

## Validez y fiabilidad de dispositivos GPS de 5 Hz en carreras cortas con cambio de sentido

### Validity and reliability of 5 Hz GPS devices on short career with change of direction

David Casamichana Gómez, Julen Castellano Paulis

Universidad del País Vasco

**Resumen:** El objetivo de este estudio fue estimar la validez y fiabilidad de los dispositivos GPS *MinimaxX* (*Team Sport 2.5, Catapult Innovations*) que opera con una frecuencia de muestreo de 5 Hz, registrando las distancias recorridas en carreras de ida y vuelta de 20 metros con cambios de dirección de 180° en diferentes rangos de velocidades. Se midieron las distancias realizadas por 10 jugadores de fútbol (edad, 22.5 ± 2.9 años; altura, 174 ± 7 cm.; peso, 72.6 ± 3.4 kg.) en la prueba específica del test *Yo-Yo de Resistencia nivel 1*. El test acabó cuando los jugadores completaron los 10 primeros niveles (desde 2.22 hasta 3.48 m·s<sup>-1</sup>). Cuatro de los 10 participantes llevaron simultáneamente dos dispositivos GPS, lo que permitió valorar su fiabilidad. Para valorar la validez se compararon las distancias registradas por los GPS respecto a la distancia teórica del test medida previamente con cinta métrica. Se estimaron el coeficiente de variación (1 – 17 %), el error típico (2.3 – 136 m), el error estándar de medida (5 – 11 %) y la diferencias de medias (-0.7 – 89.2 m). Los resultados indican una moderada validez y fiabilidad a las intensidades estudiadas, casi para todos los niveles y también para la distancia total, aunque se sobreestimó la distancia recorrida.

**Palabra clave:** tecnología GPS, análisis del movimiento, validez, fiabilidad, deportes de equipo, Yo-Yo test.

**Abstract:** The aim of this study was to assess the validity and reliability of a *MinimaxX* GPS device (*Team Sport 2.5, Catapult Innovations*) operating with a sampling frequency of 5 Hz. Were measured distances made for 10 football players (age, 22.5 ± 2.9 years, height 174 ± 7 cm. and weight 72.6 ± 3.4 kg) in the specific *Yo-Yo Endurance Test level 1*. The test ended when the players completed the first 10 levels of speed test (from 2.22 to 3.48 m·s<sup>-1</sup>). Four of the 10 participants took two simultaneously GPS, what allowed to value the reliability of the devices. In the validity study comparing the values obtained by the GPS with the actual values obtained by tape before performing the test. Statistical analysis were: coefficient of variation (1 – 17 %), standard error (2.3 – 136 m), standard error estimated, (5 – 11 %) and means difference (-0.7 – 89.2 m). The results indicate that although the reliability and validity showed satisfactory results at moderate intensities, almost all levels and for the total distance, although the distance was overestimated.

**Key words:** GPS technology, movement analysis, validity, reliability, team sports, Yo-Yo test.

#### 1. Introducción

Los sistemas de posicionamiento global (*Global Position System*, GPS) son utilizados para medir los patrones de movimientos en diferentes deportes intermitentes, como son el fútbol sala (Barbero-Álvarez & Castagna, 2007), rugby (Cunniffe, Proctor, Baker & Davies, 2009), fútbol australiano (Coutts, Quinn, Hocking, Castagna & Rampinini, 2009; Brewer, Dawson, Heasman, Stewart & Cormack, 2010; Wisbey, Montgomery, Pyne & Rattray, 2009), fútbol playa (Castellano & Casamichana, 2010), tenis (Reid, Duffield, Dawson, Baker & Crespo, 2008), cricket (Petersen, Pyne, Dawson, Portus & Kellet, 2010) o hockey (Gabbet, 2010) con el objetivo de aumentar el conocimiento referente al perfil físico de los jugadores durante la competición, conocer las diferencias entre puestos específicos (Brewer et al., 2010; Cunniffe et al., 2009; Petersen et al., 2010; Wisbey et al., 2010), entre diferentes niveles de rendimiento de los participantes (Brewer et al., 2010), entre diferentes partes de los partidos (Barbero-Álvarez & Castagna, 2007; Brewer et al., 2010; Coutts, Quinn, Hocking, Castagna & Rampinini, 2009), entre diferentes formatos de partidos (Petersen et al., 2010) o entre diferentes temporadas competitivas (Wisbey et al., 2010) y poder de esta manera, intervenir de una forma más específica durante el entrenamiento (Pereira, Kirkendall & Barros, 2007).

Un receptor GPS debe recibir la señal de al menos 3 satélites para localizar la posición (Larsson, 2003). Utilizando esta información, un dispositivo de estas características puede calcular y registrar información referente a la velocidad y a la distancia recorrida principalmente (Reid et al., 2008). Estos dispositivos presentan una gran aplicabilidad debido a sus características como ligeros, pequeños, no muy caros, disminución de tiempo de registro de datos por realizar análisis automático de múltiples jugadores al mismo tiempo y facilidad de análisis (Aughey & Falloon, 2010; Edgecomb & Norton, 2006; MacLeod, Morris, Nevill & Sunderland, 2009), además de la reciente posibilidad de obtener

información en tiempo real, lo que permite tomar decisiones sobre el rendimiento de los jugadores y modificar estrategias durante partidos de competición o entrenamientos (Aughey & Falloon, 2010).

Sin embargo, son pocos y recientes los trabajos que se han ocupado del estudio de la validez y la fiabilidad de los diferentes dispositivos comerciales de ámbito más recreativo (Townshend, Worringham & Stewart, 2008; Witte & Wilson, 2004) o más aplicados al ámbito del rendimiento y utilizados en la investigación (Coutts & Duffield, 2010; Duffield, Reid, Baker & Spratford, 2010; Macleod et al., 2009; Petersen, Pyne, Portus & Dawson, 2009), obteniéndose diferentes resultados debido a la existencia de: a) diferentes modelos, b) con desiguales frecuencias de muestreo (la empresa *GPSports* disponen de transmisores con una frecuencia de muestreo de 1 Hz [*SPI-10, SPI Elite* y *WiSPI*] y de 5 Hz [*SPI Pro*], mientras que *Catapult Innovations* dispone de dispositivos con frecuencia de 5 Hz y 10 Hz [*MinimaxX*]), c) con diferentes algoritmos asociados a los mismos (Macleod et al., 2009), d) que valoran parámetros alternativos (velocidad pico y media, distancias o posiciones), y por último, también, d) aplicados en diferentes pruebas: estático, paseo o caminata, pendientes, trayectorias rectilíneas de diferentes longitudes, trayectorias curvilíneas en circuitos de atletismo o de fútbol australiano, circuitos con cambios de dirección con diferentes grados, etc.

A pesar de que parece que una mayor frecuencia de muestreo puede aumentar la precisión de la información aportada por los dispositivos (Duffield et al., 2010) existe poca información referente a los dispositivos con una frecuencia de muestreo de 5 Hz (Duffield et al., 2010; Janssen & Sachlikidis, 2010; Petersen et al., 2009), centrándose casi en la totalidad de los estudios en dispositivos de 1 Hz (Barbero-Álvarez, Coutts, Granda, Barbero-Álvarez & Castagna, 2010; Coutts & Duffield, 2010; Edgecomb & Norton, 2006; Macleod et al., 2009; Portas, Rush, Barnes & Batterham, 2007; Wisell, Williams & Lorenzen, 2007), no habiéndose estudiado la validez y fiabilidad de estos dispositivos en carreras cortas con cambios de sentido, realizadas de manera continua y a velocidad creciente. Por este motivo, y a diferencia del estudio previo (Petersen et al., 2009) que también analizó la fiabilidad y validez de estos dispositivos, se ha utilizado el *Test Yo-Yo de Resistencia nivel 1*, que se trata de una prueba consistente en carreras de ida y vuelta de 20 metros con cambios

de dirección de 180° recorridas a velocidad creciente (constituido por diferentes categorías de velocidad) y realizado de forma continua. Este test es utilizado para evaluar la capacidad de trabajo de forma continua durante un largo periodo de tiempo (Bangsbo, Iaia & Krustup, 2008).

Es necesario aumentar la información disponible en cuanto a fiabilidad y validez de estos dispositivos ya que están siendo utilizados para la monitorización de situaciones de entrenamiento (Gabbet, 2009; Montgomery, Pyne & Minahan, 2010) y de competición (Castellano & Casamichana, 2010; Petersen et al., 2010), en diferentes disciplinas deportivas, donde frecuentemente se producen recorridos de corta duración realizados a diferentes velocidades y con cambios de dirección.

El propósito de este estudio fue determinar la fiabilidad y la validez de los dispositivos GPS *MinimaxX v2.5* a 5 Hz para monitorizar las distancias recorridas en carreras de ida y vuelta de 20 metros con diferentes cambios de dirección de 180° en diferentes rangos de velocidades bajas y moderadas utilizando el *Test Yo-Yo de Resistencia nivel 1 (TYYRI)*.

## 2. Material y método

### 2.1. Participantes

Diez jugadores varones de fútbol semiprofesionales participaron en el estudio (edad, 22.5 ± 2.9 años; altura, 174 ± 7 cm.; peso, 72.6 ± 3.4 kg.), todos ellos pertenecientes al mismo equipo. Cada jugador fue informado acerca del diseño de la investigación y de sus requerimientos, beneficios y riesgos del estudio, aportando todos los participantes el consentimiento informado antes de comenzar el estudio. Además, el Comité Ético de la Universidad del País Vasco (CEISH) proporcionó la aprobación institucional para la realización de este estudio. No existe conflicto de intereses entre los autores y la empresa fabricante del sistema que se utiliza en el estudio.

Los diez jugadores completaron el *Test Yo-Yo de Resistencia nivel 1 (TYYRI)* hasta cubrir la distancia de 1780 m, realizando carreras correspondientes a 10 niveles de velocidad diferentes (Tabla 1).

### 2.2. Instrumentos

Todos los jugadores llevaron unidades GPS (*MinimaxX, Team Sport 2.5, Catapult Innovations*) que operan con una frecuencia de muestreo de 5 Hz. Utilizando un diseño específico de chaleco, los dispositivos se introdujeron en un bolsillo ubicado en la parte superior de su espalda, entre las escápulas y la parte inferior de la espina cervical. Los dispositivos GPS fueron activados 15 minutos antes de la realización de la prueba siguiendo las recomendaciones del fabricante.

Con cinta métrica se midió la distancia de 20 metros que separan las líneas situadas en los extremos del recorrido de la prueba (*TYYRI*). La 'distancia teórica' recorrida por los jugadores fue calculada sumando las idas y vueltas realizadas. La distancia registrada por los dispositivos GPS, que denominaremos 'distancia recorrida', fue estimada a posteriori a través del *software* específico *Logan Plus v.4.0 (Catapult Innovations, Melbourne, Australia)*. Los puntos de corte de los registros tomados en los dispositivos GPS fueron realizados de la siguiente manera: debido a que la duración de cada periodo es conocido (viene marcado por el propio protocolo de la prueba), se buscó la hora absoluta del GPS de inicio y posteriormente se hicieron los cortes desde esa hora de inicio hasta la hora final de cada uno de los periodos o niveles y de la finalización de la prueba.

### 2.3. Procedimiento

Para el estudio de fiabilidad y validez se realizó el *TYYRI* mediante la reproducción magnetofónica de las señales auditivas a través de una radio-CD *Sanyo MCD-UB275M*. 10 jugadores realizaron la prueba en la misma sesión de entrenamiento, en cuatro turnos diferentes. Se realizó un día despejado sobre las 20:00 horas, para evitar posible variabilidad respecto a la hora del día (Petersen et al., 2009) en un campo de fútbol de hierba

**Tabla 1.** Velocidades y distancias de carrera de los 10 niveles realizados en el *Test Yo-Yo de Resistencia nivel 1*

Nivel	Velocidad	Distancia
	m·s <sup>-1</sup> (km·h <sup>-1</sup> )	m
1	2.2 (8.0)	140
2	2.4 (8.5)	160
3	2.5 (9.0)	160
4	2.7 (9.6)	160
5	2.8 (9.9)	180
6	3.0 (10.7)	180
7	3.1 (11.1)	200
8	3.2 (11.5)	200
9	3.3 (12.0)	220
10	3.5 (12.5)	180
TOTAL		1780

Nota: metros por segundo (m·s<sup>-1</sup>), kilómetros por hora (km·h<sup>-1</sup>) y metros (m).

artificial, llevando todos los jugadores botas de fútbol durante la realización del test.

Para la realización del test se pidió a los jugadores que sobrepasan con una de las piernas la línea que marca la separación de 20 metros del recorrido en el cambio de sentido (180°). De esta forma se procuró que el dispositivo GPS en los cambios de sentido quedara aproximadamente sobre las líneas que marcan los 20 metros del test. Además, se establecieron con pivotes carriles de 1 metro de ancho dentro de los cuales se distribuyó a los jugadores con el objetivo de que la distancia recorrida por cada jugador fuera realizada principalmente en línea recta, y evitar así posibles diferencias entre la 'distancia recorrida' con respecto a la 'distancia teórica' marcada en el test.

Para estudiar la fiabilidad de los dispositivos intra-sujetos, cuatro de los participantes llevaron en el mismo chaleco dos unidades de GPS, de manera similar a cómo se ha realizado otros estudios (Duffield et al., 2010); el resto (6 jugadores) llevaron un único dispositivo GPS.

### 2.4. Análisis estadístico

Los estadísticos utilizados son similares a los utilizados en otros trabajos (Duffield et al., 2010; MacLeod et al., 2009; Petersen et al., 2009). En el estudio de la fiabilidad intra-sujeto se estimó la media (X), desviación estándar (s), el error típico (ET) de la medida en valores absolutos y en porcentaje de la media como coeficiente de variación (CV) con valores relativos (Hopkins, 2000). Estos estadísticos se realizaron para cada participante que llevó dos unidades y para cada distancia recorrida en cada categoría de velocidad, así como para la distancia total recorrida.

Similar a la fiabilidad, para el estudio de validez se estimó la media (X), desviación estándar (s), el rango, la diferencia de medias (±LOA), error típico (ET), coeficiente de variación (CV), intervalo de confianza

**Tabla 2.** Valores para estimar la fiabilidad de los dispositivos GPS tanto a partir de las distancias totales recorridas como para cada uno de los niveles de velocidad.

	Participante 1			Participante 2			Participante 3			Participante 4		
	X (s) [m]	ET [m]	CV [%]	X (s) [m]	ET [m]	CV [%]	X (s) [m]	ET [m]	CV [%]	X (s) [m]	ET [m]	CV [%]
Dt	1809.0 (132.9)	94	5	1911.5 (41.7)	29.5	2	1752.0 (84.8)	60	3	2020.0 (192.3)	136	7
D1	142.0 (2.8)	2	1	155.5 (14.8)	10.5	7	140.0 (15.6)	11	8	179.0 (42.4)	30	17
D2	174.5 (12.0)	8.5	5	171.0 (5.6)	4	2	165.5 (19.1)	13.5	8	185.0 (16.9)	12	6
D3	176.0 (1.4)	1	1	184.5 (12.0)	8.5	5	155.0 (4.2)	3	2	199.0 (11.3)	8	4
D4	171.5 (12.0)	8.5	5	175.0 (8.5)	6	3	150.0 (7.1)	5	3	197.0 (16.9)	12	6
D5	189.5 (3.5)	2.5	1	196.5 (7.8)	5.5	3	172.0 (16.9)	12	7	199.5 (0.7)	0.5	0
D6	171.0 (19.8)	14	8	184.5 (4.9)	3.5	2	170.0 (33.9)	24	14	195.5 (13.4)	9.5	5
D7	186.5 (40.3)	28.5	15	219.5 (7.8)	5.5	3	185.0 (11.3)	8	4	219.5 (28.9)	20.5	9
D8	209.5 (2.1)	1.5	1	203.0 (2.8)	2.0	1	207.5 (6.4)	4.5	2	224.0 (49.5)	35	16
D9	209.0 (38.2)	27	13	229.0 (7.1)	5.0	2	231.5 (20.5)	14.5	6	229.0 (1.4)	1	0
D10	174.5 (7.8)	5.5	2	184.5 (0.7)	0.5	0	170.5 (2.1)	1.5	1	183.5 (10.6)	7.5	4
Media niveles		9.9	5		5.1	3		9.7	6		13.6	7

Nota: X, media; s, desviación estándar; ET, error típico; CV, coeficiente de variación; m, metros; Dt, distancia total recorrida; D1, distancia recorrida en el nivel 1; D2, distancia recorrida en el nivel 2; D3, distancia recorrida en el nivel 3; D4, distancia recorrida en el nivel 4; D5, distancia recorrida en el nivel 5; D6, distancia recorrida en el nivel 6; D7, distancia recorrida en el nivel 7; D8, distancia recorrida en el nivel 8; D9, distancia recorrida en el nivel 9; D10, distancia recorrida en el nivel 10.

a 95 % (IC95%), sesgo (definido como el efecto que produce resultados que son sistemáticamente diferentes al valor 'verdadero', que en esta ocasión ha sido estimado a partir de la diferencia de la media obtenida respecto al valor real dividido por el valor real, multiplicado por 100) y el error estándar de medida (SEE). Además se realizó una *t de student* para muestras relacionadas entre las distancias reales y las obtenidas por los dispositivos GPS (distancia total recorrida y distancia en cada uno de los 10 niveles de velocidad). Todos los estadísticos fueron realizados con el *software SPSS v.17.0* y con la hoja de cálculo *Excel*. El nivel de significación aceptado fue de  $p < 0.05$ .

### 3. Resultados

Los valores sobre la fiabilidad intra-sujeto están recogidos en la Tabla 2, donde cada uno de los participantes que figuran en ella transportaron simultáneamente dos dispositivos GPS de idénticas características.

Los CV para la distancia total (Dt) recorrida son inferiores al 8 %. Por el contrario el CV en cada uno de los niveles muestran diferencias que van desde el 1 hasta el 17 % que se corresponde con el participante 4 en el primero de los niveles. Los valores medios del CV para cada uno de los participantes son 5, 3, 6 y 7 % respectivamente. En la Figura 1 quedan representadas estas diferencias.

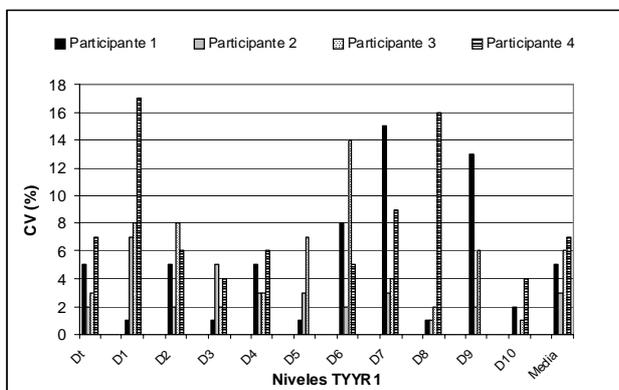


Figura 1. Valores del coeficiente de variación (CV) en porcentaje (%) para cada uno de los participantes en la distancia total recorrida (Dt), distancia recorrida del nivel 1 (D1) al 10 (D10) y el valor medio (media) de los 10 niveles.

Los resultados para estimar la validez vienen recogidos en la Tabla 3. Se observan diferencias significativas en las categorías de distancia total recorrida, en la distancia recorrida durante el nivel 1, 4 y 5 ( $p < 0.05$ ) y en la distancia del nivel 2 y 3 ( $p = 0.01$ ).

Todas las categorías de distancia recorridas, salvo la correspondiente al nivel 7 y 10, son sobreestimadas por los dispositivos GPS, siendo la

Niveles	Distancias test [m]	Distancias GPS X (s) [m]	Rango [m]	±LOA [m]	ET [m]	CV [%]	IC95% [m]	Sesgo [%]	SEE [%]
Dt	1780	1869.2 (110.1)*	1692-2156	89.2	29.6	2	1927.2-1811.2	5	6
D1	140	155.4 (20.1)*	129-209	15.4	5.4	3	165.9-144.8	11	11
D2	160	174.2 (12.8)**	152-197	14.2	3.4	2	180.9-167.5	9	7
D3	160	178.3 (15.5)**	152-207	18.3	4.1	2	186.4-170.2	11	9
D4	160	172.1 (16.3)*	145-209	12.1	4.4	3	180.7-163.6	8	9
D5	180	189.4 (13.8)*	160-206	9.4	3.7	2	196.7-182.2	5	7
D6	180	182.1 (16.8)	146-205	2.1	4.5	2	190.9-173.4	1	9
D7	200	199.2 (21.0)	158-240	-0.8	5.6	3	210.2-188.2	0	11
D8	200	206.6 (9.1)	181-259	6.6	5.1	1	216.6-196.7	3	9
D9	220	226.3 (18.9)	182-247	6.3	5.1	2	236.2-216.4	3	8
D10	180	179.3 (8.7)	167-191	-0.7	2.3	1	183.8-174.8	0	5
Valores medios para los 10 niveles				8.3	4.4	2		5	9

Nota: n = 14 registros de dispositivos GPS para la distancia total (Dt) y la distancia de cada uno de los niveles (D1-D10); X media; s, desviación estándar; di diferencias de medias, ±LOA; error típico, ET; coeficiente de variación, CV; intervalo de confianza a 95 %, IC95%; sesgo; error estándar de medida, SEE; y, metros (m). \*Diferencias significativas entre la distancia teórica (TYR1) y la recorrida (GPS) ( $p < 0.05$ ); \*\*Diferencias significativas con la distancia teórica (TYR1) y la recorrida (GPS) ( $p = 0.01$ )

sobreestimación de 89.2 m para la distancia total recorrida, lo que representa el 6 %, llegando incluso a ascender en la distancia recorrida durante el nivel de velocidad el 1 y el 7 hasta 11 puntos. Los datos para los diferentes niveles del TYR1 reflejan valores similares con un promedio de 8.3 metros de diferencia entre medias, 4.4 metros de ET, el 2 % de CV, un 5 % de sesgo y 9 % de SEE.

### 4. Discusión

El propósito del trabajo fue estudiar la fiabilidad intra-sujeto y la validez de dispositivos GPS modelo *MinimaxX* (Catapult Innovations, Melbourne, Australia) con una frecuencia de muestreo de 5 Hz, en carreras cortas de ida y vuelta, realizadas de forma continua, a una intensidad baja-moderada ( $< 3.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) y a ritmo creciente. Se han escogido un amplio abanico de técnicas analíticas para estimar el error (absoluto y relativo) que ha permitido llevar a cabo comparaciones con los estudios más representativos en esta temática.

Según nuestro conocimiento, este es el primer trabajo que estudia la fiabilidad y validez de los dispositivos GPS *MinimaxX* a 5 Hz aplicando la prueba específica *Yo-Yo* (TYR1), prueba muy utilizada en los deportes colectivos para la valoración física y fisiológica de los jugadores. A pesar de que el estudio ha sido realizado utilizando un test específico que incluye cambios de dirección de 180°, que ha permitido valorar 10 intensidades bajas-moderadas de carrera (entre 2.2 y 3.5  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ). Las principales limitaciones del estudio podrían resumirse en: no haberse incluido en el estudio mayores intensidades de carrera ( $> 3.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) y la falta de una mayor variabilidad de grados en los cambios de dirección realizados por los jugadores. Otro aspecto que creemos es necesario subrayar es que puede ser probable que parte del error de medida estimado esté asociado, además de a la derivada de los propios dispositivos, a las diferencias entre la distancia teórica (20 metros en cada largo) del test y al recorrido, no exactamente lineal, realizado por los participantes (Coutts & Duffield, 2010), que puede afectar en la sobreestimación de las distancias recorridas.

Los datos obtenidos en las distancias obtenidas con los dispositivos GPS en este trabajo muestran que la mayoría de las distancias estudiadas son sobreestimadas, existiendo diferencias estadísticamente significativas entre la distancia obtenida mediante los dispositivos GPS y la teórica del TYR1 ( $p < 0.05$ ). Además, observamos como los dispositivos presentan moderados valores de fiabilidad intra-sujeto.

Los resultados en la estimación de la fiabilidad intra-sujeto, es decir, la valoración del error asociado a los registros obtenidos a través de los dos dispositivos GPS que lleva un mismo jugador, abarcan un amplio espectro. Algunos autores como Coutts y Duffield (2010) cuando compararon dispositivos de un mismo fabricante con una frecuencia de muestreo de 1 Hz estimaron valores por debajo del 5 % en el coeficiente de variación (CV) respecto a la distancia total cubierta, similar a lo estimado en este trabajo (rango del 3 al 7 %). De manera específica, a intensidades bajas de carrera ( $< 14.4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ) estos mismos autores (Coutts & Duffield, 2010) estimaron un rango en el CV que varió desde 3.6 a 7.2 puntos para el conjunto de los dispositivos analizados. Duffield et al. (2010) encontraron un CV (9.8 %) algo superior al estimado en este trabajo para los mismos dispositivos *MinimaxX* respecto a la distancia cuando los sujetos recorrieron la distancia a bajas intensidades. Por su parte, el CV y el sesgo estimado por Petersen et al. (2009) a velocidades de  $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  y  $< 3.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  variaron desde 0.3 y 2.6 en los dos dispositivos *MinimaxX* que analizaron. Estos valores son inferiores a los estimados en nuestro estudio para el primero de los niveles del TYR1 ( $2.2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) y similares a los del nivel 10 ( $3.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ). Para el conjunto de los 10 niveles del TYR1 los valores del CV rondaron el 5 %. A bajas intensidades los valores encontrados fueron similares a los *SPI Pro* (GPSports) a 5 Hz (Petersen et al., 2009), alrededor del 3 % para distancias

de 8800 m recorridas andando y 2400 m recorridos a *jogging*. Para la distancia total (1780 m), en nuestro caso, donde únicamente hemos utilizado carreras cortas con cambios de sentido y que en ningún caso han superado la velocidad de 3.5 m·s<sup>-1</sup>, la media de los CV para la distancia total recorrida fue algo superior a 4 %, no observándose un aumento en este coeficiente a medida que aumenta la velocidad de la carrera.

Respecto a la validez de los dispositivos GPS debemos comentar que se ha estimado un 2 % en el CV para la distancia total recorrida, valores similares a los encontrados por otros autores que evalúan los mismos dispositivos GPS a 5 Hz (Petersen, et al., 2009). El error estándar de medida (SEE) estimados por estos mismos autores (desde 1.8 % a una velocidad <3.5 m·s<sup>-1</sup> hasta 3.8 % en la velocidad de 2 m·s<sup>-1</sup>) son inferiores a los estimados en el presente trabajo (5 % para el nivel 10, y 11 % para el nivel 1) a dichas velocidades y de un 6 % para distancia total del *TYR1* y del 9 % para la media de los niveles. Observamos como las diferencias con respecto a la distancia real son significativas, sobreestimando la distancia recorrida en la mayoría de las ocasiones (8 de los 10 niveles), de manera similar a los valores obtenidos por Petersen et al. (2009), con el dispositivo *Minimax* v2.5, donde también se sobreestima la distancia cuando la velocidad es baja y la distancia grande, y en otros dispositivos con una frecuencia de muestreo de 1 Hz (Townshend et al., 2008; Wissell et al., 2007). A pesar de que Duffield et al. (2010) estimó que estos mismos dispositivos *Minimax* subestimaban la distancia recorrida, nuestro estudio parece confirmar los resultados de los anteriores trabajos citados, donde casi en la totalidad de los casos se sobreestima la distancia recorrida.

También hemos encontrado discrepancias en los valores de las diferencias de medias ( $\pm$ LOA) estimados en nuestro estudio (8 m) que han sido superiores a los 2.5 m encontrados por Macleod et al. (2009) para una mayor distancia recorrida andando (6818 m), con una velocidad cercana a los 2 m·s<sup>-1</sup>. En este último trabajo el dispositivo que se analizó fue el *SPI Elite (GPSports)*. En el trabajo de Portas et al. (2007) con dispositivos a 1 Hz también encontraron valores del CV entorno al 1 %. Esto ascendió hasta 6.3 puntos en el trabajo de Edgecomb y Norton (2006) con los dispositivos *SPI 10*. En el rango de intensidades que hemos estudiado, los resultados no parecen seguir un patrón determinado respecto a la distancia o intensidad de carrera. La mayor o menor validez de los dispositivos parece que no tienen que ver con una mayor o menor distancia o intensidad de carrera realizada por los sujetos. Quizás, la precisión de los dispositivos tiene que ver con otro tipo de factores como por ejemplo la 'limpieza' (o ausencia de ruidos e interferencias) de la señal de los satélites o el nº de satélites que están reportando la información al mismo tiempo (Witte & Wilson, 2004).

Algunas de las futuras líneas de investigación que se plantean pueden ser las de estudiar la fiabilidad y validez de estos dispositivos a velocidades altas de carrera (>3.5 m·s<sup>-1</sup>), y comparar la fiabilidad y validez de dispositivos con diferente frecuencia de muestreo en este tipo de desplazamientos.

Estos datos nos indican que debemos ser cautelosos en la interpretación de los resultados obtenidos en los trabajos que han utilizado dicha herramienta de monitorización y registro, ya que los resultados pueden estar sobreestimados. Parece necesario un aumento de la frecuencia de muestreo de los dispositivos para aumentar la validez y fiabilidad de los mismos, y poder de esta manera aplicar dicha herramienta al control y estudio de las diferentes modalidades deportivas.

## 5. Conclusiones

Este es el primer trabajo que estudia la fiabilidad y validez de dispositivos GPS en carreras cortas con velocidad moderada y cambios de sentido de 180°. Podemos concluir que los dispositivos *GPS Minimax* v2.5 con una frecuencia de muestreo de 5 Hz sobreestiman la distancia recorrida en velocidades bajas y moderadas (<3.5 m·s<sup>-1</sup>), obteniendo unos valores moderados de fiabilidad intra-sujeto. Sin embargo, el incremento de la velocidad en los desplazamientos realizados, manteniéndose por debajo de 3.5 m·s<sup>-1</sup>, no disminuye la fiabilidad ni validez de los dispositivos.

Los diferentes valores de error intra-sujeto estimados en los estadísticos utilizados apoyan la hipótesis de que es preferible que se utilicen los mismos dispositivos por parte de los mismos jugadores, lo que permitirá llevar a cabo, con mayor precisión, comparaciones intra-sujeto a lo largo de sucesivos registros, evitando las diferencias derivadas de la aplicación de diferentes unidades de GPS.

## 6. Agradecimientos

Este trabajo forma parte de la investigación Avances tecnológicos y metodológicos en la automatización de estudios observacionales en deporte que ha sido subvencionado por la Dirección General de Investigación, Ministerio de Ciencia e Innovación (PSI2008-01179), durante el trienio 2008-2011. Además agradecemos a la Universidad el País Vasco (UPV-EHU) y al Departamento de EF por la financiación prestada.

## 7. Bibliografía

- Aughey, R. & Fallon, C. (2010). Real-time versus post-game GPS data in team sports. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(3), 348-349.
- Bangsbo, J. Iaa, M. & Krstrup, P. (2008). The yo-yo intermittent recovery test. A useful tool for evaluation of physical performance in intermittent sports. *Sports Medicine*, 38(1), 37-51.
- Barbero-Álvarez, J. C. & Castagna, C. (2007). Activity patterns in professional futsal players using global position tracking system. *Journal of Sports Science and Medicine*, 6(S10), 208-209.
- Barbero-Álvarez, J. C. Coutts, A., Granda, J., Barbero-Álvarez, V., & 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.
- Brewer, C., Dawson, B., Heasman, J., Stewart, G. & Cormack, S. (2010). Movement pattern comparisons in elite (AFL) and sub-elite (WAFL) Australian football games using GPS. *Journal of Science and Medicine in Sport*. doi:10.1016/j.jsams.2010.01.005
- Castellano, J. & Casamichana, D. (2010). Heart rate and motion analysis by GPS in beach soccer. *Journal of Sports Science and Medicine*, 9(1), 98-103.
- Coutts, A. & Duffield, R. (2010). *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(1), 133-135.
- Coutts, A., Quinn, J., Hocking, J., Castagna, C. & Rampinini, E. (2009). Match running performance in elite Australian Rules Football. *Journal of Science and Medicine in Sport*, doi:10.1016/j.jsams.2009.09.004
- Cunniffe, B., Proctor, W., Baker, J. & Davies, B. (2009). An evaluation of the physiological demands of elite rugby union using global positioning system tracking software. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(4), 1195-1203.
- Duffield, R., Reid, M., Baker, J. & 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.
- Edgecomb, S.J. & Norton, K.I. (2006). Comparison of global positioning and computerbased tracking systems for measuring player movement distance during Australian Football. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 9(1), 25-32.
- Gabbet, T. (2010). Gps analysis of elite women's field hockey training and competition. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(5), 1321-1324.
- Hopkins, W. (2000). Measures of reliability in sports medicine and science. *Sportmedicine*, 30(1), 1-15.
- Janssen, I. & Sachlikidis, A. (2010). Validity and reliability of intra-stroke kayak velocity and acceleration using a GPS-based accelerometer. *Sports Biomechanics*, 9(1), 47-56.
- MacLeod, H., Morris, J., Nevill, A. & 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.
- Montgomery, P., Pyne, D. & Minahan C. (2010). The physical and physiological demands of basketball training and competition. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 5(1), 75-86.
- Larsson, P. (2003). Global positioning system and sport-specific testing. *Sports Medicine*, 33(15), 1093-1101.
- Pereira, N., Kirkendall, D. T. & Barros, T. L. (2007). Movement patterns in elite Brazilian youth soccer. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 47(3), 270-275.
- Petersen, C., Pyne, D., Portus, M. & Dawson, B. (2009). Validity and reliability of GPS units to monitor cricket-specific movement patterns. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 4(3) 381-393.
- Petersen, C., Pyne, D., Portus, M., Dawson, B. & Kellet, A. (2010). Movement patterns in cricket vary by both position and game format. *Journal of Sports Sciences*, 28(1), 45-52.
- Portas, M., Rush, C., Barnes, C. & Batterham, A. (2007). Method comparison of linear distance and velocity measurements with global positioning satellite (GPS) and the timing gate techniques. *Journal of Sports Sciences and Medicine*, 6(S10), 7-8.
- Reid, M., Duffield, R., Dawson, B., Baker, J. & Crespo, M. (2008). Quantification of the physiological and performance characteristics of on-court tennis drills. *British Journal of Sports Medicine*, 42(2), 146-151.
- Townshend, A. D., Worringham, C. J. & 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.
- Wisbey, B., Montgomery, P., Pyne, D. & Rattray, B. (2010). Quantifying movement demands of AFL football using gps tracking. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(5), 531-536
- Wissell, D., Williams, M. & Lorenzen, C. (2007). *Journal of Science and Medicine in Sport*, 10 (suppl.1), 1-157.
- Witte, T. H. & Wilson, A. M. (2004). Accuracy of nondifferential GPS for the determination of speed over ground. *Journal of Biomechanics*, 37(12), 1891-98.