



**Rodríguez-Barbero, S.; Salinero, J. J. (2022).** Edad de máximo rendimiento y evolución de la marca de la temporada en pruebas de velocidad (100m), medio fondo (800m) y fondo (maratón) en atletas de élite. *Journal of Sport and Health Research*. 14(1):149-160.

**Original**

## **EDAD DE MÁXIMO RENDIMIENTO Y EVOLUCIÓN DE LA MARCA DE LA TEMPORADA EN PRUEBAS DE VELOCIDAD (100M), MEDIO FONDO (800M) Y FONDO (MARATÓN) EN ATLETAS DE ÉLITE**

### **AGE OF PEAK PERFORMANCE AND PROGRESSION OF SEASON BEST PERFORMANCE IN SPRINT (100M), MIDDLE-DISTANCE (800M) AND LONG-DISTANCE (MARATHON) IN ELITE ATHLETES**

Rodríguez-Barbero, S.<sup>1</sup>; Salinero, J. J.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Facultad de Ciencias del Deporte de Toledo. Universidad de Castilla-La Mancha*

<sup>2</sup>*Laboratorio de Rendimiento y Readaptación Deportiva. Facultad de Ciencias del Deporte de Toledo. Universidad de Castilla-La Mancha*

Correspondence to:

**Salinero, J. J.**

Facultad de CC. del Deporte de Toledo (UCLM)

Avd. Fábrica de Armas, s/n (Toledo)

Tel.925268800

Email: [juanjose.salinero@uclm.es](mailto:juanjose.salinero@uclm.es)

*Edited by: D.A.A. Scientific Section  
Martos (Spain)*



[editor@journalsshr.com](mailto:editor@journalsshr.com)

Received: 03/07/2020

Accepted: 14/11/2020



## RESUMEN

El objetivo de este estudio fue analizar la edad de máximo rendimiento en velocidad, medio fondo y fondo en atletas de élite y la progresión de la mejor marca de la temporada en los años previos y posteriores a la mejor marca personal. **Métodos.** Se recogieron los datos de los 50 primeros clasificados del año 2015 en categorías masculinas y femeninas de velocidad (100 m), medio fondo (800 m) y fondo (maratón) en el ranking mundial de World Athletics. Así, se recopiló la marca obtenida por 300 atletas en estas pruebas desde su comienzo en esta disciplina hasta su retirada, o hasta la temporada de 2018-2019. Aquellos atletas que por su edad (nacidos después de 1993) o progresión deportiva podrían no haber alcanzado su pico de rendimiento, fueron descartados y se incluyó en su lugar al siguiente atleta en el ranking. **Resultados.** En maratón, la edad de máximo rendimiento se produjo a los 28 años ( $28,1 \pm 3,8$  años en hombres y  $28,0 \pm 3,5$  años en mujeres), siendo superior a la encontrada en 100 y 800 metros ( $P < 0,05$ ), donde el pico de rendimiento se encontró a una edad menor ( $25,3 \pm 3,5$  años en hombres y  $25,3 \pm 2,6$  años en mujeres en 100 m; y  $24,1 \pm 2,3$  años en masculino y  $25,2 \pm 2,5$  años en femenino en 800 metros). En los 5 años previos al pico de rendimiento, se produjeron mejoras anuales que oscilan en el rango de 0,5-1,2% anual en 100 metros, de 0,6-1,6% en 800 metros y de 0,3-1,2% en maratón. En casi todos los casos, la mayor mejora en la marca se produjo en el año en que se alcanzaba el pico de rendimiento, con valores del  $1,1 \pm 0,7\%$  en hombres y  $1,4 \pm 1,0\%$  en mujeres en 100 metros;  $1,0 \pm 0,9\%$  en hombres y  $1,6 \pm 1,2\%$  en mujeres en 800 metros; y  $1,7 \pm 1,6\%$  en hombres y  $2,3 \pm 1,7\%$  en mujeres en maratón. En el primer año tras el pico de rendimiento se produjo la mayor pérdida de rendimiento anual. **Conclusión.** Se produjo una mejora gradual en los 5 años previos hasta el pico de rendimiento, que se alcanzó en 100 y 800 metros como promedio entre los 24 y 25 años, mientras que en maratón se obtuvo a los 28 años.

**Palabras clave:** Rendimiento deportivo, edad, progresión, atletismo, sprint, resistencia.

## ABSTRACT

The aim of this study was to analyze progression and age of peak performance in sprint, middle-distance and long-distance in elite athletes. **Methods.** Data from 50 first ranked in 2015 both in male and female in sprints (100m), middle-distance (800m) and long-distance (marathon) in World Athletics Ranking. Therefore, from a total of 300 athletes, the mark reached in each season was collected from its beginning in this discipline until its withdrawal, or until the 2018-2019 season. Those athletes who due to their age or sports progression could not yet reached their peak of performance, were discarded. **Results.** In marathon, the age of maximum performance occurred later ( $28,1 \pm 3,8$  years in male and  $28,0 \pm 3,5$  years in female) than at 100 and 800 meters ( $P < 0,05$ ), where the peak performance was found at a younger age ( $25,3 \pm 3,5$  years in male and  $25,3 \pm 2,6$  years in female in 100 m; and  $24,1 \pm 2,3$  years in male and  $25,2 \pm 2,5$  years in female in 800 meters). Five years before age of peak performance, performance improved between 0,5-1,2% by year on 100 meters, between 0,6-1,6% on 800 meters and between 0,3-1,2% on marathon. In most cases, the greatest improvement occurred in the year of peak performance, with values of  $1,1 \pm 0,7\%$  in male and  $1,4 \pm 1,0\%$  in female on 100 meters;  $1,0 \pm 0,9\%$  in male and  $1,6 \pm 1,2\%$  in female on 800 meters; and  $1,7 \pm 1,6\%$  in males and  $2,3 \pm 1,7\%$  in females in marathon. The first year after peak performance, the greatest annual decrease occurred. **Conclusion.** Gradual improvement occurred within the 5 previous years to the peak performance, which it is reached in 100 and 800 meters between 24 and 25 years, while in marathon, it was reached at 28 years.

**Keywords:** Sport performance, age, progression, athletics, sprint, endurance.



## INTRODUCCIÓN

El rendimiento deportivo, de forma simplificada, evoluciona en forma de U invertida, progresando en la adolescencia, alcanzando un máximo en la etapa adulta y produciéndose posteriormente un declive más o menos acusado, en función de las capacidades físicas implicadas, el nivel de entrenamiento, la edad o la dieta, entre otros factores (Allen & Hopkins, 2015; Berthelot et al., 2012; Haugen et al., 2019).

Este máximo rendimiento varía entre disciplinas deportivas, por los distintos condicionantes de fuerza, velocidad, resistencia y aspectos técnicos, tácticos y psicológicos. Mientras que en algunas pruebas el pico de rendimiento se alcanza a edades muy tempranas, como en natación, donde se han señalado edades entre los 18 y los 23 años (Berthelot et al., 2012), en otros deportes esta edad se retrasa, como el tenis entre 21 y 25 años (Allen & Hopkins, 2015; Gallo-Salazar et al., 2015), o incluso encontramos casos como el golf o triatlón de larga distancia, donde este pico de rendimiento se produce superados los 30 años (entre 30 y 35 años) (Allen & Hopkins, 2015; Knechtel et al., 2012; Tiruneh, 2010).

En el ámbito del atletismo, en diferentes estudios se han referido edades entre los 24 y 31 años en pruebas de velocidad, medio fondo y fondo, siendo el maratón donde se han encontrado edades más elevadas (Allen & Hopkins, 2015; Berthelot et al., 2012; Haugen et al., 2018; Hollings et al., 2014; Weippert et al., 2020). Mientras que en las pruebas de marcado componente anaeróbico (e.g. 100 a 800 metros) parece que el pico de rendimiento se alcanza antes, en las distancias más largas (probablemente por la mayor importancia del componente técnico en las pruebas más cortas), en las pruebas de fondo (e.g. 5000 metros a maratón), una mayor distancia de carrera se asocia con una mayor edad hasta alcanzar la mejor marca personal (Allen & Hopkins, 2015).

Haugen et al. (2018) encontraron en la élite mundial que en velocidad (100 a 400 metros), el pico de rendimiento se alcanzaba entre los 25 y los 26 años en hombres y entre los 25 y 27 en mujeres; en medio fondo (800 y 1500 metros) la edad de máximo rendimiento en hombres se señalaba en los 25 años en hombres y 27 en mujeres; mientras que en maratón la edad alcanzaba los 28 años en hombres y 29 en mujeres.

Por otra parte, se ha encontrado que los atletas de mayor nivel deportivo alcanzan su pico de rendimiento a una edad más tardía que aquellos que alcanzan menor nivel competitivo (Boccia et al., 2019). De la misma forma, distintos estudios han puesto de manifiesto que el éxito deportivo en categorías inferiores no determina el éxito en categoría absoluta (Kearney & Hayes, 2018; Pizzuto et al., 2017). Si bien es necesario alcanzar un alto nivel en categorías sub-20 o sub-23, el progreso en la marca en los 5 años previos al pico de rendimiento ha sido señalado como un factor diferenciador entre los atletas de mayor nivel internacional (Top-10) frente a los que alcanzaron un alto nivel, pero inferior ranking mundial (top-11 a 100) (Haugen et al., 2018).

Por este motivo, conocer la evolución del rendimiento en una disciplina deportiva, de acuerdo a los requerimientos físicos de la misma puede resultar de utilidad para la detección de talentos y la planificación a largo plazo en deportistas con orientación competitiva (Allen & Hopkins, 2015). Si bien algunos estudios han analizado la progresión del rendimiento en función de la edad en el atletismo (Haugen et al., 2018; Weippert et al., 2020), existe una carencia de evidencia sobre la mejora porcentual que se producen en los años previos a su pico de rendimiento (mejor marca personal; MMP), independientemente de la edad a la que se haya conseguido. Existen deportistas que consiguen su MMP a una edad temprana (por una maduración adelantada, y/o una especialización temprana en el entrenamiento de alta competición), o casos de atletas que consiguen su MMP pasados los 30 años, por lo que más allá de un análisis de progresión por edad del atleta, sería interesante analizar la progresión con respecto al año en que se consigue la MMP. De esta forma, se podría analizar con mayor precisión la mejora en los años previos al pico de rendimiento.

Así, los objetivos del presente estudio fueron analizar la edad de máximo rendimiento en velocidad, medio fondo y fondo en atletas de élite, así como mostrar el porcentaje de cambio anual que se produce en los años previos y posteriores al año en que se consigue la mejor marca personal. Como objetivo secundario, se pretende analizar si existen diferencias entre hombres y mujeres en la obtención del pico de rendimiento.



## MATERIAL Y MÉTODOS

### *Participantes*

Se incluyeron 300 atletas de élite, ubicados en el Top-50 del ranking mundial de World Athletics, de 100 metros (50 hombres y 50 mujeres), 800 metros (50 hombres y 50 mujeres) y maratón (50 hombres y 50 mujeres).

### *Procedimiento*

World Athletics (anteriormente denominada IAAF; International Association of Athletics Federations) registra y sistematiza los resultados de las competiciones de eventos deportivos para atletas internacionales de alto nivel. Así, establece un ranking mundial por prueba en el que se puede observar las mejores marcas de los atletas por prueba deportiva y año de competición, accesible de forma pública en la web de World Athletics (<https://www.worldathletics.org/records/toplists/>) donde aparece un listado anual por temporada de los atletas clasificados por disciplina atlética y género. Además, World Athletics registra el rendimiento completo del atleta durante toda su carrera competitiva en cada disciplina (en competiciones oficiales), lo que hace posible un seguimiento completo de la trayectoria del deportista.

Para analizar la evolución de rendimiento de los mejores atletas del mundo con trayectoria competitiva finalizada o con pico de rendimiento visible, se recogieron los datos de los 50 primeros clasificados del año 2015 en categorías masculinas y femeninas de velocidad (100 m), medio fondo (800 m) y fondo (maratón). Solo se incluyeron los resultados en competiciones al aire libre. Aquellos atletas nacidos en años posteriores a 1993 no se tuvieron en cuenta, por la posibilidad de que no hayan llegado a su pico de rendimiento individual ya que en estudios previos señalan entre los 23 y 29 años el pico de rendimiento en estas pruebas.

La edad en el momento de consecución de las marcas se calculó restando la fecha de la competición menos la fecha de nacimiento. En los 100 metros lisos, los resultados considerados para el análisis fueron con velocidad de viento legal ( $< 2.0$  m/s) y los resultados de los sprint con tiempo electrónico.

Se incluyó la marca obtenida en cada edad del atleta que presentara registros en World Athletics.

Posteriormente, se organizaron los datos en función de la mejor marca personal (MMP), señalando los años anteriores y posteriores en función del número de años transcurridos (e.g. MMP-1; MMP-2; etc.). Por último, se calculó el porcentaje de cambio anual en estos datos ordenados en función de la MMP.

### *Análisis de datos*

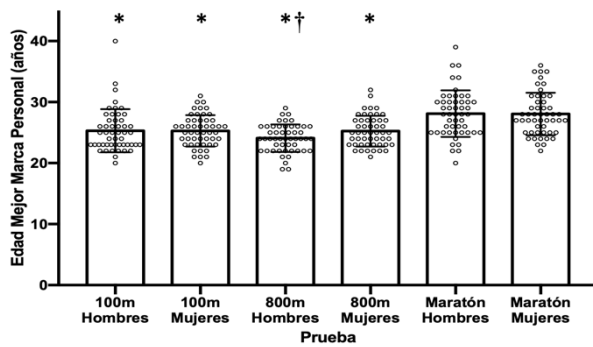
Los datos se muestran como media y desviación estándar. Las diferencias entre edades (en relación a la edad del atleta cuando consigue esa marca), y entre años (en relación con el año en que se consigue la mejor marca personal) se analizaron con la prueba t para muestras relacionadas.

Las diferencias entre sexos en la edad a la que se alcanza la MMP se calculó con una prueba t para muestras independientes. Las diferencias entre disciplinas (en cada sexo) en la edad a la que se alcanza la MMP se calculó con un ANOVA de un factor, empleando la prueba post hoc de Sidak para las comparaciones por pares cuando se encontraron diferencias significativas en el ANOVA.

Se estableció el nivel de significación en  $P < 0,05$  en todos los casos. Los cálculos y figuras se realizaron con el software Prism 8 y la hoja de cálculo Excel.

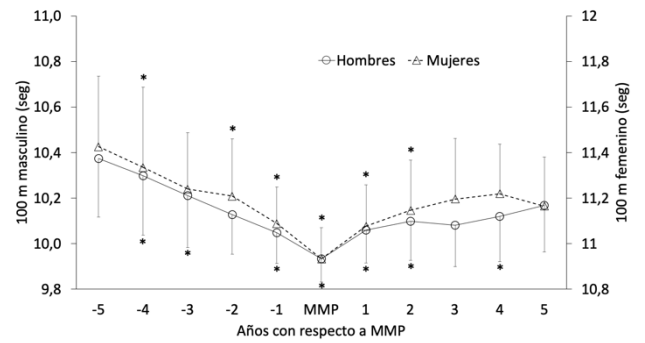
## RESULTADOS

La figura 1 muestra la edad a la que se consiguió la MMP en cada una de las disciplinas analizadas en ambos sexos. Como promedio, en maratón se alcanzó la MMP en edades más avanzadas que en las otras dos disciplinas, tanto en hombres ( $28,1 \pm 3,8$  años;  $P < 0,001$ ) como en mujeres ( $28,0 \pm 3,5$  años;  $P < 0,001$ ). El promedio de la edad a la que se alcanzó la MMP en 100 metros se sitúa en 25,3 años ( $25,3 \pm 3,5$  años en hombres y  $25,3 \pm 2,6$  años en mujeres); y en 24,1  $\pm$  2,3 años en 800 m masculino y 25,2  $\pm$  2,5 años en categoría femenina. No se encontraron diferencias en la edad a la que se alcanzó la MMP entre 100 y 800 metros en hombres ( $P = 0,183$ ) ni en mujeres ( $P = 0,999$ ). Entre sexos, no se encontraron diferencias en 100 metros ni en maratón ( $P > 0,05$ ). Sí hay diferencias entre hombres y mujeres en 800 metros ( $P = 0,017$ ), alcanzándose a una edad más temprana en el caso de los hombres.

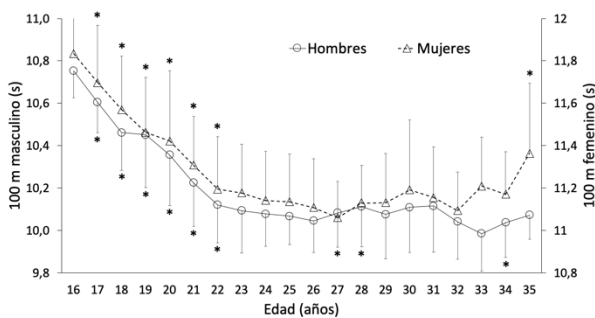


**Figura 1.** Edad media (años) a la que se alcanzó el máximo rendimiento (MMP) por prueba y sexo. Las columnas y barras de error representan la media y desviación estándar, respectivamente. Los puntos muestran los valores individuales de cada atleta. \* diferencias significativas con respecto a maratón ( $P<0,05$ ) † diferencias significativas con respecto a mujeres ( $P<0,05$ )

años hasta la edad a la que consiguen su MMP ( $9,93 \pm 0,10$  segundos en hombres y  $10,93 \pm 0,14$  segundos en mujeres), a excepción del año -2 en hombres y del año -3 en mujeres. Posteriormente, se produjo un descenso de rendimiento significativo en los dos siguientes años tras su MMP en ambos sexos.

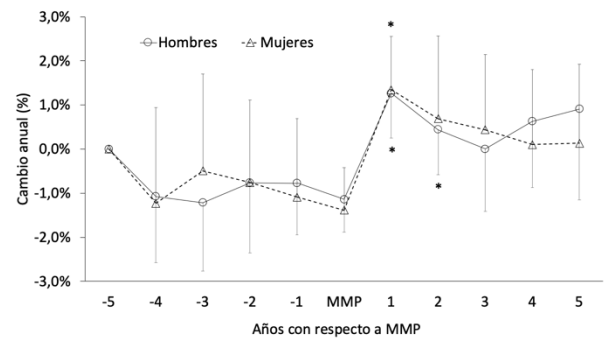


**Figura 3.** Rendimiento en atletas de 100 metros masculino y femenino en función del año de consecución del MMP del atleta. \* diferencias significativas con respecto al año anterior ( $P<0,05$ )



**Figura 2.** Rendimiento en atletas de 100 metros masculino y femenino según la edad del atleta. \* diferencias significativas con respecto al año anterior ( $P<0,05$ ).

En la figura 3 podemos ver la evolución del rendimiento en relación con el año en que consiguen su MMP. Tanto en hombres como en mujeres, se produjo una mejora significativa ( $P<0,05$ ) en todos los

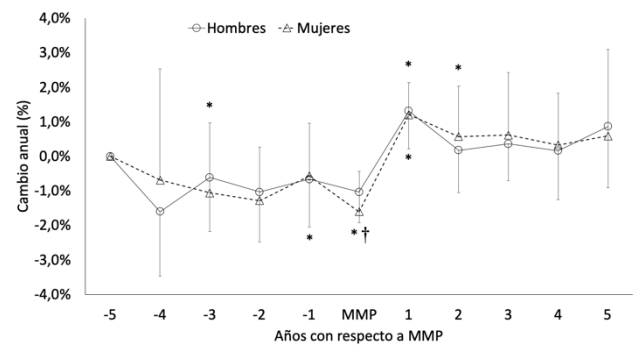


**Figura 4.** Porcentaje de cambio anual en atletas de 100 metros. \* diferencias significativas con respecto al año anterior ( $P<0,05$ )

La figura 5 muestra la evolución del rendimiento de los atletas en 800 metros en función de la edad. En hombres, alcanzaron su máximo rendimiento a los 24

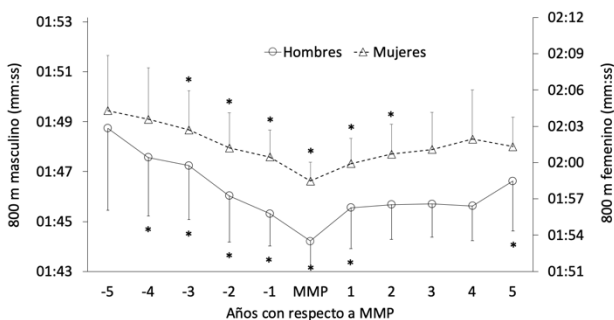


años ( $01:45,24 \pm 00:01,32$  mm:ss,cc). Entre los 22 y 26 años el tiempo medio se mantuvo en un intervalo de sólo medio segundo (entre  $01:45,24$  y  $01:45,73$  mm:ss,cc.). En mujeres, el tiempo medio más bajo se ubicó en los 25 años, único punto donde se situó por debajo de los dos minutos ( $1:59,79 \pm 00:02,12$ ). En ambos sexos, se produjo una mejora significativa anual en los primeros años ( $P < 0,05$ ), en los hombres hasta los 21 años, y en las mujeres hasta los 25 (excepto a los 21 y 23).



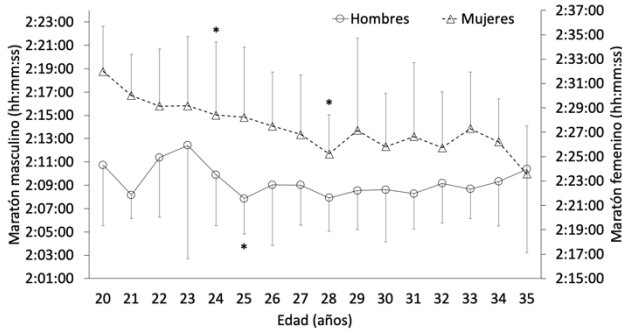
**Figura 5.** Rendimiento en atletas de 800 metros según la edad del atleta. \* diferencias significativas con respecto al año anterior ( $P < 0,05$ )

En cuanto a la evolución del rendimiento de acuerdo con la edad a la que se alcanza la MMP, se obtuvo una mejora significativa ( $P < 0,05$ ) anual hasta su MMP ( $01:44,22 \pm 00:01,03$  en hombres y  $01:58,48 \pm 00:01,55$  en mujeres) en los 5 años previos y en la temporada de la MMP, excepto del año -5 al -4 en el caso de las mujeres.

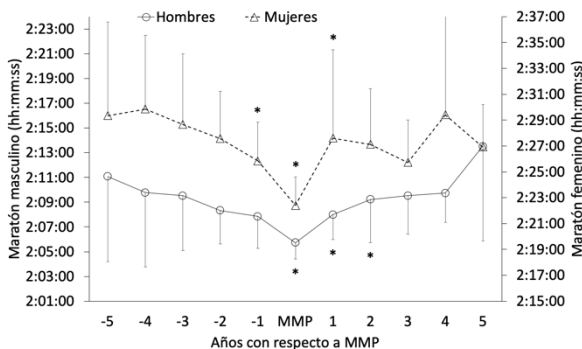


**Figura 6.** Rendimiento en atletas de 800 metros en función del año de consecución del MMP del atleta. \* diferencias significativas con respecto al año anterior ( $P < 0,05$ )

La figura 8 muestra la evolución del rendimiento de los maratonianos en función de la edad. En hombres, alcanzaron su máximo rendimiento a los 25 años ( $2:07:51$  si bien a los 28 el tiempo fue muy similar,  $2:07:55$ ). Se observó una estabilización desde los 25 hasta los 35 años. En mujeres, por el contrario, se observó una línea descendente del tiempo empleado para completar la maratón hasta los 28 años, donde se consiguió la segunda mejor marca promedio con  $2:25:13$  (el tiempo medio más bajo se consigue a los 35 años con  $2:23:35$ , aunque en esta edad, únicamente 6 de las 50 atletas presentan marca). Únicamente se encontraron diferencias anuales estadísticamente significativas a los 25 años en hombres y a los 24 y 28 en mujeres ( $P < 0,05$ ).

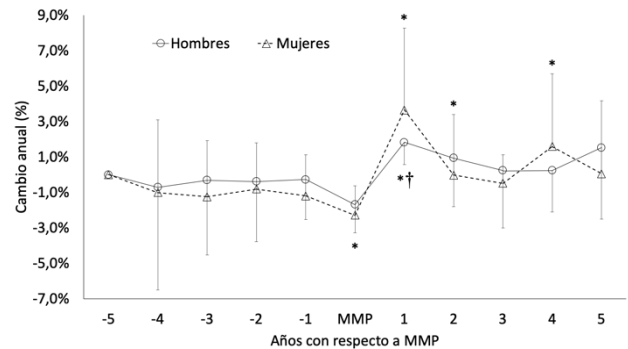


En los años previos a la MMP, se produjo una mejora gradual en la marca en maratón, aunque solo fue estadísticamente significativa el año de consecución de la MMP en hombres y el año previo y el año de la MMP en mujeres ( $P<0,05$ ). En ambos sexos, el año siguiente a la MMP se produjo una pérdida de rendimiento estadísticamente significativa, y en hombres, también el año posterior ( $P<0,05$ ).



Por último, la figura 10 muestra el cambio anual en el rendimiento en maratón en función del año de la MMP. Aunque sin diferencias significativas entre sexos, el porcentaje de mejora anual de las mujeres fue siempre de mayor magnitud que el de los hombres en los años previos a la MMP, con valores entre el -0,3 y el -0,7% en los maratonianos, mientras que las mujeres redujeron sus marcas entre el -0,8 y el -1,2% anual. Además, el año de consecución de la MMP, los hombres mejoraron su rendimiento un  $-1,7 \pm 1,6\%$  mientras que las mujeres lo hicieron en un  $-2,3 \pm 1,7\%$  ( $P=0,09$ ). Por el contrario, en el año siguiente a la

MMP, aunque ambos grupos experimentaron una pérdida sustancial del rendimiento ( $P<0,05$ ), esta fue mayor en las maratonianas ( $-3,6 \pm 4,6\%$  vs  $-1,8 \pm 1,3\%$ ;  $P=0,01$ ).



## DISCUSIÓN

Con el fin de analizar la progresión del rendimiento en atletas de élite hasta su MMP, se han analizado las marcas obtenidas por 300 atletas de 100 metros, 800 metros y maratón, ubicados en el Top-50 del ranking mundial en 2015. Tras registrar sus marcas durante su trayectoria deportiva se pone de manifiesto que, en las pruebas de velocidad y medio fondo, la edad a la que se alcanza la MMP es menor que en maratón, tanto en hombres como en mujeres. Estos datos concuerdan con estudios previos que han señalado edades entre los 24 y los 31 años como las edades donde se alcanza el pico de rendimiento en pruebas de carrera, siendo el maratón donde se han encontrado las edades más elevadas (Allen & Hopkins, 2015; Berthelot et al., 2012; Haugen et al., 2018; Hollings et al., 2014; Weippert et al., 2020). En 100 metros, Haugen et al. (Haugen et al., 2018) afirman que el pico de rendimiento se alcanza a los  $26,0 \pm 3,0$  años en hombres y  $26,8 \pm 3,3$  años en mujeres, ligeramente superior a las edades encontradas en nuestro estudio ( $25,3 \pm 3,5$  años en hombres y  $25,3 \pm 2,6$  años en mujeres). En 800 metros, señalaron para hombres y mujeres, edades de  $24,5 \pm 2,8$  y  $26,5 \pm 2,9$  años, y en maratón de  $28,4 \pm 4,1$  y  $29,0 \pm 4,2$  años. Estas cifras son similares a las obtenidas en nuestro estudio en los atletas masculinos, si bien en el caso de las mujeres, nuestra muestra de atletas presentó edades en torno a un año más jóvenes ( $25,2 \pm 2$  en 800 y  $28,0 \pm 3,5$  años en maratón).



Allen y Hopkins (2015), en una revisión sistemática sobre edad y rendimiento deportivo, señalaban que en las pruebas con un claro componente anaeróbico, como pueden ser en nuestro caso los 100 y los 800 metros (Duffield et al., 2004, 2005; Hill, 1999) el pico de rendimiento se alcanzaría antes en las distancias más largas, probablemente por la mayor incidencia de la técnica en las pruebas más cortas, por lo que se podría seguir mejorando en mayor medida con una mayor experiencia. A la luz de nuestros resultados y en esta muestra de atletas de élite, no se han encontrado diferencias estadísticamente significativas entre ambas disciplinas del atletismo. Sin embargo, el análisis de las figuras 2 y 5 que ilustran el progreso de mejora en estos atletas de alto rendimiento en 100 y 800 metros, refleja cómo en 100 metros se produce un descenso gradual del tiempo en 100 metros hasta los 26 años en hombres y los 27 en mujeres, mientras que en 800 metros esta línea descendente se interrumpe a los 24 años en hombres y a los 25 en mujeres, de forma más temprana que en 100 metros, y por tanto, en línea con la hipótesis de Allen y Hopkins (2015). De hecho, un análisis pareado entre 100 y 800 metros sí arrojaría diferencias estadísticamente significativas, pero la mayor restricción del ANOVA en la comparación de las tres disciplinas, no alcanzó diferencias significativas en el *post hoc* posterior.

Los valores promedio han sido ampliamente estudiados y habitualmente se muestran para orientar a entrenadores y deportistas sobre los momentos “óptimos” o sobre la progresión esperada para alcanzar altas cotas de rendimiento en cada etapa, de cara a planificaciones a largo plazo (Haugen et al., 2018; Hollings et al., 2014; Weippert et al., 2020). No obstante, es evidente que existen múltiples variables que pueden determinar que el pico de rendimiento de un atleta se produzca fuera de este rango, o que la progresión individual pueda seguir una trayectoria distinta. La edad de inicio en el deporte, o los años de entrenamiento con orientación al alto nivel competitivo juegan un papel determinante en el rendimiento deportivo (Haugen et al., 2019). Un ejemplo claro lo encontramos en los 2 primeros atletas en el ranking mundial de 100 metros masculino en 2015, Justin Gatlin, quien alcanza su MMP con 33 años, y Usain Bolt quien alcanza su MMP con 23 años. O casos como el de Collins, quien obtiene su MMP a la sorprendente edad de 40 años, estando en la élite mundial durante 20 años.

Por tanto, otros factores adicionales a la edad juegan un papel importante en la progresión del rendimiento de acuerdo con la edad del atleta. Algunos estudios han indicado que un factor diferenciador entre los atletas de máximo nivel con aquellos de menor nivel competitivo (aunque también de élite), es la progresión en los años previos al pico de rendimiento (Boccia et al., 2017; Haugen et al., 2018, 2019). En este sentido, hemos observado y cuantificado el porcentaje de mejora anual en estos atletas de élite, en sprint, medio fondo y maratón. Es de destacar la gran similitud en el perfil de la mejora en hombres y mujeres, y en las tres distancias analizadas. En los 5 años previos a la MMP, se producen mejoras anuales en todos los casos, oscilando éstas en el rango de 0,5-1,2% anual en 100 metros, de 0,6-1,6% en 800 metros y de 0,3-1,2% en maratón. Además, en casi todos los casos, la mayor mejora anual en la marca se produce en el año en que se alcanza la MMP, con valores de mejora del  $1,1 \pm 0,7\%$  en hombres y  $1,4 \pm 1,0\%$  en mujeres en 100 metros;  $1,0 \pm 0,9\%$  en hombres y  $1,6 \pm 1,2\%$  en mujeres en 800 metros; y  $1,7 \pm 1,6\%$  en hombres y  $2,3 \pm 1,7\%$  en mujeres en maratón. Además, en todos los casos la mayor pérdida de rendimiento se produce en el año posterior al pico de rendimiento. Es posible que, en esta muestra de atletas de élite, el pico de rendimiento se alcance en años de celebración de campeonatos del mundo o Juegos Olímpicos, buscando un pico de forma en una planificación plurianual, y por tanto el año posterior sea un año de menor carga competitiva y/o de descarga de entrenamiento. Aunque evidentemente, pueden existir otras variables añadidas, como un mayor riesgo de lesión en los años donde se busca el máximo rendimiento plurianual. Serían necesarios futuros estudios que analicen esta fluctuación con mayor detalle, analizando las biografías deportivas de cada atleta.

La búsqueda de resultados deportivos a edades tempranas se ha mostrado ineficaz, en tanto que el éxito a edades tempranas no garantiza altas cotas de rendimiento deportivo en la etapa adulta, donde puede alcanzarse el pico máximo de rendimiento (Boccia et al., 2019; Pizzuto et al., 2017). Pizzuto et al. (2017) analizaron la evolución de 368 atletas sub-20 finalistas en los mundiales de atletismo de su categoría entre 2002 y 2012. Encontraron que únicamente 23 de estos atletas consiguieron posteriormente una medalla a nivel internacional en mundiales o JJOO.





Argumentan, en línea con estudios previos, que no es un requisito para alcanzar la élite internacional haber obtenido altas cotas de rendimiento a edades tempranas (Boccia et al., 2019; Kearney & Hayes, 2018; Vaeyens et al., 2009). Un adelantamiento en la edad de inicio, podría propiciar un pico de rendimiento más temprano, si bien no se asocia con un mejor rendimiento (Haugen et al., 2019). Aunque es una variable no analizada en nuestro estudio, podemos observar en las figuras de la progresión en los años previos a la MMP (por tanto independiente de la edad del atleta en ese momento) como nuestros datos apoyarían en parte esta teoría, al comprobar cómo se plantea un patrón de mejora progresiva en los 5 años previos al pico de rendimiento, con un declive importante en la temporada posterior, y mantenido en años siguientes salvo algunas excepciones.

Por último, cabe destacar que, en maratón masculino, las marcas promedio por edad señalan que a partir de los 25 años se puede alcanzar y mantener un alto nivel de rendimiento, mientras que en mujeres es a partir de los 28 años cuando se consigue el mayor rendimiento en esta prueba. En maratón, es especialmente importante analizar las distintas trayectorias deportivas, ya que es muy habitual que estos deportistas tengan un inicio retardado en esta disciplina, habiendo competido en años previos en pruebas de pista de distancias inferiores, como 5000 o 10000 metros. Este puede ser uno de los motivos que subyacen a la mayor edad del pico de rendimiento encontrada en nuestro estudio y en investigaciones anteriores. Un análisis individualizado de los atletas, muestra como aquellos que se inician en maratón en torno a los 20 años, consiguen su MMP a edades más tempranas (e.g. de los 3 primeros clasificados masculinos, Kipchoge y Kiprotich se inician a los 29 y 28 años respectivamente, alcanzando su MMP a los 34 años en ambos casos, mientras que Kiptanui que se inicia a los 20 años alcanza su MMP a los 26 años).

Una limitación de este estudio es que se incluye para cada atleta y cada temporada la mejor marca obtenida por el deportista. Es posible que alguna marca no refleje el potencial del atleta para esa edad, por variables extrañas como lesiones, o temporadas en donde se hayan centrado en otra distancia. Por otra parte, existe una variabilidad intra-atleta que hace que el resultado en competición no sea siempre igual, que se ha cuantificado entre el 0,6-1,4% en pruebas de

sprint y resistencia (Malcata & Hopkins, 2014). Sin embargo, consideramos que, en estos deportistas de élite internacional, el rendimiento mostrado en cada uno de los años incluidos supone un reflejo fiel de su potencial atlético en esa temporada, al menos en las pruebas de 100 y 800 metros, al participar en diferentes competiciones de alto nivel en la misma temporada. Probablemente en maratón sí pueda existir una mayor variabilidad, por competir en menos ocasiones y estar el resultado final más condicionado por cuestiones climáticas, de táctica de carrera, o el desnivel acumulado, entre otras variables. Por otra parte, algunas variables ajenas al deportista pueden influir en el rendimiento atlético, como la altitud, el viento o la temperatura. En pruebas de sprint, una mayor altitud sería favorable (Dapena & Feltner, 2016; Linthorne, 2016) mientras que en maratón, una mayor altitud dificulta el rendimiento (Lara et al., 2014). De la misma forma, el viento influye de forma significativa en las pruebas de sprint (Dapena & Feltner, 2016), de ahí su limitación a 2m/s para validar récords. Sin embargo, con un enfoque ecológico del rendimiento deportivo, las marcas registradas para el presente análisis, como ha sido descrito, han sido las marcas oficiales conseguidas en competición, sin considerar, por tanto, correcciones por viento y/o altitud de la prueba. Otra limitación del presente estudio es que en las edades más tempranas y avanzadas, el tamaño muestral se reduce, ya que una proporción importante de atletas comienzan en esta disciplina a edades más avanzadas, o se retiran o cambian de disciplina de forma más prematura. Por este motivo, la figura 2 mostraba que el rendimiento medio de esta muestra de deportistas en 100 metros, era superior a los 33 años. Cabe destacar que, a esa edad, únicamente 8 de los 50 atletas seleccionados continuaban compitiendo, y 4 de ellos estaban en el top-10. Previsiblemente, sólo aquellos con mejor rendimiento continúan su carrera deportiva hasta esta edad, lo que unido a que algunos deportistas consiguen su MMP a edades más avanzadas (como Justin Gatlin) provoca que la media sea inferior a edades intermedias, como la media de edad de obtención de la MMP ( $25,3 \pm 2,6$  años) donde sí registran marcas la inmensa mayoría de atletas ubicados en el Top-50.

## CONCLUSIONES

Se produce una mejora gradual en los 5 años previos hasta el pico de rendimiento, que se alcanza en 100 y 800 metros como promedio entre los 24 y 25 años,



mientras que en maratón se obtiene a los 28 años. El año siguiente al pico de rendimiento se produce la mayor pérdida de rendimiento en la progresión de estos atletas de élite en todas las disciplinas analizadas. No se encontraron diferencias entre sexos en la edad de máximo rendimiento en 100 metros y maratón, pero sí en 800 metros, donde los hombres alcanzan su MMP a una edad más temprana.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen, S. V., & Hopkins, W. G. (2015). Age of Peak Competitive Performance of Elite Athletes: A Systematic Review. *Sports Medicine*, 45(10), 1431–1441. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0354-3>
- Berthelot, G., Len, S., Hellard, P., Tafflet, M., Guillaume, M., Vollmer, J.-C., Gager, B., Quinquis, L., Marc, A., & Toussaint, J.-F. (2012). Exponential growth combined with exponential decline explains lifetime performance evolution in individual and human species. *AGE*, 34(4), 1001–1009. <https://doi.org/10.1007/s11357-011-9274-9>
- Boccia, G., Brustio, P. R., Moisé, P., Franceschi, A., La Torre, A., Schena, F., Rainoldi, A., & Cardinale, M. (2019). Elite national athletes reach their peak performance later than non-elite in sprints and throwing events. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 22(3), 342–347. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2018.08.011>
- Boccia, G., Moisé, P., Franceschi, A., Trova, F., Panero, D., Torre, A. La, Rainoldi, A., Schena, F., & Cardinale, M. (2017). Career Performance Trajectories in Track and Field Jumping Events From Youth to Senior Success: The Importance of Learning and Development. *PLoS ONE*, 12(1).
- Dapena, J., & Feltner, M. E. (2016). Effects of Wind and Altitude on the Times of 100-Meter Sprint Races. *International Journal of Sport Biomechanics*, 3(1), 6–39. <https://doi.org/10.1123/ijsb.3.1.6>
- Duffield, R., Dawson, B., & Goodman, C. (2004). Energy system contribution to 100-m and 200-m track running events. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 7(3), 302–313. [https://doi.org/10.1016/S1440-2440\(04\)80025-2](https://doi.org/10.1016/S1440-2440(04)80025-2)
- Duffield, R., Dawson, B., & Goodman, C. (2005). Energy system contribution to 400-metre and 800-metre track running. *Journal of Sports Sciences*, 23(3), 299–307. <https://doi.org/10.1080/02640410410001730043>
- Gallo-Salazar, C., Salinero, J. J., Sanz, D., Areces, F., & Del Coso, J. (2015). Professional tennis is getting older: Age for the top 100 ranked tennis players. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 15(3). <https://doi.org/10.1080/24748668.2015.11868837>
- Haugen, T. A., Seiler, S., Sandbakk, Ø., & Tønnessen, E. (2019). The Training and Development of Elite Sprint Performance: an Integration of Scientific and Best Practice Literature. In *Sports Medicine - Open* (Vol. 5, Issue 1). Springer. <https://doi.org/10.1186/s40798-019-0221-0>
- Haugen, T. A., Solberg, P. A., Foster, C., Morán-Navarro, R., Breitschädel, F., & Hopkins, W. G. (2018). Peak age and performance progression in world-class track-and-field athletes. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(9), 1122–1129. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2017-0682>
- Hill, D. W. (1999). Energy system contributions in middle-distance running events. *Journal of Sports Sciences*, 17(6), 477–483. <https://doi.org/10.1080/026404199365786>
- Hollings, S., Hopkins, W., & Hume, P. (2014). Age at peak performance of successful track & field athletes. *International Journal of Sports Science and Coaching*, 9(4), 651–661. <https://doi.org/10.1260/1747-9541.9.4.651>
- Kearney, P. E., & Hayes, P. R. (2018). Excelling at youth level in competitive track and field athletics is not a prerequisite for later success. *Journal of Sports Sciences*, 36(21), 2502–2509.



- <https://doi.org/10.1080/02640414.2018.1465724>
14. Knechtle, B., Rüst, Knechtle, Rosemann, T., & Lepers, R. (2012). Age of peak performance in elite male and female Ironman triathletes competing in Ironman Switzerland, a qualifier for the Ironman world championship, Ironman Hawaii, from 1995 to 2011. *Open Access Journal of Sports Medicine*, 3, 175. <https://doi.org/10.2147/oajsm.s37115>
  15. Lara, B., Salinero, J. J., & Del Coso, J. (2014). Altitude is positively correlated to race time during the marathon. *High Altitude Medicine & Biology*, 15(1), 64–69. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24444110>
  16. Linthorne, N. (2016). Improvement in 100-m Sprint Performance at an Altitude of 2250 m. *Sports*, 4(2), 29. <https://doi.org/10.3390/sports4020029>
  17. Malcata, R. M., & Hopkins, W. G. (2014). Variability of competitive performance of elite athletes: A systematic review. *Sports Medicine*, 44(12), 1763–1774. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0239-x>
  18. Pizzuto, F., Bonato, M., Vernillo, G., La Torre, A., & Piacentini, M. F. (2017). Are the world junior championship finalists for middle- and long- distance events currently competing at international level? *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(3), 316–321. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2015-0717>
  19. Tiruneh, G. (2010). Age and Winning Professional Golf Tournaments. *Journal of Quantitative Analysis in Sports*, 6(1). <https://doi.org/10.2202/1559-0410.1209>
  20. Vaeyens, R., Güllich, A., Warr, C. R., & Philippaerts, R. (2009). Talent identification and promotion programmes of Olympic athletes. *Journal of Sports Sciences*, 27(13), 1367–1380. <https://doi.org/10.1080/02640410903110974>
  21. Weippert, M., Petelczyc, M., Thürkow, C., Behrens, M., & Bruhn, S. (2020). Individual performance progression of German elite female and male middle-distance runners. *European Journal of Sport Science*. <https://doi.org/10.1080/17461391.2020.1736182>.

