

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/337769097>

# Electronic Performance & Tracking Systems (EPTS): Practical applications in team sports

Chapter · October 2019

CITATIONS

2

READS

1,521

5 authors, including:



**Markel Rico-González**

Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea

127 PUBLICATIONS 1,229 CITATIONS

SEE PROFILE



**Carlos David Gómez-Carmona**

Universidad de Extremadura

154 PUBLICATIONS 2,489 CITATIONS

SEE PROFILE



**Daniel Rojas-Valverde**

National University of Costa Rica

221 PUBLICATIONS 1,715 CITATIONS

SEE PROFILE



**Asier Los Arcos**

Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea

145 PUBLICATIONS 2,340 CITATIONS

SEE PROFILE

Libro de Resúmenes del  
I Congreso Internacional de  
Iniciación a la Investigación  
en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte

---



---

Facultad de Ciencias del Deporte  
Universidad de Murcia  
Octubre, 2019

## Electronic Performance & Tracking Systems (EPTS): Practical applications in team sports

Rico-González, M<sup>1</sup>, Gómez-Carmona, CD<sup>2</sup>, Rojas-Valverde, D<sup>3</sup>, Los Arcos, A<sup>1</sup>, Pino-Ortega, J<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Educación y Deporte. Universidad del País Vasco, UPV-EHU. España. ([markeluniv@gmail.com](mailto:markeluniv@gmail.com); [asier.losarcos@ehu.eus](mailto:asier.losarcos@ehu.eus)). <sup>2</sup>Grupo de Optimización del Entrenamiento y el Rendimiento Deportivo (GOERD). Facultad de Ciencias del Deporte. Universidad de Extremadura. España. ([cdgomezcarmona@unex.es](mailto:cdgomezcarmona@unex.es)). <sup>3</sup>Centro de Investigación y Diagnóstico en Salud y Deporte (CIDISAD). Escuela de Ciencias del Movimiento Humano y Calidad de Vida (CIEMHCAVI). Universidad Nacional. Costa Rica. ([drojasv@una.cr](mailto:drojasv@una.cr)). <sup>4</sup>Facultad de Ciencias del Deporte. Universidad de Murcia. España. ([josepinoortega@um.es](mailto:josepinoortega@um.es)).

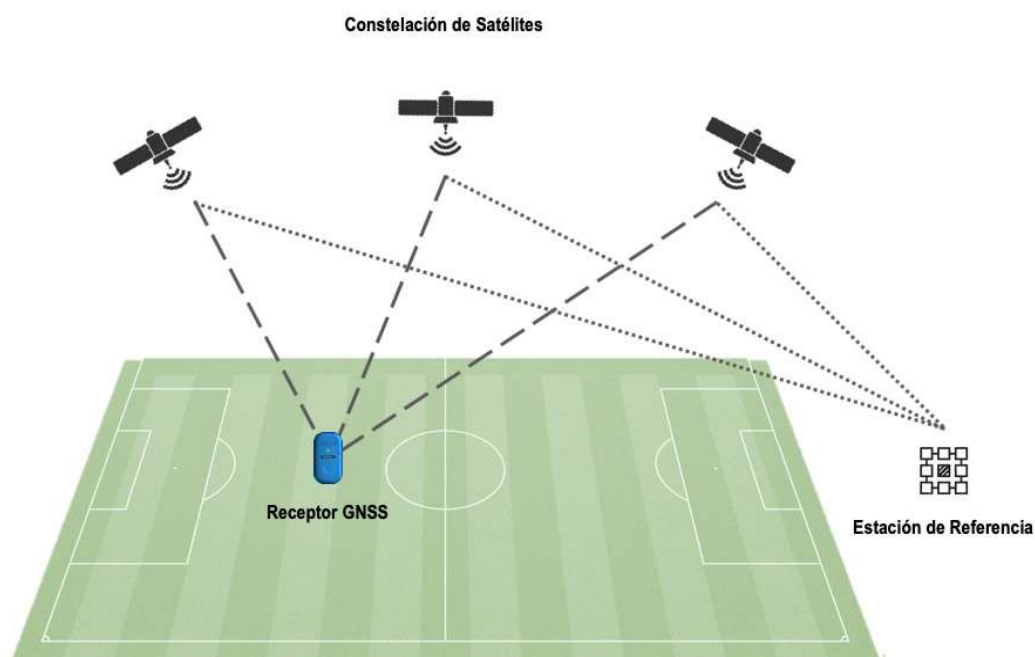
---

### Introducción

Las variables físico-fisiológicas han sido sugeridas con el objetivo de explicar el rendimiento deportivo en los deportes de equipo. Sin embargo, varias investigaciones han mostrado que estas variables no explican por sí solas el rendimiento deportivo en los deportes de equipo (Barbero-Alvarez, Soto, Barbero-Alvarez, & Granda-Vera, 2008; Di Salvo, Gregson, Atkinson, Tordoff, y Drust, 2009). Puesto que los deportes de equipo son sistemas sociales (Araújo & Davids, 2016; Low, 2019; McGarry, Anderson, Wallace, Hughes, & Franks, 2002; Parlebas, 2002) en los que la dimensión decisional es clave, se propuso el análisis del comportamiento táctico de los jugadores y del equipo para valorar el rendimiento deportivo. Primero, mediante la metodología observacional, y posteriormente, con el uso del posicionamiento de los jugadores en el terreno de juego (Frencken, W, 2009). Concretamente, hace más de 15 años, varios estudios sugirieron el análisis del comportamiento táctico de los equipos a partir del dato de posicionamiento de los jugadores (e.g., área ocupada, distancia entre jugadores, ...) (Schmidt; O' Brien, & Sysko, 1999; Schöllhorn, 2003). Desde entonces, varios estudios han analizado el comportamiento táctico colectivo de los jugadores en competición (Bourbousson, Sève, & McGarry, 2010; Bueno et al., 2018; Gonçalves et al., 2019). Además, desde hace años, varios sistemas de seguimiento electrónico permiten monitorizar simultáneamente tanto las variables físico-fisiológicas (e.g. SmO<sub>2</sub>, FC, el VO<sub>2</sub> y el ácido láctico) como el posicionamiento de los jugadores en el terreno de juego.

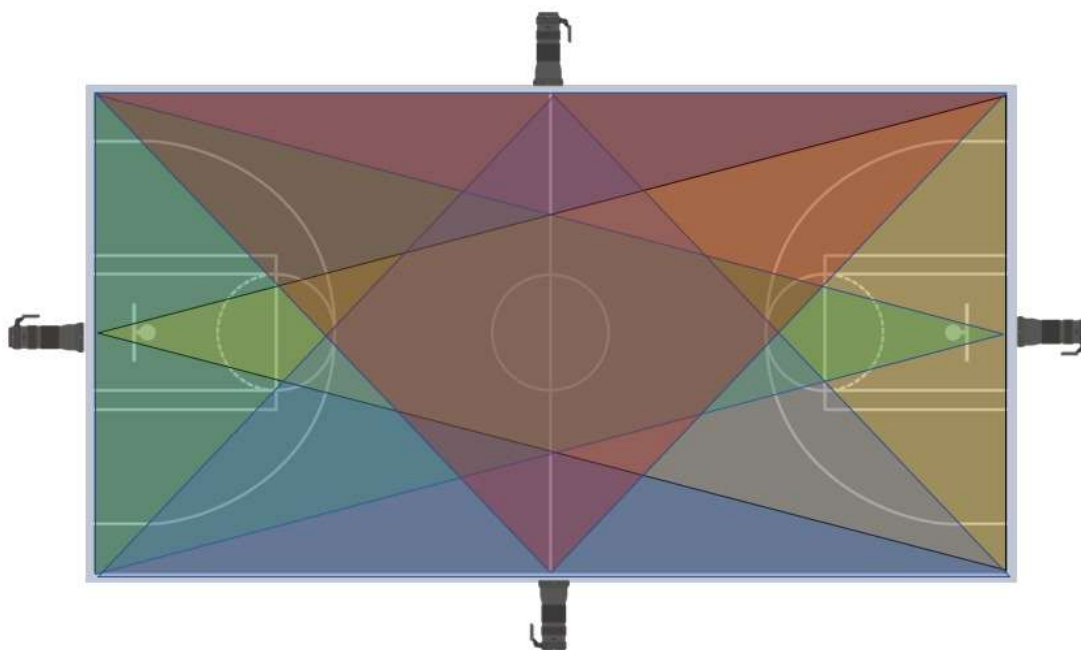
La Federación Internacional de Fútbol Asociado (FIFA) definió los Dispositivos de Seguimiento Electrónicos del Rendimiento (DSER; en inglés, *Electronic Performance & Tracking Systems, EPTS*) entre los cuales podemos encontrar: (1) sistemas de posicionamiento por satélite (GPS/GNSS), (2) sistemas ópticos (VID) y (3) sistemas de posicionamiento local (LPS). Los GPS/GNSS, de origen militar, son sistemas de uso exterior, que calculan el posicionamiento de un jugador tomando como referencia un sistema de posicionamiento conocido (satélites) y un objeto de posición desconocido a través de radiofrecuencia. Existen 4 constelaciones de satélites (*Galileo*, europeo, 4 satélites en órbita; *GLONASS*, ruso, 29 satélites en uso; *GPS*, americano, 31 satélites en órbita; *Beidou*, chino, 15 satélites en órbita). Sin embargo, un mínimo de 24 satélites es necesario para que puedan ser utilizados de manera válida. Para que el posicionamiento del jugador en el espacio pueda ser calculado, tanto los satélites como el receptor deben llevar incorporado un reloj sincronizado de muy alta precisión. Puesto que la luz viaja 300 m en un microsegundo, un desfase de un microsegundo supondría un error de 300 m. En un principio, un satélite envía una señal a la velocidad de la luz indicando el momento de la salida de la misma, permitiendo al receptor calcular el tiempo que tarda en llegar y multiplicándolo por la velocidad (distancia = tiempo x velocidad). De esta manera, y conociendo el radio (distancia), se establece una

esfera que muestra que el posicionamiento del jugador puede estar en cualquiera de los puntos del círculo que la esfera refleja en la superficie terrestre (Ilustración 1). Cuando se establece un segundo círculo, el posicionamiento puede ser ubicado en uno de los dos puntos en los que ambas esferas se cruzan en la tierra, requiriendo un tercer satélite para actuar con precisión. Así, el receptor, colocado en la espalda del jugador utilizando un chaleco especialmente diseñado, registra su posicionamiento a través de esta técnica llamada trigonometría (Cummins, Orr, O'Connor, & West, 2013; Jackson, Polglaze, Dawson, King, & Peeling, 2018; Malone, Lovell, Varley, & Coutts, 2017; Treviño, 2014). Debido al elevado coste económico de los relojes de alta precisión, se sugirió el uso de un cuarto satélite en el que el tiempo entra como incógnita y se calcula junto con las coordenadas espaciales (Treviño, 2014). Por esta razón, encontramos discrepancias respecto al número de satélites mínimo para calcular el posicionamiento de los jugadores (Larsson, 2003; Scott, Scott, & Kelly, 2015).



**Ilustración 1.** Registro del posicionamiento con GPS/GNSS

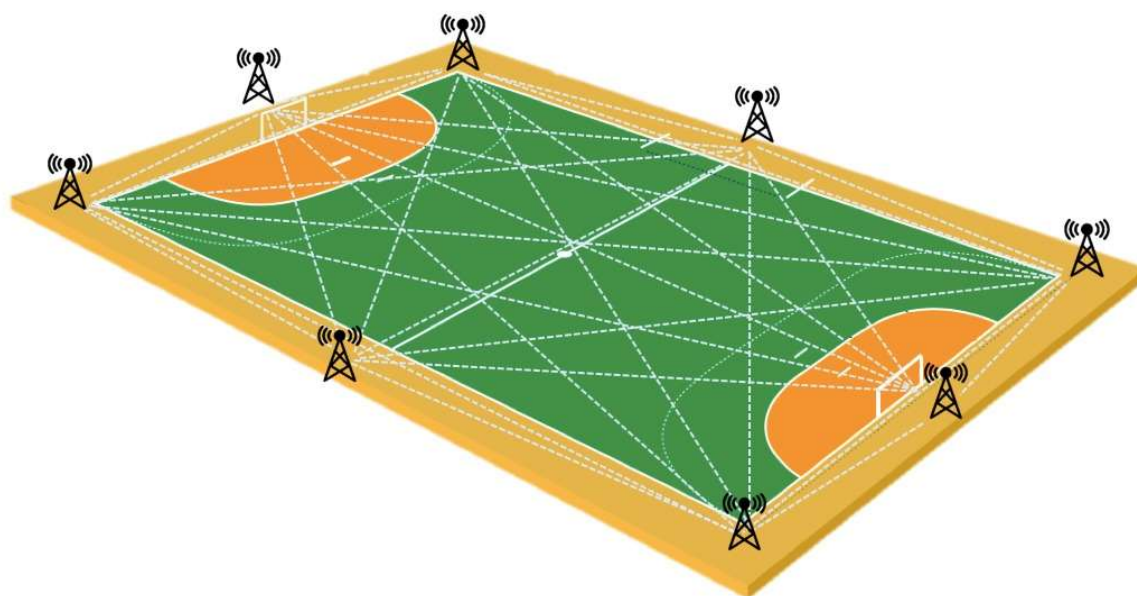
Por otro lado, otros sistemas utilizan metodologías diferentes para el cálculo del posicionamiento de los jugadores: los sistemas ópticos (VID). Estas herramientas de registro en interiores son sistemas semi-automáticos que surgieron como alternativa a los GPS/GNSS. Los VID son una tecnología no invasiva basada en un sistema de cámaras situadas alrededor del terreno de juego. Cada una de las cámaras cubre una parte del campo y están calibradas e integran lo grabado mediante un sistema de reconstrucción de imágenes. Para calibrar las cámaras, cada una registra información sobre los puntos que enfoca, de los cuales conoce su posicionamiento (Moura, Santana, Marche, Aguiar, & Cunha, 2011). De modo que los VID desarrollan algoritmos de procesamiento de imágenes (Alarifi et al., 2016). Los sistemas ópticos tienen la ventaja de que muestran la posición del balón. Sin embargo, a diferencia del resto, no dan la posibilidad de añadir sensores inerciales, motivo por el que no pueden registrar datos fisiológicos o neuromusculares. Además, no registran el posicionamiento en el plano vertical, y ante un problema de seguimiento se requieren correcciones manuales (Rico-González, Los Arcos, Nakamura, Arruda & Pino-Ortega, 2019).



**Ilustración 2.** Registro del posicionamiento con VID

Por último, los LPS, al igual que los VID, son sistemas de posicionamiento en interior aunque su uso también es frecuente en exteriores (Frencken, Lemmink, Delleman, & Visscher, 2011). Los LPS se basan en los mismos principios que los GPS/GNSS pero comprenden un sistema de antenas colocado alrededor del espacio de medición como sistema de referencia, en el que los factores ambientales no influyen. Las antenas sustituyen a los "satélites" o puntos de referencia que les permiten posicionar a los jugadores dentro de un espacio delimitado. Los sistemas de posicionamiento pueden clasificarse en infrarrojos, radio frecuencia (RFID, Wi-fi, Bluetooth, Local Position Measurement (LPM) y Ultra-banda ancha (UWB)) y ultrasonido (Alarifi et al., 2016). y calculan el posicionamiento de los jugadores a través de diferentes algoritmos: (1) tiempo de vuelo (TOF, *time-of-flight*); (2) tiempo de diferencia de llegada (TDOA, *time difference of arrival*); (3) ángulo de llegada (AOA, *angle of arrival*); (4) diferencia de frecuencia de llegada o Doppler diferencial (FDOA, *frequency difference of arrival or differential Doppler*); y (5) algoritmos híbridos (Alarifi et al., 2016; Leser, Baca, & Ogris, 2011). Sin embargo, factores como la frecuencia de muestreo y el uso simultáneo de varios dispositivos (Alarifi et al., 2016; Leser et al., 2011) limitan el uso de LPS en los deportes de equipo a aquellos que se basan en la radio frecuencia. Concretamente, en las tecnologías LPM y UWB, denominadas LPS por la FIFA (FIFA, n.d.). A pesar de la mayor precisión de los sistemas LPS en comparación con el resto de tecnologías (i.e. GPS, VID) (Alarifi et al., 2016; Leser et al., 2011) y su prometedor futuro, hasta la fecha, su uso ha sido menor que el de los otros sistemas.





*Ilustración 3. Registro del posicionamiento con UWB*

### **Características de los EPTS**

A pesar de que el uso de los sistemas de seguimiento de jugadores era frecuente durante los entrenamientos en los equipos de fútbol de alto nivel, la International Football Association Board (IFAB) no permitía su uso en la sesión más importante de la semana: el partido oficial. Como consecuencia de la insistencia de los clubes de fútbol y de la importancia de la tecnología en el fútbol actual, la IFAB publicó en el año 2015 una circular en la que comunicaba la modificación de la regla 4 (el equipamiento de los jugadores) del reglamento de competición de la Federación Internacional de Fútbol Aficionado (FIFA). En concreto permitió oficialmente el uso de los sistemas de seguimiento en competición siempre y cuando fuesen aprobados por el organismo responsable de la competición, prohibiéndolos si llegaran a poner en peligro a los jugadores o árbitros, y no permitiendo el uso de la información en el área técnica. En relación con este avance, el IFAB invitó al sector de proveedores de los tecno accesorios en Zúrich (Suiza) para que presentasen sus productos y servicios. El 2 de julio de 2017, durante la final de la Copa FIFA Confederaciones, y con el objetivo de proporcionar un mayor conocimiento acerca de los potenciales beneficios de la utilización de la tecnología dentro del área técnica, las selecciones de Alemania y Chile participaron en un estudio piloto para analizar el impacto del uso de tecnología en tiempo real, proporcionándoles estadísticas (indicadores de rendimiento técnico-táctico y físicos) e imágenes durante la celebración de partido. Actualmente, el reglamento permite el visionado en el banquillo en tiempo real. Anualmente, la FIFA organiza un evento en el que la precisión de los sistemas de seguimiento de aquellas empresas que lo deseen es evaluada contra un sistema de registro *gold standard*. Los sistemas certificados se publican en la página web de la FIFA junto con los organismos evaluadores de licencias *International Match standard (IMS)*, el cual garantiza que el dispositivo no es peligroso para el deportista. En la actualidad, las empresas que poseen el certificado FIFA se presentan en la Tabla 1.

La tecnología requiere de estricta precisión, y la FIFA ha lanzado este mismo año 2019 un programa de calidad para los sistemas de seguimiento del rendimiento (EPTS) en el que participará cualquier proveedor de estas tecnologías que estén interesados en el evento. El evento, que se repetirá anualmente, dará la opción a que las empresas evalúen sus sistemas en un espacio que simule el juego real comparándolos con un sistema de captura del

movimiento considerado *gold standard*. De la misma manera que las empresas con licencia, todos los sistemas certificados se publicarán en la página web de la organización junto con los proveedores de licencia (Tabla 1).

**Tabla 1.** Empresas con licencias IMS

<b>Nombre de la empresa</b>	<b>País</b>
Avanced Sport Instruments SA	Switzerland
Catapult Sports	Australia
Exelio Srl	Italy
Fitogether Inc.	South Korea
Polar Elctro Oy	Finland
REALTRACK SYSTEMS SL	Spain
STATSports Group LTD	Northern Ireland
STATS Sports Data and Technology Ireland Limited	Ireland
Visuallex Sport International Ltd	New Zealand

IMS: International Match Standard

*Extraído de Federation International Football Association, s.f.*

Cada una de las empresas con licencia IMS posee diferentes productos reflejados en la página web oficial de la FIFA. La Tabla 2 muestra las diferencias entre los dispositivos basados en tecnología GNSS de precio más elevado.

**Tabla 2.** Sistemas de seguimiento de atletas basados en tecnología GNSS.

	<b>CATAPULT Vector S7</b>	<b>CATAPULT Vector S7</b>	<b>CATAPULT GPSports EVO</b>	<b>REALTRACK WIMU Pro</b>	<b>STATSPORTS Apex Pro</b>
<b>Type of contract</b>	Purchase + subscription ***	Purchase + subscription **	Purchase + subscription *	Purchase	Purchase + subscription ***
<b>Price range</b>				*	
<b>Sampling rate</b>	10 Hz	10 Hz	10 Hz	<18 Hz / 10 Hz GNSS	18 Hz / 10 Hz GNSS
<b>Satellite networks available</b>	GPS, GLONASS, Beidou, Galileo	GPS, GLONASS, Beidou, Galileo	GPS only	GPS, SBAS, QZSS, QZSS, GLONASS, Beidou, Galileo	GPS, GLONASS, Beidou, Galileo
<b>LPS integrated</b>	Yes	No	No	Yes	Yes
<b>Triaxial accelerometer</b>	Up to 1000 Hz	Up to 1000 Hz	Up to 100 Hz	4 sensors, up to 1000 Hz	998 Hz
<b>Triaxial gyroscope</b>	Up to 1000 Hz	Up to 1000 Hz	Up to 1000 Hz	3 sensors, up to 1000 Hz	998 Hz
<b>Triaxial magnetometer</b>	Up to 1000 Hz	Up to 100 Hz	Up to 100 Hz	160 Hz	10 Hz
<b>Batery life in use</b>	6 h	6 h	6 h	5 h	8 h
<b>HR data integration</b>	Integrated HR built into compression vest; Compatible with third-party sensors	Compatible with third-party sensors	Compatible with Polar sensors	Compatible with third party sensors	Compatible with third-party senso
<b>Thresholds for velocity /acceleration bands are customizable (absolute or relative) for each player?</b>	Yes	Yes	yes	Yes	Yes

<b>Live data analysis/visualization available?</b>	Yes	Yes	yes	Yes	Yes
<b>Raw data download available</b>	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
<b>Data analysis/visualization platform</b>	Software; App, Online; Smartwatch	Software; App, Online; Smartwatch	Software, online	Software; App, Online	Software; App, Online; Smartwatch
<b>Device featured in scientific publications?</b>	No	No	Yes	Yes	Yes

Price for 20 units: \*\*\*: US\$50,000 for purchase / >\$30,000 p.a. for subscription; \*\*: US\$40,000-50,000 / \$25,000-30,000 p.a.; \*: US\$30,000-40,000 / \$20,000-25,000 p.a.

Extraído de Serpiello (2019).

En la Tabla 3 se muestran las características de las principales empresas basadas en tecnología LPS.

**Tabla 3.** Sistemas de seguimiento de atletas basados en tecnología LPS.

	<b>CATAPULT ClearSky T6</b>	<b>Kinexon</b>	<b>REALTRACK Wimupro</b>
<b>Type of contract</b>	Purchase + subscription	Purchase	Purchase
<b>Price range</b>	**	*	**
<b>Sampling rate</b>	10 Hz	Usually 20 Hz (can vary between 10 and 1000)	Up to 55 Hz
<b>Technology</b>	UWB	UWB	UWB
<b>N. of anchors suggested for indoor arena standard setup</b>	Typically 10-20	14 (can vary between 6 and 16)	Typically 6-12
<b>GNSS integrated</b>	No	No	Yes
<b>Triaxial accelerometer</b>	Up to 1000 Hz	200 Hz	4 sensors, up to 1000 Hz
<b>Triaxial gyroscope</b>	Up to 1000 Hz	200 Hz	3 sensors, up to 1000 Hz
<b>Triaxial magnetometer</b>	Up to 100 Hz	20 Hz	160 Hz
<b>Battery life in use</b>	4 h	6 h (up to 10 depending on sampling rate)	5 h
<b>HR data integration</b>	Compatible with Polar sensors (T31 straps recommended)	Compatible with third-party sensors	Compatible with third-party sensors
<b>Thresholds for velocity /acceleration bands are customizable (absolute or relative) for each player?</b>	Yes	Yes	Yes
<b>Live data analysis/visualization available?</b>	Yes	Yes	Yes
<b>Raw data download available</b>	Yes	Yes	Yes
<b>Data analysis/visualization platform</b>	Software; App, Online	Software, online	Software; App, Online
<b>Device featured in scientific publications?</b>	Yes	Yes	Yes

NOTA: Price for 20 units: >US\$50,000 for purchase / >\$30,000 p.a. for subscription; US\$40,000-50,000 / \$25,000-30,000 p.a.; US\$30,000,40,000 / \$20,000-25,000 p.a

Extraído de Serpiello (2019).

## Aplicaciones prácticas de su registro en el deporte

En los deportes de equipo, los dispositivos basados en radio frecuencia (GPS/GNSS y LPS) tienen como principal función determinar la posición de un jugador en un espacio físico de manera continua. Aunque en un principio no todos los dispositivos tienen la posibilidad, la modificación aprobada por la FIFA ha impulsado a las empresas a desarrollar sistemas que



permitan visualizar los datos en tiempo real en el área técnica. Los EPTS pueden analizar las siguientes variables para el control individual y colectivo del equipo: (1) análisis fisiológico, (2) análisis cinemático, (3) análisis neuromuscular y (4) análisis táctico.

Las variables de carga interna (iTL) (1) son aquellas que están relacionadas con los estresores biológicos que experimenta el deportista durante la práctica (Sánchez-Sánchez, 2017). Los dispositivos tienen la posibilidad de utilizar dispositivos adicionales para medir estos parámetros fisiológicos. Las variables de iTL más comunes han sido la cuantificación de la  $SmO_2$ , FC, el  $VO_2$  y el ácido láctico. Las variables de carga externa (eTL) miden el estrés mecánico y locomotor durante la actividad y se clasifican en dos grupos: carga cinemática y carga neuromuscular. En primer lugar, aquellos parámetros relacionados con el análisis cinemático (2) como los patrones de movimiento, distancias recorridas totales o distancias relativas obtenidas a través de sistemas de localización, tanto LPS como GNSS. En segundo lugar, el análisis neuromuscular (3), habilitado por los sensores micro-electromecánicos (MEMS) como acelerómetros triaxiales, giroscopios y magnetómetros, que engloba variables como aceleraciones, giros, cambios de dirección, saltos, *player load* (la suma de la aceleración en los tres ejes) o impactos (Cummins et al., 2013; Hausler, Halaki, & Orr, 2016). La cuantificación del esfuerzo de los jugadores se ha establecido como algo imprescindible en todos los deportes. La cuantificación de la carga de entrenamiento durante el proceso de entrenamiento es necesaria porque la carga acumulada está relacionada al menos parcialmente, con los cambios producidos en la condición física de los jugadores (Jaspers, Brink, Probst, Frencken, & Helsen, 2017), y con la incidencia de lesiones (Bowen, Gross, Gimpel, & Li, 2017; Owen et al., 2015). Además, su óptima distribución semanal permite asegurar la recuperación post-partido y prevenir la fatiga pre-partido (Miloski, de Freitas, Nakamura, Nogueira, & Bara-Filho, 2016).

Las variables tácticas (4) difieren del resto en que, lejos de cuantificar la carga, pretende analizar el posicionamiento y distribución de los jugadores en el campo. La inquietud por registrar la coordinación en seres humanos surgió con el estudio de Kugler, Kelso & Turvey (1980) en el que propusieron un modelo para comprender el control y la coordinación de un sistema dinámico desde el campo del comportamiento humano. A pesar de que el objeto de estudio eran los músculos de una mano, el modelo descrito debía responder a unas características concretas que coinciden con lo que son los deportes de equipo. Con esta idea, Schmidt, O'Brien & Sysko (1999) trasladaron esta idea a los deportes de equipo, y sugirieron que la coordinación interpersonal en el deporte era un amplio y abierto campo de investigación. Este artículo, a modo de introducción al análisis del comportamiento desde la perspectiva de sistemas de organización propia, propuso analizar las distancias entre jugadores o entre el balón y la canasta del rival en baloncesto. Años más tarde, Schöllhorn (2003) propuso que la coordinación de los equipos debía analizar al equipo como un todo. Su propuesta fue el análisis del espacio geométrico, la figura y el punto geométrico del posicionamiento de los jugadores de un equipo. Actualmente, la propuesta y evolución de las variables tácticas se resume en tres grupos basados en las primitivas geométricas (punto, línea y área), que son: el centroide o centro geométrico, las diadas y el área (Rico-González et al., 2019).

El debate sobre la existencia de un sistema de referencia para medir las variables ha sido tratado en varios estudios. Hasta la fecha no existe un *gold standard* que pueda ser considerado como referencia. Entre los estudios podemos clasificarlos en tres niveles: (1) estudios con el objetivo de analizar variables cinemáticas en tareas definidas; (2) estudios que pretendan analizar variables cinemáticas en tareas de forma continua; y, (3) estudios en los que el objetivo sea analizar las variables tácticas. Para el primer grupo, los estudios han propuesto el análisis de distancias recorridas, con sistemas de referencia como *trundle Wheel* o recorridos por líneas y puntos de la cancha cuya distancia es conocida, velocidades y aceleraciones, con la referencia de *times gates* o *VICON* como sistemas de referencia (Bastida-Castillo, Gómez-Carmona, De la Cruz Sánchez, & Pino-Ortega, 2018; Frencken, Lemmink, & Delleman, 2010; Leser, Schleindlhuber, Lyons, & Baca, 2014; Ogris et al., 2012;

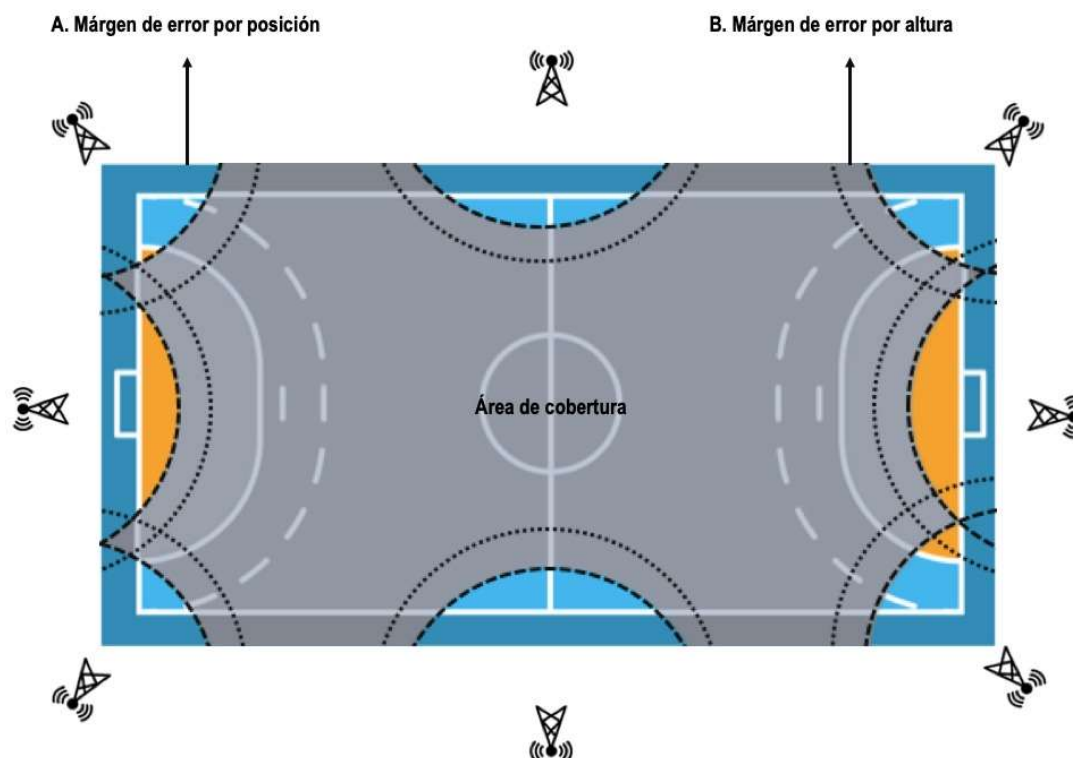
Sathyan, Shuttleworth, Hedley, & Davids, 2012; Stevens et al., 2014). En segundo lugar, varios estudios han comparado los sistemas en formato continuo, en los cuales se utilizan sistemas de video (VICON) como referencia (Linke, Link, & Lames, 2018; Ogris et al., 2012). Sin embargo, estos sistemas también tienen sus limitaciones, como por ejemplo la imposibilidad de descubrir un campo de fútbol completo. En tercer lugar, respecto a la evaluación de la precisión de los sistemas en la medición de las variables tácticas, Sathyan et al. (2012) propuso su evaluación en 2012 pero no ha sido hasta al 2019 cuando Bastida et al. (2019) comprobaron que la tecnología UWB puede ser una herramienta precisa para medir las variables tácticas. En concreto, llevó a cabo, por primera vez, la evaluación de la precisión de los sistemas basados en radio frecuencia para el análisis de las variables tácticas tanto en tareas marcadas como en tareas de formato continuo (Bastida-Castillo, Gómez-Carmona, De La Cruz Sánchez, & Pino-Ortega, 2019).

### **Factores que influyen en el registro de datos**

A pesar de que las empresas proporcionan a los entrenadores y científicos del deporte un amplio abanico de variables a analizar, aportan escasa información sobre las características técnicas de los sensores que integran la tecnología. Además, aportan poca información sobre el proceso de captura del dato como la aplicación de filtros en el sensor, en el dispositivo o en el software (Rico-González et al., 2019).

Desde el punto de vista de las ciencias del deporte y el uso de EPTS, varios factores que influyen en la medición deben ser conocidos y estrictamente respetados. De hecho, en relación a la obtención de las variables, ya sean cinemáticas o de posicionamiento, y aunque aparentemente no sea así, los resultados pueden diferir si no se tienen en cuenta. Para los GPS/GNSS existen varios puntos a tener en cuenta: (1) un factor que puede incidir en la precisión es conocido como HDOP; el cual describe la distribución de los satélites conectados con cada dispositivo (Rico-González et al., 2019). La infraestructura que se encuentra alrededor del terreno de juego en el que se pretenden registrar los datos también puede influir en la medición. Un trabajo reciente sugiere que el número de constelaciones utilizadas, y por tanto el número de satélites en órbita, podría influir en el HDOP (Jackson et al., 2018). De tal manera que si utilizamos un dispositivo GPS estamos indicando que la constelación estadounidense será el sistema de referencia, mientras que si el dispositivo es un GNSS nos referimos al uso del conjunto de los satélites de la constelación estadounidense y rusa; (2) el número de satélites conectados con cada dispositivo; (3) la frecuencia de muestreo debería ser diferente en función de lo que se pretende medir, al menos, en cuanto a variables tácticas (Rico-González et al., 2019); y además (4) las condiciones meteorológicas influirán en el registro (Cummins et al., 2013). Por su parte, los sistemas LPS deben tener en cuenta que: (1) a pesar de que es menos susceptible a las interferencias comparado con otras tecnologías, es especialmente sensible a las interferencias causadas por estructuras metálicas (Alarifi et al., 2016); (2) al igual que la tecnología anterior, los Hz deben diferir en función del objetivo de la medición; (3) aunque los campos de fútbol tengan una posición rectangular, un círculo es la posición ideal de registro, y a medida que esta circunferencia se deforma la posibilidad de error aumenta (Ilustración 4: la curvatura A se acercaría más a la B, donde hay mayor parte del campo en la que el error puede darse); (4) la altura a la que las antenas estén colocadas influyen en los márgenes de error, como muestra la Ilustración 4., donde se muestra el margen de error de las antenas en el campo. Si las antenas son instaladas a una mayor altura, el semicírculo en el que el error puede darse será mayor (B).

Como conclusión se puede rescatar que las variables locomotoras, fisiológicas y tácticas pueden ser monitoreadas en los deportes de equipo mediante dispositivos que integran varios sensores: GNSS, LPS, y MEMS entre otros. Estos dispositivos permiten registrar información valiosa y complementaria para un análisis más completo e integral del desempeño deportivo durante el entrenamiento o la competición de los deportes de equipo. Además, parece ser que, entre todos los sistemas de posicionamiento, el uso de los sistemas LPS aumentará en el futuro debido a su mayor precisión (Rico-González et al., 2019).



**Ilustración 4.** Error provocado por (1) deformación del círculo y/o (2) altura de la instalación

### Referencias bibliográficas

- Alarifi, A., Al-Salman, A., Alsaleh, M., Alnafessah, A., Al-Hadhrami, S., Al-Ammar, M., & Al-Khalifa, H. (2016). Ultra Wideband Indoor Positioning Technologies: Analysis and Recent Advances. *Sensors*, 16(5), 707. <https://doi.org/10.3390/s16050707>
- Araújo, D., & Davids, K. (2016). Team Synergies in Sport: Theory and Measures. *Frontiers in Psychology*, 7. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.01449>
- Barbero-Alvarez, J. C., Soto, V. M., Barbero-Alvarez, V., & Granda-Vera, J. (2008). Match analysis and heart rate of futsal players during competition. *Journal of Sports Sciences*, 26(1), 63–73. <https://doi.org/10.1080/02640410701287289>
- Bastida Castillo, A., Gómez Carmona, C. D., De la Cruz Sánchez, E., & 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., Gómez-Carmona, C. D., De La Cruz Sánchez, E., & 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*, 19(9), 1157–1165. <https://doi.org/10.1080/17461391.2019.1584248>
- 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>
- Bourbousson, J., Sève, C., & McGarry, T. (2010). Space–time coordination dynamics in basketball: Part 2. The interaction between the two teams. *Journal of Sports Sciences*, 28(3), 349–358. <https://doi.org/10.1080/02640410903503640>
- Bowen, L., Gross, A. S., Gimpel, M., & Li, F.-X. (2017). Accumulated workloads and the acute:chronic workload ratio relate to injury risk in elite youth football players. *British Journal of Sports Medicine*, 51(5), 452–459. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095820>

- Bueno, M. J. de O., Caetano, F. G., Yonezawa, M. K., Grella, A. S., Cunha, S. A., & Moura, F. A. (2018). How do futsal players of different categories play during official matches? A tactical approach to players' organization on the court from positional data. *PLOS ONE*, 13(6), e0199619. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0199619>
- Cummins, C., Orr, R., O'Connor, H., & 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>
- Di Salvo, V., Gregson, W., Atkinson, G., Tordoff, P., & Drust, B. (2009). Analysis of High Intensity Activity in Premier League Soccer. *International Journal of Sports Medicine*, 30(03), 205–212. <https://doi.org/10.1055/s-0028-1105950>
- Federation International Football Association. (s.f.). International Match Standard (IMS)—EPTS Wearables. Retrieved from Football Technology website: <https://football-technology.fifa.com/en/media-tiles/fifa-epts-wearables-licensees-and-certified-products/>
- FIFA. (n.d.). EPTS Electronic performance and tracking systems. Retrieved from <https://football-technology.fifa.com/en/media-tiles/epts/>
- Frencken, W. G. P., Lemmink, K. A. P. M., & 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>
- Frencken, W., K. L. (2009). Team kinematics of small-sided soccer games: A systematic approach. In: Reilly, T, and F. Korkusuz (Eds.), *Science and Football VI*. In *Science and Football VI* (pp. 161–166). Routledge Taylor & Francis Group, Oxon.
- Frencken, W., Lemmink, K., Delleman, N., & Visscher, C. (2011). Oscillations of centroid position and surface area of soccer teams in small-sided games. *European Journal of Sport Science*, 11(4), 215–223. <https://doi.org/10.1080/17461391.2010.499967>
- Gonçalves, B., Coutinho, D., Exel, J., Travassos, B., Lago, C., & Sampaio, J. (2019). Extracting spatial-temporal features that describe a team match demands when considering the effects of the quality of opposition in elite football. *PLOS ONE*, 14(8), e0221368. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0221368>
- Hausler, J., Halaki, M., & Orr, R. (2016). Application of Global Positioning System and Microsensor Technology in Competitive Rugby League Match-Play: A Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Medicine*, 46(4), 559–588. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0440-6>
- Jackson, B. M., Polglaze, T., Dawson, B., King, T., & 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>
- Jaspers, A., Brink, M. S., Probst, S. G. M., Frencken, W. G. P., & Helsen, W. F. (2017). Relationships Between Training Load Indicators and Training Outcomes in Professional Soccer. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 47(3), 533–544. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0591-0>
- Kugler, P. N., Kelso, J. A. S. & Turvey, M. t. (1980). On the concept of coordinative structures as dissipative structures: I. Theoretical lines of convergence. *Tutorials in Motor Behavior*
- 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., Baca, A., & Ogris, G. (2011). Local Positioning Systems in (Game) Sports. *Sensors*, 11(10), 9778–9797. <https://doi.org/10.3390/s111009778>
- Leser, R., Schleindlhuber, A., Lyons, K., & 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>
- Linke, D., Link, D., & 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>
- Low, B., Coutinho, D.; Gonçalves, B.; Rein, B; Memmert, D; Sampaio, J. (2019). A Systematic Review of Collective Tactical Behaviours in Football Using Positional Data. *Sports Medicine*, 43.

- Malone, J. J., Lovell, R., Varley, M. C., & 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(Suppl 2), S2-18-S2-26. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0236>
- McGarry, T., Anderson, D. I., Wallace, S. A., Hughes, M. D., & Franks, I. M. (2002). Sport competition as a dynamical self-organizing system. *Journal of Sports Sciences*, 20(10), 771–781. <https://doi.org/10.1080/026404102320675620>
- Miloski, B., de Freitas, V. H., Nakamura, F. Y., Nogueira, F. C. de A., & Bara-Filho, M. G. (2016). Seasonal Training Load Distribution of Professional Futsal Players: Effects on Physical Fitness, Muscle Damage and Hormonal Status. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(6), 1525–1533. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001270>
- Moura, F. A., Santana, J. E., Marche, A. L., Aguiar, H., & Cunha, S. A. (2011). Quantitative analysis of the futsal players' organization on the court. *Portuguese Journal of Sport Sciences*, 11.
- Ogris, G., Leser, R., Horsak, B., Kornfeind, P., Heller, M., & 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>
- Owen, A. L., Forsyth, J. J., Wong, D. P., Dellal, A., Connelly, S. P., & Chamari, K. (2015). Heart rate-based training intensity and its impact on injury incidence among elite-level professional soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association*, 29(6), 1705–1712. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000810>
- Parlebas. (2002). Elementary mathematic modelization of games and sports. Bridging the gap between empirical sciences and theoretical research in the social sciences. In *The Explanatory Power of Models* (pp. 197–228). Kluwer Academic.
- Rico-González, M., Los Arcos, A., Nakamura, F. Y., Moura, F. A., & Pino-Ortega, J. (2019). The use of technology and sampling frequency to measure variables of tactical positioning in team sports: A systematic review. *Research in Sports Medicine*, 1–14. <https://doi.org/10.1080/15438627.2019.1660879>
- Sánchez-Sánchez, Y. (2017). La cuantificación de la carga de entrenamiento como estrategia básica de prevención de lesiones. *Revista de Preparación Física en Fútbol*, 1889–5050.
- Sathyan, T., Shuttleworth, R., Hedley, M., & 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>
- Schmidt, R. C.; BO' Brien, B. A.; Sysko, R. (1999). Self organization of between person cooperative tasks and possible applications to sport. 30, 558–579.
- Schöllhorn. (2003). Coordination Dynamics and its Consequences on Sports. *Int. J. Comp. Sci. Sport*
- Scott, M. T. U., Scott, T. J., & Kelly, V. G. (2015). The validity and reliability of global positioning systems in team sport: A brief review. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21.
- Serpiello, F. (2019). Compare GPS - upper price tier. Retrieved from Compare Sports Tech website: <https://www.comparesportstech.com/compare-gps-tracking-systems>
- Stevens, T. G. A., de Ruiter, C. J., van Niel, C., van de Rhee, R., Beek, P. J., & 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>
- Treviño, G. (2014). Trilateración: Sismos, GPS, rayos y teléfonos celulares, y la XIX Olimpiada de Ciencias de la Tierra. *GEOS*, 34(2), 15.