

Confiabilidad de los registros obtenidos por medio de dos sistemas de posicionamiento global en actividades de desplazamiento humano*

*Jeison Daniel Salazar Pachón***

*David Armando Chaparro Obando****

Nicolás Tordi†

Recibido: 10 de marzo de 2013

Revisado: 25 de marzo de 2013

Aceptado: 10 de abril de 2013

Resumen

El presente estudio examinó la confiabilidad de los registros de dos sistemas de posicionamiento global (*global positioning systems* [GPS]), Garmin^{310XT} y FRWD^{B600}, sobre las distancias recorridas a diferentes velocidades, tras un protocolo a pie y otro en bicicleta realizados en una pista atlética. Esta información se comparó con el trayecto real de recorrido, hecho a partir del cálculo: *ritmo de recorrido (r) = distancia recorrida (d) x tiempo de recorrido*, y se controló con un metrónomo Sport Beeper. Los participantes fueron dos jóvenes de edad media 22 años \pm 1, activos físicamente. En los resultados, se observaron diferencias entre los registros de ambos sistemas GPS;

* Este estudio se deriva del trabajo de investigación formativa realizado en la práctica profesional de Cultura Física, Deporte y Recreación, realizada en el periodo 2012-2 en la plataforma de Entrenamiento, Performance, Salud e Innovación (EPSI) de la Universidad Franche-Comté. Fecha de inicio: septiembre de 2012, fecha de finalización: diciembre de 2012.

** Profesional de Cultura Física, Deporte y Recreación, Universidad Santo Tomás. Correo electrónico: jeisonsalazar@usantotomas.edu.co

*** Profesional de Cultura Física, Deporte y Recreación, Universidad Santo Tomás. Correo electrónico: davidchaparro@usantotomas.edu.co

† Ph.D. Ciencias del Deporte, director plataforma EPSI Universidad Franche-Comté. Correo electrónico: nicolas.tordi@univ-fcomte.fr

el protocolo a pie Garmin tuvo un porcentaje de concordancia de 101,1%, mientras que FRWD presentó 103%. En el protocolo en bicicleta se obtuvo 103,4% y 101,6%, respectivamente. Se concluyó que el uso de GPS es más fiable cuando las velocidades de desplazamiento humano son bajas o moderadas para el sistema Garmin (7-14 km/h), ya que al ser más altas la fiabilidad de la información podría ser menor, mientras que el sistema FRWD presentó mayor confiabilidad en velocidades moderadas (14-22 km/h).

Palabras clave: Sistema de Posicionamiento Global (GPS), confiabilidad, desplazamiento humano, movimiento.

Reliability of records obtained from two global positioning systems in human movement activities

Abstract

This study examined the reliability of records from two global positioning systems (GPS), Garmin^{310XT} and FRWD^{B600} on distances traveled at different speeds, after a protocol on foot and another on bicycle conducted on an athletic track. This information was compared to the actual path traveled, made from the calculation: *stroke rate* (r) = *distance traveled* (d) \times *travel time*, and was controlled with a Sport Beeper metronome. The participants were two young men of average age 22 years \pm 1, physically active. In the results, differences were observed between both GPS systems records: the on foot protocol Garmin had a concordance rate of 101.1%, while the FRWD had 103%. The bicycle protocol achieved 103.4% and 101.6%, respectively. It was concluded that the use of GPS was more reliable when human movement speeds are low or moderate for the Garmin system (7-14 Km/h), since at higher speeds the information could be less reliable, while the FRWD system presented better reliability in moderate speeds (14-22 km/h).

Keywords: Global Positioning System (GPS), reliability, human movement, movement.

Introducción

A finales del siglo XX, los movimientos y desplazamientos realizados por los humanos, en relación con las velocidades, cambios de dirección y distancias recorridas, se analizaron a través de una moderna técnica basada en la localización terrestre de los individuos por medio de satélites, denominada *Global Positioning System* (GPS) o Sistema de Posicionamiento Global (Schutz y Chambaz, 1997). Utilizando esta herramienta, una vez la posición de ubicación se conoce satelitalmente, el desplazamiento puede emplearse para calcular la velocidad de movimiento, hecho que llamó desde entonces la atención de científicos, entrenadores y deportistas (Aughey, 2011).

Cabe destacar que el sistema GPS es un medio basado en la navegación de órbitas que yacen en una red de satélites alrededor de la Tierra, los cuales trabajan las 24 horas del día, sin importar las condiciones ambientales y en cualquier parte del mundo, bajo condiciones adecuadas. El GPS está bajo la administración del Departamento de Defensa de los Estados Unidos (Terrier y Schutz, 2005).

Tras realizarse el primer estudio de verificación de las velocidades recorridas y el funcionamiento del GPS, se concluyó que este sistema era muy prometedor para la evaluación de la velocidad, aunque aún había insuficiencias en los cálculos, lo que afectaba su uso para la investigación científica (Schutz y Chambaz, 1997). Por lo cual, parte de este grupo de investigadores decidió hacer un estudio posterior con el uso del Sistema Diferencial de Posición Global (DGPS), que funciona por medio de dos señales receptoras y emisoras, una de ellas en tierra, con lo que genera resultados más precisos al calcular las velocidades (Schutz y Herren, 2000).

Desde entonces, se han desarrollado estudios que comprueben si esta promisoriosa técnica podría ser útil para la evaluación de las velocidades y distancias, en la que se usan diferentes modelos de GPS, diferenciales y no diferenciales. Aunque son pocos los estudios que informan sobre la fiabilidad y validez de los datos proporcionados (Gray, Jenkins, Andrews, Taaffe, y Glover, 2010).

Tener datos de posición y de velocidad lo más precisos posibles es fundamental para la formación y evaluación del rendimiento competitivo (Riewald, 2008). Podría ser una herramienta de control para programas de actividad física para la salud, basados en intensidades bajas y moderadas de trabajo, como la marcha, así como en programas de altas intensidades de carrera, considerando, además, que se ha incrementado la práctica de la marcha como actividad física para la salud en las últimas décadas (Gregg, Gerzoff, Caspersen, Williamson, y Narayan, 2003) y que los desplazamientos a altas velocidades se usan en diferentes modalidades deportivas.

A partir de lo anterior, este estudio tuvo por objetivo verificar la fiabilidad de los registros de distancia y velocidad obtenidos por medio de los equipos de GPS Garmin ^{310XT} y FRWD ^{B600}, empleados en la actualidad para el control de las actividades físicas comunes del desplazamiento humano, en las que se incluyen programas de entrenamiento para la salud y el deporte de élite, entre otros.

Se planteó como hipótesis el hecho de que ambos equipos de medición presentarían un porcentaje de concordancia del 100% y un error porcentual no mayor al 5% entre los valores registrados y los valores reales de la distancia total para cada uno de los protocolos.

Metodología

Este estudio se deriva del trabajo de investigación formativa realizado en la práctica profesional de Cultura Física, Deporte y Recreación, realizada en el periodo 2012-2 en la plataforma de Entrenamiento, Performance, Salud e Innovación (EPSI) de la Universidad Franche-Comté. Se describió la información obtenida por cada sujeto en los respectivos protocolos, comparando entre los resultados obtenidos con dos sistemas de medición GPS y los resultados reales de cada prueba. A partir de los porcentajes de concordancia, el margen porcentual de error y la desviación estándar, se puede observar la confiabilidad de cada sistema de monitorización GPS sobre las actividades del desplazamiento humano en relación con la distancia recorrida. Los protocolos se llevaron a cabo en condiciones *outdoor* (exterior), con los requerimientos necesarios de recuperación entre cada protocolo. El tipo de investigación cuenta con un diseño transeccional.

Participantes. Dos sujetos voluntarios, hombres jóvenes (22 años \pm 1), con condiciones físicas y mentales aparentemente sanas, quienes llevan hábitos de vida saludables, no fumadores, con entrenamiento aeróbico de tres a cuatro veces por semana basado en la carrera; sus características permitían un grado de confianza en torno a las exigencias que demandan estas pruebas físicas.

No se consideraron los datos del componente corporal, ya que no afectan el desempeño de los protocolos en relación con el objeto de estudio (distancias y velocidades registradas por los sistemas GPS).

Protocolos y materiales. Se emplearon dos tipos de sistema GPS: el primero fue el GARMIN® Forerunner® 310XT, Reino Unido, Europa. Sistema equipado a través de un reloj satelital y un monitor cardiaco, con un peso total de 72 g. Una vez finalizada la prueba, los datos se llevaban al programa Garmin Connect_{TM} por medio de conexión *bluetooth* hacia una computadora Toshiba Ultrabook_{TM} Z930. El segundo sistema GPS empleado fue el FRWD^{B600}, equipado con un radio de brazaletes y un monitor cardiaco, su peso total es de 85 g. Al finalizar las pruebas, los datos se trasladaban a la computadora Toshiba Ultrabook_{TM} Z930, igualmente haciendo uso del *bluetooth* para analizar posteriormente en el programa FRDW Replayer.

Para el control de las variables distancia y velocidad, se emplearon cálculos matemáticos y mediciones métricas. Los primeros se basaron en el concepto *ritmo de recorrido* ($r = \text{distancia recorrida} (d) \times \text{tiempo de recorrido}$). Esta fórmula permitió instalar unas marcas con platillos que sirvieron de puntos guía para los participantes y que se colocaron sobre el borde de la pista cada 50 m para trabajar junto con el uso del Sport Beeper Assistant Coach, un metrónomo que se programó acorde con cada uno de los protocolos. Cada vez que se daba una señal acústica con esta herramienta, la marca de referencia ayudaba al atleta a saber en donde se encontraba. A su vez, hubo un coordinador para cada una de las pruebas, quien tenía el metrónomo y hacía conteos sobre los tiempos restantes para la llegada a una de las marcas; fue un colaborador adicional para alcanzar las velocidades y cerciorarse del buen desarrollo de la prueba.

Todas las pruebas se realizaron en una pista atlética de asfalto, superficie de 401 m tras su respectiva medición por el carril más próximo al borde. Tal medida se tomó dos veces para el primer día de evaluaciones y

una para el segundo; las tres mediciones comprobaron la exactitud de sus dimensiones. Se empleó un decámetro de 30 m para medir tanto la pista atlética como las distancias entre cada marca.

El escenario se encuentra en el campus de la Facultad de Deportes de la Universidad Franche-Comté en la ciudad de Besanzón, Francia, ubicada a una altitud de 236 m sobre el nivel del mar. Vale la pena aclarar que no se presentaron problemas climáticos, tormentas o lluvias; el cielo estuvo despejado y las condiciones fueron buenas para la aplicación de las pruebas durante los dos días de ejecución.

Protocolo a pie. Este protocolo lo realizaron dos participantes en horas de la tarde; cada uno debió recorrer un total de ocho vueltas (3208 m) a diferentes velocidades. La primera se dio a una velocidad de 7 km/h y se aumentó sucesivamente 1 km/h para las siguientes, finalizando así a 14 km/h. Por cada vuelta, el participante hacía una marca de registro interno en el instrumento de evaluación, con el botón respectivo que guardó los registros de distancia entre vueltas. En la tabla 1 se indican las características completas del protocolo. Para controlar las velocidades, se hizo un cálculo entre el tiempo, la velocidad y la distancia de recorrido, con lo que se programó el *beeper* para dar las señales acústicas y así guiar cada 50 m.

tabla 1: Esquematización del protocolo a pie

Etapa	Vueltas (m)	Velocidad (km/h)
Ligera	1-401	7
Ligera	1-401	8
Moderada	1-401	9
Moderada	1-401	10
Fuerte	1-401	11
Fuerte	1-401	12
Muy fuerte	1-401	13
Muy fuerte	1-401	14
total	8-3208	

Protocolo en bicicleta. Al día siguiente de la evaluación a pie, se llevó a cabo la evaluación en una bicicleta de tipo todo terreno en horas de la tarde; el protocolo consistió en un recorrido de cinco vueltas sobre la misma pista de

401 m, el cual fue de 2005 m para cada individuo. La velocidad inicial fue de 14 km/h y se aumentó en 2 km/h por cada vuelta. Al finalizar cada una, el sujeto debía oprimir el botón para registrar la distancia entre vueltas. El protocolo se puede observar en mayor detalle en la tabla 2. El cálculo de orientación para el participante se hizo con el *beeper*, programado para un índice sonoro de cada 50 m, sobre los que había un referente platillo por el cual se debía ir.

tabla 2: Esquematización del protocolo a pie

Etapa	Vueltas (m)	Velocidad (km/h)
Ligera	1-401	14
Moderada	1-401	16
Moderada	1-401	18
Fuerte	1-401	20
Fuerte	1-401	22
total	5-2005	

Resultados

Las distancias correspondientes a cada sistema de posicionamiento se obtuvieron con los registros guardados por los deportistas vuelta por vuelta; al cumplir cada una, se compararon los resultados de los protocolos y de los participantes. La respectiva descripción del protocolo a pie puede verse en la tabla 3, en cuanto al protocolo en bicicleta se muestra en la tabla 5. También se establecieron las medias de los valores en cada vuelta y totales de las distancias recorridas entre los sujetos, con el fin de obtener la sumatoria de ambos y observar su comportamiento en torno a la respuesta normal. Estos datos se esquematizan en las tablas 4 y 6, en correspondencia al protocolo a pie y en bicicleta.

tabla 3: Descripción de las distancia por vueltas y el total para cada uno de los sujetos, 1 = (sujeto 1), 2 = (sujeto 2) y los correspondientes equipos GPS, en comparación con la distancia normal para el protocolo a pie

Número de vuelta	Normal	1 FRWD m	1 Garmin m	2 FRWD m	2 Garmin m
1	401	429	397	397	401
2	401	416	400	398	403
3	401	421	396	419	406
4	401	407	398	400	406
5	401	425	405	411	394
6	401	416	405	417	399
7	401	418	401	409	403
8	401	420	410	411	404
total m	3208	3352	3212	3262	3216

tabla 4: Medias como resultado de la sumatoria de las distancias por vueltas y el total recorrido por parte de los sujetos 1 y 2 en relación con cada equipo GPS en el protocolo a pie

Número de vuelta	Normal m	FRWD m	Garmin m
1	401	413	399
2	401	407	401,5
3	401	420	401
4	401	403,5	402
5	401	418	399,5
6	401	416,5	402
7	401	413,5	402
8	401	415,5	407
total m	3208	3307	3214

tabla 5: Valores de desviación estándar, error porcentual y porcentaje de concordancia en relación con los valores de las medias obtenidas en la sumatoria de los sujetos 1 y 2 por la distancia total recorrida

	FRWD	Garmin
Desviación estándar	108,74	6,32
Error porcentual	3,3%	0,19%
Porcentaje de concordancia	103%	101,1%

tabla 6: Descripción de las distancias por vueltas y el total para cada uno de los sujetos, 1 = (sujeto 1), 2 = (sujeto 2), y los correspondientes equipos GPS, en comparación con la distancia normal para el protocolo en bicicleta

Número de vuelta	1 Normal m	1 FRWD m	1 Garmin m	2 FRWD m	2 Garmin m
1	401	410	406	409	411
2	401	418	408	404	413
3	401	409	420	400	421
4	401	417	409	402	413
5	401	411	431	397	417
total (m)	2005	2065	2074	2012	2075

tabla 7: Medias como resultado de la sumatoria de las distancias por vueltas y el total recorrido por parte de los sujetos 1 y 2 en relación con cada equipo GPS en el protocolo en bicicleta

Número de vuelta	1 Normal	1 FRWD	Garmin
1	401	409,5	408,5
2	401	411	410,5
3	401	404,5	420,5
4	401	409,5	411
5	401	404	424
total (m)	2005	2038,5	2074,5

tabla 8: Valores de desviación estándar, error porcentual y porcentaje de concordancia en relación con los valores de las medias obtenidas en la sumatoria de los sujetos 1 y 2 por la distancia total recorrida

	FRWD	Garmin
Desviación estándar	42,70	69,50
Error porcentual	2,1%	3,4%
Porcentaje de concordancia	101,6%	103,4%

Discusión

Los resultados de cada protocolo muestran que los registros de las distancias recorridas para ambos sistemas GPS no son del todo exactos a las distancias reales, rechazándose de esta manera la hipótesis de trabajo propuesta. Aunque generalmente los valores obtenidos estaban cerca a los reales, unos más que otros, en relación con cada protocolo y sistema de posicionamiento global.

La sumatoria de medias entre los sujetos, en relación con la distancia total de recorrido para cada protocolo, indicó una concordancia para Garmin de $101,1\% \pm 6,32$, con un error porcentual de 0,19% en el protocolo a pie; el protocolo en bicicleta tuvo una concordancia de $103\% \pm 108,74$ error porcentual de 3,4%, reflejando así una mayor confiabilidad cuando se recorre a velocidades de 7 a 14 km/h. En cuanto a FRWD, se estimó un porcentaje de concordancia de $103,4\% \pm 69,50$ error porcentual de 3,3% en el protocolo a pie y de $101,6\% \pm 42,70$ error porcentual 2,14% para la prueba en bicicleta, siendo más fiable cuando se emplean velocidades de 14 a 22 km/h.

El hecho de obtener mayor confianza cuando se emplean ritmos de carrera bajos o moderados, como en el caso de Garmin, puede compararse con otros estudios en los que se demuestra que el aumento de la velocidad afecta la precisión de los registros de distancia recorrida en los GPS, siendo mejor cuando los recorridos son largos y de velocidades bajas o moderadas (Aughey, 2011; Bichler et ál., 2012; Gray et ál., 2010).

Es necesario considerar que la velocidad empleada para cada periodo pudo no ser del todo exacta a lo que refieren los protocolos, pero la

incidencia que tiene la capacidad de ajustar la velocidad de ejecución por parte de los participantes en relación con la señal acústica del metrónomo es menor, puesto que cada 50 m hubo un punto guía para verificar el ritmo del paso. El tipo de entrenamiento que los participantes emplean actualmente en su vida y el aviso continuo del tiempo restante de llegada entre las marcas permitió la consecución oportuna para cada etapa, con pequeñas imprecisiones. Creemos que esta es una buena forma para controlar las velocidades, aunque algunos equipos GPS muestran en el reloj la velocidad de carrera, por lo cual habría que probar el grado de confianza de estos valores. En todo caso, es difícil para el ser humano recorrer de forma constante en condiciones *outdoor*, por lo que buscar las alternativas adecuadas para obtener la mayor precisión a la hora de hacer este tipo de pruebas es otro punto para tener en cuenta.

Por tal motivo, sería útil realizar una posterior investigación en la que se considere la confiabilidad de las velocidades suministradas por los sistemas GPS en este estudio, con fin de seguir observando sus comportamientos, así como de otros modelos y equipos de monitorización. De hecho, algunos autores han concluido que la exactitud de velocidades registradas con el uso GPS es insuficiente y que podría mejorar usando el GPS diferencial (DGPS) (Terrier y Schutz, 2005).

Finalmente, cabe mencionar que este estudio se limita a la experiencia de evaluación de dos sujetos, por lo que sus resultados podrían verse como un pilotaje que verifique la exactitud de los aparatos de medición, tras obtener de una manera similar los resultados entre ambos participantes y los respectivos protocolos. Asimismo, se tiene en cuenta que el escenario fue una pista atlética de 401 m y algunas veces estos sistemas se emplean en otros tipos de terreno. Por lo tanto, el presente estudio espera ser la base para futuras investigaciones que integren más elementos con los cuales verificar la confiabilidad de los sistemas de posicionamiento global.

Conclusiones

Los GPS son una buena herramienta de control y monitoreo de las actividades físicas en relación con las distancias que se registran para desplazamientos de velocidades moderadas de carrera, aunque algunos sistemas de

localización global son más precisos que otros, por lo que debe prestarse atención al trabajo que se realiza con alta intensidad y el equipo de posicionamiento global seleccionado para hacer tales labores con el fin cerciorarse de que la información obtenida esté acorde con la realidad.

Se necesitan futuras investigaciones en las que hayan más participantes para verificar y comparar los diferentes GPS en relación con los valores reales de registro, y así tener información más precisa. Dichas investigaciones deben hacerse bajo las diversas condiciones de uso de la tecnología GPS, según su vinculación a programas de entrenamiento y modalidades deportivas para el control del rendimiento; asimismo, deberán localizarse, sobre las distancias recorridas, la intensidad de las velocidades, los tiempos de duración, la forma de los trayectos y las rutas escogidos, el modo en que se hacen los desplazamientos, las subidas, los descensos, los giros, las direcciones, los entornos ambientales y las condiciones meteorológicas, todo ello con el fin de seguir verificando el grado de precisión de los sistemas GPS que hoy en día se emplean en el seguimiento de las actividades físicas.

Referencias

- Aughey, R. J. (2011). Applications of GPS technologies to field sports. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 6(3), 295-310. Retrieved from PM:21911856
- Bichler, S., Ogris, G., Kremser, V., Schwab, F., Knott, S. y Baca, A. (2012). Towards high-precision IMU/GPS-based stride-parameter determination in an outdoor runners scenario. *Procedia Engineering*, 34, 592-597.
- 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. doi:927093190 [pii];10.1080/02640414.2010.504783 [doi]. Retrieved from PM:20859825
- Gregg, E. W., Gerzoff, R. B., Caspersen, C. J., Williamson, D. F. y Narayan, K. M. (2003). Relationship of walking to mortality among US adults with diabetes. *Archives of Internal Medicine*, 163(12), 1440-1447. doi:10.1001/archinte.163.12.1440 [doi];163/12/1440 [pii]. Retrieved from PM:12824093
- Riewald, S. (2008). GPS applications in sport. *Olympic Coach*, 20(4), 18-21.

- 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. Retrieved from PM:9152686
- 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. Retrieved from PM:10731007
- Terrier, P. y Schutz, Y. (2005). How useful is satellite positioning system (GPS) to track gait parameters? A review. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 2, 28. doi:1743-0003-2-28 [pii];10.1186/1743-0003-2-28 [doi]. Retrieved from PM:16138922