

Monograph

# Diferencias Sexuales y Biomecánicas en el Salto a la Fosa durante la Carrera de 3000 m con Obstáculos

Ian Hunter<sup>1</sup>, Bryan K Lindsay<sup>1</sup> y Kassi R Andersen<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Brigham Young University, Provo, UT, USA

## RESUMEN

Desde 1996, las mujeres han competido a nivel internacional en la carrera de 3000 m con obstáculos. Si bien los hombres y mujeres compiten en eventos similares con diferentes dispositivos (los obstáculos son más bajos para las mujeres) se debería considerar de que manera habría que entrenar la técnica en forma diferenciada. En el presente estudio se investigaron las diferencias en el salto a la fosa entre los hombres y las mujeres luego de determinar las diferencias en la velocidad de llevar y que técnicas se utilizan para mantener el ritmo de carrera durante el salto a la fosa. Dieciocho hombres y dieciocho mujeres fueron filmados durante dos competiciones de atletismo en la temporada 2004. Se utilizó el Sistema de Medición del Movimiento Peak Motus 8.2 para digitalizar los siete saltos de cada atleta. Se midieron o calcularon diversas características del salto a la fosa y se compararon utilizando el análisis de regresión lineal (uno para los hombres y uno para las mujeres) para determinar que características derivaban en el mantenimiento del ritmo y velocidad de carrera durante el paso por la fosa. Se utilizó el análisis de varianza ANOVA para medidas repetidas, para determinar cualquier diferencia que pudiera existir entre los hombres y las mujeres en las características de la técnica. La velocidad durante el salto dividida por el ritmo de carrera fue estimado pudo predecirse muy bien a partir de la velocidad de aproximación y de la distancia de toma de contacto con el suelo tanto para los hombres como para las mujeres. Las otras características del movimiento no fueron significativas. Se hallaron diferencias sexuales respecto de: la velocidad de aproximación, la distancia de despegue, la distancia de toma de contacto con el suelo, el ángulo de batida, la velocidad durante el salto y la velocidad de salida. Los hombres y las mujeres que participan en la carrera de 3000 m con obstáculos deberían enfocarse en la velocidad de aproximación y la distancia de toma de contacto con el suelo para completar el paso por la fosa a su ritmo de carrera. Los entrenadores deberían considerar las diversas características de la técnica que diferencian a los hombres y las mujeres.

**Palabras Clave:** pista y campo, atletismo, vallas, carrera, biomecánica

## INTRODUCCION

La prueba de 3000 m con obstáculos requiere de la combinación de resistencia, potencia y técnica. En comparación con la prueba de 3000 m planos en donde no existen pasos por la fosa u obstáculos, los corredores que participan en los 3000 m con obstáculos finalizan la prueba en unos 30 s más (Popov, 1983). Los atletas que participan en la prueba de 3000 m con obstáculos deben transponer 35 obstáculos durante los 3000 m. Siete de estos obstáculos están seguidos por una fosa con agua de 3.66 m que tiene una pendiente ascendente que se eleva hasta alcanzar el nivel de la pista a partir de una profundidad de 0.70 m (Figura 1). Los mayores tiempos registrados durante las pruebas de 3000 m con obstáculos en

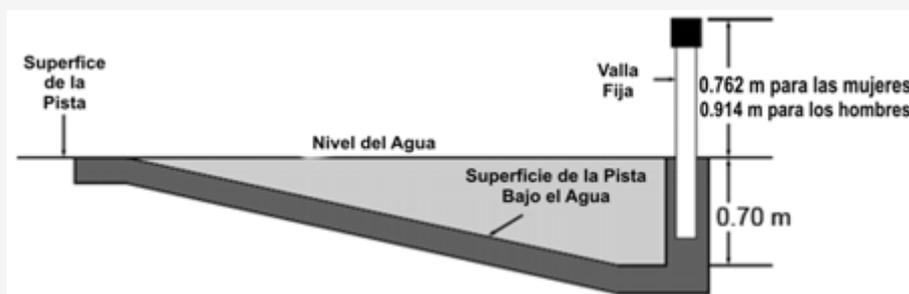
comparación con los 3000 m planos muestran el efecto que tienen los obstáculos sobre el rendimiento. Si bien el entrenamiento y los parámetros fisiológicos son los principales determinantes del rendimiento en las pruebas con obstáculos (Kenney and Hodgson, 1985), la utilización de ciertos ajustes en la técnica utilizada para sortear la fosa pueden ayudar a mejorar el rendimiento tal como se ha demostrado para las pruebas con obstáculos y las pruebas de velocidad con vallas (Hunter and Bushnell, 2006; McDonald and Dapena, 1991).

La altura de los obstáculos, en las pruebas con obstáculos, son iguales a la altura de las vallas utilizadas en las pruebas de 400 m (0.762 m y 0.914 m para las mujeres y los hombres respectivamente). Las diferencias en la altura de los obstáculos, la talla, y la velocidad de aproximación entre los hombres y las mujeres derivan en diferencias en la longitud de zancada y en el posicionamiento del cuerpo durante el traspaso de las vallas (Hunter, 2006; McDonald and Dapena, 1991). Si bien se requiere de un patrón de movimiento diferente para el traspaso de la fosa en comparación con las vallas, por las mismas razones que las descritas para el traspaso de las vallas, se espera que durante el traspaso de la fosa existan ciertas diferencias sexuales.

El objetivo del presente estudio fue investigar las características de la técnica que derivan en el mantenimiento de la velocidad durante el traspaso de la fosa, así como también las diferencias que existen entre hombres y mujeres en los diversos aspectos de la técnica.

## METODOS

Dieciocho hombres y 18 mujeres fueron filmados desde cuatro puntos diferentes durante los siete saltos a la fosa en dos pruebas de 3000m con obstáculos (Campeonato Nacional USATF 2006 y Cardinal Invitational en la Universidad de Stanford) utilizando para esto videocámaras digitales con una frecuencia de 60 Hz y una velocidad de obturación de 1/250 s (Canon Elura 60, Lake Success, NY).



**Figura 1.** Dimensiones de la fosa de agua.



**Figura 2.** *Alguna de las características medidas.*

Las cámaras fueron ubicadas a una distancia de 20-30 m de la fosa en cuatro posiciones diagonales a la misma. Para cada salto, se seleccionaron las imágenes de dos de las cuatro cámaras. Las imágenes de las dos cámaras seleccionadas se eligieron en base a la luz y al posicionamiento de los otros atletas. Las cámaras fueron ajustadas para incluir los 6 m previos y los 4 m posteriores al traspaso de la fosa. Las imágenes de cada atleta fueron digitalizadas a través de este rango una vez que el cuerpo entero del atleta se encontraba completamente dentro del campo visual.

Previamente a la recolección de los datos, se realizó la calibración de las cámaras utilizando cuatro postes de 2.43 m en 36 ubicaciones digitalizadas. Los postes fueron colocados formando un rectángulo alrededor del área en la cual los atletas serían analizados. Se utilizó un teodolito para determinar la ubicación de cada poste.

Los atletas completaron las pruebas en un tiempo promedio de  $8:38 \pm 0:16$  s para los hombres y  $10:01 \pm 0:09$  s para las mujeres. El estudio fue aprobado por el Comité de Revisión Institucional de la Universidad y no se requirió del consentimiento informado debido a que las pruebas eran un evento público.

Todos los saltos de los atletas fueron digitalizados utilizando un Sistema de Medición del Movimiento Peak Motus 8.2 (Colorado Springs, CO), con un modelo espacial de 20 puntos. Debido a que no se pudieron ubicar marcadores en los atletas, los centros articulares y los finales de los segmentos fueron determinados por los investigadores. Los cálculos del centro de masa fueron llevados a cabo utilizando los parámetros de segmentos corporales derivados por Winter (1990). Luego de la aplicación de la Transformación Linear Directa (Abdel-Aziz and Karara, 1971), las coordenadas tridimensionales fueron filtradas con un filtro de paso bajo a una frecuencia de 6Hz tal como se determinara mediante el programa provisto por el Sistema Peak Motus 8.2. Posteriormente se calcularon las siguientes variables (Figuras 2 y 3):

- *Distancia horizontal de batida* - distancia desde el borde frontal de la valla hasta los dedos del pie de batida.
- *Altura del Contacto con la valla* - distancia vertical desde la parte superior de la valla hasta el centro de masa cuando este se encontraba directamente sobre la valla.
- *Ángulo de la rodilla al momento del empuje* - ángulo de la rodilla de la pierna que realizaba el empuje sobre la valla
- *Distancia hasta la toma de contacto con el suelo* - distancia horizontal desde el borde de la valla hasta los dedos del pie que toman contacto con el suelo luego de traspasar la valla.
- *Velocidad de salto dividido por el ritmo promedio de carrera (v/p)* - velocidad promedio a partir de los 5 m previos a la valla y hasta los 2.5 m luego de pasar la fosa de agua dividida por la velocidad promedio de carrera.
- *Velocidad de aproximación* - velocidad promedio desde los 5 m previos a la valla hasta los 2.5 m previos a la valla
- *Velocidad de salida* - velocidad promedio desde el borde de la fosa de agua más alejado de la valla hasta los 2.5 m posteriores a la fosa de agua.

Se utilizó el análisis de regresión linear de dos pasos (uno para los hombres y uno para las mujeres) con la v/p como la variable dependiente y todas las otras variables listadas previamente, excepto la velocidad de salida, como las variables independientes.



**Figura 3.** *Cálculos de la velocidad. La velocidad de aproximación fue calculada desde los 5 m previos a la valla hasta los 2.5 metros previos a la valla (primera región oscurecida). La velocidad de salida fue calculada a partir del final de la fosa de agua hasta los 2.5 m posteriores a la fosa de agua (segunda región oscurecida). La velocidad a través de todo el salto fue calculada a partir de los 5 m previos a la valla y hasta los 2.5 m posteriores a la fosa de agua.*

	Mujeres			Hombres		
	$\beta$	Valor p	EEE	$\beta$	Valor p	EEE
Ordenada al Origen	-0.002	0.991	0.156	0.496	0.006	0.134
Velocidad de aproximación (m/s)	0.115	0.007	0.035	0.051	0.001	0.031
Distancia hasta la toma de contacto (m)	0.118	<0.001	0.027	0.050	0.001	0.029

**Tabla 1.** Resultados de los análisis de regresión lineal de dos pasos. La velocidad de aproximación y la distancia hasta la toma de contacto fueron las únicas variables que predijeron la velocidad a través de todo el salto dividida por el ritmo de carrera. Los valores de R<sup>2</sup> fueron 0.84 y 0.82 para las mujeres y los hombres respectivamente.

La velocidad dividida el ritmo de carrera fue elegida como la variable dependiente debido a que los corredores deben volver a su ritmo de carrera luego de traspasar la fosa de agua. Si los atletas pueden evitar disminuir su ritmo durante el traspaso de la fosa, entonces requerirán menos aceleración a medida que salen de la misma. Sin embargo, los entrenadores y atletas deben tener en cuenta que no es aconsejable incrementar esta variable en forma indefinida. Debido que para cada atleta se registraron siete saltos, se utilizó el valor promedio de cada variable en el modelo de regresión. Se utilizó el análisis de varianza ANOVA para medidas repetidas para determinar las diferencias sexuales en todas las variables listadas previamente. Por último, se utilizó nuevamente el análisis de varianza ANOVA para medidas repetidas luego de normalizar las variables (excepto la altura de contacto con la valla y el ángulo de empuje) respecto del ritmo de carrera. Esto nos permitió determinar si alguna de las diferencias entre los sexos podría ser explicada por las diferencias en el ritmo de carrera.

## RESULTADOS

La velocidad durante el salto dividida por el ritmo de carrera ( $v/p$ ) pudo predecirse muy bien a partir de la velocidad de aproximación y la distancia de contacto con el suelo tanto en los hombres como en las mujeres (Tabla 1). Todas las otras variables fueron eliminadas del modelo ya que no contribuyeron significativamente a mejorar los valores de R<sup>2</sup>.

Las relaciones del cociente  $v/p$  con todos los parámetros mostraron tendencias lineares a través de todo el rango de valores medidos. Sin embargo, solo tres variables fueron significativamente diferentes luego de la normalización por el ritmo de carrera. Las variables que parecen diferir solamente por el efecto del sexo y no por el ritmo de carrera incluyen: el ángulo de empuje (mayor para las mujeres), la velocidad de salida (menor para las mujeres) y la pérdida de velocidad (mayor para las mujeres) (Tabla 2).

## DISCUSION

Tanto las mujeres como los hombres exhibieron una tendencia lineal en el modelo de regresión y a través del rango de valores medidos. No se observó un máximo local en las relaciones entre el cociente  $v/p$  y la velocidad de aproximación o la distancia de toma de contacto con el suelo. Por lo tanto, el incremento en la velocidad de aproximación o de la distancia de contacto a través de los rangos medidos para estos atletas debería producir un incremento adicional en el cociente  $v/p$ . Sin embargo, es importante tener en cuenta que un mayor valor de  $v/p$  no es necesariamente ventajoso, ya que también debe considerarse la economía de movimiento durante la prueba de 3000 m con obstáculos. Ninguno de los atletas que participó en este estudio se aproximó a la fosa a su máxima velocidad o intentó maximizar la distancia de toma de contacto. Si lo hubieran hecho, el actual modelo de regresión predeciría un mayor cociente  $v/p$ . Si bien, en principio esto parecería deseable, la gran fluctuación en el esfuerzo probablemente resultaría en un mayor costo energético (Billat et al., 2001).

Si bien durante la prueba de 3000 m con obstáculos solo hay siete saltos a la fosa, el obstáculo debe tener cierto efecto sobre el tiempo de carrera ya que hace que los atletas cambien su técnica normal de carrera. El factor más importante para el rendimiento en la prueba de 3000 m con obstáculos es el acondicionamiento físico (Kenney and Hodgson, 1985). Dado que el salto a la fosa da cuenta de solo el 1% de la distancia total de carrera, incluso una débil correlación entre el cociente  $v/p$  y el ritmo de carrera nos estimula a creer que el cociente  $v/p$  es una variable importante a considerar en relación con el rendimiento durante la carrera con obstáculos. En el presente estudio se observó que esta correlación fue muy pequeña ( $R^2 = 0.02$ ,  $F = 4.04$ ,  $p = 0.046$ ).

<b>Variables</b>	<b>Mujeres</b>	<b>Hombres</b>	<b>Valor p</b>
Distancia de batida (m)*	1.41 (0.17)	1.66 (0.19)	< 0.001
Distancia de batida/ritmo	0.28 (0.03)	0.28 (0.03)	0.397
Altura de contacto con la valla (m)	0.59 (0.07)	0.58 (0.05)	0.110
Ángulo de empuje (grados)*	124 (26)	111 (26)	< 0.001
Distancia de toma de contacto (m)*	2.54 (0.43)	2.85 (0.34)	< 0.001
Distancia de toma de contacto /Ritmo	0.51 (0.09)	0.49 (0.06)	0.057
Velocidad a través del salto (m/s)*	4.62 (0.53)	5.44 (0.45)	< 0.001
Velocidad a través del salto/Ritmo	0.92 (0.10)	0.93 (0.06)	0.257
Velocidad de aproximación (m/s)*	5.32 (0.49)	6.16 (0.43)	< 0.001
Velocidad de aproximación /Ritmo	1.06 (0.09)	1.05 (0.06)	0.569
Velocidad de salida (m/s)*	4.26 (0.59)	5.13 (0.61)	< 0.001
Velocidad de salida /Ritmo*	0.85 (0.11)	0.88 (0.09)	0.027
Pérdida de velocidad (m/s)	1.06 (0.37)	1.02 (0.45)	0.504
Pérdida de velocidad /Ritmo*	0.21 (0.07)	0.18 (0.08)	< 0.001
Velocidad promedio de carrera	4.99 (0.16)	5.79 (0.26)	< 0.001

**Tabla 2.** Diferencias sexuales. "/Ritmo" representa las variables luego de ser divididas por el ritmo de carrera. Los datos son medias ( $\pm$  DE). \* Variables significativamente diferentes.

Para completar el obstáculo de la fosa a un ritmo cercano al ritmo de carrera (v/p próximo a 1.00), se debería utilizar una velocidad de aproximación relativamente alta. La velocidad de aproximación promedio fue de 5.32 m/s (5:02 minutos/mi) y 6.16 m/s (4:21 minutos/mi) para las mujeres y los hombres respectivamente. Si bien muchos pueden creer que es deseable conseguir un incremento en el v/p, esto puede no ser así debido a que la velocidad de aproximación debería ser muy alta. Dado que la economía de carrera también es importante para el rendimiento en la prueba de 3000 m, es posible que no se pueda superar en gran medida el ritmo de carrera. Otro factor importante a considerar es la distancia de toma de contacto con el suelo. Los atletas con mejor rendimiento en el traspaso a la fosa toman contacto con el suelo cerca del final de la misma. Estos atletas característicamente solo se mojan uno de los pies en cada salto (el segundo pie se apoya más allá de la fosa de agua). Esto es similar a los valores promedio observados en el presente estudio (2.54 m y 2.85 m para las mujeres y los hombres, respectivamente;  $p < 0.001$ ). Debido a que la fosa de agua tiene una longitud de 3.66 m, aquellos con un menor v/p tomarán contacto más cerca de la valla y se mojarán ambos pies antes de salir de la fosa.

Se esperaba que la velocidad de aproximación y la distancia de toma de contacto con el suelo estuvieran correlacionadas con el v/p. Quizás el hallazgo más interesante del presente estudio fue la falta de significación de las otras variables. Esto puede explicar porque muchos atletas de clase mundial parecen estar incómodos en sus movimientos para sortear la fosa. Siempre que su velocidad de aproximación sea alta y obtengan una distancia de toma de contacto relativamente grande, los otros aspectos de su técnica carecerán de importancia ya que no se relacionan con el v/p.

El paso por la fosa provoca una mayor disrupción en la velocidad de carrera en las mujeres que en los hombres. La velocidad de salida fue mayor en los hombres luego de normalizar los valores por el ritmo de carrera mientras que lo opuesto sucedió con la velocidad de aproximación. Algo que demuestra adicionalmente esta idea es que, la pérdida de velocidad fue mayor en las mujeres luego contabilizar las diferencias en el ritmo de carrera. La menor velocidad de salida, luego de la normalización de los datos por el ritmo de carrera, podría tener su explicación en que la longitud de la fosa de agua es la misma para los hombres y las mujeres. Debido a que las mujeres no saltan tan lejos como los hombres, estas toman contacto con el suelo más cerca de la valla y en una parte más profunda de la fosa. Además, las mujeres deben traspasar una valla más baja, lo cual resulta en un menor tiempo de vuelo en comparación con los hombres que deben saltar desde una valla más alta.

Las mujeres realizan una mayor extensión de la rodilla que los hombres durante el contacto con la valla. La realización de una mayor extensión durante el empuje en el contacto con la valla podría ayudar a las mujeres a obtener una mayor distancia de toma de contacto con el suelo, ayudando de esta manera a sobreponer su menor velocidad de aproximación y la menor altura de la valla. La altura de toma de contacto con la valla no fue diferente entre los sexos a pesar de las evidentes diferencias en la talla. Debido a que las mujeres deben sortear una valla de menor altura durante el paso por la fosa, la menor flexión de rodilla durante el contacto con la valla les podría permitir obtener una mayor altura de despegue e incrementar el tiempo de vuelo para realizar un salto de mayor longitud.

Una limitación del presente estudio es la falta de información acerca de la talla de los atletas. Algunas de las diferencias

sexuales podrían deberse a la talla y no solamente al sexo. De esta manera, las razones de algunas de las diferencias sexuales continúan siendo desconocidas.

Si bien existen diferencias en la técnica entre los hombres y las mujeres durante el traspaso de la fosa, el movimiento es similar. Tanto los hombres como las mujeres deberían enfocarse en aquellos parámetros que les permiten realizar un traspaso exitoso de la fosa. El incremento en la velocidad de aproximación deriva en un mayor v/p. Sin embargo, se debería tener en cuenta que no es deseable un incremento indefinido en el v/p ya que el rendimiento en la prueba de 3000 m con obstáculos también depende de la economía de carrera. Los entrenadores y corredores de 3000 m con obstáculos deberían utilizar trabajos específicos destinados a alcanzar un óptimo v/p. Asimismo, tanto entrenadores como atletas deberían ser conscientes de las pequeñas diferencias en la técnica que existen entre los hombres y mujeres, pero a la vez deberían tener en cuenta que esto tiene poco impacto sobre el rendimiento global durante el traspaso de la fosa.

## CONCLUSIONES

---

Es posible que las mujeres tengan que ser entrenadas en forma diferente a los hombres para el salto a la fosa en la prueba de 3000 m con obstáculos. Debido a que las mujeres tienen una menor velocidad de aproximación, estas deben realizar una batida más próxima a la valla para que puedan tomar contacto con la misma en una buena posición. Además, la menor velocidad de aproximación también parece derivar en un salto más corto y como consecuencia deberán recorrer un mayor tramo ascendente para salir de la fosa. Por lo tanto, el ritmo de carrera de las mujeres parece verse más afectado por el paso por la fosa que el de los hombres, lo cual en el presente estudio se ha observado a través de los menores valores de la velocidad dividido el ritmo de carrera en las mujeres que en los hombres.

Para traspasar exitosamente la fosa durante la prueba de 3000 m con obstáculos sin tener una caída dramática en el ritmo de carrera los atletas deberían acelerar durante la aproximación a la valla y realizar un salto relativamente largo. Obviamente existen limitaciones respecto de cuanta aceleración y de cuan largo podrá ser el salto que realicen los atletas. Sin embargo, para los atletas analizados en este estudio, cuanto mayor sea la velocidad de aproximación y mayor sea la mayor longitud del salto hacia la fosa, mayor será la capacidad de los atletas para mantener la velocidad horizontal próxima a su ritmo de carrera. De esta manera, el entrenamiento para el traspaso de la fosa de agua debería incluirse conjuntamente con los trabajos técnicos.

### Puntos Clave

Es posible que las mujeres tengan que ser entrenadas en forma diferente a los hombres para el salto a la fosa en la prueba de 3000 m con obstáculos debido a que estas requieren de una diferente técnica.

Tanto los hombres como las mujeres deberían enfocarse en alcanzar una alta velocidad de aproximación para completar exitosamente el traspaso de la fosa.

Los hombres y las mujeres deberían realizar un salto relativamente largo para mantener su velocidad y evitar utilizar energía extra al salir de la fosa.

El traspaso de la fosa afecta negativamente y en mayor medida el ritmo de carrera de las mujeres que el de los hombres.

### Agradecimientos

Agradecemos a Ira y Mary Lou Fulton por su apoyo financiero para el estudio

## REFERENCIAS

---

1. Abdel-Aziz, Y. and Karara, H.M (1971). Direct linear transformation from comparator coordinates into object space coordinates in close-range photogrammetry. In: *Proceedings of the ASE/UISymposium on Close-range Photogrammetry*. Urbana: University of Illinois Press. 1-18
2. Billat, V., Slawinski, J., Danel, M. and Koralsztein, J (2001). Effect of free versus constant pace on performance and oxygen kinetics in running. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 33(12), 2082-2088
3. Hunter, I. and Bushnell, T (2006). Steeplechase barriers affect women less than men. *Journal of Sports Science and Medicine* 55(2),

4. Kenney, W. and Hodgson, J (1985). Variables predictive of performance in elite middle-distance runners. *British Journal of Sports Medicine* 119(4), 207-209
5. McDonald, C. and Dapena, J (1991). Linear kinematics of the mens 110-m and womens 100-m hurdles races. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 223(12), 1382-1391
6. Popov, T (1983). Hurdling in the steeplechase. *Modern Athlete and Coach* 221(1), 17-18
7. Ward-Smith, A (1997). A mathematical analysis of the bioenergetics of hurdling. *Journal of Sports Science* 115(5), 517-526
8. Winter, D.A (1990). Biomechanics and motor control of human movement. 2nd edition. John Wiley & Sons, Toronto

### **Cita Original**

Ian Hunter, Bryan K. Lindsay and Kassi R. Andersen. Gender Differences and Biomechanics in The 3000m Steeplechase Water Jump. *Journal of Sports Science and Medicine* (2008) 7, 218 - 222