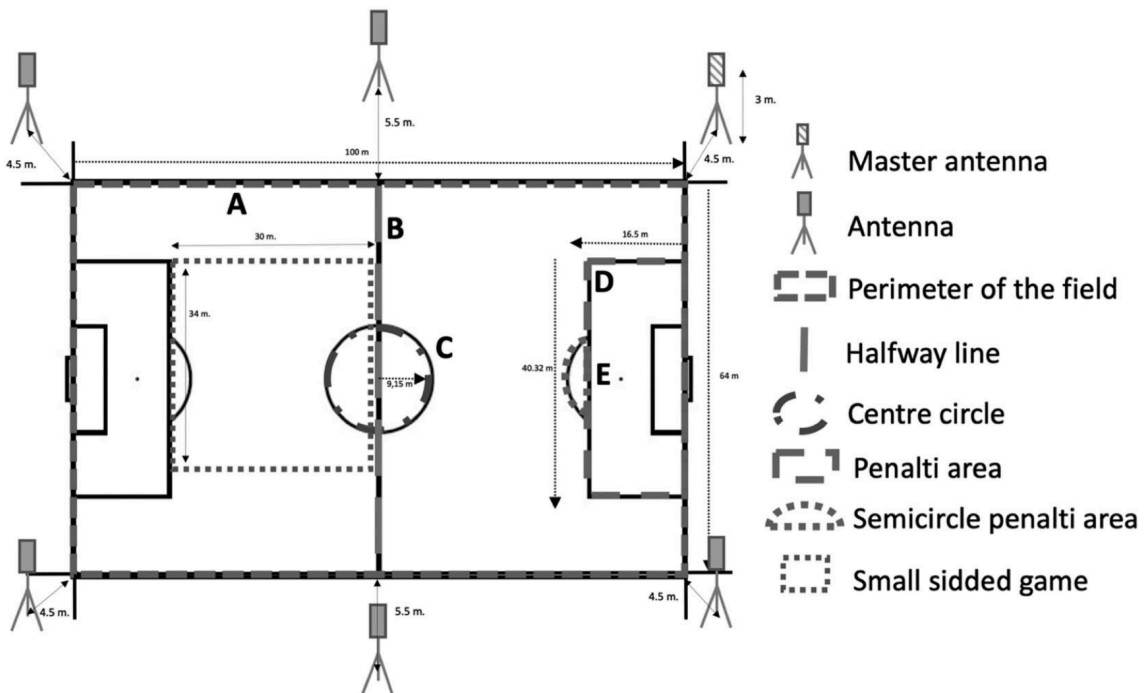
##### **1.2.4.1. Origen y aplicación en el ámbito deportivo**

Los sistemas LPS surgen en el ámbito deportivo, tanto por la imposibilidad de los sistemas GPS de ofrecer información de posicionamiento en deportes desarrollados en espacios interiores (debido a la incapacidad de comunicación con los satélites exteriores), como por la dificultad de estos sistemas para obtener una señal de calidad en terrenos de juego con altas paredes verticales o elevadas construcciones cercanas (Sathyan, Shuttleworth, Hedley, y Davids, 2012). Estos sistemas, utilizan una infraestructura de antenas o nodos ubicados alrededor del terreno de juego, que se comunican con el receptor portado por el jugador para determinar la posición de éste (variable primaria) y sus variables derivadas (Bastida-Castillo et al., 2018; Ogris et al., 2012). Los sistemas LPS, pueden estar basados en diferentes tecnologías como: *Wireless Local Area Network*, *Radio Frequency Identification*, Bluetooth® o *Ultra Wide-Band (UWB)* (Liu, Chen, Liu, y Chen, 2018; Serpiello et al., 2018), situándose esta última (UWB) como la más utilizada en el ámbito deportivo (Bastida-Castillo et al., 2018, 2019; Mason, Lenton, Rhodes, Cooper, y Goosey-Tolfrey, 2014). En comparación con la tecnología GPS, la incorporación de los sistemas LPS ha traído consigo importantes mejoras como: 1) mayor frecuencia de muestreo (Linke et al., 2018), 2) posibilidad de registro en espacios interiores y elevadas infraestructuras (Bastida-Castillo et al., 2019; Figueira et al., 2018) y 3) mayor precisión de las variables registradas (Bastida-Castillo et al., 2018; Hoppe et al., 2018; Linke et al., 2018).

##### **1.2.4.2. Funcionamiento y obtención de las variables principales**

El principio de funcionamiento de los sistemas LPS es similar al de los sistemas GPS. Sin embargo, dado que esta tecnología utiliza una infraestructura de antenas locales, en lugar de una red de satélites (Sathyan et al., 2012), también puede utilizarse para deportes realizados en espacios interiores como el baloncesto (Figueira et al., 2018), balonmano (Bastida-Castillo, Gomez-Carmona, Hernandez-Belmonte, y Pino-Ortega, 2018) o hockey (Link, Weber, Linke, y Lames, 2018). A continuación se explica, a modo de ejemplo, el funcionamiento de la tecnología UWB para la obtención del posicionamiento (Bastida-Castillo et al., 2019):

1. La infraestructura de antenas (cuyo número depende del fabricante del dispositivo) emite señales de radio frecuencia bajo el mismo principio que los satélites en el sistema GPS (Ilustración 4).
2. El reloj común incluido, tanto en las antenas, como en el receptor portado por el jugador, permite al sistema calcular el tiempo desde la emisión de la señal por parte de las antenas hasta su llegada al receptor.
3. Multiplicando este tiempo de trayecto, por la velocidad de la luz (299.792.458 m/s), el sistema obtiene la posición del receptor (en coordenadas x, y) en referencia a una antena determinada.
4. Conociendo al menos la ubicación del receptor con respecto a tres antenas, es posible determinar la posición del jugador en la pista (mecanismo similar al de la tecnología GPS, Ilustración 2).



**Ilustración 4.** Infraestructura de antenas de un sistema LPS (extraído de Bastida-Castillo et al., 2019).

A diferencia del sistema GPS, en el que las variables distancia y velocidad pueden ser calculadas a través de dos metodologías diferentes (diferenciación posicional y método Doppler), el sistema LPS utiliza únicamente el método de diferenciación posicional para la obtención de las variables primarias. Así, esta tecnología calcula la distancia mediante los cambios en las coordenadas (x, y), es decir, los cambios de posición (posición 2 – posición 1 = distancia recorrida); mientras que la velocidad es calculada a través de la derivación de la distancia con respecto al tiempo (Hoppe et al., 2018; Luteberget et al., 2018).

### **1.2.4.3. Factores con influencia en la tecnología LPS**

A pesar de que la incorporación de sistemas LPS ha supuesto importantes mejoras en el proceso de seguimiento y monitorización del rendimiento deportivo, la precisión de los datos ofrecidos por estos sistemas depende de diferentes factores externos e internos:

Frecuencia de muestreo, procesamiento de los datos y ubicación del dispositivo: Bajo el mismo principio que los sistemas GPS, tanto el número de veces que se intercambian información las antenas y el receptor portado por el jugador (frecuencia de muestreo), como las técnicas de procesado y la ubicación del dispositivo durante su análisis, influyen en gran medida sobre los resultados obtenidos por estos sistemas.

Infraestructura de antenas: Al igual que ocurre con la DHOP y el número de satélites en la tecnología GPS, los aspectos referentes al número, ubicación y altura de las antenas que componen la infraestructura del sistema LPS, tienen un papel clave en la calidad de los datos ofrecidos por esta tecnología (Luteberget et al., 2018; Serpiello et al., 2018).

### **1.2.5. Otros factores comunes a ambas tecnologías**

Además de los aspectos propios de cada tecnología anteriormente comentados (apartados 1.2.3.3 y 1.2.4.3), existen otros elementos a tener en cuenta cuando se lleva a cabo la validación de tecnología GPS y/o LPS:

Test utilizado: Con la finalidad de constatar la idoneidad del uso de estos sistemas para un deporte o tipo de deporte específico, es común utilizar una amplia de pruebas que van desde trayectos aislados o circuitos predefinidos, hasta situaciones simuladas de juego o incluso partidos oficiales. Además de tener una elevada relación con la validez ecológica del dispositivo (Furlan, Waldron, Osborne, y Gray, 2016), es conveniente que se aporte la mayor cantidad posible de información referente a la prueba utilizada.

Criterio de referencia: El criterio de referencia es utilizado en aquellas investigaciones que examinan la validez de un nuevo dispositivo o instrumento de medición (Currell y Jeukendrup, 2008). Estas investigaciones, comparan el dispositivo objeto de estudio, con otro dispositivo o instrumento cuya precisión ya ha sido constatada por la literatura, comparando el grado de acuerdo entre ambos. En los estudios que examinan sistemas GPS y/o LPS, algunos de los instrumentos considerados como criterio de referencia son: sistemas de análisis de movimiento, sistemas láser, sistemas de radar o métricas conocidas, etc. Es de valor resaltar, la necesidad de describir de manera detallada el criterio de referencia utilizado, sobretodo en lo que respecta a su frecuencia de muestreo.

Variables analizadas: Como se ha comentado en apartados anteriores, los sistemas GPS y LPS utilizan diferentes métodos obtener las variables directas o primarias, a partir de



las cuales calculan las variables derivadas. Para obtener estas variables derivadas (ej. aceleración), los fabricantes aplican una serie de algoritmos específicos, que suelen diferir entre fabricantes e incluso entre dispositivos desarrollados por el mismo fabricante (Varley et al., 2017). Por lo tanto, se recomienda ofrecer la máxima información referente a las variables analizadas.



# OBJETIVOS

---



En base a la contextualización y marco teórico expuesto con anterioridad, el presente estudio tuvo como objetivo:

Analizar la inclusión de la información referente a los diferentes factores técnicos que afectan a las tecnologías GPS y LPS, en aquellos estudios que examinan la validez y/o fiabilidad de estos sistemas.



# METODOLOGÍA

---





### 3.1. Estrategia de búsqueda bibliográfica

Para el presente trabajo, se catalogaron como estudios elegibles aquellas investigaciones que llevasen a cabo un análisis técnico de tecnologías GPS y/o LPS en el ámbito deportivo. Se realizó una revisión sistemática de la literatura en las bases de datos: Web of Science, Scopus, Medline, PubMed y ScienceDirect. Esta búsqueda, fue realizada entre los meses de enero y febrero del año 2019. La Tabla 2, muestra los detalles de la estrategia de búsqueda implementada en esta revisión sistemática.

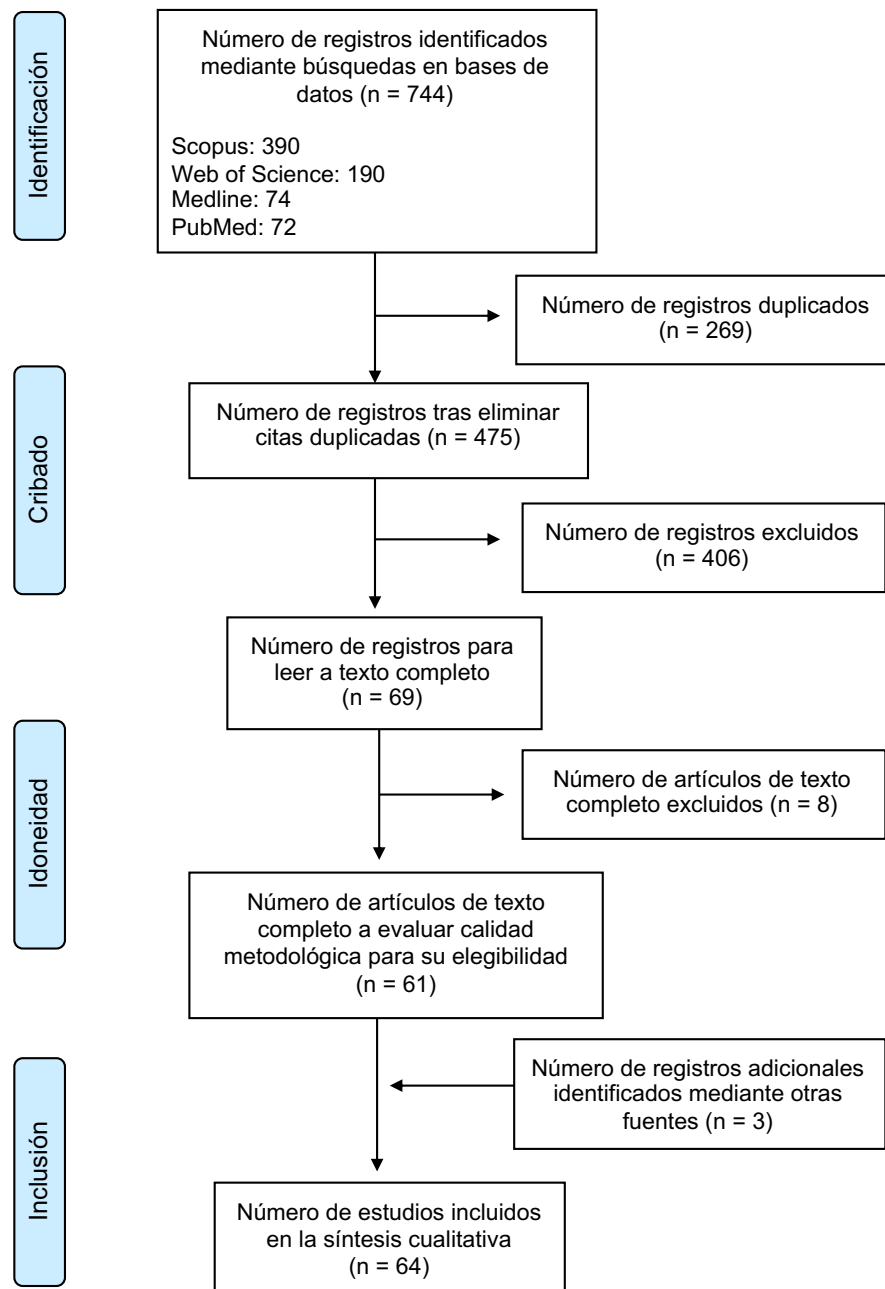
**Tabla 2.** Estrategia de búsqueda bibliográfica utilizada

<b>Foco de búsqueda</b>	<b>Palabras utilizadas</b>
Característica de la medida	'Validity' OR 'Reliability' OR 'Accuracy' OR 'Comparison' AND
Tecnología utilizada	'GPS' OR 'Global Positioning System' OR 'LPS' OR 'Local Positioning System' OR 'Tracking System' OR 'Monitoring System' OR 'Electronic Performance' OR 'Positional Data' AND
Ámbito	'Sport'

### 3.2. Selección de estudios

La Ilustración 5 muestra el proceso de selección de artículos. Este proceso siguió los siguientes pasos: (1) se llevó a cabo una búsqueda en las bases de datos mencionadas anteriormente, utilizando las palabras clave y conectores reportados en la Tabla 2; (2) se eliminaron, tanto de manera automática como manual, los resultados duplicados; (3) se revisaron los títulos y los resúmenes de los trabajos según los criterios de inclusión y exclusión (Tabla 3); (4) se realizó una lectura de los textos completos restantes y se seleccionaron los artículos finales, siguiendo de nuevo los criterios de inclusión y exclusión; (5) finalmente se realizó una búsqueda manual de potenciales artículos elegibles en la lista de referencias bibliográficas de los estudios incluidos, así como de nuevos artículos publicados durante la redacción del presente trabajo. Además, se estableció contacto con los autores de aquellos

artículos que careciesen de algún tipo de detalle de relevancia para la finalidad del presente estudio.



**Ilustración 5.** Flujo de selección de estudios

Referente a los criterios de inclusión y exclusión fijados (Tabla 3), se decidió dejar fuera de esta revisión aquellos trabajos elaborados a modo de resumen o comunicación a congreso, así como los estudios de caso único, debido a la baja rigurosidad de este tipo de investigaciones. También quedaron excluidas aquellas investigaciones que utilizasen un reloj inteligente o una aplicación telefónica, ya que gran parte de la información objeto de estudio

del presente trabajo no suele ser ofrecida por el software de estos dispositivos. Además, fueron eliminados aquellos trabajos que utilizasen un dispositivo GPS diferencial. Este tipo de dispositivos GPS, se componen de un receptor y una antena de considerables dimensiones, lo que reduce su uso a un número de deportes limitado.

**Tabla 3.** Criterios de inclusión y exclusión utilizados

Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
1. Ensayos experimentales que analicen características de la medida de uno o varios dispositivos de seguimiento GPS y/o LPS	1. Resúmenes o comunicación a congreso y estudios de caso único
2. Análisis realizado en el ámbito deportivo	2. Utilización de relojes inteligentes y aplicaciones móviles como tecnología objeto de estudio
3. Artículos originales publicados en revistas indexadas dentro de la <i>Journal Citation Report</i>	3. Utilización de dispositivos GPS diferenciales como tecnología objeto de estudio
4. Artículos publicados en inglés o español	

### 3.3. Extracción de datos

Los datos de los artículos incluidos finalmente en la síntesis cualitativa, fueron extraídos utilizando una plantilla estandarizada que recogía la siguiente información: autores del estudio, test o prueba utilizada, criterio de referencia, variables analizadas, modelo de dispositivo utilizado y su frecuencia de muestreo, ubicación del dispositivo durante el análisis, proceso para la obtención de los datos, número de satélites durante el registro y DHOP (para dispositivos GPS), la información referente a la infraestructura de antenas (para dispositivos LPS); así como las principales conclusiones de los estudios en ambas tecnologías. Para facilitar la organización y el análisis de la información, los datos fueron divididos en tres tablas en función del tipo de tecnología examinada: GPS (Anexo I), LPS (Anexo II), y ambas tecnologías (Anexo III).

### 3.4. Evaluación de la calidad metodológica

La calidad metodológica de los estudios elegibles fue evaluada utilizando una modificación de la escala de Cohen et al., (2016). Esta escala, incluye 30 ítems diseñados específicamente para evaluar la precisión de estudios diagnósticos en el ámbito clínico. Ante el hecho de no encontrar ninguna escala específica para la evaluación de la calidad metodológica de estudios que examinasen dispositivos tecnológicos, se adaptaron los puntos 1, 2, 10a, 10b, 11, 14 y 30 de dicha escala (Tabla 4). Además, se modificó el sistema de puntuación, otorgando valores de 0/1 punto (ítems 1, 2 y 6) y 0/0,5/1 punto (ítems 3, 4, 5 y 7).

**Tabla 4.** Modificación de los ítems utilizados y sistema de puntuación

Nº ítem original	Ítem original Cohen et al., (2016)	Nº ítem adaptado	Ítem adaptado	Puntuación
1	Identifica el artículo como un estudio de precisión diagnóstica	1	Identifica el artículo como un estudio de validez, fiabilidad, comparación o precisión de tecnología GPS o LPS	Si = 1 No = 0
2	Resumen estructurado del diseño del estudio, métodos, resultados y conclusiones	2	Resumen estructurado del diseño del estudio, métodos, resultados y conclusiones	Si = 1 No = 0
10a	Prueba utilizada suficientemente detallada para permitir réplica	3	Prueba/s utilizadas para el objetivo del estudio suficientemente detalladas para permitir replica	Explicación clara = 1 Explicación confusa = 0.5 No se explica = 0
10b	Estándar de referencia suficientemente detallado para permitir réplica	4	Estándar de referencia utilizado para comparar la tecnología evaluada suficientemente detallado para permitir réplica	Explicación clara = 1 Explicación confusa = 0.5 No se explica = 0
11	Selección racional del estándar de referencia (posibles alternativas)	5	El estándar de referencia se seleccionó de manera racional o existen posibles alternativas que hubiesen mejorado la calidad del estudio.	No existen posibles alternativas = 1 Posibles alternativas = 0.5 Estándar de referencia no seleccionado de manera racional = 0
14	Métodos adecuados para estimar o comparar medidas de precisión diagnóstica	6	Métodos adecuados para estimar o comparar medidas obtenidas por la tecnología evaluada y el criterio de referencia	Si = 1 No = 0
30	Fuentes de financiación y otro tipo de apoyo; papel de los financiadores	7	Fuentes de financiación y otro tipo de apoyo; papel de los financiadores	Incluido y no financiado por empresa fabricante = 1 Incluido y financiado por empresa fabricante = 0.5 No comentado = 0

# RESULTADOS

---



## **4.1. Identificación y selección de estudios**

El proceso de identificación y selección de estudios se detalla en la Ilustración 5. La estrategia de búsqueda utilizada identificó 744 estudios potenciales de ser incluidos en la presente revisión. Después de eliminar 269 trabajos duplicados, el número total de artículos para ser examinados por título y resumen fue de 475. Seguidamente, 406 artículos fueron eliminados en base a los criterios de inclusión y exclusión prefijados (Tabla 3), restando un total de 69 artículos para ser leídos a texto completo. Aplicando de nuevo los criterios de inclusión y exclusión, se eliminaron 8 estudios tras su lectura a texto completo. Se evaluó la calidad metodológica de los 61 estudios restantes siguiendo la escala previamente detallada (Tabla 4), lo que tuvo como resultado la inclusión de todos ellos como consecuencia de obtener una puntuación metodológica mayor o igual a 4 puntos. Posteriormente, a estos 61 estudios se añadieron 3 artículos identificados a través de otras fuentes, siendo finalmente incluidos en la síntesis cualitativa un total de 64 estudios.

## **4.2. Calidad metodológica**

La calidad metodológica de los estudios incluidos en la presente investigación es detallada en los Anexos IV y V. Todos los artículos evaluados metodológicamente superaron la puntuación mínima (4 puntos) previamente fijada y, por lo tanto, fueron incluidos en la presente revisión. Por su parte, las puntuaciones mínimas, máximas y medias de este análisis metodológico, fueron de 4, 7 y 5.7 puntos, respectivamente.

## **4.3. Descripción de la muestra**

### **4.3.1. Características generales de los estudios**

Del total de trabajos incluidos en la presente revisión, 46 estudios llevaron a cabo un análisis de tecnología GPS, 14 de tecnología LPS y 4 analizaron simultáneamente ambos sistemas. Todos los estudios fueron publicados entre los años 2006 y 2019, situándose los años 2010, 2014 y 2018 como los más frecuentes en publicaciones sobre esta temática de estudio.

### 4.3.2. Características de la muestra

Las características de la muestra de estudios analizada, en términos de subcategorías dentro de los factores propios de cada tecnología, se muestran en la Tabla 5.

**Tabla 5.** Frecuencia (n) de las categorías incluidas dentro de los factores analizados

		GPS (n)			LPS (n)
Test	Trayecto aislado	25	Test	Trayecto aislado	6
	Circuito predefinido	23		Circuito predefinido	5
	Juego simulado/real	6		Juego simulado/real	4
Criterio	Métrica conocida	24	Criterio	Métrica conocida	6
	Sistema de fotocélulas	15		Comparación LPS	4
	Comparación GPS	9		Sistema de fotocélulas	3
	Sistema radar	6		Cámaras optoelectricas	3
	Cámaras optoelectricas	3		Cámaras digitales	1
	Cámaras digitales	3		Sistema láser	1
	Analizador de gases	2			
	Sistema láser	1			
Variables	Velocidad	34	Variables	Velocidad	7
	Distancia	31		Distancia	6
	Tiempo	8		Posición	5
	Aceleración	7		Aceleración	3
	Potencia metabólica	3		Tiempo	1
	Energía consumida	3			
Dispositivo	Catapult	23	Dispositivo	Ubisense	4
	GPSports	23		Inmotio	3
	StatSport	3		Catapult	1
	Exelio srl	2		Kinexon	1
	RealTrack Systems	1		RealTrack Systems	1
	Digital Simulation	1		Abatec	1
	Sport Medicine	1		NBN23	1
	WPT	1		WASP	1
	Johan Sports	1			
	Spinalia	1			
Hz	10 Hz	23	Hz	45 Hz	4
	5 Hz	16		10 Hz	3
	1 Hz	10		8 Hz	2
	15 Hz	3		5 Hz	1
	18 Hz	2		15 Hz	1
	20 Hz	1		18 Hz	1
	50 Hz	1		20 Hz	1
				100 Hz	1
Ubicación	Modelo humano	37	Ubicación	Modelo humano	9
	Modelo mecánico	9		Modelo mecánico	3
Procesado	Extracción del software	42	Procesado	Filtrado de los datos	8
	Análisis en bruto	7		Análisis en bruto	6
	Filtrado de los datos	2		Extracción del software	2
Número de satélites	> 10	13	Número de antenas	Entre 6 y 11	6
	Entre 7 y 10	10		> 11	5
	< 7	2		< 6	2
DHOP	> 1	12	Altura de las antenas	> 4 m	5
	< 1	8		< 4 m	2

NOTA: WPT (Wonde Proud Technology), WASP (Wireless Ad hoc System for Positioning).



Referente al test utilizado, las situaciones de juego simulado/real se mostraron como las menos utilizadas, tanto en estudios de GPS como de LPS. Por su parte, en ambos tipos de estudios, las variables distancia y velocidad fueron las más examinadas, utilizando como criterio de referencia principalmente, métricas conocidas, sistemas de fotocélulas y comparación con otros dispositivos. Los fabricantes más sometidos a estudio, fueron Catapult y GPSports en tecnología GPS, y Ubisense e Inmotio en tecnología LPS. Por su parte, las frecuencias de muestreo más comunes fueron 10 y 5 Hz en estudios de GPS; así como 45 y 10 Hz en estudios de LPS. En cuando la localización del dispositivo, la gran mayoría de los estudios ubicaron los dispositivos en un modelo humano. En cuanto técnicas de procesamiento, los estudios de GPS utilizaron principalmente los datos derivados del software, mientras que en los estudios de LPS los procesamientos más utilizados incluyeron la extracción en bruto de los datos y el filtrado de éstos. En referencia a los aspectos relacionados con los satélites (estudios de tecnología GPS), la mayor parte de los estudios reportaron 7 o más satélites conectados durante el registro y una DHOP mayor a 1 u. a. Por su parte, en los estudios de tecnología LPS, la mayor parte de las infraestructuras estuvieron constituidas por 6 o más antenas, situadas en su mayoría a más de 4 metros de altura.

En cuanto a los estudios que examinaron ambas tecnologías simultáneamente, cabe destacar que no se reportó un tipo test predominante, a diferencia de los estudios que examinaron las tecnologías por separado. Las variables velocidad y distancia se mostraron como las más examinadas, siendo analizadas en todos los estudios incluidos, mientras que de nuevo se utilizaron como criterios de referencia principalmente métricas conocidas y sistemas de fotocélulas. En referencia al dispositivo utilizado, se ha encontrado una gran heterogeneidad, tanto en el fabricante del dispositivo, como en la frecuencia de muestreo de éste. De nuevo, la gran mayoría de los estudios ubicaron los dispositivos examinados en un modelo humano, mientras que la técnica de procesamiento más utilizada incluyó la extracción en bruto de los datos.

#### **4.4. Factores técnicos sin reportar en los estudios examinados**

La Tabla 6 muestra el número de artículos (n y %) que omiten parcial o completamente, cada uno de los factores examinados. La información incluida en esta tabla, ha sido obtenida tras analizar y sintetizar las plantillas utilizadas para la extracción de datos (Anexos I, II y III)

**Tabla 6.** Factores técnicos sin reportar en los estudios de tecnología GPS, LPS, GPS/LPS

Factor analizado	Artículos sin reportar	
	(n)	(%)
<b>ESTUDIOS DE TECNOLOGÍA GPS</b>		
DHOP	24	52,2
Número de satélites conectados	20	43,5
Criterio de referencia	15	32,6
Procesamiento de los datos	12	26,1
Dispositivo y frecuencia de muestreo	4	8,7
Ubicación del dispositivo	3	6,5
Variables analizadas	0	0,0
Test utilizado	0	0,0
<b>ESTUDIOS DE TECNOLOGÍA LPS</b>		
Procesamiento de los datos	10	71,4
Infraestructura de antenas	9	64,3
Criterio de referencia	3	21,4
Ubicación del dispositivo	2	14,3
Dispositivo y frecuencia de muestreo	1	7,1
Test utilizado	0	0,0
Variables analizadas	0	0,0
<b>ESTUDIOS DE TECNOLOGÍA GPS Y LPS</b>		
DHOP/Infraestructura de antenas	3	75,0
Criterio de referencia	2	50,0
Ubicación del dispositivo	1	25,0
Número de satélites conectados	0	0,0
Dispositivo y frecuencia de muestreo	0	0,0
Procesamiento de los datos	0	0,0
Test utilizado	0	0,0
Variables analizadas	0	0,0

Como puede apreciarse en la Tabla 6, los factores menos reportados en cada tipo de estudio fueron: DHOP y número de satélites conectados (estudios de tecnología GPS), procesamiento de los datos e información referente a la infraestructura de antenas (estudios de tecnología LPS); y DHOP e información referente a la infraestructura de antenas (estudios de tecnología GPS y LPS). Por su parte, el test utilizado y las variables analizadas se mostraron como los factores menos omitidos, siendo reportados en todos los estudios analizados.

# DISCUSIÓN

---



Los principales hallazgos del presente estudio demuestran la insuficiente información referente a los factores que afectan a los sistemas GPS y LPS, reportada por aquellos estudios que han tenido como objetivo validar estas tecnologías en el ámbito deportivo. En base al conocimiento del autor del presente estudio, se trata de la primera revisión sistemática que evalúa estos aspectos metodológicos en estudios técnicos de tecnología GPS y LPS. Resulta especialmente destacable, la falta de información sobre factores como la DHOP y el número de satélites, en los estudios de tecnología GPS; así como el procesamiento de los datos y la información referente a la infraestructura de antenas, en los estudios de tecnología LPS. De nuevo, la DHOP y la información referente a la infraestructura de antenas utilizada, además del criterio de referencia utilizado, fueron los factores menos reportados en los estudios que evaluaron ambas tecnologías simultáneamente. En base a estos resultados, se ponen en cuestión las conclusiones obtenidas por gran parte de las investigaciones analizadas. Con el objetivo de que la información referente a estos factores de gran influencia sobre la precisión de los datos obtenidos, no sea omitida por futuras investigaciones, se insta a que futuros trabajos técnicos de tecnología GPS y LPS se apoyen en la guía *checklist* que será propuesta al final de este documento.

## 5.1. DHOP (Factor de tecnología GPS)

La organización geométrica de los satélites conectados al dispositivo durante el análisis del mismo, es uno de los dos factores relacionados con los satélites que tienen una elevada influencia sobre la precisión de los datos reportados por la tecnología GPS. Esta variable, que mantiene una medida inversamente proporcional al volumen de un cono formado por la distribución satélites-dispositivo, puede situarse entre 0 y 50 u. a. (Malone et al., 2017). A pesar de que en la actualidad, no existe una escala que relacione rangos específicos de DHOP y reducción en la precisión de la señal GPS, se considera ideal un valor de DHOP lo más cercano o incluso inferior a 1 u. a. (Scott et al., 2016; Townshend et al., 2008). De los estudios de GPS incluidos en la presente revisión, 12 reportaron una DHOP superior a 1 u. a., mientras que 8 reportaron una DHOP inferior a 1 u. a. Sin embargo, todos los artículos analizados reportaron un valor relativamente bajo (< 3 u. a., Anexo I). Ahora bien, es de valor resaltar que un 52,2% de los estudios examinados no han informado sobre este factor en su metodología. Este hecho, pone en cuestión si las condiciones externas durante el registro de los datos fueron adecuadas para llevar a cabo un estudio de validación de este tipo de

tecnología. El autor del presente trabajo, es consciente de que la información referente a este factor no es ofrecida por el software de algunos dispositivos (ej. ViperPod utilizado en Terziotti et al., (2018); sin embargo, se sugiere que esta limitación sea reportada por los autores. Del mismo modo, se insta a los investigadores a solicitar al fabricante toda la información referente a este factor (tal y como se llevó a cabo en Hoppe et al., (2018), con la finalidad de detectar posibles datos erróneos como consecuencia de una señal de insuficiente calidad.

## **5.2. Número de satélites conectados (Factor de tecnología GPS)**

Aunque el sistema GPS está compuesto por una red de 27 satélites, el dispositivo no es capaz de conectarse a todos ellos para obtener la posición del jugador. De este modo, a pesar de que es necesario un mínimo de 3 satélites para triangular la latitud y longitud de un receptor GPS (sumando un cuarto satélite para el cálculo de la altitud), diferentes investigaciones han encontrado un aumento en el error, tanto de la distancia (Gray, Jenkins, Andrews, Taaffe, y Glover, 2010), como de la velocidad registrada (Witte y Wilson, 2004), a medida que se redujo el número de satélites conectados. Este hecho, ha permitido establecer una relación positiva entre el aumento de satélites conectados y el aumento de la precisión, aconsejándose analizar con cautela los registros con menos de 6 satélites conectados (Malone et al., 2017). Los hallazgos encontrados en el presente estudio, muestran que la gran mayoría de dispositivos ( $n = 23$ ) contó con 7 o más satélites conectados durante el registro de los datos. Sin embargo, a pesar de la elevada importancia de este factor, se muestra en segundo lugar entre los menos reportados por la literatura revisada, siendo omitido en un 43,5% de los casos. Al igual que ocurre con el factor DHOP, el número de satélites conectados durante el registro, informa al lector de que las condiciones externas que influyen sobre la precisión de esta tecnología son adecuadas para llevar a cabo un examen de la misma.

Además, los factores número de satélites conectados y DHOP, cobran especial importancia en los estudios que examinan un mismo protocolo experimental llevado a cabo en dos momentos diferentes, con la finalidad de analizar la fiabilidad inter-sesión (Petersen et al., 2009; Waldron et al., 2011a; Willmott et al., 2019). Hay que tener en cuenta, que la red de satélites no es una infraestructura fija como la que compone el sistema LPS, por lo que resulta prácticamente imposible llevar a cabo un análisis de la fiabilidad inter-sesión, bajo idénticas condiciones (de número de satélites y DHOP). En base a estos resultados, desde el presente estudio se insta a futuros estudios técnicos de tecnología GPS y LPS a reportar el número de satélites conectados durante la sesión/es de registro de datos.

### **5.3. Infraestructura de antenas (Factor de tecnología LPS)**

A diferencia de la tecnología GPS, donde el cliente/investigador carece de la posibilidad de modificar voluntariamente la organización geométrica de los satélites (DHOP), en la tecnología LPS la posición de las antenas ubicadas alrededor del terreno de juego puede ser configurada por el usuario. Bajo el conocimiento del autor del presente estudio, únicamente dos investigaciones han examinado la influencia de la posición de las antenas que componen un sistema LPS sobre la precisión de los datos reportados (Luteberget et al., 2018; Serpiello et al., 2018). Referente a este factor, Luteberget et al., (2018) reportó una reducción de la precisión, tanto en la distancia recorrida como en la velocidad instantánea, como consecuencia de una ubicación sub-óptima de la infraestructura de antenas. Estos resultados se encuentran en la línea de los obtenidos por Serpiello et al., (2018), quienes examinaron el efecto de modificar la distancia entre la antena y el terreno de juego, encontrando de nuevo un incremento del error cuando se redujo esta distancia. Estos hallazgos permiten situar al factor infraestructura de antenas como un aspecto esencial en la calidad de los datos obtenidos, siendo imperativo informar sobre él en los estudios técnicos de tecnología LPS. Sin embargo, en base a los resultados de la presente investigación, sólo un 35.7 % de los artículos analizados aportaron información completa (número, ubicación y altura) de la infraestructura de antenas utilizada. A pesar de que es necesaria más evidencia científica que examine este factor, se insta a futuros estudios a reportar información minuciosa referente a la infraestructura de antenas utilizada.

### **5.4. Criterio de referencia (Factor de tecnología GPS y LPS)**

Con la finalidad de constatar la “validez” del nuevo dispositivo, se compara a éste con otro instrumento cuya precisión ya ha sido corroborada por la literatura. Una vez registrados los datos con ambas tecnologías, se examina si el grado de acuerdo entre ellas es suficiente como para considerar adecuada la utilización del dispositivo objeto de estudio. Entre las investigaciones analizadas en el presente trabajo, cabe destacar la utilización de métricas conocidas, como principal criterio de referencia. El criterio de métricas conocidas se basa en la comparación de la medida reportada por el dispositivo (principalmente la distancia recorrida), con otra previamente conocida e invariable (ej. pista de atletismo de 400 m). Hay que tener en cuenta, que este criterio de referencia está sujeto al posible error del propio participante durante el recorrido, especialmente en aquellos trayectos llevados a cabo a altas velocidades y con cambios de dirección (Townshend et al., 2008; Willmott et al., 2019). Estas pequeñas desviaciones del participante respecto al recorrido delimitado son erróneamente asociadas, en la mayoría de los casos, a una imprecisión del dispositivo examinado. Por otro

lado, gran parte de los estudios, tanto de tecnología GPS (32,6%) como de tecnología LPS (21,4%), han omitido parte de la información referente al criterio de referencia utilizado. En su mayoría, la falta de información referente a la frecuencia de muestreo del *gold standard*, es la causa principal de estos elevados porcentajes. Como se comentará en apartados posteriores, la frecuencia de muestreo de un dispositivo representa una característica muy importante del mismo, ya que supone las veces por segundo que éste es capaz de registrar y reportar información. Por ello, es de imperiosa necesidad que se reporte de manera detallada este aspecto, además de otros datos referentes al criterio de referencia utilizado, como la marca del instrumento, ubicación de este o su sincronización con el sistema GPS o LPS examinado.

## **5.5. Dispositivo y frecuencia de muestreo (Factor de tecnología GPS y LPS)**

En estudios llevados a cabo con dispositivos tecnológicos, informar sobre el número de veces por segundo que éste es capaz de registrar información representa un aspecto fundamental. En referencia al efecto de esta frecuencia de muestreo sobre las variables deportivas, una revisión realizada por Kelly et al., (2014) en estudios de tecnología GPS, encontró que frecuencias de 1 y 5 Hz tenían limitaciones para reportar con precisión la distancia y velocidad en desplazamientos cortos, con cambios de dirección y realizados a alta intensidad. Por otro lado, aunque una frecuencia de muestreo de 10 Hz superaba estas limitaciones, frecuencias de 15 Hz no proporcionaban beneficios adicionales (sin embargo, estos 15 Hz procedían de una interpolación de los datos y, por tanto, no se trataba de una frecuencia de muestreo “real”). En lo que respecta a tecnología LPS, Rhodes, Mason, Perratt, Smith, y Goosey-Tolfrey (2014) constataron un aumento en la precisión de los datos a medida que esta frecuencia de muestreo se incrementaba de 4, a 8 y 16 Hz. Dentro de los trabajos examinados en la presente revisión, únicamente un 8,7% en estudios de GPS y un 7,1% en estudios de LPS, omitieron parte de la información referente a este factor; mientras que las frecuencias de muestreo más comunes en estudios de GPS y LPS, fueron 10 Hz y 45 Hz, respectivamente. Como futura línea de trabajo, se plantea la necesidad de constatar el límite de esta relación positiva entre el frecuencia de muestreo y la precisión de los datos, teniendo en cuenta teoremas como el de Nyquist-Shannon (Bardella et al., 2017).

## **5.6. Procesamiento de los datos (Factor de tecnología GPS y LPS)**

Este factor hace referencia a las técnicas de extracción y tratamiento de los datos, utilizadas por el investigador. Los estudios analizados en la presente investigación, mostraron diferencias en el procesamiento de los datos en función del tipo de tecnología. De este modo,



los estudios de GPS utilizaron principalmente los datos procedentes del software, mientras que en los estudios de LPS las técnicas de procesamiento más utilizadas incluyeron la extracción en bruto de los datos y el filtrado de estos. Cabe lugar resaltar, que un 71,4 % de los estudios de tecnología LPS y un 26,1 % de los estudios de tecnología GPS, reportaron información insuficiente sobre este factor. En su mayoría, este elevado porcentaje tiene como causa principal la omisión del nombre del software utilizado (Akenhead et al., 2014; Link et al., 2018; Mason et al., 2014; Nagahara et al., 2017; van der Slikke, Mason, Berger, y Goosey-Tolfrey, 2017). Diversas investigaciones han constatado importantes diferencias en los datos reportados en función de la técnica de procesamiento utilizada: 1) datos en bruto vs. datos procedentes del software (Delaney et al., 2019; Thornton et al., 2019), 2) datos en bruto vs. datos filtrados (Serpiello et al., 2018) o 3) datos extraídos con diferentes softwares del mismo fabricante (Buchheit, Al Haddad, et al., 2014; Varley et al., 2017). En la mayoría de los casos, las técnicas de filtrado utilizadas por el fabricante están detrás de estas diferencias. Este factor, cobra especial relevancia cuando se comparan dispositivos de diferentes fabricantes (Terziotti et al., 2018; Willmott et al., 2019) ya que, generalmente, cada uno de estos fabricantes utiliza técnicas de filtrado y suavizado diferentes (Varley et al., 2017). Una solución a esta problemática, reside en establecer una metodología de procesado común para los diferentes dispositivos que conste del análisis de los datos en bruto, tal y como se ha llevado a cabo en diferentes investigaciones (Linke et al., 2018; Thornton et al., 2019)

## 5.7. Ubicación del dispositivo (Factor de tecnología GPS y LPS)

Al tratarse de tecnología *wearable*, los dispositivos que componen los sistemas GPS y LPS pueden ser adheridos a cualquier parte de un modelo humano o mecánico. Los resultados de la presente investigación muestran que la gran mayoría de los trabajos que tiene como objetivo examinar la precisión de tecnologías GPS y LPS, localizan estos dispositivos en un modelo humano. Sin embargo, se ha podido constatar la utilización de ciertos modelos mecánicos como trineos (Buchheit, et al., 2014; Lacombe et al., 2019; Thornton et al., 2019), carros auto-construidos (Figueira et al., 2018; Petersen et al., 2009), sistemas monorraíles (Akenhead et al., 2014) e incluso motocicletas (Muñoz-Lopez, Granero-Gil, Pino-Ortega, y De Hoyo, 2017). Un estudio llevado a cabo en el ámbito de la ingeniería, demostró la influencia de la ubicación de un sistema basado en radio frecuencias, sobre la señal registrada por el mismo (Rehman et al., 2007). Aunque es necesaria más investigación referente a este factor, se insta a que futuros estudios técnicos de tecnología GPS y LPS ubiquen los dispositivos examinados en modelos humanos, tanto para cumplir con el concepto de validez ecológica (Furlan et al., 2016), como para evitar que las características de estos sistemas mecánicos (posición, materiales, etc.) puedan influir sobre la precisión de los datos obtenidos.

## **5.8. Variables analizadas (Factor de tecnología GPS y LPS)**

La variable analizada hace referencia al parámetro específico objeto de estudio. Es de valor resaltar, que todas las investigaciones incluidas en el presente estudio han reportado la información referente a este factor, mostrándose la distancia recorrida y la velocidad como principales variables examinadas. Estas dos variables, se caracterizan por ser variables primarias o directas, sobre las cuales se calculan posteriormente variables derivadas o indirectas (Malone et al., 2017). Hay que tener en cuenta, que el hecho de que las dos variables principalmente analizadas sean primarias reduce la posibilidad de que sus valores se vean influenciados por diferentes algoritmos y técnicas de filtrado. La importancia de aportar la máxima cantidad de información posible sobre las variables analizadas crece exponencialmente cuando se analizan variables derivadas o indirectas (ej. la aceleración). Los algoritmos utilizados por el fabricante para el cálculo de estas variables, podrían estar detrás, tanto de la disminución de su precisión, como de las grandes diferencias entre dispositivos de diferentes fabricantes (Delaney et al., 2019; Thornton et al., 2019). Un estudio llevado a cabo por Varley et al., (2017), demostró la gran influencia de ciertos aspectos que componen estos algoritmos, como la ventana de tiempo utilizada o la duración mínima del esfuerzo, sobre los datos reportados. Por otro lado, debido a que los sistemas GPS pueden obtener las variables primarias mediante dos metodologías (diferenciación posicional y efecto método Doppler), sería recomendable que los autores incluyeran la información sobre el método específico utilizado por el dispositivo analizado.

Teniendo en cuenta lo anteriormente comentado, se insta a los investigadores a aportar información minuciosa sobre las variables analizadas, especialmente cuando se lleve a cabo el análisis de variables derivadas. Además, siguiendo la recomendación propuesta para el procesamiento de los datos (ver apartado “procesamiento de los datos”), se insta a que aquellos trabajos que tengan como finalidad llevar a cabo una comparación entre diferentes dispositivos (especialmente cuando éstos sean de diferentes fabricantes) calculen manualmente estas variables derivadas (Linke et al., 2018; Thornton et al., 2019), para evitar que las posibles diferencias entre dispositivos tengan como causa principal los diferentes algoritmos utilizados por los fabricantes.

## **5.9. Test utilizado (Factor de tecnología GPS y LPS)**

La precisión de la tecnología GPS y LPS en el ámbito deportivo es examinada a través de la realización de diferentes pruebas específicas que, en la mayoría de los casos, tratan de simular los movimientos de un deporte o tipo de deporte específico. Al igual que ha ocurrido con el factor de variables analizadas, todos los estudios incluidos en la presente revisión

reportaron la información referente a la prueba llevada a cabo. Sin embargo, es de valor destacar el bajo número de estudios que han utilizado un juego simulado o real, tanto en estudios de GPS ( $n = 6$ ), como en estudios de LPS ( $n = 4$ ). Hay que tener en cuenta, que el dinamismo característico del juego real compuesto por acciones como choques, saltos o giros, trae consigo una disminución en la precisión de los datos (Ogris et al., 2012). Como consecuencia de lo anteriormente comentado, así como con el objetivo de adecuar el test utilizado al concepto de validez ecológica (Furlan et al., 2016), se insta a futuros estudios a incluir situaciones de juego real o simulado dentro del conjunto de pruebas utilizadas para dar repuesta al objetivo planteado.

## 6.0 Prospectivas de investigación

El presente estudio examinó la inclusión de factores técnicos que afectan a los datos reportados por dispositivos GPS y LPS, en aquellos estudios que han realizado un análisis técnico de estas tecnologías. Futuras investigaciones deberían trasladar este análisis metodológico, tanto a estudios que examinen otras tecnologías (ej. acelerómetros, transductores lineales, sistemas optoelectrónicos, etc.), como a investigaciones donde se haya llevado a cabo un uso práctico de las tecnologías examinadas en el presente estudio. Además, se considera necesario ampliar la evidencia científica que examine la influencia de algunos de los factores técnicos incluidos en la presente revisión, como es el caso de la ubicación del dispositivo o la infraestructura de antenas (tecnología LPS).



# CONCLUSIONES Y APLICACIONES PRÁCTICAS

---



En base a los resultados obtenidos por el presente estudio, concluimos que:

- i. Estudios que examinan la validez y fiabilidad de tecnologías GPS y/o LPS, omiten gran parte de la información referente a factores técnicos que afectan a la precisión de los datos reportados por estas tecnologías.
- ii. La DHOP y el número de satélites conectados, son los factores técnicos con menor presencia en estudios de tecnología GPS.
- iii. Las técnicas de procesamiento de los datos y la información referente a la infraestructura de antenas, son los factores técnicos con menor presencia en estudios de tecnología LPS.
- iv. Los estudios que examinan ambas tecnologías simultáneamente vuelven a omitir mayoritariamente, los factores DHOP e información referente a la infraestructura de antenas, además del criterio de referencia utilizado.
- v. El test utilizado y las variables analizadas se mostraron como los factores menos omitidos, siendo reportados en todos los estudios analizados.
- vi. Se considera imperativa la necesidad de establecer una metodología común a todos los estudios técnicos de tecnología GPS y LPS, que asegure la inclusión de todos los factores que afectan a estas tecnologías, así como unos procedimientos universales.

Con el objetivo de que estos factores, de gran influencia sobre la precisión de los datos sean considerados en futuros trabajos, se insta a que los investigadores se apoyen en la guía *checklist* propuesta a continuación:

**GUÍA CHECKLIST PARA ESTUDIOS TÉCNICOS DE TECNOLOGÍA GPS Y LPS**

	<b>Factor</b>	<b>Descripción</b>	<b>Reportado en página (#)</b>
<b>GPS Y LPS</b>	Test utilizado	Identifica la prueba utilizada con la suficiente exactitud como para ser replicada por otra investigación. Se recomienda acompañar la explicación de la prueba utilizada con una ilustración gráfica de ésta.	
	Criterio de referencia	Identifica el criterio de referencia utilizado (marca y modelo), así como la frecuencia de muestreo de éste. Si el criterio de referencia utilizado y el dispositivo objeto de estudio tienen diferentes frecuencias de muestreo, se recomienda incluir información referente a la técnica utilizada para la sincronización de ambos.	
	Variables analizadas	Aporta información minuciosa de las variables analizadas. En el caso de que se examinen variables derivadas (ej. aceleración), se añade la máxima información posible sobre el cálculo de éstas (ej. ventana de tiempo, duración mínima del esfuerzo).	
	Dispositivo y frecuencia de muestreo	Identifica el dispositivo objeto de estudio (marca y modelo), así como la frecuencia de muestreo de éste.	
	Ubicación del dispositivo	Se detalla de manera minuciosa la ubicación del dispositivo objeto de estudio. En el caso de ubicar varios dispositivos simultáneamente en la misma localización, aporta información sobre la distancia entre ellos.	
	Procesamiento de los datos	Detalla el proceso de extracción y análisis de los datos. En esta explicación, se incluye el nombre del software utilizado, así como la naturaleza de los datos (en bruto o filtrados). En caso de aplicar una técnica de filtrado, se informa minuciosamente sobre la misma.	
<b>GPS</b>	Número de satélites conectados	Se incluye información referente al número de satélites conectados durante la sesión/es llevadas a cabo	
	Disolución Horizontal de la Precisión	Se incluye información referente al valor de disolución horizontal de la precisión durante la sesión/es llevadas a cabo	
<b>LPS</b>	Infraestructura de antenas	Aporta información minuciosa sobre el número, ubicación y altura de las antenas que componen el sistema LPS utilizado.	



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---



- Akenhead, R., y Nassis, G. P. (2016). Training load and player monitoring in high-level football: Current practice and perceptions. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(5), 587–593. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2015-0331>
- Akenhead, R., French, D., Thompson, K. G., y Hayes, P. R. (2014). The acceleration dependent validity and reliability of 10 Hz GPS. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 17(5), 562–566. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2013.08.005>
- Barbero-Álvarez, J. C., Coutts, A., Granda, J., Barbero-Álvarez, V., y Castagna, C. (2010). The validity and reliability of a global positioning satellite system device to assess speed and repeated sprint ability (RSA) in athletes. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(2), 232–235. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2009.02.005>
- Bardella, P., García, I., Pozzo, M., Tous-Fajardo, J., Saez de Villareal, E., y Suarez-Arrones, L. (2017). Optimal sampling frequency in recording of resistance training exercises. *Sports Biomechanics*, 16(1), 102–114. <https://doi.org/10.1080/14763141.2016.1205652>
- Barreira, P., Robinson, M. A., Drust, B., Nedergaard, N., Raja Azidin, R. M. F., y Vanrenterghem, J. (2017). Mechanical Player Load™ using trunk-mounted accelerometry in football: Is it a reliable, task- and player-specific observation? *Journal of Sports Sciences*, 35(17), 1674–1681. <https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1229015>
- Barrett, S., Midgley, A., y Lovell, R. (2014). PlayerLoad™: Reliability, Convergent Validity, and Influence of Unit Position during Treadmill Running. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(6), 945–952. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2013-0418>
- Bastida-Castillo, A., Gómez-Carmona, C. D., De La Cruz Sánchez, E., y Pino-Ortega, J. (2018). Accuracy, intra- and inter-unit reliability, and comparison between GPS and UWB-based position-tracking systems used for time–motion analyses in soccer. *European Journal of Sport Science*, 18(4), 450–457. <https://doi.org/10.1080/17461391.2018.1427796>
- Bastida-Castillo, A., Gomez-Carmona, C. D., Hernandez-Belmonte, A., y Pino-Ortega, J. (2018). Validity and Reliability of an Inertial Device (WIMU PRO (TM)) to Tracking Analysis in Handball. *E-Balonmano*, 14(1), 9–16.
- Bastida-Castillo, A., Gómez-Carmona, C., De la Cruz-Sánchez, E., Reche-Royo, X., Ibáñez, S., Pino Ortega, J. (2019). Accuracy and Inter-Unit Reliability of Ultra-Wide-Band Tracking

System in Indoor Exercise. *Applied Sciences*, 9(5), 939.  
<https://doi.org/10.3390/app9050939>

Bastida-Castillo, Gómez-Carmona, C. D., De La Cruz Sánchez, E., y Pino-Ortega, J. (2019). Comparing accuracy between global positioning systems and ultra-wideband-based position tracking systems used for tactical analyses in soccer. *European Journal of Sport Science*, 1–9. <https://doi.org/10.1080/17461391.2019.1584248>

Beanland, E., Main, L. C., Aisbett, B., Gustin, P., y Netto, K. (2014). Validation of GPS and accelerometer technology in swimming. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 17(2), 234–238. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2013.04.007>

Beato, M., Bartolini, D., Ghia, G., y Zamparo, P. (2016). Accuracy of a 10 Hz GPS unit in measuring shuttle velocity performed at different speeds and distances (5 - 20 M). *Journal of Human Kinetics*, 54(1), 15–22. <https://doi.org/10.1515/hukin-2016-0031>

Beato, M., Devereux, G., y Stiff, A. (2018). Validity and Reliability of Global Positioning System Units (STATSports Viper) for Measuring Distance and Peak Speed in Sports. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(10), 2831–2837. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002778>

Beenham, M., Barron, D. J., Fry, J., Hurst, H. H., Figueirido, A., y Atkins, S. (2017). A Comparison of GPS Workload Demands in Match Play and Small-Sided Games by the Positional Role in Youth Soccer. *Journal of Human Kinetics*, 57(1), 129–137. <https://doi.org/10.1515/hukin-2017-0054>

Brown, D. M., Dwyer, D. B., Robertson, S. J., y Gustin, P. B. (2016). Metabolic Power Method: Underestimation of Energy Expenditure in Field-Sport Movements Using a Global Positioning System Tracking System. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(8), 1067–1073. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0021>

Buchheit, M., Al Haddad, H., Simpson, B. M., Palazzi, D., Bourdon, P. C., Di Salvo, V., y Mendez-Villanueva, A. (2014). Monitoring Accelerations With GPS in Football: Time to Slow Down? *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(3), 442–445. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2013-0187>.

Buchheit, M., Allen, A., Poon, T. K., Modonutti, M., Gregson, W., y Di Salvo, V. (2014). Integrating different tracking systems in football: multiple camera semi-automatic system, local position measurement and GPS technologies. *Journal of Sports Sciences*, 32(20), 1844–1857. <https://doi.org/10.1080/02640414.2014.942687>

Cohen, J. F., Korevaar, D. A., Altman, D. G., Bruns, D. E., Gatsonis, C. A., Hooft, L., ... Bossuyt, P. M. (2016). STARD 2015 guidelines for reporting diagnostic accuracy studies:

- explanation and elaboration. *BMJ Open*, 6(11), e012799.  
<https://doi.org/10.1136/bmjopen-2016-012799>
- Coutts, A. J., y Duffield, R. (2010). Validity and reliability of GPS devices for measuring movement demands of team sports. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(1), 133–135. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2008.09.015>
- Cummins, C., Orr, R., O'Connor, H., y West, C. (2013). Global Positioning Systems (GPS) and Microtechnology Sensors in Team Sports: A Systematic Review. *Sports Medicine*, 43(10), 1025–1042. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0069-2>
- Currell, K., y Jeukendrup, A. E. (2008). Validity, Reliability and Sensitivity of Measures of Sporting Performance. *Sports Medicine*, 38(4), 297–316.  
<https://doi.org/10.2165/00007256-200838040-00003>
- Delaney, J. A., Cummins, C. J., Thornton, H. R., y Duthie, G. M. (2018). Importance, Reliability, and Usefulness of Acceleration Measures in Team Sports. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(12), 3485–3493.  
<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001849>
- Delaney, J. A., Wileman, T. M., Perry, N. J., Thornton, H. R., Moresi, M. P., y Duthie, G. M. (2019). The Validity of a Global Navigation Satellite System for Quantifying Small-Area Team-Sport Movements. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 1.  
<https://doi.org/10.1519/JSC.00000000000003157>
- Doğramaci, S. N., Watsford, M. L., y Murphy, A. J. (2011). The reliability and validity of subjective notational analysis in comparison to global positioning system tracking to assess athlete movement patterns. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(3), 852–859. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181c69edd>
- Duffield, R., Reid, M., Baker, J., y Spratford, W. (2010). Accuracy and reliability of GPS devices for measurement of movement patterns in confined spaces for court-based sports. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(5), 523–525.  
<https://doi.org/10.1016/j.jsams.2009.07.003>
- Edgecomb, S. J., y Norton, K. I. (2006). Comparison of global positioning and computer-based tracking systems for measuring player movement distance during Australian Football. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 9(1–2), 25–32.  
<https://doi.org/10.1016/j.jsams.2006.01.003>
- Figueira, B., Gonçalves, B., Folgado, H., Masiulis, N., Calleja-González, J., y Sampaio, J. (2018). Accuracy of a basketball indoor tracking system based on standard bluetooth low energy channels (NBN23®). *Sensors (Switzerland)*, 18(6).

<https://doi.org/10.3390/s18061940>

- Frencken, W. G., Lemmink, K. A., y Delleman, N. J. (2010). Soccer-specific accuracy and validity of the local position measurement (LPM) system. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(6), 641–645. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2010.04.003>
- Furlan, N., Waldron, M., Osborne, M., y Gray, A. J. (2016). Ecological Validity and Reliability of the Rugby Sevens Simulation Protocol. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(6), 749–755. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2015-0487>
- Gale-Ansodi, C., Langarika-Rocafort, A., Usabiaga, O., y Paulis, J. C. (2016). New variables and new agreements between 10Hz global positioning system devices in tennis drills. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part P-Journal of Sports Engineering and Technology*, 230(2), 121–123. <https://doi.org/10.1177/1754337115622867>
- Gray, A. J., Jenkins, D., Andrews, M. H., Taaffe, D. R., y Glover, M. L. (2010). Validity and reliability of GPS for measuring distance travelled in field-based team sports. *Journal of Sports Sciences*, 28(12), 1319–1325. <https://doi.org/10.1080/02640414.2010.504783>
- Halson, S. L. (2014). Monitoring Training Load to Understand Fatigue in Athletes. *Sports Medicine*, 44(S2), 139–147. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0253-z>
- Highton, J., Mullen, T., Norris, J., Oxendale, C., y Twist, C. (2017). The unsuitability of energy expenditure derived from microtechnology for assessing internal load in collision-based activities. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(2), 264–267. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0069>
- Hoppe, M. W., Baumgart, C., Polglaze, T., y Freiwald, J. (2018). Validity and reliability of GPS and LPS for measuring distances covered and sprint mechanical properties in team sports. *Plos One*, 13(2). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0192708>
- Jackson, B. M., Polglaze, T., Dawson, B., King, T., y Peeling, P. (2018). Comparing Global Positioning System and Global Navigation Satellite System Measures of Team-Sport Movements. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(8), 1005–1010. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2017-0529>
- Janssen, I., y Sachlikidis, A. (2010). Validity and reliability of intra-stroke kayak velocity and acceleration using a GPS-based accelerometer. *Sports Biomechanics*, 9(1), 47–56. <https://doi.org/10.1080/14763141003690229>
- Jennings, D., Cormack, S., Coutts, A. J., Boyd, L., y Aughey, R. J. (2010a). The validity and reliability of GPS units for measuring distance in team sport specific running patterns. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 5(3), 328–341.

<https://doi.org/10.1123/ijsp.5.3.328>

- Jennings, D., Cormack, S., Coutts, A. J., Boyd, L. J., y Aughey, R. J. (2010b). Variability of GPS Units for Measuring Distance in Team Sport Movements. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 5(4), 565–569. <https://doi.org/10.1123/ijsp.5.4.565>
- Johnston, R. J., Watsford, M. L., Kelly, S. J., Pine, M. J., y Spurrs, R. W. (2014). Validity and interunit reliability of 10 hz and 15 hz gps units for assessing athlete movement demands. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(6), 1649–1655. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000000323>
- Johnston, R. J., Watsford, M. L., Pine, M. J., Spurrs, R. W., Murphy, A. J., y Pruyn, E. C. (2012). The validity and reliability of 5-hz global positioning system units to measure team sport movement demands. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(3), 758–765. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318225f161>
- Johnston, R. J., Watsford, M. L., Pine, M. J., Spurrs, R. W., y Sporri, D. (2013). Assessment of 5 Hz and 10 Hz GPS units for measuring athlete movement demands. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 13(1), 262–274.
- Köklü, Y., Arslan, Y., Alemdaroğlu, U., y Duffield, R. (2015). Accuracy and reliability of SPI ProX global positioning system devices for measuring movement demands of team sports. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 55(5), 471–477.
- Lacome, M., Peeters, A., Mathieu, B., Bruno, M., Christopher, C., y Piscione, J. (2019). Can we use GPS for assessing sprinting performance in rugby sevens ? A concurrent validity and between-device reliability study. *Biology of Sport*, 36(1), 25–29. <https://doi.org/10.5114/biolport.2018.78903>
- Larsson, P. (2003). Global Positioning System and Sport-Specific Testing. *Sports Medicine*, 33(15), 1093–1101. <https://doi.org/10.2165/00007256-200333150-00002>.
- Leser, R., Schleindlhuber, A., Lyons, K., y Baca, A. (2014). Accuracy of an UWB-based position tracking system used for time-motion analyses in game sports. *European Journal of Sport Science*, 14(7), 635–642. <https://doi.org/10.1080/17461391.2014.884167>
- Li, X., Zhang, X., Ren, X., Fritsche, M., Wickert, J., y Schuh, H. (2015). Precise positioning with current multi-constellation Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo and BeiDou. *Scientific Reports*, 5(1), 8328. <https://doi.org/10.1038/srep08328>
- Link, D., Weber, M., Linke, D., y Lames, M. (2018). Can Positioning Systems Replace Timing Gates for Measuring Sprint Time in Ice Hockey? *Frontiers in Physiology*, 9, 1882. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01882>

- Linke, D., Link, D., y Lames, M. (2018). Validation of electronic performance and tracking systems EPTS under field conditions. *PLOS ONE*, 13(7), e0199519. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0199519>
- Liu, Y., Chen, Q., Liu, Y., y Chen, Q. (2018). Research on Integration of Indoor and Outdoor Positioning in Professional Athletic Training. *Proceedings*, 2(6), 295. <https://doi.org/10.3390/proceedings2060295>
- Luteberget, L. S., Spencer, M., y Gilgien, M. (2018). Validity of the Catapult ClearSky T6 Local Positioning System for Team Sports Specific Drills, in Indoor Conditions. *Frontiers in Physiology*, 9. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00775>
- MacLeod, H., Morris, J., Nevill, A., y Sunderland, C. (2009). The validity of a non-differential global positioning system for assessing player movement patterns in field hockey. *Journal of Sports Sciences*, 27(2), 121–128. <https://doi.org/10.1080/02640410802422181>
- Malone, J. J., Lovell, R., Varley, M. C., y Coutts, A. J. (2017). Unpacking the black box: Applications and considerations for using gps devices in sport. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12, 18–26. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0236>
- Mason, B., Lenton, J., Rhodes, J., Cooper, R., y Goosey-Tolfrey, V. (2014). Comparing the Activity Profiles of Wheelchair Rugby Using a Miniaturised Data Logger and Radio-Frequency Tracking System. *Biomed Research International*. <https://doi.org/10.1155/2014/348048>
- McNamara, D. J., Gabbett, T. J., Chapman, P., Naughton, G., y Farhart, P. (2015). The Validity of Microsensors to Automatically Detect Bowling Events and Counts in Cricket Fast Bowlers. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10(1), 71–75. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2014-0062>
- Memmert, D., Raabe, D., Schwab, S., y Rein, R. (2019). A tactical comparison of the 4-2-3-1 and 3-5-2 formation in soccer: A theory-oriented, experimental approach based on positional data in an 11 vs. 11 game set-up. *PLoS ONE*, 14(1), 1–12. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0210191>
- Muñoz-Lopez, A., Granero-Gil, P., Pino-Ortega, J., y De Hoyo, M. (2017). The validity and reliability of a 5-hz GPS device for quantifying athletes' sprints and movement demands specific to team sports. *Journal of Human Sport and Exercise*, 12(1), 156–166. <https://doi.org/10.14198/jhse.2017.121.13>
- Nagahara, R., Botter, A., Rejc, E., Koido, M., Shimizu, T., Samozino, P., y Morin, J.B. (2017). Concurrent Validity of GPS for Deriving Mechanical Properties of Sprint Acceleration. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(1), 129–132.



<https://doi.org/10.1123/ijsp.2015-0566>

- Nikolaidis, P. T., Clemente, F. M., van der Linden, C. M., Rosemann, T., y Knechtle, B. (2018). Validity and Reliability of 10-Hz Global Positioning System to Assess In-line Movement and Change of Direction. *Frontiers in Physiology*, 9. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00228>
- Ogris, G., Leser, R., Horsak, B., Kornfeind, P., Heller, M., y Baca, A. (2012). Accuracy of the LPM tracking system considering dynamic position changes. *Journal of Sports Sciences*, 30(14), 1503–1511. <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.712712>
- Olthof, S. B., Frencken, W. G., y Lemmink, K. A. (2019). A Match-Derived Relative Pitch Area Facilitates the Tactical Representativeness of Small-Sided Games for the Official Soccer Match. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(2), 523–530. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002978>
- Padulo, J., Iuliano, E., Brisola, G., Dello Iacono, A., Zagatto, A. M., Lupo, C., ... Cular, D. (2019). Validity and reliability of a standalone low-end 50-Hz GNSS receiver during running. *Biology of Sport*, 36(1), 75–80. <https://doi.org/10.5114/biolsport.2019.79974>
- Petersen, C., Pyne, D., Portus, M., y Dawson, B. (2009). Validity and Reliability of GPS Units to Monitor Cricket-Specific Movement Patterns. *International Journal of Sports Physiology y Performance*, 4(3), 381–393. <https://doi.org/10.1123/ijsp.4.3.381>
- Portas, M. D., Harley, J. A., Barnes, C. A., y Rush, C. J. (2010). The validity and reliability of 1-Hz and 5-Hz Global Positioning Systems for linear, multidirectional, and soccer-specific activities. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 5(4), 448–458. <https://doi.org/10.1123/ijsp.5.4.448>
- Rampinini, E., Alberti, G., Fiorenza, M., Riggio, M., Sassi, R., Borges, T. O., y Coutts, A. J. (2015). Accuracy of GPS Devices for Measuring High-intensity Running in Field-based Team Sports. *International Journal of Sports Medicine*, 36(1), 49–53. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1385866>
- Randers, M. B., Mujika, I., Hewitt, A., Santisteban, J., Bischoff, R., Solano, R., ... Mohr, M. (2010). Application of four different football match analysis systems: A comparative study. *Journal of Sports Sciences*, 28(2), 171–182. <https://doi.org/10.1080/02640410903428525>
- Rawstorn, J. C., Maddison, R., Ali, A., Foskett, A., y Gant, N. (2014). Rapid Directional Change Degrades GPS Distance Measurement Validity during Intermittent Intensity Running. *Plos One*, 9(4). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0093693>
- Rehman, M. U., Gao, Y., Chen, X., Parini, C. G., y Ying, Z. (2007). Effects of human body

- interference on the performance of a GPS antenna. *2nd European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2007)*, 111–111. <https://doi.org/10.1049/ic.2007.1042>
- Rhodes, J., Mason, B., Perrat, B., Smith, M., y Goosey-Tolfrey, V. (2014). The validity and reliability of a novel indoor player tracking system for use within wheelchair court sports. *Journal of Sports Sciences*, 32(17), 1639–1647. <https://doi.org/10.1080/02640414.2014.910608>
- Ridolfi, M., Vandermeeren, S., Defraye, J., Steendam, H., Gerlo, J., De Clercq, D., ... De Poorter, E. (2018). Experimental Evaluation of UWB Indoor Positioning for Sport Postures. *Sensors*, 18(1). <https://doi.org/10.3390/s18010168>
- Roell, M., Roecker, K., Gehring, D., Mahler, H., y Gollhofer, A. (2018). Player Monitoring in Indoor Team Sports: Concurrent Validity of Inertial Measurement Units to Quantify Average and Peak Acceleration Values. *Frontiers in Physiology*, 9, 141. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00141>
- Sathyan, T., Shuttleworth, R., Hedley, M., y Davids, K. (2012). Validity and reliability of a radio positioning system for tracking athletes in indoor and outdoor team sports. *Behavior Research Methods*, 44(4), 1108–1114. <https://doi.org/10.3758/s13428-012-0192-2>
- Schutz, Y., y Chambaz, A. (1997). Could a satellite-based navigation system (GPS) be used to assess the physical activity of individuals on earth? *European Journal of Clinical Nutrition*, 51(5), 338–339. <https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1600403>
- Schutz, Y., y Herren, R. (2000). Assessment of speed of human locomotion using a differential satellite global positioning system. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(3), 642–646. <https://doi.org/10.1097/00005768-200003000-00014>
- Scott, M. T., Scott, T. J., y Kelly, V. G. (2016). The Validity and Reliability of Global Positioning Systems in Team Sport: A Brief Review. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(5), 1470–1490. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001221>
- Serpiello, F. R., Hopkins, W. G., Barnes, S., Tavrou, J., Duthie, G. M., Aughey, R. J., y Ball, K. (2018). Validity of an ultra-wideband local positioning system to measure locomotion in indoor sports. *Journal of Sports Sciences*, 36(15), 1727–1733. <https://doi.org/10.1080/02640414.2017.1411867>
- Siegle, M., Stevens, T., y Lames, M. (2013). Design of an accuracy study for position detection in football. *Journal of Sports Sciences*, 31(2), 166–172. <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.723131>
- Sindall, P., Lenton, J. P., Whytock, K., Tolfrey, K., Oyster, M. L., Cooper, R. A., y Goosey-

- Tolfrey, V. L. (2013). Criterion validity and accuracy of global positioning satellite and data logging devices for wheelchair tennis court movement. *Journal of Spinal Cord Medicine*, 36(4), 383–393. <https://doi.org/10.1179/2045772312y.0000000068>
- Stevens, T. G., de Ruiter, C. J., van Niel, C., van de Rhee, R., Beek, P. J., y Savelsbergh, G. J. P. (2014). Measuring Acceleration and Deceleration in Soccer-Specific Movements Using a Local Position Measurement (LPM) System. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(3), 446–456. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2013-0340>
- Sweeting, A. J., Cormack, S. J., Morgan, S., y Aughey, R. J. (2017). When Is a Sprint a Sprint? A Review of the Analysis of Team-Sport Athlete Activity Profile. *Frontiers in Physiology*, 8, 432. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00432>
- Terziotti, P., Sim, M., y Polglaze, T. (2018). A comparison of displacement and energetic variables between three team sport GPS devices. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 18(5), 823–834. <https://doi.org/10.1080/24748668.2018.1525650>
- Thornton, H. R., Nelson, A. R., Delaney, J. A., Serpiello, F. R., y Duthie, G. M. (2019). Interunit Reliability and Effect of Data-Processing Methods of Global Positioning Systems. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 14(4), 432–438. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2018-0273>
- Townshend, A. D., Worringham, C. J., y Stewart, I. B. (2008). Assessment of speed and position during human locomotion using nondifferential GPS. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 40(1), 124–132. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e3181590bc2>
- van der Slikke, R. M. A., Mason, B. S., Berger, M. A. M., y Goosey-Tolfrey, V. L. (2017). Speed profiles in wheelchair court sports; comparison of two methods for measuring wheelchair mobility performance. *Journal of Biomechanics*, 65, 221–225. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2017.10.040>
- Varley, M. C., Fairweather, I. H., y Aughey, R. J. (2012). Validity and reliability of GPS for measuring instantaneous velocity during acceleration, deceleration, and constant motion. *Journal of Sports Sciences*, 30(2), 121–127. <https://doi.org/10.1080/02640414.2011.627941>
- Varley, M. C., Jaspers, A., Helsen, W. F., y Malone, J. J. (2017). Methodological Considerations When Quantifying High-Intensity Efforts in Team Sport Using Global Positioning System Technology. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(8), 1059–1068. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0534>
- Vickery, W. M., Dascombe, B. J., Baker, J. D., Higham, D. G., Spratford, W. A., y Duffield, R. (2014). Accuracy and reliability of GPS devices for measurement of sports-specific

movement patterns related to cricket, tennis, and field-based team sports. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(6), 1697–1705.  
<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000285>

Waldron, M., Worsfold, P., Twist, C., y Lamb, K. (2011a). Concurrent validity and test-retest reliability of a global positioning system (GPS) and timing gates to assess sprint performance variables. *Journal of Sports Sciences*, 29(15), 1613–1619.  
<https://doi.org/10.1080/02640414.2011.608703>

Waldron, M., Worsfold, P., Twist, C., y Lamb, K. (2011b). Predicting 30 m timing gate speed from a 5 Hz Global Positioning System (GPS) device. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 11(3), 575–582.  
<https://doi.org/10.1080/24748668.2011.11868575>

Willmott, A. G., James, C. A., Bliss, A., Leftwich, R. A., y Maxwell, N. S. (2019). A comparison of two global positioning system devices for team-sport running protocols. *Journal of Biomechanics*, 83, 324–328. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2018.11.044>

Witte, T. H., y Wilson, A. M. (2004). Accuracy of non-differential GPS for the determination of speed over ground. *Journal of Biomechanics*, 37(12), 1891–1898.  
<https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2004.02.031>

Yanci, J., Calleja-Gonzalez, J., Cámara, J., Mejuto, G., San Román, J., y Los Arcos, A. (2017). Validity and reliability of a global positioning system to assess 20 m sprint performance in soccer players. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology*, 231(1), 68–71.  
<https://doi.org/10.1177/1754337115624818>

# ANEXOS

---

**01.- Anexo I. Planilla de extracción de datos en los estudios que examinaron tecnología GPS.**

**02.- Anexo II. Planilla de extracción de datos en los estudios que examinaron tecnología LPS.**

**03.- Anexo III. Planilla de extracción de datos en los estudios que examinaron tecnología GPS y LPS.**

**04.- Anexo IV. Resultados detallados de la calidad metodológica de los estudios incluidos.**

**05.- Anexo V. Resumen de la calidad metodológica de los estudios incluidos.**

**Anexo I. Planilla de extracción de datos en los estudios que examinaron tecnología GPS**

Estudio	Test utilizado	Criterio de referencia	Variables analizadas	Dispositivo/Hz	Ubicación del dispositivo	Procesamiento de los datos	Número de satélites	DHOP	Conclusiones
Nagahara et al., (2017)	Sprint lineal	Radar (Stalker ATS II, 50 Hz) Láser (LDM 301, 100 Hz)	F0 ( $N \cdot kg^{-1}$ ) V0 ( $m \cdot s^{-1}$ ) PMáx ( $W \cdot kg^{-1}$ ) VMáx ( $m \cdot s^{-1}$ ) AccInst (s) t (s)	Gpexe, 20 Hz (Exelio srl) Spi ProX, 5 Hz (GPSports)	Espalda alta	Datos descargados en bruto del software:  <b>Software utilizado</b>	<b>N° satélites</b>	<b>DHOP</b>	No se recomiendan unidades GPS para medir las propiedades mecánicas de la aceleración en un sprint. El aumento de la validez con unidades de 20 Hz abre interesantes posibilidades cuando se disponga de una tecnología de medición GPS mejorada
Duffield, Reid, Baker, y Spratford, (2010)	Recorrido predefinido (deportes de pista)	Sistema de análisis de movimiento (Vicon, 100 Hz)	DT (m) VMed ( $m \cdot s^{-1}$ ) VMáx ( $m \cdot s^{-1}$ )	MinimaxX, 5 Hz (Catapult) Spi Elite, 1 Hz (GPSports)	Espalda alta	Datos calculados utilizando el software del fabricante:  (Team AMS v2.1, GPSport) (Logan Software v28.5, Catapult)	7	<b>DHOP</b>	Para deportes en pista o movimientos en espacios reducidos, la tecnología GPS infraestima, tanto la distancia recorrida, como las velocidades medias y máximas
Delaney et al., (2019)	Recorrido predefinido (deportes de equipo)	Sistema de análisis de movimiento (Vicon, 100 Hz)	VMed ( $m \cdot s^{-1}$ ) AccMed ( $m \cdot s^{-1}$ )	Evo, 10 Hz (GPSports)	Espalda alta	Datos obtenidos en bruto y descargados del software del fabricante:  (Console, GPSports®)	<b>N° satélites</b>	<b>DHOP</b>	Dispositivos GNSS de 10 Hz tienen una validez aceptable para evaluar las demandas medias en entrenamientos y competiciones de deportes de equipo, aunque se recomienda precaución cuando se utilizan medidas de aceleración exportadas a través del software.

**Anexo I. (Continuación)**

Estudio	Test utilizado	Criterio de referencia	Variables analizadas	Dispositivo/Hz	Ubicación del dispositivo	Procesamiento de los datos	Número de satélites	DHOP	Conclusiones
Waldron et al., (2011a)	Sprint lineal	Distancia conocida Fotocélulas (Brower Timing System, 100 Hz)	DT (m) VMed (km·h <sup>-1</sup> )	Spi Pro, 5 Hz (GPSports)	Espalda alta	Datos analizados utilizando el software del fabricante:  (Team AMS, v2.1, GPSports)	9 - 11	1.2 ± 0.2	Los sistemas de fotocélulas y GPS evalúan la velocidad y distancia de forma fiable, aunque la validez del GPS sigue siendo cuestionable
Johnston, Watsford, Pine, Spurrs, y Sporri, (2013)	Recorrido predefinido (deportes de equipo)	Distancia conocida Fotocélulas (Swift Equipment)  <b>Hz</b>	DT (m) VMáx (km·h <sup>-1</sup> )	MinimaxX S4, 10 Hz (Firmware 6.70, Catapult) MinimaxX S3, 5Hz (Firmware 6.70, Catapult)	Espalda alta	Datos descargados del software:  (Logan Plus v4.7.1, Catapult)	8 - 14	< 2	Las actualizaciones del firmware del GPS y el aumento de la frecuencia de muestreo han mejorado aún más la validez y la fiabilidad entre unidades GPS. Sin embargo, se requiere precaución al medir movimientos a alta velocidad
Beanland, Main, Aisbett, Gastin, y Netto, (2014)	Nado estilo braza, libre y mariposa	Videocámara (Canon DV-MD225, 25 Hz)	VMed (m·s <sup>-1</sup> )	MinimaxX S4, 10 Hz (Catapult)	Cabeza del nadador	Datos descargados utilizando el software del fabricante  (Logan Plus, v4.7.1, Catapult)	9 ± 1	Braza: 1.25 ± 0.30 Mariposa: 1.53 ± 0.36 Libre: 1.10 ± 0.18	Los dispositivos GPS ofrecen una herramienta válida y precisa para la medición de la velocidad de nado, tanto en braza como en estilo libre
Lacome et al., (2019)	Sprint lineal	Radar (Stalker ATS II, 50 Hz)	Validez: VMáx (m·s <sup>-1</sup> )  Fiabilidad: VMáx (m·s <sup>-1</sup> ) AccMáx (m·s <sup>-2</sup> )	Sensoreverywhere, 16 Hz (Digital Simulation)	Validez: Espalda alta  Fiabilidad: Trineo	Datos descargados en bruto del software del fabricante:  (Sensoreverywhere Analyser, Digital Simulation)  Filtro: suavizado 0.5-s media móvil	10 ± 1	1.56 ± 0.07	Las unidades GPS muestran ser muy fiables para evaluar la VMáx y proporcionan una relación señal/ruido aceptable para medir la AccMáx, especialmente cuando se utiliza un filtro (suavizado 0.5-s media móvil)

**Anexo I. (Continuación)**

Estudio	Test utilizado	Criterio de referencia	VARIABLES analizadas	Dispositivo/Hz	Ubicación del dispositivo	Procesamiento de los datos	Número de satélites	DHOP	Conclusiones
Akenhead et al., (2014)	Sprint lineal	Láser (OptoNCDT, 2000 Hz)	VInst ( $m \cdot s^{-1}$ )	MinimaxX S4, 10 Hz (Firmware 6.75, Catapult)	Sistema monorraíl de aluminio	Datos descargados en bruto y filtrados del software:  <b>Software utilizado</b>	13 ± 1	0.9 ± 0.1	La validez y fiabilidad del GPS de 10 Hz para la medición de la VInst muestra estar inversamente relacionada con la aceleración. Aquellos que usan GPS de 10 Hz deben tener en cuenta que durante las aceleraciones de más de $4 m \cdot s^{-2}$ , la precisión se ve comprometida
(Köklü, Arslan, Alemardoğlu, y Duffield, (2015)	Recorrido predefinido (deportes de equipo)	Distancia conocida Fotocélulas (ProSport TMR ESC 2100)  <b>Hz</b>	DT (m) VMed ( $km \cdot h^{-1}$ )	SPI ProX (GPSports)  <b>Hz</b>	Espalda alta	Datos descargados y analizados utilizando el software del fabricante:  (Team AMS R1, GPSports)	<b>Nº satélites</b>	<b>DHOP</b>	Los dispositivos GPS SPI ProX son una herramienta fiable para medir las demandas de los deportes de equipo. Sin embargo, las diferencias en velocidad hacen necesario el desarrollo y la actualización del software y el hardware de este tipo de tecnología para mejorar su precisión y fiabilidad
Vickery et al., (2014)	Recorrido predefinido (tenis, cricket y fútbol)	Sistema de análisis de movimiento (Vicon, 100 Hz)	DT (m) VMed ( $m \cdot s^{-1}$ ) VMáx ( $m \cdot s^{-1}$ )	MinimaxX, 5 Hz (Firmware v6.59, Catapult) MinimaxX S4, 10 Hz (Firmware v6.72, Catapult) Spi ProX, 15 Hz (Catapult)	Espalda alta	Datos descargados utilizando el software del fabricante:  (Logan Plus 4.6.0, Catapult)	MinimaxX 5 Hz: 8 ± 1 MinimaxX 10 Hz: 11 ± 1 Spi ProX: 8 ± 1	MinimaxX 5 Hz: 1.5 ± 0.4 MinimaxX 10 Hz: 1.0 ± 0.2 Spi ProX: No aplicable	Los usuarios deben ser conscientes de que las medidas de distancia y velocidad podrían ser constantemente subestimadas, independientemente de los movimientos realizados



**Anexo I. (Continuación)**

Estudio	Test utilizado	Criterio de referencia	Variables analizadas	Dispositivo/Hz	Ubicación del dispositivo	Procesamiento de los datos	Número de satélites	DHOP	Conclusiones
Barbero-Álvarez et al., (2010)	Sprint lineal	Fotocélulas (Omron E3S-CR11) <b>Hz</b>	VMáx ( $m \cdot s^{-1}$ )	Spi Elite, 1 Hz (GPSports)	Espalda alta	<b>Software utilizado</b>	<b>Nº satélites</b>	<b>DHOP</b>	Los resultados obtenidos apoyan el uso del dispositivo GPS como una herramienta alternativa para evaluar el rendimiento del sprint repetido
Beato, Bartolini, Ghia, y Zamparo, (2016)	Test CdD	Distancia conocida Videocámara (Sony HDR-CX410ve, 25 Hz)	DT (m) VInst ( $m \cdot s^{-1}$ ) VMed ( $m \cdot s^{-1}$ ) t (s)	GPS, 10 Hz (StatSports)	Espalda alta	Datos analizados utilizando el software del fabricante:  (Viper Software, v1.2, StatSports)	<b>Nº satélites</b>	<b>DHOP</b>	La inexactitud de esta unidad GPS en la determinación de la velocidad podría atribuirse a una incorrecta medición de la distancia recorrida
Willmott et al., (2019)	Recorrido predefinido (deportes de equipo)	Distancia conocida  Comparación entre GPS	DT (m)  VMáx ( $km \cdot h^{-1}$ ) DT (m) rangos de velocidad	FieldWiz, 10 Hz (UNA Sports Medicine) MinimaxX S4, 10 Hz (Catapult)	Espalda alta	<b>Software utilizado</b>	<b>Nº satélites</b>	<b>DHOP</b>	Los datos del dispositivo GPS FieldWiz parecen comparables a los de los dispositivos ya establecidos y fiables en toda una gama de patrones de movimiento asociados a los deportes de equipo
Thornton et al., (2019)	Juego simulado (deportes de equipo)	Comparación entre GPS	DT (m) DT (m) rangos de velocidad DT (m) rangos de aceleración DT (m) rangos de deceleración VMáx ( $m \cdot s^{-1}$ ) Acc/Dec ( $m \cdot s^{-2}$ )	Evo, 10 Hz (GPSports) OptimEye S5, 10 Hz (Catapult) Apex, 10 Hz (STATSports)	Trineo	Datos obtenidos en bruto y descargados del software del fabricante:  (Console, GPSports) (Openfield, Catapult) (Apex, STATSports)	<b>Nº satélites</b>	<b>DHOP</b>	La fiabilidad entre unidades se consideró buena, independientemente del método de procesamiento. Se recomiendan métodos estandarizados de procesamiento de datos, debido a las diferencias entre los datos extraídos del software de cada fabricante

**Anexo I. (Continuación)**

Estudio	Test utilizado	Criterio de referencia	VARIABLES analizadas	Dispositivo/Hz	Ubicación del dispositivo	Procesamiento de los datos	Número de satélites	DHOP	Conclusiones
Rampinini et al., (2015)	Trayecto lineal intermitente	Radar (Stalker ATS, 32 Hz)	DT (m) DT (m) rangos de velocidad PMet media ( $W \cdot Kg^{-1}$ ) t (s) rangos de PMet	Spi Pro, 5 Hz (GPSports) MinimaxX, 10 Hz (Catapult)	Espalda alta	<b>Software utilizado</b>	$12.3 \pm 0.3$ (12.0 – 12.9)	$0.9 \pm 0.1$ (0.8 - 1.1)	La precisión del GPS aumentó con una mayor frecuencia de muestreo, pero disminuyó con el aumento de la velocidad de movimiento. Sólo el GPS 10 Hz demostró un nivel de precisión suficiente para cuantificar la DT a velocidades más altas o el t (s) transcurrido a muy alta PMet
Gray et al., (2010)	Trayecto lineal y multidireccional	Distancia conocida	DT (m)	Wi Spi Elite, 1 Hz (GPSports)	Espalda alta	Datos descargados utilizando el software del fabricante:  (TEAM AMS v1.2.1.12, GPSports, Canberra)	Trayecto lineal: $7.7 \pm 0.5$ Trayecto no lineal: $6.8 \pm 0.8$	< 2	El recorrido y la intensidad del movimiento influyen significativamente en la validez y fiabilidad de la distancia recorrida, registrada mediante receptores GPS no diferenciales de 1 Hz
Varley, Fairweather, y Aughey, (2012)	Trayecto lineal intermitente	Láser (Laveg Sport, 50 Hz)	VInst ( $m \cdot s^{-1}$ )	MinimaxX, 5 Hz (Catapult) MinimaxX, 10Hz (Catapult)	Espalda alta	<b>Software utilizado</b>	$12 \pm 1.5$	$0.9 \pm 0.2$	Las últimas unidades MinimaxX 10 Hz son suficientemente precisas para cuantificar la aceleración, deceleración y VInst en los deportes de equipo. La mayor frecuencia de muestreo y los avances en el chipset, podrían ser en gran medida responsables del aumento de validez y fiabilidad de este modelo

**Anexo I. (Continuación)**

Estudio	Test utilizado	Criterio de referencia	Variables analizadas	Dispositivo/Hz	Ubicación del dispositivo	Procesamiento de los datos	Número de satélites	DHOP	Conclusiones
Jackson et al., (2018)	Recorrido predefinido (deportes de equipo) Partido de hockey	Comparación entre GPS y GNSS	DT (m) VMed ( $m \cdot s^{-1}$ ) VMáx ( $m \cdot s^{-1}$ ) AccMáx ( $m \cdot s^{-2}$ ) DecMáx ( $m \cdot s^{-2}$ ) DT (m) y (n) rangos de velocidad (n) rangos de aceleración (n) rangos de deceleración	Optimeye S5, 10 Hz (Firmware 7.12, Catapult)  MinimaxX S4, 10 Hz (Firmware 6.72, Catapult)	Espalda alta	Datos descargados y filtrados a través del software del fabricante:  (Catapult Sprint, v5.1.7)  Filtro:  <b>Filtro aplicado</b>	> 13	Recorrido predefinido: GNSS: $0.67 \pm 0.05$ GPS: $0.89 \pm 0.04$ Partido GNSS: $0.63 \pm 0.13$ GPS: $0.90 \pm 0.14$	Los dispositivos GNSS pueden ser más sensibles que los GPS a la hora de cuantificar las exigencias físicas de los movimientos en deportes de equipo, pero es necesario seguir estudiando la precisión de los dispositivos GNSS
Buchheit et al., (2014)	Recorrido predefinido (fútbol)	Comparación entre GPS	DT (m) DT (m) rangos de velocidad VMáx ( $km \cdot h^{-1}$ ) AccMáx ( $m \cdot s^{-2}$ ) (n) rangos de aceleración (n) rangos de deceleración	Spi Pro, 15 Hz (Firmware v2.3.4, GPSports) Spi Pro, 15 Hz (Firmware v2.6.1, GPSports) Spi Pro, 15 Hz (Firmware v2.6.4, GPSports)	Trineo	Datos analizados utilizando el software del fabricante:  (TEAM AMS, vR1-2011-B4, vR1-2011-16-P12, vR1-2012.9, GPSports)	<b>Nº satélites</b>	<b>DHOP</b>	Se aconseja a los profesionales que tengan cuidado, tanto al comparar los datos recopilados con diferentes modelos o unidades, como al actualizar su software. Las métricas Acc y Dec muestran la mayor variabilidad y deben ser interpretadas con cautela
Terziotti et al., (2018)	Trayecto lineal intermitente Test CdD Recorrido campo de fútbol	Comparación entre GPS	DT (m) VMed ( $m \cdot s^{-1}$ ) Energía consumida ( $J \cdot kg^{-1}$ ) Coste energético ( $J \cdot kg^{-1} \cdot m^{-1}$ ) PMet ( $W \cdot kg^{-1}$ )	Optimeye S5, 10 Hz (Firmware v7.27, Catapult) GPExe Pro 1, 18.18 Hz (Firmware v1.7.7, Exelio srl) ViperPod, 10 Hz (Firmware 9R, StatSports)	Espalda alta	Datos descargados utilizando el software del fabricante:  (Openfield v1.12.0, Catapult) (GPExe Web App, v2.5, Exelio srl) (Viper v1.2, StatSports)	Optimeye S5: $14.7 \pm 1.8$ GPExe: $10.3 \pm 1.5$ ViperPod: Dato no ofrecido por el dispositivo	Optimeye S5: $0.61 \pm 0.04$ GPExe: $0.95 \pm 0.11$ ViperPod: Dato no ofrecido por el dispositivo	Dado que las variables energéticas se derivan de medidas de VInst, los dispositivos GPS deberán ser capaces de registrar con precisión la VInst en actividades que impliquen cambios de velocidad y dirección, además de filtrar los datos adecuadamente

**Anexo I. (Continuación)**

<b>Estudio</b>	<b>Test utilizado</b>	<b>Criterio de referencia</b>	<b>Variables analizadas</b>	<b>Dispositivo/Hz</b>	<b>Ubicación del dispositivo</b>	<b>Procesamiento de los datos</b>	<b>Número de satélites</b>	<b>DHOP</b>	<b>Conclusiones</b>
Portas, Harley, Barnes, y Rush, (2010)	Trayecto lineal y multidireccional Recorrido predefinido (fútbol)	Distancia conocida	DT (m)	MinimaxX, 5 Hz (Firmware 6.52, Catapult) <b>Dispositivo y Hz</b>	Espalda alta	Datos analizados utilizando el software del fabricante:  (LoganPlus v.4.2.3, Catapult)	7 (4 - 9)	1.5	GPS de 1 Hz y 5 Hz pueden ser usados para cuantificar la DT en fútbol y otros deportes de equipo similares. Tanto el GPS de 1 Hz como el de 5 Hz tienen un umbral más allá del cual su fiabilidad se ve comprometida. Además, el GPS de 1 Hz subestima la DT, reduciendo su validez en trayectos complejos
Townshend et al., (2008)	Trayecto lineal Trayecto circular	Distancia conocida Fotocélulas (Speed Light, 100 Hz)	DT (m) VMed (m·s <sup>-1</sup> )	GPS-BT55, 1 Hz (Wonde Proud Technology)	Gorra en la cabeza	Datos obtenidos en bruto y analizados utilizando el software del fabricante:  (GPSBabelGUI-2, BETA)	<b>Nº satélites</b>	0.8 - 1.3	El GPS demostró ser muy preciso en una amplia gama de velocidades, con una disminución mínima de la precisión en las curvas. Este alto nivel de resolución fue acompañado por datos precisos de desplazamiento y posición. Este método ofrece una alternativa válida al GPS diferencial en el estudio de la locomoción humana
Gale-Ansodi, Langarika-Rocafort, Usabiaga, y Paulis, (2016)	Juego simulado (tenis)	Comparación entre GPS	VMed (m·min <sup>-1</sup> ) VMáx (m·min <sup>-1</sup> ) Índice distancia equivalente (ratio)	MinimaxX S4, 10 Hz (Firmware 6.75, Catapult)	Espalda alta	<b>Software utilizado</b>	9.0 ± 0.3	1.0 ± 0.2	Al comparar resultados entre dispositivos GPS, debe restarse el sesgo entre sistemas

**Anexo I. (Continuación)**

Estudio	Test utilizado	Criterio de referencia	Variables analizadas	Dispositivo/Hz	Ubicación del dispositivo	Procesamiento de los datos	Número de satélites	DHOP	Conclusiones
Janssen y Sachlikidi, (2010)	Trayecto lineal	Videocámara (Phantom v4.2, 100 Hz)	VMed ( $m \cdot s^{-1}$ ) AccMed ( $m \cdot s^{-2}$ )	MinimaxX, 5 Hz (Catapult)	Kayak	Datos descargados utilizando el software del fabricante:  (Logan v28.8, Catapult)	Sesión 1: 6.89 Sesión 2: 8.12 Sesión 3: 7.8	<b>DHOP</b>	Es necesario la realización de más estudios que analicen la validez y fiabilidad de los dispositivos GPS para llevar a cabo mediciones de parámetros intra-paleo
Petersen et al., (2009)	Sprint lineal Trayecto en pista de atletismo Recorrido predefinido (críquet)	Distancia conocida Fotocélulas  <b>Marca y Hz</b>	DT (m) t (s)	Spi-10, 1 Hz (GPSports) Spi-Pro, 5 Hz (GPSports) MinimaxX, 5 Hz (Catapult)	Validez: Espalda alta  Fiabilidad: Carro autoconstruido	Datos analizados con el software del fabricante:  (Team AMS v2.0, GPSports) (Logan plus v4.0, Catapult)	<b>Nº satélites</b>	<b>DHOP</b>	La precisión y el sesgo fueron dependientes de la marca de GPS. Las unidades GPS comerciales tienen una validez y fiabilidad aceptables para estimar distancias más largas, pero requieren un mayor desarrollo para distancias de carrera más cortas, específicas del críquet
Nikolaidis, Clemente, van der Linden, Roseman, y Knechtle, (2018)	Trayecto en pista de Test CdD	Distancia conocida	DT (m)	Johan, 10 Hz (JOHAN Sports)	Espalda alta	Datos obtenidos utilizando el software del fabricante:  (JOHAN Software)	<b>Nº satélites</b>	<b>DHOP</b>	El sistema GPS Johan 10 Hz es una herramienta válida y fiable evaluar movimientos lineales y movimientos con CdD. Sin embargo, su precisión disminuye en distancias cortas con CdD
Yanci et al., (2017)	Sprint lineal	Fotocélulas (Microgate, 100 Hz)	t (s)	MinimaxX, 10 Hz (Catapult)	Espalda alta	<b>Software utilizado</b>	<b>Nº satélites</b>	<b>DHOP</b>	El GPS no parece ser una herramienta válida y fiable para evaluar el t (s) de prueba en un sprint de 20 m en línea recta

**Anexo I. (Continuación)**

Estudio	Test utilizado	Criterio de referencia	Variables analizadas	Dispositivo/Hz	Ubicación del dispositivo	Procesamiento de los datos	Número de satélites	DHOP	Conclusiones
Beato, Devereux, y Stiff, (2018)	Sprint lineal Trayecto en pista de atletismo Recorrido predefinido (deportes de equipo)	Distancia conocida Radar (Stalker, ATSII) <b>Hz</b>	DT (m) VMáx (km·h <sup>-1</sup> )	Viper, 10 Hz (STATSports)	Espalda alta	Datos descargados y analizados con el software del fabricante:  (Viper Software, firmware 2.71.83, STATSports)	20 (18 – 21)	0.4 ± 0	El GPS utilizado no subestimó ni la distancia ni la velocidad en ninguna de las pruebas analizadas. Por tanto, se apoya la validez y fiabilidad de este modelo de GPS
Coutts y Duffield, (2010)	Recorrido predefinido (deportes de equipo)	Distancia conocida Fotocélulas (Swift Sports) <b>Hz</b>  Comparación entre GPS	DT (m) VMáx (km·h <sup>-1</sup> )  DT (m) VMáx (km·h <sup>-1</sup> ) DT (m) rangos de velocidad	SPI-10, 1 Hz (GPSports) SPI Elite, 1 Hz (GPSports) WiSPI, 1 Hz (GPSports)	<b>Ubicación</b>	Datos calculados utilizando el software del fabricante:  <b>Software utilizado</b>	<b>N° satélites</b>	<b>DHOP</b>	Los dispositivos GPS tienen un nivel aceptable de precisión y fiabilidad para medir las variables DT y VMáx durante ejercicio intermitente de alta intensidad
Jennings, Cormack, Coutts, Boyd, y Aughey, (2010a)	Trayecto lineal Test CdD Recorrido predefinido (deportes de equipo) Partido de rugby	Distancia conocida	DT (m)	MinimaxX, 5 Hz (Catapult)	Espalda alta	Datos analizados del software del fabricante:  (Logan Plus v4.2.3, Catapult)	Trayecto lineal: 8.2 ± 0.6 Test CdD: 8.3 ± 0.4 Recorrido predefinido: 8.2 ± 0.6 Partido 1: 8.5 ± 0.5 Partido 2: 7.8 ± 0.4 Partido 3: 8.4 ± 0.6	Trayecto lineal: 1.5 ± 0.28 Test CdD: 1.26 ± 0.09 Recorrido predefinido: 1.25 ± 0.06 Partido 1: 1.2 ± 0.3 Partido 2: 1.1 ± 0.1 Partido 3: 1.1 ± 0.1	Se recomienda que los jugadores usen la misma unidad GPS en cada sesión de entrenamiento. Además se debe considerar el error de medición entre unidades, cuando se comparan jugadores que usan diferentes unidades GPS
Padulo et al., (2019)	Recorrido predefinido	Distancia conocida Fotocélulas (Brower Timing System, 100 Hz)	DT (m) VMed (m·s <sup>-1</sup> )	Spin GNSS, 50 Hz (Spinitalia)	<b>Ubicación</b>	Datos obtenidos utilizando el software del fabricante:  (Bridge, Spinitalia)	<b>N° satélites</b>	0.97 ± 0.14	El dispositivo GNSS proporciona evaluaciones válidas y fiables de la distancia y la VMed en espacios reducidos

**Anexo I. (Continuación)**

Estudio	Test utilizado	Criterio de referencia	Variables analizadas	Dispositivo/Hz	Ubicación del dispositivo	Procesamiento de los datos	Número de satélites	DHOP	Conclusiones
Johnston, Watsford, Kelly, Pine, y Spurrs, (2014)	Recorrido predefinido (deportes de equipo)	Distancia conocida Fotocélulas (Swift Performance Equipment)  <b>Hz</b>  Comparación entre GPS	DT (m) VMáx (km·h <sup>-1</sup> )  DT (m) VMáx (km·h <sup>-1</sup> ) DT (m) rangos de velocidad t (s) rangos de velocidad (n) rangos de velocidad	MinimaxX S4, 10 Hz (Firmware 6.70, Catapult)  Spi ProX, 10 Hz interpolados a 15 Hz (Firmware v2.4.3, Catapult)	Espalda alta	Datos descargados en bruto utilizando el software del fabricante:  (Logan Plus v4.7.1, Catapult) (Team AMS, firmware v2.5.4, GPSports)	9 - 14	<b>DHOP</b>	En general, las unidades GPS de 10 Hz midieron las demandas de movimiento con mayor validez y fiabilidad que las unidades de 15 Hz. Sin embargo, tanto las unidades de 10 Hz como las de 15 Hz proporcionaron mejoras en comparación con las unidades de 1 Hz y 5 Hz.
Jennings, Cormack, Coutts, Boyd, y Aughey, (2010b)	Trayecto lineal Test CdD Recorrido predefinido (deportes de equipo)	Distancia conocida	DT (m)	MinimaxX, 1 Hz (Catapult) MinimaxX, 5 Hz (Catapult)	Espalda alta	Datos obtenidos utilizando el software del fabricante:  (Logan Plus v4.2.3, Catapult)	Trayecto lineal: 8.2 ± 0.6 Test CdD: 8.3 ± 0.4 Recorrido predefinido: 8.2 ± 0.6	Trayecto lineal: 1.5 ± 0.28 Test CdD: 1.26 ± 0.09 Recorrido predefinido: 1.25 ± 0.06	Los sistemas GPS de 1 Hz y 5 Hz pueden ser limitados para la evaluación de esfuerzos cortos y de alta intensidad en línea recta o que impliquen un CdD. La validez y fiabilidad de estos dispositivos mejora con el aumento de la frecuencia de muestreo
Muñoz-Lopez et al., (2017)	Sprint lineal Recorrido predefinido (deportes de equipo)	Distancia conocida Fotocélulas (Optojump system)  <b>Hz</b>	DT (m) VMed (km·h <sup>-1</sup> ) VMáx (km·h <sup>-1</sup> )	Wimu, 5 Hz (RealTrack Systems)	Validez: Espalda alta  Fiabilidad: carro de golf y motocicleta	Datos analizados en bruto utilizando el software del fabricante:  (Qüiko, Realtrack Systems)	7 - 8	<b>DHOP</b>	El GPS Wimbu demostró ser válido y fiable para medir carreras a velocidades superiores a 20 km·h <sup>-1</sup> y movimientos asociados a deportes de equipo

Anexo I. (Continuación)

Estudio	Test utilizado	Criterio de referencia	Variables analizadas	Dispositivo/Hz	Ubicación del dispositivo	Procesamiento de los datos	Número de satélites	DHOP	Conclusiones
Randers et al., (2010)	Partido de fútbol	Comparación entre GPS	DT (km) DT (km) rangos de velocidad	MinimaxX, 5 Hz (Catapult) Spi Elite, 1 Hz (GPSports)	Espalda alta	Datos descargados utilizando el software del fabricante:  (MinimaxX Analyse Software, Catapult) (Team AMS v1.2.1.12, GPSports)	<b>Nº satélites</b>	<b>DHOP</b>	Se observaron grandes diferencias en la DT entre sistemas, por lo que cualquier comparación de los resultados entre los diferentes sistemas de análisis debe hacerse con cautela
(Rawstor, Maddison, Ali, Foskett, y Gant, 2014)	Trayecto en pista de atletismo Test CdD	Distancia conocida	DT (m)	Spi ProX, 5 Hz interpolados a 15 Hz (GPSports)	Espalda alta	Datos descargados en bruto con el software del fabricante. Sin filtro adicional  (Team AMS v2.1, GPSports)	Trayecto en pista de atletismo: 8.19 ± 1.82 Test CdD: 8.44 ± 1.57	<b>DHOP</b>	El CdD rápido degrada la precisión y la fiabilidad absoluta de la medición de distancia GPS. Se recomienda precaución cuando se cuantifican movimientos rápidos con trayectorias multidireccionales
Johnston et al., (2012)	Sprint lineal Recorrido predefinido (deportes de equipo)	Distancia conocida Radar (Stalker ATS, 31.25 Hz) Fotocélulas (Fusion Sports)	DT (m) VMed (km·h <sup>-1</sup> ) VMáx (km·h <sup>-1</sup> )	MinimaxX, 5 Hz (Firmware 6.54, Catapult)	Espalda alta	Datos en bruto obtenidos utilizando el software del fabricante:  (Logan Plus, v4.2.3, Catapult)	Sprint lineal: MinimaxX 1: 7.3 ± 1.1 MinimaxX 2: 7.0 ± 1.1 Recorrido predefinido: MinimaxX 1: 6.8 ± 0.8 MinimaxX 2: 6.6 ± 0.8	< 3	El GPS es capaz de medir movimientos realizados a velocidades <20 km·h <sup>-1</sup> , mientras que se debe tener más precaución cuando se analizan movimientos a velocidades >20 km·h <sup>-1</sup>
MacLeod, Morris, Nevill, y Sunderland, (2009)	Recorrido predefinido (hockey)	Distancia conocida Cronómetro (Quantum) Fotocélulas (Brower Timing)	DT (m) t (s) VMed (km·h <sup>-1</sup> )	Spi Elite, 1 Hz (GPSports)	Espalda alta	Datos analizados utilizando el software del fabricante:  (v1.6.3.0, GPSports)	<b>Nº satélites</b>	<b>DHOP</b>	El sistema Spi Elite es una herramienta válida para medir la velocidad y la distancia durante los partidos y entrenamientos de hockey



**Anexo I. (Continuación)**

Estudio	Test utilizado	Criterio de referencia	Variables analizadas	Dispositivo/Hz	Ubicación del dispositivo	Procesamiento de los datos	Número de satélites	DHOP	Conclusiones
Sindall et al., (2013)	Recorrido predefinido (tenis) Trayecto lineal Partido de tenis	Distancia conocida Comparación con Data Logger	DT (m) VMed ( $m \cdot s^{-1}$ ) VMáx ( $m \cdot s^{-1}$ )	Spi Elite, 1 Hz (GPSports)	Silla de ruedas	Datos descargados en bruto utilizando el software del fabricante:  (Team AMS v2.1, GPSports)	<b>N° satélites</b>	<b>DHOP</b>	Frecuencias de muestreo de 1 Hz son demasiado bajas para medir con precisión la distancia y la velocidad en la práctica de tenis en silla de ruedas. Se recomiendan unidades GPS con una frecuencia de muestreo más alta
Delaney, Cummins, Thornton, y Duthie, (2018)	Juego simulado (deportes de equipo)	Comparación entre GPS	(n) rango de aceleración DT (m) rango de aceleración t (s) rango de aceleración Acc/Dec ( $m \cdot s^{-2}$ ) AccMed ( $m \cdot s^{-2}$ ) DecMed ( $m \cdot s^{-2}$ )	Optimeye S5, 10 Hz (Catapult) Spi HPU, 5 Hz (GPSports)	Trineo	Datos descargados utilizando el software del fabricante:  (Openfield, Catapult) (Team AMS, GPSports)	<b>N° satélites</b>	<b>DHOP</b>	La variable Acc/Dec reportó la mayor fiabilidad entre unidades. Por tanto, se propone esta variable como la más adecuada para evaluar las demandas físicas
Waldron, Worsfold, Twist, y Lamb, (2011b)	Sprint lineal	Fotocélulas (Brower Timing System)  <b>Hz</b>	VMed ( $km \cdot h^{-1}$ )	Spi Pro, 5 Hz (GPSports)	Espalda alta	Datos descargados y analizados utilizando el software del fabricante:  (SPI EZY, v2.1, GPSports) (Team AMS, v2.1, GPSports)	9 - 12	1.3 ± 0.3	El dispositivo GPS de 5 Hz infraestima sistemáticamente la VMed, en comparación con los valores obtenidos por el sistema de fotocélulas
Edgecomb y Norton, (2006)	Trayecto circular	Distancia conocida Comparación con software automático (Trakperformance)  <b>Hz</b>	DT (m) DT (m)	Spi 10 (GPSports)  <b>Hz</b>	Espalda alta	<b>Software utilizado</b>	<b>N° satélites</b>	<b>DHOP</b>	Las distancias medidas usando el software automático en manos experimentadas fueron tan precisas como la tecnología GPS.

**Anexo I. (Continuación)**

Estudio	Test utilizado	Criterio de referencia	Variables analizadas	Dispositivo/Hz	Ubicación del dispositivo	Procesamiento de los datos	Número de satélites	DHOP	Conclusiones
McNamara, Gabbett, Chapman, Naughton, y Farhart, (2015)	Trayecto lineal	Distancia conocida Fotocélulas (Swift Performance Equipment)	DT (m) VMed (m·s <sup>-1</sup> )	MinimaxX S4, 10 Hz (Catapult)	Espalda alta	Datos procesados utilizando el software del fabricante:  (Sprint, Catapult)	<b>Nº satélites</b>	<b>DHOP</b>	Aunque la unidad fue precisa en la detección y medición de la distancia, se requieren mejoras adicionales para detectar con mayor precisión las velocidades.
		<b>Hz</b>							
Doğramaci, Watsford, y Murphy, (2011)	Recorrido predefinido (fútbol sala)	Distancia conocida	DT (m) DT (m) rango de velocidad	Spi Elite (GPSports)	<b>Ubicación</b>	<b>Software utilizado</b>	<b>Nº satélites</b>	<b>DHOP</b>	El análisis notacional subjetivo es un método más eficaz que el GPS, tanto para el fútbol sala, como para deportes de campo en los que se observan distancias cortas y CdD
				<b>Hz</b>					
Highton, Mullen, Norris, Oxendale, y Twist, (2017)	Recorrido predefinido (rugby)	Analizador de gases (Servomex 5200)	Energía consumida (kcal·min <sup>-1</sup> )	Optimeye S5, 10 Hz (Catapult)	Espalda alta	Datos descargados utilizando el software del fabricante:  (Sprint v5.1, Catapult)	16.3 ± 0.9 (15 – 18)	0.7 ± 0.1 (0.5 – 1.2)	La PMet registrada por los dispositivos GPS, subestima el gasto energético en deportes de equipo intermitentes que implican colisiones
		<b>Hz</b>							
Brown, Dwyer, Robertson, y Gatin, (2016)	Recorrido predefinido (deportes de equipo)	Analizador de gases (Metamax 3B)	Energía consumida (kJ)	Spi HPU, 5 Hz interpolados a 15 Hz (GPSports)	Espalda alta	Datos descargados utilizando el software del fabricante:  (Team AMS, vR1_2014_3, GPSports)	> 6	<b>DHOP</b>	Los sistemas GPS no estiman con precisión la energía consumida durante actividades locomotoras mixtas intercaladas con períodos de recuperación. Sin embargo, estiman razonablemente la energía consumida durante la carrera continua
		<b>Hz</b>							

NOTA: *F0* fuerza máxima teórica, *V0* velocidad máxima teórica, *DT* distancia total, *VMáx* velocidad máxima, *VMed* velocidad media, *VInst* velocidad instantánea, *AccMáx* aceleración máxima, *AccMed* aceleración media, *AccInst* aceleración instantánea, *DecMed* deceleración media, *DecMáx* deceleración máxima, *Acc/Dec* ratio aceleraciones-deceleraciones, *PMáx* potencia máxima, *PMet* potencia metabólica, *t* tiempo, *CdD* cambio de dirección.

**Anexo II. Planilla de extracción de datos en los estudios que examinaron tecnología LPS**

Estudio	Test utilizado	Criterio de referencia	Variabes analizadas	Dispositivo/Hz	Ubicación del dispositivo	Procesamiento de los datos	Infraestructura de antenas	Conclusiones
Bastida-Castillo et al., (2019)	Recorrido pista de baloncesto	Distancia conocida	Posición (x, y)	Wimu Pro, 18 Hz (RealTrack System)	Espalda alta	Datos analizados y exportados utilizando el software del fabricante:  (SPRO™, RealTrack System)	Antenas: 6 Ubicación: 7 m (centro) y 5 m (resto) de la pista Altura: 3 m	La precisión de los sistemas de seguimiento UWB puede considerarse adecuada para el análisis deportivo
Luteberget et al., (2018)	Trayecto lineal intermitente Test CdD	Distancia conocida Sistema de análisis de movimiento (Qualisys Track Managera, 100 Hz)	Posición (x, y) DT (m) VMed (m·s <sup>-1</sup> ) VInst (m·s <sup>-1</sup> )	ClearSky T6, 20 Hz (17.5 Hz utilizados) (Firmware v1.40, Catapult)	Espalda alta	Datos en bruto extraídos utilizando el software del fabricante:  (OpenField, Catapult)	Antenas: 16 Ubicación óptima: Mayor distancia entre antena-antena y antena-perímetro Ubicación sub-óptima: Menor distancia entre antena-antena y antena-perímetro Altura: 3 m	Las medidas de posición, DT y VMed pueden ser usadas para el análisis espacio-temporal en deportes de equipo, mientras que el cálculo de la VInst a partir de los datos brutos no es válido. Por su parte, la colocación de las antenas influye en gran medida en los resultados obtenidos
Link et al., (2018)	Sprint lineal Test CdD	Fotocélulas (Brower Timing Systems, IRD-T175)  <b>Hz</b>	t (s)	InMotio, 100 Hz (Inmotiotec) Kinexon, 15 Hz (Kinexon)	<b>Ubicación</b>	Últimas versiones de firmware y software disponibles en la fecha del estudio:  <b>Software utilizado</b>	<b>Nº, ubicación y altura</b>	Los sistemas de posicionamiento ofrecen una alternativa viable a las fotocélulas para medir el t (s) de carrera en el hockey sobre hielo en largas distancias. Las limitaciones se producen en distancias muy cortas o en mediciones de tiempos intermedios inmediatamente después de cambios considerables de dirección o velocidad
van der Slikke et al., (2017)	Juego simulado (baloncesto en silla de ruedas)	Comparación con sensor inercial (Shimmer3)	DT (m) VMed (m·s <sup>-1</sup> ) t (s) rangos de velocidad	ITS, ~ 8 Hz (Ubisense)	Base de la silla de ruedas	Datos extraídos en bruto y filtrados:  <b>Software utilizado</b>  Filtro: media móvil de 5 puntos (~ 0.625 Hz)	Antenas: 6  <b>Ubicación</b>  Altura: 4 m	Los datos de posición proporcionados por el sistema LPS permiten su utilización para el análisis del rendimiento en el deporte adaptado

**Anexo II. (Continuación)**

Estudio	Test utilizado	Criterio de referencia	Variables analizadas	Dispositivo/Hz	Ubicación del dispositivo	Procesamiento de los datos	Infraestructura de antenas	Conclusiones
Mason et al., (2014)	Partido de rugby en silla de ruedas	Comparación con Data logger	DT (m) VMed ( $m \cdot s^{-1}$ ) VMáx ( $m \cdot s^{-1}$ ) DT (m) rangos de velocidad t (s) en rangos de velocidad	ITS, 8 Hz (Ubisense)	Espalda alta	Datos extraídos en bruto y filtrados:  <b>Software utilizado</b>  Filtro: media móvil de paso 3	Antenas: 6 Ubicación: Perímetro de la pista, 40° (sagital) - 0° (transversal) Altura: 4 m	A pesar de que el dispositivo utilizado proporciona una representación razonable de la DT y la VMed durante el rugby en silla de ruedas, la inexactitud en la VMáx limita su uso para controlar el rendimiento y prescribir programas de entrenamiento en este deporte
Stevens et al., (2014)	Trayecto lineal Test CdD	Sistema de análisis de movimiento (Vicon MX T40S, 100 Hz)	DT (m) VMed ( $km \cdot h^{-1}$ ) VMáx ( $km \cdot h^{-1}$ ) AccMed ( $m \cdot s^{-2}$ ) AccMáx ( $m \cdot s^{-2}$ ) DecMed ( $m \cdot s^{-2}$ ) DecMáx ( $m \cdot s^{-2}$ )	InMotio, 45.45 Hz (v05.30R, Inmotiotec)	Emisor: Espalda alta Marcadores: Hombros	Datos analizados y filtrados utilizando el software del fabricante:  (Inmotio software, v.2.6.9 Inmotiotec)  Filtro aplicado: media Gaussiana ponderada (85%)	Antenas: 11  <b>Ubicación y altura</b>	La precisión de los sistemas LPS parece aceptable para la mayoría de las mediciones de la AccMed y DecMed; mientras que esta precisión es limitada para las mediciones de AccMáx y DecMáx
Serpiello et al., (2018)	Trayecto lineal Test CdD	Sistema de análisis de movimiento (Vicon, Nexus T40, 100 Hz)	DT (m) VMed ( $m \cdot s^{-1}$ ) VMáx ( $m \cdot s^{-1}$ ) AccMed ( $m \cdot s^{-2}$ ) AccMáx ( $m \cdot s^{-2}$ ) DecMed ( $m \cdot s^{-2}$ ) DecMáx ( $m \cdot s^{-2}$ )	ClearSky T6, 10 Hz (Catapult)	Espalda alta	Datos obtenidos en bruto utilizando el software del fabricante:  (OpenField console, v1.13.4, Catapult)  Filtro aplicado: Butterworth y media móvil	Antenas: 18 Ubicación: 10 y 20 m (con respecto a la zona de la prueba); 10 – 13 m (entre antenas) Altura: 4.8 m	Cuando se filtra y suaviza utilizando procesos similares, el sistema de posicionamiento basado en UWB tuvo una validez aceptable comparado con el criterio de referencia para evaluar los movimientos característicos de los deportes de interior
Frencken, Lemmink, y Delleman, (2010)	Recorrido predefinido (fútbol) Posición estática	Distancia conocida Fococélulas  <b>Marca y Hz</b>	DT (cm) VMed ( $km \cdot h^{-1}$ )	Inmotio, 45 Hz (Inmotio Object Tracking)	Emisor: Espalda alta Marcadores: Hombros	<b>Software utilizado</b>	Antenas: 10  <b>Ubicación y altura</b>	El sistema LPS genera datos de posición y velocidad muy precisos en condiciones estáticas y dinámicas, siendo una herramienta válida para el seguimiento de jugadores de fútbol y deportes de equipo, en general

**Anexo II. (Continuación)**

Estudio	Test utilizado	Criterio de referencia	Variables analizadas	Dispositivo/Hz	Ubicación del dispositivo	Procesamiento de los datos	Infraestructura de antenas	Conclusiones
Rhodes et al., (2014)	Recorrido predefinido Posición estática	Distancia conocida Fotocélulas (Brower Timing Systems)	DT (m) VMed ( $m \cdot s^{-1}$ ) VMáx ( $m \cdot s^{-1}$ )	ITS, Hz variables (4, 8 y 16 Hz) (Series 700 IP, Ubisense)	Silla de ruedas	Datos extraídos en bruto y filtrados: <b>Software utilizado</b>  Filtro: media móvil de paso 3	Antenas: 6 Ubicación: 40° (orientación con respecto a la horizontal) y 0° (rotación) Altura: 4 m	El sistema de seguimiento en interiores proporciona una cuantificación precisa y fiable de los parámetros de movimiento específicos de deportes llevados a cabo en silla de ruedas en espacios interiores
		<b>Hz</b>  Sensor inercial (50 Hz)						
Leser, Schleindlhuber, Lyons, y Baca, (2014)	Juego simulado (baloncesto)	Distancia conocida	DT (m)	Ubisense ~ 5 Hz (Series 7000, Ubisense)	Cabeza	Datos extraídos en bruto y filtrados: <b>Software utilizado</b>  Filtro: Kalman (ratio 1:35) y paso-bajo (factor de suavizado 0.35)	Antenas: 6 <b>Ubicación</b>  Altura: 5 m	La precisión del sistema examinado es suficiente para el análisis espacio-temporal en el baloncesto
Ogris et al., (2012)	Trayecto lineal Test CdD Juego simulado	Sistema de análisis de movimiento (Vicon, 50 Hz)	Posición (x, y) VMed ( $km \cdot h^{-1}$ ) VMáx ( $km \cdot h^{-1}$ )	LPS, 45.45 Hz (Abatec, Austria)	Emisor: Espalda alta Marcadores: Hombros	Datos descargados en bruto y filtrados: <b>Software utilizado</b>  Filtro aplicado: Kalman	Antenas: 12 <b>Ubicación y altura</b>	El sistema proporciona resultados válidos para las VMed, pero parece ser mucho menos fiable cuando se trata de movimientos a alta velocidad, así como en la medición de la Vinst
Figueira et al., (2018)	Recorrido pista de baloncesto	Distancia conocida (entre dispositivos)	Posición (x, y)	NBN23, 10 Hz	Carretilla autoconstruida	Datos descargados y analizados en bruto y filtrados: <b>Software utilizado</b>  Filtro: recursiva de 4º orden, Butterworth de fase-cero	Antenas: 6 <b>Ubicación y altura</b>	El sistema NBN23 es aceptable para capturar el desplazamiento en deportes interiores como el baloncesto

**Anexo II. (Continuación)**

Estudio	Test utilizado	Criterio de referencia	Variables analizadas	Dispositivo/Hz	Ubicación del dispositivo	Procesamiento de los datos	Infraestructura de antenas	Conclusiones
Siegle, Stevens, y Lames, (2013)	Trayecto lineal Trayecto lineal intermitente Test CdD	Láser (Laveg Sport, 100 Hz)  Comparación con sistema de cámaras (SportVU)	Posición (x, y)	<b>Dispositivo</b>  45 Hz (25 Hz en comparación con SportVU)	<b>Ubicación</b>	<b>Software utilizado</b>	Antenas: 11  <b>Ubicación y altura</b>	La tecnología LPS resultó más precisa que los sistemas basados en imagen para la medición de movimientos lineales. Sin embargo, los resultados obtenidos no deberían generalizarse para todos los sistemas basados en este tipo de tecnologías
Sathyan et al., (2012)	Trayecto lineal Test CdD Posición estática  (Realizados en interior y exterior)	Distancia conocida	DT (m)	Wireless Ad Hoc System for Positioning (WASP), 10 Hz	Espalda alta	Datos descargados en bruto y filtrados:  <b>Software utilizado</b>  Filtro: Kalman	Antenas: 12  Ubicación: 4 (total 8) en los lados largos y 2 (total 4) en los lados cortos  <b>Altura</b>	Los resultados demuestran que un LPS de radiofrecuencia adecuadamente diseñado es una herramienta válida para el análisis del rendimiento deportivo y puede proporcionar una precisión consistente tanto en interiores como en exteriores

NOTA: *DT* distancia total, *VMáx* velocidad máxima, *VMed* velocidad media, *VInst* velocidad instantánea, *AccMáx* aceleración máxima, *AccMed* aceleración media, *DecMed* deceleración media, *DecMáx* deceleración máxima, *t* tiempo, *CdD* cambio de dirección.

**Anexo III. Planilla de extracción de datos en los estudios que examinaron tecnología GPS y LPS**

Estudio	Test utilizado	Criterio de referencia	Variables analizadas	Dispositivo/Hz	Ubicación del dispositivo	Procesamiento de los datos	Número de satélites	DHOP/Infraestructura de antenas	Conclusiones
Hoppe et al., (2018)	Recorrido predefinido (deportes de equipo)	Distancia conocida Fotocélulas (Werthner Sport) <b>Hz</b>	DT(m) DT (m) rangos de velocidad F0 (N/Kg) V0 (m·s <sup>-1</sup> ) PMáx (W/Kg) AccInst (s)	GPS: MinimaxX S4, 10 Hz (v.6.71, Catapult) GPS: GPExe Pro, 18.18 Hz (v. M03, Exelio srl)  LPS: Kinexon ONE, 20 Hz (v1.0, Kinexon)	Espalda alta	Datos descargados en bruto utilizando el software del fabricante:  (Sprint, v5.1.4, Catapult) (GPExe Web Application, v2.7.34, Exelio srl) (Kinexon Web Application, v3.2.6, Kinexon)  Filtro aplicado: paso-bajo (1Hz) y paso 2	MinimaxX S4 (GPS): 12.5 ± 0.5 GPExe Pro (GPS): 9.6 ± 0.5	MinimaxX S4 (GPS): 1.0 ± 0.1 GPExe Pro (GPS): 1.0 ± 0.1  Kinexon ONE (LPS): Antenas: 12 + 1 estación central Ubicación: 4 m alrededor del circuito Altura: 4 m	El GPS 18 Hz ha mejorado la validez y la fiabilidad en comparación con el GPS 10 Hz, mientras que el LPS 20 Hz tiene una validez y fiabilidad superior. Sin embargo, en comparación con el GPS 10 Hz, el GPS 18 Hz y el LPS 20 Hz tienen más valores atípicos debido a errores de medición, lo que limita sus aplicaciones en la actualidad
Buchheit et al., (2014)	Trayecto circular Test CdD Sprint lineal Entrenamiento de fútbol Partido de fútbol	Distancia conocida Fotocélulas <b>Marca y Hz</b>  Comparación dispositivos	DT (m) t (s) VMáx (km·h <sup>-1</sup> ) AccMáx (m·s <sup>-2</sup> )  DT (m) VMáx (km·h <sup>-1</sup> ) DT (m) rangos de velocidad (n) rangos de aceleración	GPS: SPI Pro XII, 5 Hz (v2.6.4, GPSports) GPS: VX340a, 4 Hz (vVXLogFW_V147-02_04Feb13)  LPS: Inmotio, 45 Hz (v2.6.9.545, Inmotio Object tracking)	GPS: <b>Ubicación</b>  LPS: Espalda alta (emisor) y hombros (antenas)	Datos procesados utilizando el software del fabricante:  (AMS R1-2012.9, GPSports) (3.88.0.0, VX) (v2.6.9.545, Inmotio Object tracking)	SPI Pro XII (GPS): 9.5 ± 2 VX340a (GPS): 9.5 ± 2	SPI Pro XII y VX340a (GPS): <b>DHOP</b>  Inmotio (LPS): <b>Antenas</b>	La intercambiabilidad de los diferentes sistemas de seguimiento es posible con las ecuaciones proporcionadas, pero hay que tener cuidado dado su error típico de estimación

**Anexo III. (Continuación)**

Estudio	Test utilizado	Criterio de referencia	Variables analizadas	Dispositivo/Hz	Ubicación del dispositivo	Procesamiento de los datos	Número de satélites	DHOP/Infraestructura de antenas	Conclusiones
Linke et al., (2018)	Recorrido predefinido Test CdD Juego simulado	Sistema de análisis de movimiento (Vicon, 100 Hz)	DT (m) DT (m) rangos de velocidad VInst (m·s <sup>-1</sup> ) Acclnst (m·s <sup>-2</sup> ) VMáx (m·s <sup>-1</sup> )	GPS: Spi Pro X, 5 Hz interpolados a 15 Hz (GPSports)  LPS: Inmotio, 45.45 Hz (Inmotio Object Tracking)	GPS: Espalda alta  LPS: Espalda alta (emisor) y hombros (antenas)	Datos descargados en bruto utilizando el software del fabricante:  (Team AMS, firmware R1 2015.10, GPSports) (Inmotio Client, firmware v3.7.1.153, Inmotio)	Spi Pro X (GPS): 10.1 ± 0.8	Spi Pro X (GPS): > 4  Inmotio (LPS): Antenas: 11  <b>Ubicación y altura</b>	Ambas tecnologías tuvieron en común un aumento del error a medida que aumentaba la velocidad. En general, los resultados revelaron diferencias significativas entre sistemas en la validez de los datos, lo que implica que cualquier comparación utilizando diferentes tecnologías de seguimiento debe hacerse con precaución
Bastida-Castillo et al., (2018)	Trayecto lineal Trayecto circular Test CdD Posición estática	Distancia conocida Fotocélulas	DT (m) VMed (km·h <sup>-1</sup> )	GPS: Wimupro, 10 Hz (RealTrack Systems)  LPS: Wimupro, 20 Hz (RealTrack Systems)	GPS: Espalda alta  LPS: Espalda alta	Datos en bruto descargados utilizando el software del fabricante:  (S PRO, RealTrack Systems)	Wimupro (GPS): 13.9	Wimupro (GPS):  <b>DHOP</b>  Wimupro (LPS):  <b>Antenas</b>	Tanto el sistema GPS, como el sistema UWB analizado, son válidos y fiables para analizar parámetros espacio-temporales en fútbol. Por su parte, la tecnología UWB se muestra más precisa que el GPS, especialmente en condiciones estáticas y en períodos de tiempo prolongados

NOTA: *F0* fuerza máxima teórica, *V0* velocidad máxima teórica, *DT* distancia total, *VMáx* velocidad máxima, *VMed* velocidad media, *VInst* velocidad instantánea, *AccMáx* aceleración máxima, *Acclnst* aceleración instantánea, *PMáx* potencia máxima, *t* tiempo, *CdD* cambio de dirección.



**Anexo IV. Resultados detallados de la calidad metodológica de los estudios incluidos.**

Artículo	ítem 1	ítem 2	ítem 3	ítem 4	ítem 5	ítem 6	ítem 7	T
A comparison of displacement and energetic variables between three team sport GPS devices	1	1	1	0,5	0,5	1	1	6
A comparison of two global positioning system devices for team-sport running protocols	1	1	1	1	0,5	1	0,5	6
Accuracy and inter-unit reliability of Ultra-Wide-Band Tracking System in indoor exercise	1	1	1	1	1	1	0,5	6,5
Accuracy and reliability of GPS devices for measurement of movement patterns in confined spaces for court-based sports	1	1	0	0,5	1	1	0	4,5
Accuracy and reliability of GPS devices for measurement of sports-specific movement patterns related to cricket, tennis, and field-based team sports	1	1	1	1	1	1	0	6
Accuracy and reliability of SPI ProX global positioning system devices for measuring movement demands of team sports	1	1	1	1	1	1	0	6
Accuracy of a 10 Hz GPS unit in measuring shuttle velocity performed at different speeds and distances (5 – 20 m)	1	1	0	1	1	1	0	5
Accuracy of a basketball indoor tracking system based on standard Bluetooth Low Energy Channels (NBN23®)	1	1	0,5	1	0,5	1	1	6
Accuracy of an UWB-based position tracking system used for time-motion analyses in game sports	1	1	1	1	0,5	1	0	5,5
Accuracy of GPS devices for measuring high-intensity running in field-based team sports	1	1	1	1	1	1	1	7
Accuracy of the LPM tracking system considering dynamic position changes	1	1	1	1	1	1	0	6
Accuracy, intra- and inter-unit reliability, and comparison between GPS and UWB-based position-tracking systems used for time–motion analyses in soccer	1	0	1	1	1	1	0,5	5,5
Application of four different football match analysis systems - A comparative study	1	1	1	1	1	1	0	6
Assessment of 5 Hz and 10 Hz GPS units for measuring athlete movement demands	1	1	1	1	0,5	1	0	5,5
Assessment of speed and position during human locomotion using Nondifferential GPS	1	1	1	1	1	1	0	6
Can positioning systems replace timing gates for measuring sprint time in ice hockey?	1	1	1	1	0,5	1	1	6,5
Can we use GPS for assessing sprinting performance in rugby sevens? A concurrent validity and between-device reliability study	1	1	1	1	1	1	0	6
Comparing Global Positioning System (GPS) and Global Navigation Satellite System (GNSS) measures of team sport movements	1	1	1	1	0,5	1	0	5,5
Comparing the activity profiles of wheelchair rugby using a Miniaturised Data Logger and Radio-Frequency Tracking System	1	1	1	1	0,5	1	1	6,5
Comparison of global positioning and computer-based tracking systems for measuring player movement distance during Australian Football	1	0	1	1	0,5	1	0	4,5
Concurrent validity and test–retest reliability of a global positioning system (GPS) and timing gates to assess sprint performance variables	1	1	1	1	1	1	0	6
Concurrent validity of GPS for deriving mechanical properties of sprint acceleration	1	1	1	1	1	1	1	7
Criterion validity and accuracy of Global Positioning Satellite and Data Logging devices for wheelchair tennis court movement	1	1	1	1	0,5	1	0	5,5
Design of an accuracy study for position detection in football	0	1	1	1	1	1	1	6

**Anexo IV. (Continuación)**

Artículo	ítem 1	ítem 2	ítem 3	ítem 4	ítem 5	ítem 6	ítem 7	T
Energy expenditure derived from Micro-Technology	0	1	0,5	0,5	1	1	0	4
Importance, reliability and usefulness of acceleration measures in team sports.	1	1	0,5	1	1	1	0	5,5
Integrating different tracking systems in football- multiple camera semi-automatic system, local position measurement and GPS technologies	0	1	1	1	0,5	1	0	4,5
Inter-unit reliability and effect of data processing methods of Global Positioning Systems	1	1	0	1	0	1	1	5
Measuring acceleration and deceleration in soccer-specific movements using a Local Position Measurement (LPM) System	1	1	1	1	1	1	0	6
Metabolic power method underestimates energy expenditure in field sport movements using a GPS Tracking System	0	1	1	0,5	1	1	0	4,5
Monitoring accelerations with GPS in Football- Time to slow down?	0	1	0,5	1	0,5	1	0	4
New variables and new agreements between 10 Hz Global Positioning System devices in tennis drills	0	1	0,5	0,5	0,5	1	1	4,5
Predicting 30 m timing gate speed from a 5 Hz Global Positioning System (GPS) device	0	1	1	0,5	1	1	0	4,5
Rapid directional change degrades GPS distance measurement validity during intermittent intensity running	1	1	1	1	1	1	1	7
Soccer-specific accuracy and validity of the local position measurement (LPM) system	1	1	1	0,5	1	1	1	6,5
Speed profiles in wheelchair court sports; comparison of two methods for measuring wheelchair mobility performance	0	1	1	0,5	0,5	1	1	5
The acceleration dependent validity and reliability of 10 Hz GPS	1	1	1	1	1	1	1	7
The reliability and validity of Subjective Notational Analysis in comparison to Global Positioning System Tracking to assess athlete movement patterns	1	1	0,5	0,5	0	1	0	4
The validity and reliability of 1-Hz and 5-Hz Global Positioning Systems for linear, multidirectional, and soccer-specific activities	1	1	1	1	0,5	1	0	5,5
The validity and reliability of 5-Hz global positioning system units to measure team sport movement demands	1	1	1	0,5	0,5	1	0	5
The validity and reliability of a 5-Hz GPS device for quantifying athletes' sprints and movement demands specific to team sports	1	1	0,5	0,5	0,5	1	0	4,5
The validity and reliability of a Global Positioning Satellite System device to assess speed and repeated sprint ability (RSA) in athletes	1	1	1	1	0,5	1	0	5,5
The validity and reliability of a novel indoor player tracking system for use within wheelchair court sports	1	1	1	0,5	0,5	1	1	6
The validity and reliability of GPS units for measuring distance in team sport specific running patterns	1	1	1	1	1	1	0	6
The validity of a Global Navigation Satellite System for quantifying small area team-sport movement	1	1	0,5	1	1	1	0	5,5
The validity of a Non-differential Global Positioning System for assessing player movement patterns in field hockey	1	1	1	0,5	1	1	0	5,5
The validity of Microsensors to automatically detect bowling events and counts in cricket fast bowlers	0	1	1	0,5	1	1	0	4,5

**Anexo IV. (Continuación)**

Artículo	ítem 1	Ítem 2	ítem 3	ítem 4	ítem 5	ítem 6	ítem 7	T
Validation of electronic performance and tracking systems EPTS under field conditions	1	1	1	1	1	1	0,5	6,5
Validation of GPS and accelerometer technology in swimming	1	1	1	1	1	1	0	6
Validity and interunit reliability of 10 Hz and 15 Hz GPS units for assessing athlete movement demands	1	1	1	1	0,5	1	1	6,5
Validity and reliability of 10-Hz Global Positioning System to assess in-line movement and change of direction	1	1	1	1	0,5	1	1	6,5
Validity and reliability of a Global Positioning System to assess 20 m sprint performance in soccer players	1	1	1	1	1	1	1	7
Validity and reliability of a Radio Positioning System for tracking athletes in indoor and outdoor team sports	1	1	1	1	1	1	0	6
Validity and reliability of a standalone low-end 50-Hz GNSS receiver during running	1	1	1	1	1	1	1	7
Validity and reliability of Global Positioning System units (STATSports Viper) for measuring distance and peak speed in sports	1	1	1	1	1	1	0	6
Validity and reliability of GPS and LPS for measuring distances covered and sprint mechanical properties in team sports	1	1	1	1	1	1	1	7
Validity and reliability of GPS devices for measuring movement demands of team sports	1	1	1	0,5	0,5	1	0	5
Validity and reliability of GPS for measuring distance travelled in field-based team sports	1	1	1	1	0,5	1	0	5,5
Validity and reliability of GPS for measuring instantaneous velocity during acceleration, deceleration, and constant motion	1	1	0,5	1	0,5	1	0	5
Validity and reliability of GPS units to monitor cricket-specific movement patterns	1	1	0,5	1	0,5	1	0	5
Validity and reliability of intra-stroke kayak velocity and acceleration using a GPS-based accelerometer	1	1	0,5	0,5	0,5	1	1	5,5
Validity of an Ultra-Wideband Local Positioning System to measure locomotion in indoor sports	1	1	1	1	1	1	0	6
Validity of the Catapult ClearSky T6 Local Positioning System for team sports specific drills, in indoor conditions	1	1	1	1	1	1	0,5	6,5
Variability of GPS units for measuring distance in team sport movements	1	1	1	1	0,5	1	0	5,5

NOTA: T total

**Anexo V. Resumen de la calidad metodológica de los estudios incluidos**

Nº Ítem	Ítem	Puntuación	N	%
1	Identifica como un estudio de validez, fiabilidad, comparación o precisión de tecnología GPS/LPS	Si = 1	55	85,94
		No = 0	9	14,96
2	Resumen estructurado del diseño del estudio, métodos, resultados y conclusiones	Si = 1	62	96,88
		No = 0	2	3,13
3	Test utilizado suficientemente detallado para permitir replica	Explicación clara = 1	50	78,13
		Explicación confusa = 0,5	11	17,19
		No se explica = 0	3	4,69
4	Estándar de referencia utilizado para comparar la tecnología evaluada suficientemente detallado para permitir réplica	Explicación clara = 1	48	75,00
		Explicación confusa = 0,5	16	25,00
		No se explica = 0	0	0,00
5	El estándar de referencia se seleccionó de manera racional o existen posibles alternativas que hubiesen mejorado la calidad del estudio.	No existen posibles alternativas = 1	35	54,69
		Posibles alternativas = 0,5	27	42,19
		Estándar de referencia no seleccionado de manera racional = 0	2	3,13
6	Métodos adecuados para estimar o comparar medidas obtenidas por la tecnología evaluada.	Si = 1	64	100,00
		No = 0	0	0,00
7	Fuentes de financiación y otro tipo de apoyo; papel de los financiadores	Comentado y no financiado por empresa fabricante = 1	20	31,25
		Comentado y financiado por empresa fabricante = 0,5	5	7,81
		No comentado = 0	39	60,94

---

Hernández-Belmonte, A (2019). Consideraciones metodológicas en estudios técnicos de tecnología de seguimiento deportivo: Una revisión sistemática. Trabajo de Fin de Máster. Murcia: Universidad de Murcia.

---

## RESUMEN

**Contexto:** Los sistemas de posicionamiento global (GPS) y local (LPS) utilizados en el ámbito deportivo se encuentran influenciados por una serie de factores técnicos que afectan a la precisión de sus datos. Por ello, investigaciones técnicas que analicen la precisión de estas tecnologías deberían informar minuciosamente sobre estos factores. **Objetivo:** El presente estudio, tuvo como objetivo analizar la inclusión de la información referente a los diferentes factores que afectan a las tecnologías GPS y LPS, en aquellos estudios que examinan la validez y/o fiabilidad de estos sistemas. **Método:** Se llevó a cabo una revisión sistemática en las bases de datos Web of Science, Scopus, Medline, PubMed y ScienceDirect. Fueron considerados artículos elegibles, aquellos que examinasen alguna característica de la medida de dispositivos GPS o LPS, en el ámbito deportivo. **Resultados:** La estrategia de búsqueda utilizada identificó 744 artículos. Tras eliminar duplicados, aplicar los criterios de inclusión/exclusión y buscar artículos elegibles en otras fuentes, un total de 64 artículos fueron incluidos la síntesis cualitativa. El análisis de los estudios incluidos muestra que los factores menos reportados fueron: disolución horizontal de la precisión (DHOP) (52,2%) y número de satélites (43,5%) (estudios de GPS), procesamiento de los datos (71,4%) e información referente a la infraestructura de antenas (64,3%) (estudios de LPS); y DHOP/información referente a la infraestructura de antenas (75,0%) y criterio de referencia (50,0%) (estudios de GPS y LPS). Por su parte, el test utilizado y las variables analizadas se mostraron como los factores menos omitidos, siendo reportados en todos los estudios analizados. **Conclusiones:** Los principales hallazgos del presente estudio demuestran la elevada falta de información referente a los factores que afectan a los sistemas GPS y LPS, en aquellos estudios técnicos examinan estas tecnologías. En base a estos resultados, se insta a que futuros estudios se apoyen en la guía *checklist* de verificación que será propuesta al final de este documento.



