

# Análisis biomecánico de la competición de 3000 m obstáculos

## Biomechanical analysis of the 3000 m steeplechase competition

Ana Ogueta-Alday, Fernando Muñoz Molleda, Juan García-López  
Universidad de León

**Resumen:** El objetivo es analizar el comportamiento de las variables cinemáticas del paso del obstáculo y la ría, su relación con el rendimiento y la influencia del género y la fatiga en la prueba de 3000 m obstáculos. Durante el XVII Mitin Ciudad de Mataró (clasificatorio para los JJOO de Londres-2012) se analizaron dos pruebas donde participaron 35 atletas (19 hombres y 16 mujeres) que fueron divididos en 3 grupos de nivel en función de su rendimiento comparado con el Récord del Mundo. Las grabaciones fueron digitalizadas mediante un análisis cinemático en 2D (Kinescan-IBV). Algunas variables en el paso del obstáculo (velocidad, distancia de batida y porcentaje tiempo de vuelo) y de la ría (velocidad y pérdida de velocidad en las últimas vueltas) fueron sensibles al nivel, y otras al género (obstáculo: velocidad y distancia de batida relativas a la velocidad de la prueba; ría: velocidad relativa a la velocidad de la prueba). Las variables que no fueron sensibles al nivel, género y fatiga permiten establecer valores de referencia para el entrenamiento (ej. distancia de ataque ~53-55% en el obstáculo y ~35-39% en la ría). En conclusión, este es el primer estudio que analiza conjuntamente la biomecánica del paso del obstáculo y la ría en una prueba de 3000 m obstáculos, relacionando variables biomecánicas con el rendimiento y el género. Se observó que existe una falta de amplitud en el paso del obstáculo en mujeres, y que tanto hombres como mujeres deberían mejorar su técnica de paso de la ría.

**Palabras clave:** Biomecánica, carrera, obstáculos, rendimiento

**Abstract:** The purpose of this study was to analyze the kinematic variables of both steeplechase and steeplechase water jumps, their relationship with performance, and the influence of some factors such as gender and fatigue during a 3000 m steeplechase competition. Two races of the XVII Athletics Meeting Ciudad de Mataró (National Trials for London-2012 Olympic Games) were recorded. Thirty-five athletes were analyzed (19 male and 16 female) and classified into 3 groups according to their competition performance level compared to the World Record. Images were digitalized by a 2D kinematic analysis (Kinescan-IBV). The results showed that some biomechanical variables of the steeplechase jump (steeplechase velocity, step length and percentage of flight time) and steeplechase water jump (steeplechase velocity and its decrease over the laps) were related to performance. Other variables were sensitive to the gender (steeplechase jump: steeplechase/competition velocity ratio and step length/steeplechase velocity ratio; steeplechase water jump: steeplechase/competition velocity ratio). The variables which were not related to performance, gender or fatigue allowed establishing reference values for training (e.g. takeoff distance of ~53-55% in the steeplechase jump and ~35-39% in the steeplechase water jump). In conclusion, this is the first study that simultaneously analyzed the biomechanics of both steeplechase and steeplechase water jumps during a 3000 m steeplechase competition, relating biomechanical variables to performance and gender. The comparisons with respect to previous studies indicated that the females had a short step length in the steeplechase, and that both male and female should improve their steeplechase water jump technique.

**Keywords:** biomechanics, running, steeplechase, performance

### Introducción

La prueba de 3000 m obstáculos consiste en ejecutar siete vueltas y media a una pista homologada de atletismo (cuerda de 400 m) sorteando un total de 35 obstáculos, 5 en cada vuelta completa (después de la primera media vuelta), de los cuales 4 se colocan en la cuerda de la pista y uno en una zona especial habilitada con un foso lleno de agua. En general, las carreras de obstáculos tienen su origen en Inglaterra, a mediados de 1800, donde parece ser que los aldeanos realizaban competiciones pedestres entre pueblos sorteando distintas barreras naturales como arbustos o cercados (Hunter & Hunter, 2004). Como prueba atlética se engloba en la disciplina de carreras de fondo, y tuvo su primera aparición, tal y como la conocemos hoy en día, en el programa de competición masculino de las Olimpiadas de 1920 en Amberes (Barris, 2009b), aunque su inclusión en el programa femenino no aconteció hasta las Olimpiadas de Beijín en 2008 (Barris, 2009a). Resulta interesante estudiar la técnica de paso del obstáculo, teniendo en cuenta que en la final de los JJOO de Londres 2012 la diferencia entre los 10 primeros clasificados fue menor de 10 segundos (IAAF, 2012).

Los antecedentes sobre análisis biomecánicos en la prueba de 3000 m obstáculos son muy escasos (Chortiatinos, Panoutsakopoulos, & Kollias, 2010; Hunter & Bushnell, 2006; Hunter, Lindsay, & Andersern, 2008), por lo que el principal cuerpo de conocimiento se ha obtenido del análisis de las pruebas de vallas en sus diferentes distancias (60, 100, 110 y 400 m) (Bollschweiler, 2008; McDonald & Dapena, 1991a y 1991b;

Salo, Grimshaw, & Marar, 1997; Salo, Grimshaw, & Viitasalo, 1997; Salo & Scarborough, 2006). Cuatro variables cinemáticas han sido identificadas como las más relacionadas con el rendimiento en el paso de la valla: alta velocidad horizontal previa a la batida, bajo ángulo de desviación del cuerpo en el despegue (ángulo formado entre la horizontal y la línea formada entre los dedos del pie y el centro de gravedad), mantenimiento de la velocidad horizontal y correcta colocación del cuerpo durante el paso del obstáculo (Bollschweiler, 2008). Sin duda, la velocidad horizontal del centro de gravedad (CG) durante el paso de la valla es la variable más relacionada con el rendimiento, debiendo minimizarse la velocidad vertical (Salo et al., 1997a).

Un interesante estudio comparó las técnicas utilizadas para pasar las vallas y los obstáculos en pruebas cortas (100 y 110 mv), medias (400 mv) y largas (3000 m obstáculos). Se observaron grandes diferencias entre ellas, lo cual destaca la necesidad de realizar análisis biomecánicos específicos de cada disciplina (Bollschweiler, 2008). Por ejemplo, las pruebas cortas presentaron menores distancias de batida que las pruebas medias, posiblemente debido a la corta distancia entre vallas y la imposibilidad de ajuste en la batida. También se observaron diferencias entre las pruebas medias y largas, a pesar de que las vallas y los obstáculos tienen similares alturas (Bollschweiler, 2008). Así, la distancia total de batida (4.30 vs 3.33 m en hombres y 3.76 vs 2.82 m en mujeres) y la distancia de ataque (2.43 vs 1.73 m en hombres y 2.09 vs 1.61 m en mujeres) fue mayor en las pruebas medias, posiblemente debido a la mayor velocidad de paso del obstáculo (9.2 vs 5.9 m/s en hombres y 8.3 vs 5.3 m/s en mujeres). Además, los atletas de media distancia elevaron menos su centro de gravedad que los de larga distancia en el paso del obstáculo, batiendo con un menor ángulo de despegue, lo que les permitió tener una menor pérdida de velocidad (11.3 vs 12.3 % en hombres y 8.1 vs 16 % en mujeres).

Además del trabajo mencionado, otros tres estudios han analizado específicamente la biomecánica de la prueba de 3000 m obstáculos (Chortiatinos et al., 2010; Hunter & Bushnell, 2006; Hunter et al., 2008), aunque uno de ellos se realizó sobre una única atleta (Chortiatinos et al., 2010). Así sabemos que los hombres tienen más dificultad que las mujeres para ajustar la batida en el obstáculo, lo que les obliga a alterar más los pasos previos al mismo (Hunter & Bushnell, 2006). En el análisis de una medallista olímpica (Gulnara Galkina-Samitova) se ha descrito que la distancia de ataque (expresada en porcentaje de la distancia de batida) disminuye con la fatiga a partir del sexto obstáculo (Chortiatinos et al., 2010). A su vez, este estudio destaca la importancia de batir con ambas piernas con el fin de alterar lo menos posible la aproximación al obstáculo. Los estudios que analizan la técnica del paso de la ría recomiendan acelerar en la fase de aproximación al obstáculo, para no perder velocidad y ralentizar la velocidad de paso (Chortiatinos et al., 2010; Hunter et al., 2008). En la comparación de hombres y mujeres en el paso de la ría se ha observado que las mujeres llegan con menos velocidad, saltan desde una altura menor, realizan menos impulso y caen más cerca (2.54 vs 2.85 m, respectivamente), por lo que su ritmo de carrera (expresado como porcentaje de velocidad en el obstáculo respecto a la prueba) se ve más afectado que el de los hombres, al contrario de lo que sucede en el resto de obstáculos (Hunter et al., 2008).

Ninguno de los estudios mencionados ha analizado la relación entre la técnica de paso del obstáculo (y la ría) y el rendimiento en la prueba de 3000 m obstáculos. Igualmente, tampoco analizan el paso del obstáculo y de la ría durante la misma competición, ni la diferencia entre hombres y mujeres de similar nivel de rendimiento. Otro factor importante es que las competiciones analizadas fueron campeonatos con el objetivo de conseguir un puesto final (medalla), por lo que la dosificación durante la prueba podría afectar al comportamiento de las variables cinemáticas. Estos aspectos constituyen los principales objetivos del presente estudio.

## Metodología

### Participantes

Las competiciones analizadas (3000 m obstáculos masculino y femenino) pertenecen al XVII Mitin Ciudad de Mataró, celebrado el 8 de julio de 2012, y clasificatorio para los Juegos Olímpicos de Londres 2012. Se registraron los pasos de los obstáculos de la recta de meta y la ría de 35 atletas (19 hombres y 16 mujeres). De los 19 hombres analizados, 8 atletas (Hombres Nivel 1) obtuvieron la marca mínima B para poder participar en los JJOO (menos de 08:32.00 mm:ss), correspondiente con un nivel de rendimiento entre el 100-110% del Récord del Mundo en esta modalidad (07:53.63 mm:ss). El resto de atletas ( $n=11$ ) obtuvieron una marca entre el 110-120% del Récord del Mundo (Hombres Nivel 2). De las 16 mujeres analizadas, ninguna obtuvo la marca mínima B (09:48.00 mm:ss), y 14 atletas (Mujeres Nivel 2) obtuvieron una marca entre el 110-120% del Récord del Mundo en esta modalidad (08:58.81 mm:ss). Los organizadores de la competición dieron su consentimiento para el análisis biomecánico, y ningún dato personal de los/as corredores/as fue utilizado (a excepción del nombre y número de dorsal), por lo que no fue necesaria su aprobación.

### Procedimiento

Dos cámaras (Casio-Exilim EX FH-25, Casio Inc, Japan) fueron colocadas perpendicularmente en el obstáculo de meta y en la ría, sobre un trípode de ~1.00 m de altura (Manfrotto, Venice, Italy). Se filmó desde el exterior de la pista (lado derecho de los atletas), a una distancia entre 20-30 m respecto a la calle 1 (Hunter et al., 2008), con una frecuencia de análisis de

120 Hz (640 x 480 píxeles). Otras dos cámaras adicionales (Casio-Exilim EX FH-25, Casio Inc, Japan) fueron colocadas con un ángulo de filmación ~45°, con el objetivo de identificar el dorsal y la posición de los atletas. Las dos cámaras perpendiculares se colocaron en línea con el obstáculo, filmando antes y después de la competición un sistema de referencia de 7 m (3.5 m antes y 3.5 m después del obstáculo) a lo largo de las 4 primeras calles (por donde habitualmente corren los atletas) (Cala, Veiga, García, & Navarro, 2009). Así, se tomaron un total de 4 puntos de referencia para la calibración del plano de la pista, con el objetivo de analizar las distancias (software Kinescan-IBV 2001, Instituto de Biomecánica, Valencia). Las referencias temporales se analizaron con un software de uso libre (Kinovea 0.8.15 para Windows, disponible en <http://www.kinovea.org>) (Balsalobre-Fernández, Tejero-González, Del Campo-Vecino & Bavaresco, 2014). Durante la competición, las cámaras no se movieron, utilizándose un disparador automático para activar la grabación del paso de los atletas por los obstáculos en cada vuelta. Por motivos técnicos no se pudieron registrar el último paso del obstáculo en la prueba de mujeres y hombres (sólo Nivel 2), y el primer paso por la primera ría en la prueba de mujeres.

Las variables biomecánicas analizadas en cada uno de los 7 pasos de los obstáculos fueron las mismas para el paso del obstáculo de meta y de la ría (Figura 1):

- Velocidad prueba ( $m \cdot s^{-1}$ ): Velocidad media de la prueba, obtenida a partir del cociente entre los 3000 m de distancia y el tiempo oficial de la prueba facilitado por la organización.
- Récord Mundial (%):  $\text{Tiempo oficial de la prueba} \cdot 100 \cdot \text{Tiempo de Récord Mundial}^{-1}$
- Velocidad obstáculo ( $m \cdot s^{-1}$ ): Velocidad media en el paso del obstáculo, obtenida por el cociente entre la distancia y el tiempo empleados desde el despegue del penúltimo paso antes del salto del obstáculo hasta el final del apoyo en el paso posterior al aterrizaje, de acuerdo con estudios previos (Hunter & Bushnell, 2006).
- $v_{\text{Obstáculo}}/v_{\text{Prueba}}$ : Velocidad obstáculo  $\cdot 100 \cdot \text{Velocidad prueba}^{-1}$  (Hunter & Bushnell, 2006, Hunter et al., 2008)
- Distancia de batida (m): Distancia desde la parte anterior de la zapatilla en el último apoyo previo al salto del obstáculo y el primer apoyo en el aterrizaje del salto (Hunter

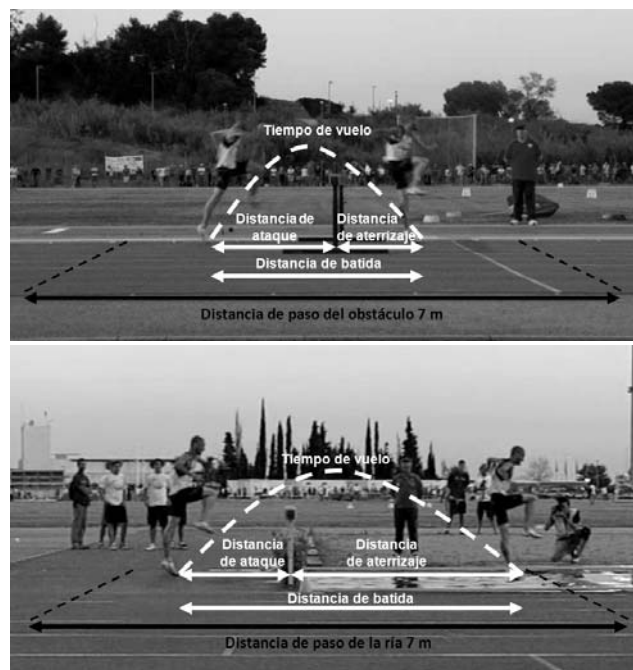


Figura 1.-Esquema de las principales variables cinemáticas analizadas durante el paso del obstáculo en la recta de meta (arriba) y en la ría (abajo), durante la prueba de 3000 m obstáculos.

& Bushnell, 2006, Hunter et al., 2008).

- Distancia de ataque (m): Distancia desde la parte anterior de la zapatilla en el último apoyo previo al salto del obstáculo y el obstáculo (Hunter & Bushnell, 2006, Hunter et al., 2008).
- Distancia de ataque (%):  $\text{Distancia de ataque} \cdot 100 \cdot \text{Distancia de batida}^{-1}$
- dBatida/vObstáculo:  $\text{Distancia de batida} \cdot 100 \cdot \text{Velocidad obstáculo}^{-1}$
- Tiempo de vuelo (s): Tiempo entre el primer fotograma en el aire en el apoyo previo al salto del obstáculo hasta el primer fotograma en el suelo en el aterrizaje del salto (Hunter et al., 2008).
- Tiempo de vuelo (%):  $\text{Tiempo de vuelo} \cdot 100 \cdot \text{Tiempo empleado en los 7 m}^{-1}$
- Ataque pierna derecha (%): Porcentaje de veces que se utiliza la pierna derecha para atacar el obstáculo.
- Pérdida de velocidad (%): Diferencia entre la velocidad media de los últimos 3 obstáculos (vf) y la velocidad media en los primeros 3 obstáculos (vi):  $100 \cdot [(\text{vf} \cdot 100 \cdot \text{vi}^{-1})]$ .
- Pérdida de distancia (%): Diferencia entre la distancia de batida media de los últimos 3 obstáculos (df) y los primeros 3 obstáculos (di):  $100 \cdot [(\text{df} \cdot 100 \cdot \text{di}^{-1})]$ .

La objetividad de los datos relativos al tiempo y distancia extraídos de los diferentes pasos de los obstáculos se garantizó mediante la realización de un estudio piloto de fiabilidad inter e intra-observador. Dos investigadores digitalizaron dos veces la misma secuencia de atletas durante uno de los pasos por el obstáculo de meta y ría. Los dos análisis realizados por cada investigador estuvieron separados por, al menos, un tiempo de dos semanas. No se observaron diferencias sistemáticas en el análisis test-retest, siendo los coeficientes de variación < 2% (entre 0.2-1.9%) y los de correlación > 0.95 (0.96-1.00). Tampoco se observaron diferencias al comparar los resultados de ambos investigadores, que tuvieron un coeficiente de variación entre 0.4-1.8% y una correlación entre 0.95-0.99. Estos valores son similares a los descritos por otros autores para garantizar la fiabilidad intra- e inter-observador (Krustrup & Bangsbo, 2001). Los análisis del presente trabajo fueron realizados por el mismo investigador. Siguiendo las indicaciones de estudios previos para

mejorar la fiabilidad de las variables cinemáticas (Salo et al., 1997b; Salo & Scarborough, 2006), se tomó como valor representativo de cada una de ellas en el paso de los obstáculos de meta y ría la media de los 6-7 registros de cada uno de los atletas.

### Análisis estadístico de los datos

Los resultados son expresados como media  $\pm$  DS. El software SPSS+ V.17.0 fue utilizado para el análisis estadístico (SPSS, Inc., Chicago, IL, USA). El test de Kolmogorov-Smirnov fue aplicado para asegurar la distribución normal de todas las variables analizadas. La correlación entre variables (fiabilidad intra- e inter-observador) fue obtenida con la prueba de Pearson. Un análisis de la varianza (ANOVA) de una vía fue utilizado para comparar los resultados obtenidos por los 3 grupos de atletas (Hombres Nivel 1, Hombres Nivel 2 y Mujeres Nivel 2), analizando así el efecto del nivel (en hombres) y del género (entre los niveles 2 en hombres y mujeres). Un ANOVA de una vía para medidas repetidas fue utilizado para analizar el efecto de la fatiga en las variables biomecánicas del paso del obstáculo/ría. La prueba post-hoc de Newman-Keuls se utilizó para establecer diferencias entre las medias. Valores de  $p < 0.05$  fueron considerados estadísticamente significativos.

### Resultados

La Tabla 1 muestra las variables cinemáticas en el paso del obstáculo. Se obtuvieron diferencias significativas entre los Hombres Nivel 1 y Nivel 2 ( $p < 0.05$ ) en la velocidad en el obstáculo, distancia de batida y porcentaje de tiempo de vuelo. Al comparar Hombres y Mujeres Nivel 2, no se obtuvieron diferencias significativas en el porcentaje del récord mundial ( $p > 0.05$ ), y sí en la velocidad en el obstáculo, distancia de batida, distancia de batida relativa a la velocidad en el obstáculo, tiempo de vuelo y porcentaje de tiempo de vuelo ( $p < 0.05$ ), que fueron mayores en los hombres. Sin embargo, las mujeres obtuvieron mayor velocidad en el obstáculo respecto a la velocidad media de la prueba que los hombres ( $p < 0.05$ ). No se observaron diferencias significativas en el porcentaje de uso de la pierna derecha como pierna de ataque al obstáculo en función del rendimiento y/o género.

La Tabla 2 muestra las variables cinemáticas en el paso de la ría. Se obtuvieron diferencias significativas entre los Hombres Nivel 1 y Nivel 2 ( $p < 0.05$ ) en la velocidad en la ría y pérdida de velocidad en los últimos pasos de ría. Al comparar Hombres y Mujeres Nivel 2, los hombres obtuvieron mayores valores en la velocidad en la ría, velocidad media en la ría respecto a la velocidad media de la prueba, distancia de batida y porcentaje de tiempo de vuelo ( $p < 0.05$ ). No se observaron diferencias significativas en el porcentaje de uso de la pierna derecha como pierna de ataque al obstáculo en función del rendimiento y/o género.

La Figura 2 ilustra el comportamiento de la velocidad media y la distancia de batida en el paso del obstáculo de meta durante las 7 vueltas de la prueba. El ANOVA mostró una disminución significativa ( $p < 0.05$ ) de ambas variables en los Hombres Nivel 1 y Hombres Nivel 2, mientras que en las Mujeres Nivel 2 sólo disminuyó la velocidad, y no la distancia de batida ( $p = 0.09$ ). A lo largo de las 7 vueltas de la prueba no se observaron cambios en el porcentaje de distancia de ataque en ninguno de los grupos analizados ( $p > 0.05$ ). Al analizar estas dos variables en el paso del obstáculo de la ría (Figura 3), también se observó una disminución significativa ( $p < 0.01$ ) en los Hombres Nivel 1 y Hombres Nivel 2, pero no en las Mujeres Nivel 2 ( $p > 0.05$ ). Si existieron cambios significativos ( $p < 0.05$ ) en el porcentaje de distancia de ataque en los Hombres Nivel 1 (desde 33.3 hasta 36.7%) y Hombres Nivel 2 (desde 34.1 hasta 36.6%), pero no en las Mujeres Nivel 2 ( $p > 0.05$ ).

Tabla 1. Media  $\pm$  DS de las variables cinemáticas registradas durante los 7 pasos del obstáculo de meta en los diferentes grupos de corredores/as (hombres y mujeres, niveles 1 y 2).

	Hombres Nivel 1 (n=8)	Hombres Nivel 2 (n=11)	Mujeres Nivel 2 (n=14)
Tiempo prueba (s)	505.6 $\pm$ 3.6 *	540.7 $\pm$ 4.7 †	624.7 $\pm$ 17.1
Récord Mundial (%)	106.8 $\pm$ 0.8 *	114.1 $\pm$ 3.1	115.9 $\pm$ 3.2
Velocidad prueba (m·s <sup>-1</sup> )	5.93 $\pm$ 0.04 *	5.55 $\pm$ 0.15 †	4.81 $\pm$ 0.13
Velocidad obstáculo (m·s <sup>-1</sup> )	5.92 $\pm$ 0.21 *	5.38 $\pm$ 0.18 †	4.91 $\pm$ 0.34
vObstáculo/vPrueba (%)	99.7 $\pm$ 3.1	97.0 $\pm$ 3.4 †	102.2 $\pm$ 5.3
Distancia batida (m)	3.25 $\pm$ 0.14 *	2.96 $\pm$ 0.13 †	2.38 $\pm$ 0.21
Distancia ataque (%)	53.9 $\pm$ 5.7	53.2 $\pm$ 3.9	55.1 $\pm$ 4.5
dBatida/vObstáculo (s)	0.55 $\pm$ 0.03	0.55 $\pm$ 0.02 †	0.48 $\pm$ 0.02
Tiempo de vuelo (s)	0.480 $\pm$ 0.044	0.501 $\pm$ 0.022 †	0.454 $\pm$ 0.041
Tiempo de vuelo (%)	40.5 $\pm$ 2.6 *	38.4 $\pm$ 1.5 †	31.7 $\pm$ 2.1
Ataque pierna derecha (%)	32.1 $\pm$ 26.2	53.0 $\pm$ 33.5	52.4 $\pm$ 31.9
Pérdida de velocidad (%)	2.2 $\pm$ 3.3	5.8 $\pm$ 7.3	3.8 $\pm$ 4.9
Pérdida de distancia (%)	3.2 $\pm$ 4.3	7.4 $\pm$ 8.8	3.9 $\pm$ 5.7

Hombres Nivel 1 (marca < 110% récord del Mundo), Hombres Nivel 2 y Mujeres Nivel 2 (marca 110-120% récord del Mundo). Récord Mundial, tiempo invertido en la prueba en comparación con el Récord del Mundo; Velocidad prueba, velocidad media de la prueba; Velocidad obstáculo, velocidad media de paso del obstáculo, vObstáculo/vPrueba, velocidad media en el paso del obstáculo respecto a la velocidad media de la prueba; dBatida/vObstáculo, distancia de batida del obstáculo relativizada por la velocidad media en el paso del obstáculo; Ataque pierna derecha, porcentaje de utilización de la pierna derecha como pierna de ataque; Pérdida de velocidad y pérdida de distancia, pérdida de velocidad y distancia en los 3 últimos pasos de obstáculo respecto a los 3 primeros pasos. Ver Figura 1 para definición de otras variables. Diferencias significativas ( $p < 0.05$ ): \* Hombres Nivel 1 vs Hombres Nivel 2, † Hombres Nivel 2 vs Mujeres Nivel 2.

Tabla 2. Media  $\pm$  DS de las variables cinemáticas registradas durante los 7 pasos del obstáculo de la ría en los diferentes grupos de corredores/as (hombres y mujeres, niveles 1 y 2).

	Hombres Nivel 1 (n=8)	Hombres Nivel 2 (n=11)	Mujeres Nivel 2 (n=14)
Velocidad obstáculo (m·s <sup>-1</sup> )	5.23 $\pm$ 0.3 *	4.99 $\pm$ 0.24 †	3.85 $\pm$ 0.28
vObstáculo/vPrueba (%)	88.1 $\pm$ 4.7	90.0 $\pm$ 5.7 †	80.0 $\pm$ 4.6
Distancia batida (m)	4.11 $\pm$ 0.28	3.98 $\pm$ 0.26 †	2.97 $\pm$ 0.29
Distancia ataque (%)	35.4 $\pm$ 1.8	36.0 $\pm$ 2.9	38.9 $\pm$ 6.1
dBatida/vObstáculo (s)	0.79 $\pm$ 0.08	0.80 $\pm$ 0.06	0.77 $\pm$ 0.06
Tiempo de vuelo (s)	0.733 $\pm$ 0.08	0.727 $\pm$ 0.074	0.683 $\pm$ 0.081
Tiempo de vuelo (%)	53.3 $\pm$ 5.4	51.7 $\pm$ 4.6 †	37.6 $\pm$ 5.1
Ataque pierna derecha (%)	58.9 $\pm$ 40.7	66.8 $\pm$ 41.1	64.3 $\pm$ 39.7
Pérdida de velocidad (%)	0.2 $\pm$ 4.4 *	7.5 $\pm$ 6.1	3.5 $\pm$ 7.3
Pérdida de distancia (%)	3.3 $\pm$ 6.5	6.1 $\pm$ 4.4	2.6 $\pm$ 7.4

Hombres Nivel 1 (marca < 110% récord del Mundo), Hombres Nivel 2 y Mujeres Nivel 2 (marca 110-120% récord del Mundo). Ver Tabla 1 para la definición de las variables. Diferencias significativas ( $p < 0.05$ ): \* Hombres Nivel 1 vs Hombres Nivel 2, † Hombres Nivel 2 vs Mujeres Nivel 2.

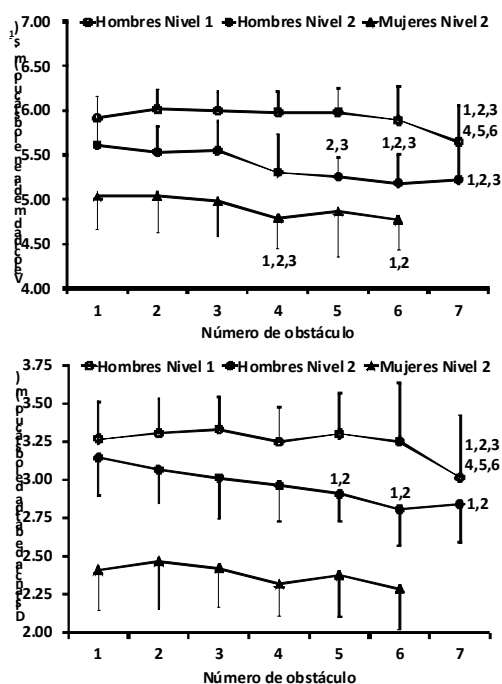


Figura 2.-Velocidad media (izquierda) y distancia de batida (derecha) en el paso del obstáculo de meta a lo largo de las 7 vueltas de la prueba de 3000 m obstáculos. Hombres Nivel 1 (marca <110% récord del Mundo), Hombres Nivel 2 y Mujeres Nivel 2 (marca 110-120% récord del Mundo). Diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) respecto al número de obstáculo indicado. Por problemas técnicos no se pudo registrar el último obstáculo en las Mujeres.

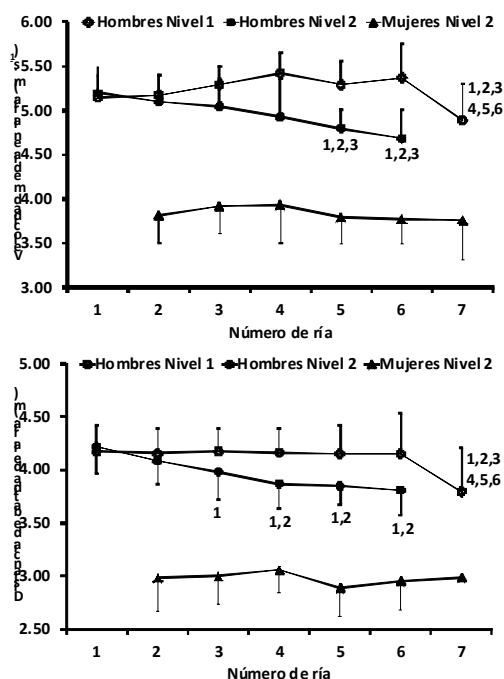


Figura 3.-Velocidad media (izquierda) y distancia de batida (derecha) en el paso del obstáculo de la ría a lo largo de las 7 vueltas de la prueba de 3000 m obstáculos. Hombres Nivel 1 (marca <110% récord del Mundo), Hombres Nivel 2 y Mujeres Nivel 2 (marca 110-120% récord del Mundo). Diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) respecto al número de ría indicado. Por problemas técnicos no se pudo registrar la última ría en los Hombres Nivel 2 y la primera en las Mujeres Nivel 2.

## Discusión

El presente estudio es el primero que intenta relacionar la técnica de paso del obstáculo en la prueba de 3000 m obstáculos con el rendimiento. Igualmente, es el primer estudio que se realiza en condiciones de competición para obtener una mejor marca personal (clasificatoria para los JJOO Olímpicos de Londres 2012), y que compara tanto el paso del obstáculo como el de la ría, analizando el efecto del género. Así, se identifican una serie de variables cinemáticas que han sido sensibles al nivel de rendimiento en el paso del obstáculo de meta (velocidad, distancia de batida y porcentaje tiempo de vuelo), y otras en el paso

del obstáculo de la ría (velocidad y pérdida de velocidad media en las últimas vueltas). Además de estas variables, otras han sido sensibles al género en el paso del obstáculo de meta (velocidad de paso del obstáculo en comparación con la velocidad de la prueba y la distancia de batida relativa a la velocidad media en el obstáculo) y en la ría (velocidad de paso de la ría en comparación con la velocidad de la prueba). Igualmente, otras variables que no han sido sensibles al rendimiento y al género nos permiten establecer valores de referencia que pueden ser de utilidad para su aplicación al entrenamiento o el análisis de la competición (ej. proporción de las distancias de ataque y aterrizaje durante la batida).

Al analizar el grupo de Hombres Nivel 1 en el obstáculo de meta (Tabla 1), tanto el rendimiento como las variables cinemáticas obtenidas son muy similares a las mostradas en un estudio anterior realizado durante un Campeonato Final en EEUU (Bollsweiler, 2008). Así, el rendimiento medio fue del 106.8 vs 108% respecto al Récord del Mundo, la velocidad media de paso del obstáculo fue de 5.92 vs 5.88 m/s, la distancia de batida fue de 3.25 vs 3.33 m y el porcentaje de distancia de ataque fue del 53.9 vs 51.9%, respectivamente. Sin embargo, en el grupo de Mujeres Nivel 2, comparadas con mujeres de un nivel de rendimiento bastante similar del mencionado Campeonato (115.9 vs 113.1%, respectivamente), mostraron una menor velocidad de paso del obstáculo (4.91 vs 5.26 m/s, respectivamente) y menor distancia de batida (2.38 vs 2.82 m, respectivamente), sin diferencias en el porcentaje de distancia de ataque (55.1 vs 57.1%, respectivamente) (Bollsweiler, 2008). Estas diferencias observadas en las mujeres podrían deberse a distintas técnicas de abordaje del obstáculo, con una mayor amplitud de paso del obstáculo en el estudio mencionado (Bollsweiler, 2008). En él, las mujeres tenían un rendimiento del 2.8% superior a las del presente estudio, mientras su paso por el obstáculo fue un 7.1% más rápido, y su distancia de batida un 18.5% más larga. Podríamos concluir entonces, que el grupo de Hombres Nivel 1 se comporta de manera muy similar al estudio mencionado, porque la velocidad de paso del obstáculo respecto a la velocidad de la prueba es de un 99.7 y 100%, respectivamente. Sin embargo, el grupo de mujeres no pasa el obstáculo tan rápido como en el estudio anterior, siendo los valores de 102.2 y 107%, respectivamente.

Al analizar el grupo de Hombres Nivel 1 en el paso de la ría (Tabla 2), se pueden establecer comparaciones con otro estudio realizado durante la final de un Campeonato en EEUU (Hunter & Bushnell, 2006). Aunque el rendimiento medio fue mejor en el presente trabajo (106.8 vs 109.4%, respectivamente), la velocidad media de paso de la ría (5.23 vs 5.44 m/s, respectivamente) y la distancia de batida (4.11 vs 4.51 m, respectivamente) fueron menores, con bastante similitud en los porcentajes de distancia de ataque (35.4 vs 36.8%, respectivamente). Los Hombres Nivel 1 del presente estudio presentaron peor rendimiento en el paso de la ría respecto al estudio de Hunter y Bushnell (2006), a juzgar a partir de la velocidad de paso de la ría respecto a la velocidad de la prueba, que fue de 88.1 y 94.0%, respectivamente. En el grupo de Mujeres Nivel 2 el nivel de rendimiento fue un 4.4% menor que en el mencionado estudio (115.9 vs 111.5%, respectivamente), con un 20% menos de velocidad media en la ría (3.85 vs 4.62 m/s, respectivamente) y un 33% menos de distancia de batida (2.97 vs 3.95 m, respectivamente). Además, la velocidad de paso de la ría respecto a la velocidad de la prueba fue mucho menor (80.0 y 93.0%, respectivamente). El análisis de los resultados del paso de la ría, tanto en hombres como en mujeres, apunta a una falta de técnica por parte de las atletas que se han analizado en este estudio.

Según hemos podido observar, los porcentajes de distancia de ataque en el obstáculo de meta son bastante similares entre estudios (presente estudio y Bollsweiler, 2008), niveles (Hom-

bres Nivel 1 y Nivel 2) y género (hombres vs mujeres). Hasta día de hoy, sólo se conocían estos porcentajes para las pruebas de 110 y 100 mv (entre el 59-64% de la distancia de batida), estableciéndose que una mayor distancia de ataque es recomendada para mantener una alta velocidad horizontal (Salo et al., 1997a). Teniendo en cuenta que la prueba de 3000 m obstáculos exige una menor velocidad que los 100 y 110 mv, podríamos establecer como porcentajes normales de distancia de ataque entre un 53-55%, independientemente de su nivel de rendimiento y género. Un trabajo anterior que analizó estos porcentajes en la prueba de 400 mv masculino y femenino, estableció un 56.6 y 55.6%, respectivamente (Bollschweiler, 2008), muy parecido a los resultados que se han obtenido en 3000 m obstáculos. Esta similitud puede ser debida a que la altura de la valla y el obstáculo son similares (0.914 m para hombres y 0.762 m para mujeres), y a que los atletas pueden ajustar los pasos previos para pasar el obstáculo/valla, cuestión que no puede llevarse a cabo en 100 y 110 mv, donde el número de pasos está limitado por la distancia entre vallas. De otra parte, teniendo en cuenta los resultados del presente estudio y de Hunter y Bushnell (2006) para hombres (35.4 y 36.8%, respectivamente) y mujeres (38.9 y 35.7%, respectivamente), los porcentajes normales de distancia de ataque de la ría pueden establecerse entre un 35-39% para hombres y mujeres, independientemente de su nivel de rendimiento y/o distancia de batida. Este porcentaje es claramente menor que en el obstáculo, principalmente debido a que la mayoría de los atletas se apoyan en el obstáculo para impulsarse y llegar lo más lejos posible sin caer al foso.

Al comparar hombres y mujeres de similar nivel de rendimiento (Nivel 2) en el paso del obstáculo de meta (Tabla 1), no se obtuvieron diferencias en el porcentaje de récord del mundo, por lo que el rendimiento relativo en la prueba es comparable, fundamentalmente en aquellas variables que están relativizadas (velocidad de paso del obstáculo/ría relativa a la velocidad de la prueba, porcentaje de distancia de ataque, distancia de batida relativa a la velocidad en el obstáculo, etc.). Así, la velocidad media del obstáculo respecto a la velocidad media de la prueba fue menor en los hombres (97.0 y 102.2%, respectivamente), con una mayor distancia de batida en función de la velocidad media a la que pasaron el obstáculo (0.55 y 0.48 s, respectivamente) y un mayor porcentaje de tiempo de vuelo (38.4 y 31.7%, respectivamente). Estos resultados podrían determinar que el obstáculo afecta más a los hombres que a las mujeres, disminuyendo en mayor medida su velocidad, exigiéndoles una mayor distancia de batida y un mayor tiempo de vuelo, lo cual ya ha sido descrito en estudios anteriores (Hunter & Bushnell, 2006). La altura del obstáculo en mujeres es relativamente más baja que en los hombres, ya que supone un 83.4% respecto de aquéllos (0.762 y 0.914 m, respectivamente), cuando se ha descrito que su estatura es ~92% la de los hombres (Ogden, Fryar, Carroll & Flegal, 2004). Por el contrario, al comparar hombres y mujeres de similar nivel de rendimiento (Nivel 2) en el paso de la ría (Tabla 2), los hombres obtienen un mayor porcentaje de velocidad que las mujeres (90.0 y 80.0%, respectivamente), lo que indica que el paso de la ría afecta más al género femenino que al masculino. Esta mayor pérdida de velocidad en las mujeres puede ser debida a que caen más abajo en el foso de agua, como consecuencia de una menor distancia de batida, por lo que tienen más dificultades para salir del foso, como ya se ha mencionado en estudios anteriores (Chortiatinos et al., 2010; Hunter et al., 2008). El hecho de apoyar una pierna en el obstáculo de la ría (cuestión que no ocurre en los otros obstáculos) hace que los hombres puedan aprovechar más su fuerza para impulsarse y caer más lejos del obstáculo, hundiéndose menos en el foso de agua. Por ello, en el presente estudio se observa que el porcentaje de tiempo de vuelo es mucho mayor en los hombres que en las mujeres (51.7 y 37.6%, respectivamente), respecto a los

datos registrados en el paso del obstáculo (38.4 y 31.7%, respectivamente).

En todos los grupos analizados se ha observado, en el obstáculo de meta, una pérdida de velocidad media y de distancia de batida conforme evoluciona la prueba (Figura 2), lo cual podría estar relacionado con la fatiga. Cualitativamente los Hombres Nivel 1 retrasan el punto de aparición de la fatiga, que sólo se manifiesta en el último obstáculo, mientras que en los Hombres Nivel 2 y Mujeres Nivel 2 la disminución es progresiva. La fatiga no afectó a los porcentajes de distancia de ataque en ninguno de los grupos analizados, lo que sería contrario a lo comentado en un estudio anterior, describiendo que durante la prueba este porcentaje disminuye a partir del sexto obstáculo, debido a la fatiga (Chortiatinos et al., 2010). Posiblemente esta discrepancia se deba a que en el estudio mencionado se trataba de un caso único realizado sobre una medallista olímpica (Gulnara Galkina-Samitova), pudiendo tratarse de un comportamiento individual. Por lo tanto, observamos que el porcentaje de distancia de ataque es independiente del nivel, género y fatiga, y comparable a los resultados obtenidos por otros estudios (Bollschweiler, 2008), confirmándose los porcentajes de distancias de ataque del obstáculo en hombres y mujeres que se han comentado anteriormente.

Al analizar la influencia de la fatiga en el paso de la ría, los resultados obtenidos en Hombres Nivel 1 y Nivel 2 son similares a los comentados para el paso del obstáculo, tanto para la velocidad media como para la distancia de batida (Figura 3). Sin embargo, en las mujeres ambas variables permanecen constantes a lo largo de la prueba. Esto podría deberse a una menor técnica de las mujeres en el paso de la ría, que les hace disminuir drásticamente su velocidad, siendo más fácil de reproducir en los sucesivos pasos de ría, respecto a si la velocidad fuera relativamente más alta (como ocurre en los hombres).

Una limitación del presente estudio fue no poder contar con Mujeres Nivel 1, para haberlas comparado con Hombres Nivel 1 y Mujeres Nivel 2. Esto se debe a que el nivel de rendimiento de las atletas femeninas españolas en la prueba de 3000 m obstáculos es bastante menor que el nivel de los atletas masculinos. De hecho, en el ranking anual de la Real Federación Española de Atletismo sólo 3 mujeres obtuvieron la marca mínima B para los JJOO de Londres, mientras que fueron 9 hombres los que la obtuvieron. Futuros trabajos deberían intentar resolver este problema, analizando el comportamiento de un grupo de Mujeres Nivel 1. Otra limitación del estudio es haber analizado únicamente el obstáculo de meta, y no el de contrameta o curva, que pudieran mostrar un comportamiento diferente de aquél. Futuros estudios podrían llevar a cabo esta comparativa. Además, en el análisis del punto de aterrizaje del pie tras el paso de la ría se han tenido ciertos problemas de identificación de dicho punto, debido a las salpicaduras de agua de los atletas al caer en el foso. Posiblemente una visión cenital de la ría resolvería el mencionado problema. Sin embargo, trabajos anteriores sobre la biomecánica del paso de vallas ponen de relieve la importancia de intentar recopilar datos durante la competición en vez de durante el entrenamiento (Salo et al., 1997a), a pesar de que pueden existir limitaciones como las que se han mencionado anteriormente, ya que se aumenta la validez ecológica y aplicabilidad de los resultados. En el caso concreto de las competiciones de fondo y medio fondo, es importante asegurar que se corre con la intención de obtener la mejor marca personal, y no para obtener un puesto (sólo se corre a la máxima velocidad posible en las últimas vueltas).

## Conclusiones

Este es el primer estudio que analiza conjuntamente el paso del obstáculo y la ría durante una prueba de 3000 m obstáculos,

intentando relacionar las variables biomecánicas con el rendimiento deportivo, así como el efecto del género. La velocidad media de paso por el obstáculo, distancia de batida y porcentaje de tiempo de vuelo han sido sensibles al nivel de rendimiento en el paso del obstáculo de meta, mientras que la velocidad media y la capacidad de mantenerla en sucesivas vueltas han sido sensibles al nivel de rendimiento en el paso de la ría. Al analizar el efecto del género (nivel similar), la velocidad de paso del obstáculo de meta fue relativamente mayor en las mujeres, lo contrario de lo que ocurrió en la ría. Esto puede justificarse por una menor altura relativa del obstáculo y similar longitud de la ría para una menor fuerza de impulsión, respectivamente. Los valores registrados en los hombres de mayor nivel en el obstáculo de meta son comparables a los referidos en estudios anteriores que sólo analizaron el paso del obstáculo; no así en las mujeres, que denotan una falta de amplitud en el paso del obstáculo. Los hombres y mujeres del presente estudio deberían mejorar su técnica de paso de la ría, que es demasiado lenta respecto a trabajos anteriores con atletas de similar nivel de rendimiento. A partir de los hallazgos de este y otros estudios, pueden establecerse unos porcentajes de distancia de ataque de ~53-55% en el obstáculo de meta y ~35-39% en la ría, independientes del nivel, género y fatiga. Esto puede tener implicaciones prácticas en el entrenamiento, ya que conociendo la velocidad y/o distancia de batida, se pueden colocar referencias visuales para ajustar el ataque y aterrizaje del obstáculo. En el paso del obstáculo de meta existe una disminución progresiva de la velocidad y la distancia de batida, que puede deberse al efecto de la fatiga, y que parece menor en los hombres de mayor nivel. En la ría, esta disminución sólo acontece en los hombres, y no en las mujeres, debido a su menor velocidad de paso desde el principio. Futuros trabajos realizados en competiciones con el objetivo de obtener la mejor marca personal deberían intentar incorporar un grupo de Mujeres Nivel 1, y solucionar alguno de los problemas metodológicos que se han observado en el presente trabajo (ej. análisis de más número de obstáculos).

### Agradecimientos

A la organización del XVII Mitin Ciudad de Mataró por autorizar el acceso a la pista y la realización de las filmaciones para llevar a cabo este trabajo, y sin los cuales no hubiera podido realizarse. A Oscar Domínguez Castrillo por su colaboración durante la fase experimental del estudio. Gracias también al Gobierno Vasco, por contribuir con una beca predoctoral de investigación.

### Referencias

- Balsalobre-Fernández, C., Tejero-González, C.M., Del Campo-Vecino, J., & Bavaresco, N. (2014). The concurrent validity and reliability of a low-cost, high-speed camera-based method for measuring the flight time of vertical jumps. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(2), 528-533.
- Barris, T. (2009a). Referentes históricos de los 3000 metros obstáculos femeninos. *Barris.org*. <<http://www.barris.org/noticiaslinks/3000femenino.html>> [consulta 10/12/2013]
- Barris, T. (2009b). Referentes históricos de los 3000 metros obstáculos masculinos. *Barris.org*. <[http://www.barris.org/noticiaslinks/3000\\_obs\\_mascu.html](http://www.barris.org/noticiaslinks/3000_obs_mascu.html)> [consulta 10/12/2013]
- Bollschweiler, L. (2008). A Biomechanical Analysis of Male and Female Intermediate Hurdles and Steeplechasers. Trabajo de Master, Brigham Young University, Provo.
- Cala, A., Veiga, S., García, A., & Navarro, E. (2009). Previous cycling not affect running efficiency during a triathlon world cup competition. *The Journal of Sports Medicine and*

- Physical Fitness*, 49(2), 152-158.
- Chortiatinos, G.X., Panoutsakopoulos, V., & Kollias, I.A. (2010). 3D Biomechanical Analysis of Galina-Samitova's Steeplechase Hurdling. *IAAF*, 25(3/4), 81-93.
- Hunter I., & Hunter, R. (2004) A History of the Steeplechase (1849-2004). *biomech.byu.edu*. <<http://biomech.byu.edu/Portals/82/docs/steeplechase/history.pdf>> [consulta 10/12/2013]
- Hunter, I., & Bushnell, T. (2006). Steeplechase barriers affect women less than men. *Journal of Sports Science and Medicine*, 5(2), 318-322.
- Hunter, I., Lindsay, B.K., & Andersern, K.R. (2008). Gender differences and biomechanics in the 3000 m steeplechase water jump. *Journal of Sports Science and Medicine*, 7(2), 218-222.
- IAAF. (2012). The XXX Olympic Games – Final 3000 Metres Steeplechase – men. *iaaf.org*. <<http://www.iaaf.org/results/olympic-games/2012/the-xxx-olympic-games-4871/men/3000-metres-steeplechase/final/result>> [consulta 13/03/2014]
- Krustrup, P., & Bangsbo, J. (2001). Physiological demands of top-class soccer refereeing in relation to physical capacity: effect of intense intermittent exercise training. *Journal of Sports Sciences*, 19(11), 881-891.
- McDonald, C., & Dapena, J. (1991a). Angular momentum in the men's 110-m and women's 100-m hurdles races. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 23(12), 1392-1402.
- McDonald, C., & Dapena, J. (1991b). Linear kinematics of the men's 110-m and women's 100-m hurdles races. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 23(12), 1382-1391.
- Ogden, C.L., Fryar, C.D., Carroll, M.D., & Flegal, K.M. (2004). Mean body weight, height, and body mass index, United States 1960-2002. *Advance Data*, 27(347), 1-17.
- Salo, A., Grimshaw, P.N., & Marar, L. (1997a). 3-D biomechanical analysis of sprint hurdles at different competitive levels. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 29(2), 231-237.
- Salo, A., Grimshaw, P.N., & Viitasalo, J.T. (1997b). Reliability of variables in the kinematic analysis of spring hurdles. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 29(3), 383-389.
- Salo, A.I., & Scarborough, S. (2006). Changes in technique within a sprint hurdle run. *Sports Biomechanics*, 5(2), 155-166.

