



Factores fisiológicos de rendimiento en los corredores de fondo

Physiological performance factors in long-distance runners

Daniela Alejandra Jiménez Torres^{1*}  <https://orcid.org/0000-0002-4261-4516>

¹ Universidad Central del Ecuador, Facultad Cultura Física, Quito, Ecuador.

*Autor para la correspondencia: dmmona6@gmail.com

Recibido: 05/22/2021

Aceptado: 07/23/2021

DOI: <https://doi.org/10.34982/2223.1773.2022.V7.No1.009>

Este documento posee una [licencia Creative Commons Reconocimiento-No Comercial Compartir igual 4.0 Internacional](#)



Resumen:

El atletismo, deporte universal que engloba carreras desde 5km hasta 42 km, han ganado en popularidad durante la última década, esto ha generado una demanda de información por parte de entrenadores y deportistas donde los factores que afectan el rendimiento en estos corredores, es uno de los temas más estudiados por la literatura científica y de manera particular los factores fisiológicos: consumo máximo de oxígeno, la economía de la carrera, tipos de fibras musculares, edad, sexo, fatiga y la genética. El objetivo de la presente revisión es describir los factores fisiológicos que afectan el rendimiento deportivo en corredores de fondo.

Palabras claves: Corredores de fondo, factores fisiológicos, rendimiento deportivo

Abstract:

Athletics, a universal sport that encompasses long-distance events, races from 5km to 42 km, which have gained in popularity during the last decade, which has generated a



demand for information from coaches and athletes where the factors that affect Performance in these runners is one of the topics most studied by the scientific literature, particularly physiological factors: maximum oxygen consumption, running economy, types of muscle fibers, age, sex, fatigue and genetics. The objective of this review is to describe the physiological factors that affect athletic performance in long-distance runners.

Keywords: Long-distance runners, physiological factors, sports performance.

Introducción

Las carreras de fondo o de larga distancia según La International Association of the Athletics Federations (IAAF) son un tipo de pruebas de atletismo que engloba las carreras a pie, que van desde los 5.000 metros lisos hasta los 42 km de la Maratón.

Las carreras de fondo suelen desarrollarse en entornos urbanos, recorriendo las principales avenidas de la ciudad o pueblos donde se organizan (Salguero et al., 2011); (García & Llopis, 2010). Se ha producido un significativo aumento de practicantes, por lo cual, tienen un matiz mercantil y hay diversos programas de maratones en donde se promueve la participación de corredores de diferentes categorías, sexo, regiones del globo terráqueo y mundiales.

En la actualidad existe una alta producción de artículos científicos relacionados con el rendimiento deportivo, en los cuales se abordan los factores que lo afectan atendiendo a criterios: psicológicos, fisiológicos, bioquímicos y antropométricos (Urdampilleta et al., 2012).

El rendimiento deportivo tiene un carácter multifactorial, en el caso de los deportes individuales resulta significativa la influencia de los factores fisiológicos, es por ello, que entrenadores e investigadores han centrado su atención en la predicción del rendimiento deportivo en factores cardiovasculares, lactato, consumo máximo de oxígeno ($VO_{2máx}$), (Saw et al., 2016), umbral ventilatorio, economía de la carrera (EC), edad, género, fibras musculares y la raza en fondista (Orqueta-Alday & García-lopez, 2016), velocidad de funcionamiento en el $VO_{2máx}$, límite de tiempo en el $VO_{2máx}$, velocidad de carrera en el umbral de lactato (Grivas, 2020).

Investigaciones sobre la genética asociada al rendimiento deportivo en corredores indican que uno de los aspectos que determinan las posibilidades de ser campeón es el genético,



en el cual la herencia resulta fundamental en el potencial de rendimiento físico, en interacción con otros factores como los ambientales, el entorno, entrenamiento, nutrición (Medellín, 2012).

Predominan investigaciones en las que los indicadores fisiológicos que afectan el rendimiento en corredores de fondo son abordados de manera independiente, como es el proceso de maduración biológica en jóvenes (Verdugo, 2015), el análisis de la influencia de los factores antropométricos, fisiológicos y biomecánicos (Ogueta-Alday et al., 2013), valoración de las diferencias de género que afectan la participación en las pruebas populares de fondo (Salguero et al., 2011).

Desde la perspectiva multidisciplinar son numerosos los factores que afectan el rendimiento deportivo, es por ello, que existe interés por parte de la comunidad científica con respecto al estudio de estos factores y de manera particular los fisiológicos (Ortigosa, 2016). Ante esta situación cabría preguntarse ¿Cuáles son los factores fisiológicos que más afectan el rendimiento en los corredores de fondo?, siendo el objetivo de la presente revisión describir los factores fisiológicos de rendimiento en corredores de fondo.

Materiales y métodos

La revisión realizada es de tipo narrativo. Para elaborarla se consultaron las bases de datos GOOGLE, PUBMED, REDALYC, LATINDEX y Dialnet, con una estrategia de búsqueda diseñada para obtener resultados relacionados con los factores fisiológicos que afectan el rendimiento en los corredores de fondo.

Se seleccionaron 50 documentos de los factores fisiológicos que afectan el rendimiento en los corredores de fondo, y se completó la búsqueda con la lectura y rastreo de bibliografía referenciada en los documentos seleccionados, período 2015-2021. Para la búsqueda de información se utilizaron los siguientes descriptores: Corredores de fondo and consumo máximo de oxígeno, Corredores de fondo and economía de la carrera, Corredores de fondo and fibras musculares, Corredores de fondo and fatiga, Corredores de fondo and genética.



Resultados y discusión

Dentro de los factores fisiológicos relacionados con el rendimiento deportivo en corredores de fondo se destaca el $VO_{2m\acute{a}x}$, la economía de carrera/efectividad, la edad, el género, fibras musculares, entre otros.

Consumo máximo de oxígeno

El rendimiento en deportes de resistencia está íntimamente relacionado con el $VO_{2m\acute{a}x}$, de modo tal que un descenso significativo de este indicador fisiológico se asocia con una disminución del rendimiento de las pruebas de resistencia.

El $VO_{2m\acute{a}x}$, es un indicador de potencia aerobia, sin embargo, existen factores que limitan o pueden limitarlo entre los que se encuentran la demanda energética de los músculos respiratorios, la fatiga muscular respiratoria, limitación de la difusión pulmonar. Sus valores típicos oscilan entre los 35-45ml/kg/min, mientras que los deportistas de resistencia pueden llegar alcanzar 60-80ml/kg/min. **Tabla 1.**

Tabla 1. Valores de consumo máximo de oxígeno en corredores de fondo

Autor (año)	Estudio (Título)	Valores $VO_{2m\acute{a}x}$
Torres Navarro, V. (2017)	Consumo de oxígeno, velocidad y economía de carrera en jóvenes atletas y triatletas.	62,7ml/kg/min
Ruiz Griman, D. J. (2014)	Consumo máximo de oxígeno, composición corporal y clasificación según el rendimiento en 10 km de corredores aficionados.	49ml/kg/min (masculino) 46ml/kg/min (femenino)
Niño Hernández, C. A. (2012)	Estimación del consumo máximo de oxígeno mediante Pruebas de ejercicios maximales y submaximales	36,68 ml/kg/min (masculino) 29,07 ml/kg/min (femenino)
Rivera et al., (2012)	El modelo paralelo de procesamiento y la percepción de esfuerzo en corredores de fondo.	53,90ml/kg/min



Tucker et al., (2009)	The runners's body. How the latest exercise science can help run stronger, longer, and faster.	65 y 85 ml/kg/min
Caldas Zárate, R., Marino Isaza, F., & Valbuena Ruiz, L. H. (1991)	Validación de un test de carrera sobre 3200 m. Para la determinación del consumo máximo de oxígeno y de las fracciones aeróbica-anaeróbicas a concentraciones definidas de lactato plasmático en corredores de fondo	66.3ml/kg/min
Padilla et al., (1991)	Capacidad aerobia y anaerobia en corredores de medio fondo.	66ml/kg/min

Economía de carrera/ efectividad

La palabra economía de carrera describe al estado estable de consumo de oxígeno a una intensidad determinada. Los cambios en la EC se trasladan directamente a cambios en el beneficio deportivo; es decir, se puede comparar el aumento del peso del calzado deportivo y alteraciones en EC para el rendimiento deportivo; esto quiere decir que cualquier alteración que se ocasione e influya en la Economía de carrera, puede verse en el resultado final de una competición (González-Mohíno Mayoralas et al., 2018).

La EC es un indicador de rendimiento de vital importancia, siendo el VO_2 necesario para mantener un ritmo de carrera determinado, el cual será un porcentaje del $VO_{2m\acute{a}x}$. El umbral anaerobio y la EC serán los factores a mejorar para un corredor experimentado. La EC cobra mayor importancia cuanto mayor es la distancia a correr; por ello para un corredor de fondo una buena EC resulta fundamental.

Para mejorar la EC es necesario ser más eficientes, es decir consumir la menor cantidad de energía posible mientras se corre, unido a una mejor biomecánica de la carrera. El entrenamiento de la técnica de carrera bien ejecutada conduce a una mayor eficiencia biomecánica y se favorece la eliminación de los movimientos innecesarios que aumentan el consumo de energía. Además, el entrenamiento de fuerza demora la aparición de la fatiga, lo que contribuye a mantener una mejor EC.



Actualmente, se discute sobre el verdadero papel de la EC en el rendimiento, es posible que ambas variables ($VO_{2m\acute{a}x}$ y EC) estén inversamente relacionadas y que los atletas con menor $VO_{2m\acute{a}x}$ lo puedan compensar con una mejor EC (Orgueta-Alday & García-lopez, 2016).

Edad

La edad es un componente a tener en cuenta al momento de obtener un óptimo beneficio en el deporte. En general, se observa que los mayores logros en carreras de fondo se obtienen entre los 30-40 años de edad. En este rango de edad se produce un equilibrio óptimo entre las variables $VO_{2m\acute{a}x}$, fuerza muscular y EC.

Se ha definido que el $VO_{2m\acute{a}x}$ va aumentando hasta aproximadamente los 20 años de edad y consecutivamente va disminuyendo menos de un 1% al año, usualmente de la misma forma que la fuerza muscular, la cual consigue su desarrollo óptimo entre los 20 y 30 años de edad, y va disminuyendo en la mayoría de grupos musculares por descenso de la masa muscular (McArdle et al., 2015). Sin embargo, se ha observado que la EC va mejorando con la edad. Teniendo en cuenta lo anterior, uno de los objetivos del entrenamiento en personas de mayor edad es influir sobre aquellas capacidades que más van a verse afectadas con el paso de los años.

Un buen trabajo de fuerza y el entrenamiento de resistencia de alta intensidad retrasan el deterioro, de modo que incluso puede mantenerse hasta los 70 años o más de edad, muy aceptables en las carreras de larga distancia.

Género

El género tiene una clara influencia en el rendimiento de las carreras de fondo. Por ejemplo, en los últimos JJOO de Londres 2012, el triunfador masculino de la maratón (Stephen Kiprotich, UGA) consiguió un tiempo de 2h:08min:01seg mientras que la ganadora Tiki Gelana, lo logró en 2h:23min:07seg. En los 10 km, el ganador fue Mohamed Farah, GBR alcanzó un tiempo de 27min:30seg y la ganadora femenina; Tirunesh Dibaba, en 30min:20seg teniendo la diferencia de 3 min. (Olympic Games Committees, 2021). Hay una diferencia del 10%, la que se corresponden a su vez, con el 12% de la diferencia observada entre los 10 mejores clasificados hombres y mujeres en la maratón de Nueva York entre 2006-2010 (Hunter & Stevens, 2013). Una posible



explicación podría residir en los menores valores de fuerza y $VO_{2m\acute{a}x}$ que presentan las mujeres en comparación con los hombres, quienes muestran un $VO_{2m\acute{a}x}$ entre el 20 y 25% mayor que las mujeres a cualquier edad, lo que se atribuye a una mayor masa muscular y a otros condicionantes genéticos, hormonales e incluso a la menor cantidad de hemoglobina presentes en mujeres causadas por las pérdidas sanguíneas que tienen lugar durante las menstruaciones.

La influencia del género en la EC es todavía discutida. Mientras algunos autores se posicionan en que el hombre es más económico que la mujer, otros no han encontrado diferencias significativas a similares intensidades relativas (Daniels & Daniels, 1992). Por el contrario, algunos trabajos indican que la mujer es más económica (Helgerud et al., 2009) al presentar normalmente un menor índice de masa corporal y necesitar una menor cantidad de energía para correr a la misma velocidad.

Fibras musculares

El entrenamiento físico puede modificar la distribución de los tipos de fibras en los músculos. Se han estudiado las diferencias existentes entre velocistas, medio fondistas y fondistas con respecto a los tipos de fibras musculares en el músculo vasto lateral (Svedenhag, & Sjödín, 1994) y se ha encontrado en los fondistas un 75% de fibras tipo I (fibras de contracción lenta) y un 25% de fibras tipo IIa (fibras de contracción intermedia), y un porcentaje muy bajo e incluso nulo de fibras tipo IIb (fibras de contracción rápida). El predominio de fibras musculares tipo I al parecer se relaciona con el $VO_{2m\acute{a}x}$ y la EC. Un mayor porcentaje de fibras lentas tienden a producir menor cantidad de lactato y un menor gasto energético obteniéndose como consecuencia un mejor rendimiento en las carreras de fondo (Orgueta-Alday & García-lopez, 2016).

El entrenamiento de fuerza cubre un papel importante dentro del entrenamiento en deportes de resistencia. Los beneficios sobre el rendimiento son propiciados por adaptaciones neuromusculares caracterizadas por un mayor reclutamiento y sincronización de las unidades motoras, así como por la coordinación intra e inter muscular.

Genética de los corredores



Entre los mejores corredores del mundo el porcentaje de europeos ha disminuido (11%), mientras los africanos han ascendido (85%), de ellos los kenianos ocupan el 55%, (Vancini et al., 2014). El dominio de los africanos en las carreras de larga distancia ha motivado a investigadores al estudio de su genética en relación con el rendimiento físico, siendo identificadas 200 variantes genéticas.

El genotipo y el ambiente, determinan el fenotipo. Las evidencias apuntan hacia la interacción entre factores genéticos y ambientales como responsables de la mayoría de las diferencias individuales en respuesta al entrenamiento (Noakes et al., 1990); (Tucker et al., 2013). En las variaciones del rendimiento muscular interindividual, los factores genéticos representan desde el 50 al 80% (Arden & Spector, 1997).

En atletas que se iniciaron en las carreras de fondo en Etiopía y Kenia fue investigado el ácido desoxirribonucleico mitocondrial, (ADNmt) y el cromosoma Y. Los polimorfismos del ADNmt se heredan de la madre y solo cambian como resultado de nuevas mutaciones (Atkinson et al., 2009). Polimorfo que puede influir en la variación del rendimiento aerobio de los seres humanos, debido a su participación en la codificación de las diferentes subunidades del complejo enzimático de fosforilación oxidativa (Scott et al., 2005). Sin embargo, en un análisis de cohorte realizado en corredores de élite de Etiopía no se encontraron hallazgos de variantes del ADNmt con influencia en el rendimiento de los atletas en eventos de resistencia aerobia (Scott et al., 2005), resultados similares fueron obtenidos en corredores de Kenia (Scott et al., 2009).

Sobre el posible efecto del cromosoma Y en el rendimiento de resistencia aerobia, los resultados obtenidos fueron similares a los encontrados en los estudios de ADNmt, resultó significativo el número de atletas evaluados que adquirieron parte de su ascendencia masculina fuera de África.

Los genes más investigados relacionados con el desempeño humano son la enzima convertidora de angiotensina (ACE) y la alfa-actinina-3 (ACTN3), (Scott et al., 2005); (Yang et al., 2007).

El gen ACE es un polimorfismo de inserción (I), sus niveles más bajos se asocian con la delección (D) (Scott et al., 2005), el alelo I de este gen se ha asociado con el rendimiento durante las pruebas de resistencia aerobia (Scott et al., 2005) y la capacidad de



entrenamiento de la aptitud cardiorrespiratoria, reflejada por la absorción máxima de oxígeno, la que parece estar determinada por el gen ASS1 y 21 SNP (Tucker & Collins, 2012). El alelo D se asocia con el rendimiento durante las pruebas de potencia (Wilber & Pitsiladis, 2012), donde la contribución de la herencia puede variar desde el 46% a 84% (Tucker & Collins, 2012). Sin embargo, no hubo diferencias significativas en la frecuencia de los alelos I o D entre los atletas de Etiopía, Kenia y la población general en sus respectivas localidades (Vancini et al., 2014).

El gen ACTN3 se ha asociado con el nivel más alto de rendimiento físico, encontrado en estudios de corredores de élite africanos (Yang et al., 2003), en diferentes frecuencias en distintas poblaciones (Mills et al., 2001). La variante R577X fue hallada en deportistas de élite de poblaciones australianas blancas, aunque tenían deficiencia del genotipo ACTN3 XX, con una frecuencia ligeramente superior en deportistas de élite especializados en pruebas de resistencia aerobia (Yang et al., 2003), no obstante, no se encontraron evidencias de una posible asociación entre el polimorfismo R577X y el rendimiento en las pruebas de resistencia aerobia de los corredores de África Oriental (Yang et al., 2007), lo que sugiere que la deficiencia de ACTN3 no es un factor determinante en el éxito deportivo de los corredores africanos (Wilber & Pitsiladis, 2012).

El estudio genético en el deporte es de creciente interés, puede contribuir a la detección de deportistas con mayor capacidad de respuesta o de adaptación al entrenamiento físico y la prevención de lesiones (Maffulli et al., 2013). La práctica ha demostrado que de un grupo de individuos que se inician en un deporte, solo un pequeño porcentaje tiene el trasfondo genético y las características físicas que le posibilitan el éxito deportivo de manera que llegue a convertirse en atletas de élite (Vancini et al., 2014).

En un estudio realizado por (Ben-Zaken et al., 2021) con la finalidad de determinar si las características genéticas contribuían al dominio de la carrera de larga distancia, fueron evaluados los polimorfismos en genes asociados con la resistencia (PPARD T/C), la capacidad de entrenamiento de la resistencia (ACSL A/G), la velocidad (ACTN3 R/X), la fuerza (AGT T/C) y la recuperación del entrenamiento (MTC1 A/T e IL6 G/C), en los mejores corredores de larga distancia israelíes de origen etíope (n=37), corredores



israelíes de origen no etíope de origen caucásico (n=76) y controles israelíes no atléticos (n=55).

Los resultados obtenidos sugieren que el dominio de los corredores de larga distancia israelíes de origen etíope se relaciona con los polimorfismos de resistencia, los polimorfismos asociados con un mayor rendimiento de velocidad y una mejor capacidad de recuperación del entrenamiento.

Discusión

Consumo máximo de oxígeno

El $VO_{2m\acute{a}x}$, ha sido utilizado como indicador de la potencia aerobia del sujeto, evaluado en gran medida a través un test aerobio. Estudios actuales, sin embargo, desafían este concepto (Chamari & Padulo, 2015), teniendo en cuenta los valores diferentes obtenidos después de tener modificaciones en esta prueba (Beltrami et al., 2012).

En la meseta del $VO_{2m\acute{a}x}$, se alcanza un valor mínimo de lactato de 6 a 9 mmol/L⁻¹ (según investigadores y la edad de los sujetos), lo que demuestra la participación anaerobia glucolítica, vía que predomina antes del cese del esfuerzo físico, debido a que las intensidades al final del test del $VO_{2m\acute{a}x}$, sobrepasan el segundo umbral ventilatorio o el umbral de compensación respiratoria (Beaver et al., 1986).

De acuerdo con lo planteado por (Chamari & Padulo, 2015), para describir el resultado de una prueba incremental ($VO_{2m\acute{a}x}$), no se debe hacer referencia a la velocidad aerobia máxima alcanzada, sino a la velocidad que permite que el ejercicio se mantenga durante más tiempo hasta alcanzar el $VO_{2m\acute{a}x}$.

El test de $VO_{2m\acute{a}x}$, requiere ser analizado, teniendo en cuenta que es una prueba aerobia, sin embargo, para al llegar al $VO_{2m\acute{a}x}$, se le imprime una intensidad al esfuerzo físico momento en el que predomina la vía glucolítica anaerobia, o sea sin la utilización de oxígeno para la obtención de la energía.

Economía de carrera/ efectividad

La economía de carrera es una medida fisiológica importante para los atletas de resistencia, los factores fisiológicos y biomecánicos son los que determinan e influyen en la economía de carrera. Siendo la economía de carrera un predictor útil del rendimiento de carrera de resistencia. Si el consumo de oxígeno está en estado estable a una



velocidad de carrera dada, se manifiesta la demanda de energía al correr (Barnes & Kilding, 2015).

Por ello se manifiesta que los corredores con buena economía de carrera usan menos oxígeno que corredores con escasa economía de carrera en una misma velocidad de estado constante. Habiendo como indicador de rendimiento en la carrera de resistencia, sería la economía energética como máxima expresión del aplazamiento de la fatiga (Latorre & Soto, 2000).

La economía de carrera varia (Barnes & Kilding, 2015) menciona que hasta un 30% entre corredores entrenados con un $VO_{2máx}$ similar. Siendo considerada medida multifactorial que refleja el funcionamiento de los sistemas metabólico, cardiopulmonar, biomecánico y neuromuscular.

Edad y Género

De acuerdo con la revisión realizada la edad y el género, constituyen factores que inciden en el rendimiento óptimo en las carreras de fondo. En el rango de edad 30 y 40 años se produce un equilibrio entre las variables $VO_{2máx}$, fuerza muscular y EC. Hay un 10% de diferencia entre los 10 mejores hombres y mujeres en la maratón de Nueva York entre 2006 y 2010.

Se ha observado que la EC va mejorando con la edad. Teniendo en cuenta lo anterior, uno de los objetivos del entrenamiento en personas de mayor edad es influir en las capacidades que son más afectadas con el paso de los años.

Las particularidades y resultados de las semejanzas entre los géneros según (García Avendaño et al., 2008) dependen primordialmente del somatotipo, la fisiología y la composición corporal. Las diferencias no van más allá de los límites normales para estos aspectos biológicos. Es decir, no hay evidencia que demuestren que los hombres sean superiores a las mujeres por atributos propios del género.

En lo referente a la morfología semejante entre un hombre y una mujer, se localiza que la mujer promedio en plena madurez se determina por una masa corporal y estatura menor que la del hombre, lo que traduce a una estructura corporal más pequeña y ligera. Siendo así las mujeres tienen la pelvis más ancha, tienen extremidades corporales cortas, músculos convergentes en dirección a las rodillas, por ello el fémur pierde verticalidad y



los huesos inferiores de las piernas presentan un arco menor que el de los hombres, con una depreciación de la eficacia mecánica al correr.

Las características morfofisiologías de la mujer pueden ser causas que limiten el rendimiento y la práctica deportiva. Además, son mayores los riesgos de sufrir lesiones debido a la inestabilidad de la rodilla.

El sistema cardiopulmonar, también muestra diferencias entre los géneros. Se menciona que el volumen cardíaco de una mujer es menor en un 25%. Se corresponde con el condicionante morfológico de que la caja torácica femenina es más pequeña y con una capacidad pulmonar menor en una 10% que la masculina. Así mismo, la capacidad para el transporte de oxígeno por cada litro de sangre es un 11% menor en la mujer. Sin embargo, es significativo destacar que para una misma intensidad de esfuerzo, las mujeres entrenadas generalmente tienen un volumen cardiopulmonar similar al de los hombres comparablemente entrenados o con un nivel de actividad similar (García Avendaño et al., 2008).

Fibras musculares

Hay diferentes tipos de fibras musculares, las fibras que predominan en el atletismo de fondo son las fibras de contracción lenta (**Slow Twitch**), también conocidas como fibras rojas o de tipo I.

Las fibras lentas tienen una elevada capacidad de producir energía por vía aerobia a baja potencia. Estas fibras presentan adaptaciones metabólicas para el esfuerzo lento y de duración prolongada, tolerancia al cansancio, capacidad de permanecer por más tiempo desarrollando contracciones musculares.

Las fibras de tipo I o lentas contienen un gran número de mitocondrias, un metabolismo aerobio alto y una mayor resistencia a la fatiga. Una de las características que más resalta es el alto contenido de mioglobina, junto al gran número de mitocondrias y capilares sanguíneos favorece el aporte de oxígeno y su utilización (Billat, 2002).

El porcentaje de los diferentes tipos de fibras está condicionado desde el punto de vista genético, aunque algunos de sus parámetros pueden ser modificados mediante un entrenamiento de fuerza y resistencia. Es por ello que una alta prevalencia de fibras de tipo I a nivel muscular al parecer es un requisito fundamental para el éxito en los deportes



de resistencia. Según (Sanchis, 2015) el tipo I de fibras en la musculatura entrenada se relaciona con los años de entrenamiento de resistencia previos.

Genética de los corredores

Los estudios del ADNmt y en el cromosoma Y, no aportaron evidencias genéticas que sustenten la base biológica de las diferencias raciales en el rendimiento deportivo de los corredores africanos, (Scott et al., 2005) (Onywera et al., 2006) (Scott et al., 2009) (Wilber & Pitsiladis, 2012).

Teniendo en cuenta los diferentes niveles de desequilibrio de ligamiento entre caucásicos y africanos, en el análisis de la variante ACE potencialmente causal (genotipo A22982G), no se encontraron diferencias significativas en su frecuencia entre los atletas de Etiopía, Kenia y la población general, (Scott et al., 2005).

Los genes ACE y ACTN3 se asocian con el rendimiento en la carrera de resistencia aerobia, sin embargo, los datos obtenidos no resultan suficientes para sustentar dicha asociación, según la evidencia encontrada al parecer el fenotipo tiene una mayor influencia que el genotipo en el éxito del corredor de larga distancia, (Scott & Pitsiladis, 2007). Por otro lado, los resultados en el rendimiento atlético de ciertas poblaciones son multifactoriales. Por lo que resulta poco probable que el éxito de los atletas de élite sea por un SNP5 (Pitsiladis & Scott, 2005), debe ser el resultado de una amplia combinación de genotipos ventajosos (Scott & Pitsiladis, 2007).

Para llegar a considerar que los factores genéticos sean directamente responsables del desempeño de los africanos, es necesario profundizar en estudios en los que se determine la frecuencia de variantes de otros genes candidatos nucleares en cohortes específicos. Atendiendo a las tendencias actuales en el deporte, se recomienda la investigación genómica, de modo que se estudien múltiples genes simultáneamente, el genoma completo, en vez de centrarse en genes candidatos únicos, de esta forma se podrían encontrar posibles genes o esclarecerse las inconsistencias en este tema relacionadas con el éxito deportivo en los corredores de larga distancia (Wilber & Pitsiladis, 2012) (Skinner, 2001)(Roth et al., 2012) (Onywera et al., 2006).

En los momentos actuales, a pesar de las investigaciones realizadas los hallazgos han sido limitados con respecto a variantes genéticas asociadas al rendimiento deportivo, la



capacidad de entrenamiento del sujeto así como la predisposición a las lesiones (Wang et al., 2016).

Conclusiones

Es clara la influencia de los factores fisiológicos en el rendimiento de los corredores de fondo, se afectan por la edad, sexo y fatiga. Estudios demuestran al consumo máximo de oxígeno como un mal predictor del rendimiento de resistencia, todo lo contrario, la economía de la carrera.

Referencias

- Arden, N. K., & Spector, T. D. (1997). Genetic influences on muscle strength, lean body mass, and bone mineral density: A twin study. *Journal of Bone and Mineral Research*, 12(12), 2076–2081. <https://doi.org/10.1359/jbmr.1997.12.12.2076>
- Atkinson, Q. D., Gray, R. D., & Drummond, A. J. (2009). Bayesian coalescent inference of major human mitochondrial DNA haplogroup expansions in Africa. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 276(1655), 367–373. <https://doi.org/10.1098/rspb.2008.0785>
- Barnes, K. R., & Kilding, A. E. (2015). Running economy: measurement, norms, and determining factors. *Sports Medicine - Open* 2015 1:1, 1(1), 1–15. <https://doi.org/10.1186/S40798-015-0007-Y>
- Beaver, W., Wasserman, K., & Whipp, B. (1986). A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 60(6), 2020–2027. <https://doi.org/10.1152/JAPPL.1986.60.6.2020>
- Beltrami, F., Froyd, C., Mauger, A., Metcalfe, A., Marino, F., & Noakes, T. (2012). Conventional testing methods produce submaximal values of maximum oxygen consumption. *British Journal of Sports Medicine*, 46 (1), 23–29. <https://doi.org/10.1136/BJSPORTS-2011-090306>
- Ben-Zaken, S., Meckel, Y., Nemet, D., Kassem, E., & Eliakim, A. (2021). Genetic Basis for the Dominance of Israeli Long-Distance Runners of Ethiopian Origin. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 35(7), 1885–1896. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002989>
- Billat, V. (2002). *FISIOLOGÍA Y METODOLOGÍA D E L E N T R E N A M I E N T O*.



<http://www.paidotribo.com>

- Caldas Zárate, R., Marino Isaza, F., & Valbuena Ruiz, L. H. (1991). Validación de un test de carrera sobre 3200 m. para la determinación del consumo máximo de oxígeno y de las fracciones aeróbica-anaeróbicas a concentraciones definidas de lactato plasmático en corredores de fondo.
- Chamari, K., & Padulo, J. (2015). 'Aerobic' and 'Anaerobic' terms used in exercise physiology: a critical terminology reflection. *Sports Medicine - Open* 2015 1:1, 1(1), 1–4. <https://doi.org/10.1186/S40798-015-0012-1>
- Daniels, J., & Daniels, N. (1992). *Running economy of elite male and elite female runners - PubMed*. 24(4), 489. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/1560747/>
- García Avendaño, P., Flores Esteves, Z., Rodríguez Bermudes, A., Brito Navarro, P., & Peña Oliveros, R. (2008). *Mujer y deporte. hacia la equidad e igualdad*. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-37012008000100004
- García, M., & Llopis, R. (2010). *Ideal democrático y bienestar personal*. 270.
- González-Mohíno Mayoralas, F., Jiménez Díaz, J. F., Juárez Santos-García, D., Barragán Castellanos, R., Yustres, I., & M^a González-Ravé, J. (2018). Running economy and performance. High and low intensity efforts during training and warm-up. A bibliographic review. *Arch Med Deporte*, 35(2), 108–116.
- Grivas, G. (2020). Physiological predictors of distance runners' performance: a narrative review. *TRENDS IN SPORT SCIENCES*, 27(3), 117–123. <https://doi.org/10.23829/TSS.2020.27.3-1>
- Helgerud, J., Støren, Ø., & Hoff, J. (2009). Are there differences in running economy at different velocities for well-trained distance runners? *European Journal of Applied Physiology* 2009 108:6, 108(6), 1099–1105. <https://doi.org/10.1007/S00421-009-1218-Z>
- Hunter, S. K., & Stevens, A. A. (2013). Sex differences in marathon running with advanced age: Physiology or participation? *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 45(1), 148–156. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31826900f6>
- Latorre, R. P. Á., & Soto, H. V. (2000). Economía en la carrera de resistencia. *Apunts. Medicina de l'Esport*, 35(134), 25–35. [https://doi.org/10.1016/S1886-6581\(00\)75971-8](https://doi.org/10.1016/S1886-6581(00)75971-8)



- Maffulli, N., Margiotti, K., Longo, U., Loppini, M., Fazio, V., & Denaro, V. (2013). The genetics of sports injuries and athletic performance. *Muscles, Ligaments and Tendons Journal*, 3(3), 173–189. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC24367777/?tool=EBI>
- McArdle, W., Katch, F., & Katch, V. (2015). El fundamento de la fisiología del ejercicio. *Archivos de Medicina Del Deporte*, 32(3), 169–176.
- Medellín, J. P. (2012). Genetic Profile in Sport High Competition. *Revista Digital: Actividad Física y Deporte*, 107–117.
- Mills, M., Yang, N., Weinberger, R., Vander Woude, D., Beggs, A., Easteal, S., & North, K. (2001). Differential expression of the actin-binding proteins, alpha-actinin-2 and -3, in different species: implications for the evolution of functional redundancy. *Human Molecular Genetics*, 10(13), 1335–1346. <https://doi.org/10.1093/HMG/10.13.1335>
- Niño Hernández, C. A. (2012). Estimación Del Consumo Máximo De Oxígeno Mediante Pruebas De Ejercicio Maximales Y Submaximales. *Movimiento Científico*, 6(1), 19–30. <https://doi.org/10.33881/2011-7191.mct.06102>
- Noakes, T., Myburgh, K., & Schall, R. (1990). Peak treadmill running velocity during the VO₂ max test predicts running performance. *Journal of Sports Sciences*, 8(1), 35–45. <https://doi.org/10.1080/02640419008732129>
- Ogueta-Alday, A., Rodríguez-Marroyo, J. A., & García-López, J. (2013). Variables antropométricas, fisiológicas y biomecánicas determinantes del rendimiento en corredores de media maratón. *Biomecánica*, 21(1), 20–29. <https://doi.org/10.5821/sibb.v21i1.4667>
- Olympic Games Committees. (2021). *Olympic Games - Organising Committees*. <https://olympics.com/ioc/olympic-games>
- Onywera, V., Scott, R., Boit, M., & Pitsiladis, Y. (2006). Demographic characteristics of elite Kenyan endurance runners. *Journal of Sports Sciences*, 24(4), 415–422. <https://doi.org/10.1080/02640410500189033>
- Orgueta-Alday, A., & García-lopez, J. (2016). Factores que afectan al rendimiento en carreras de fondo. *RICYDE: Revista Internacional de Ciencias Del Deporte*, 12(45), 308. <https://doi.org/10.5232/ricyde>



- Ortigosa, J. M. (2016). Tesis!! Factores Psicologicos Y Fisiologicos Asociados Al Rendimiento Deportivo. *Tesis Doctoral Universidad de Málaga*.
file:///C:/Users/PC/Downloads/TD_ORTIGOSA_MARQUEZ_Jesus_Manuel (2).pdf
- Padilla, S., DORMOIS, D., DENIS, C., & LACOUR, J. (1991). Capacidad aerobia y anaerobia en corredores de medio fondo. Relaciones con la marca de 1500 m en pista. *Arch Med Deporte*, 8(0030), 00141–00146.
- Pitsiladis, Y., & Scott, R. (2005). Essay: The makings of the perfect athlete. *Lancet (London, England)*, 366 Suppl(SUPPL. 1). [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(05\)67828-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(05)67828-2)
- Rivera, O., Ruiz-Barquín, R., & De la Vega, R. (2012). *EL MODELO PARALELO DE PROCESAMIENTO Y LA PERCEPCIÓN DE*. November, 1–2.
- Roth, S. M., Rankinen, T., Hagberg, J. M., Loos, R. J. F., Pérusse, L., Sarzynski, M. A., Wolfarth, B., & Bouchard, C. (2012). Advances in exercise, fitness, and performance genomics in 2011. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 44(5), 809–817. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31824f28b6>
- Ruiz Griman, D. J. (2014). *VO2max, composición corporal y clasificación según el rendimiento en 10 km de corredores aficionados*. Efdportes. <https://www.efdeportes.com/efd193/vo2max-rendimiento-en-10-km-de-corredores-aficionados.htm>
- Salguero, A., Fernández, P. M., & Martos Fernández, P. (2011). *Educación Física y Deportes*. 91–100.
- Sanchis, C. (2015). *Fibra muscular - International Endurance Group*. <https://g-se.com/fibra-muscular-bp-J57cfb26dbc0d7>
- Saw, A. E., Main, L. C., & Gatin, P. B. (2016). Monitoring the athlete training response: Subjective self-reported measures trump commonly used objective measures: A systematic review. *British Journal of Sports Medicine*, 50(5), 281–291. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-094758>
- Scott, R., Fuku, N., Onywera, V., Boit, M., Wilson, R., Tanaka, M., H Goodwin, W., & Pitsiladis, Y. (2009). Mitochondrial haplogroups associated with elite Kenyan athlete status. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41(1), 123–128.



<https://doi.org/10.1249/MSS.0B013E31818313A2>

- Scott, R., & Pitsiladis, Y. (2007). Genotypes and distance running: clues from Africa. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 37(4–5), 424–427. <https://doi.org/10.2165/00007256-200737040-00039>
- Scott, R., Wilson, R., Goodwin, W., Moran, C., Georgiades, E., Wolde, B., & YP, P. (2005). Mitochondrial DNA lineages of elite Ethiopian athletes. *Comparative Biochemistry and Physiology. Part B, Biochemistry & Molecular Biology*, 140(3), 497–503. <https://doi.org/10.1016/J.CBPC.2004.11.014>
- Skinner, J. (2001). Sports Science Exchange DO GENES DETERMINE CHAMPIONS? *Genetics*, 14(4).
- Svedenhag, J., & Sjödín, B. (1994). Body-mass-modified running economy and step length in elite male middle-and long-distance runners. *International journal of sports medicine*, 15(06), 305-310.
- Torres Navarro, V. (2017). Consumo de oxígeno, potencia, frecuencia cardiaca y economía de pedaleo en jóvenes ciclistas y triatletas. *Researchgate.Net*, April. <https://www.researchgate.net/publication/319906826>
- Tucker, R., & Collins, M. (2012). What makes champions? A review of the relative contribution of genes and training to sporting success. *British Journal of Sports Medicine*, 46(8), 555–561. <https://doi.org/10.1136/BJSPORTS-2011-090548>
- Tucker, R., Dugas, J., & Fitzgerald, M. (2009). *Runner's world, the runner's body: how the latest exercise science can help you run stronger, longer, and faster*. 278.
- Tucker, R., Santos-Concejero, J., & Collins, M. (2013). The genetic basis for elite running performance. *British Journal of Sports Medicine*, 47(9), 545–549. <https://doi.org/10.1136/BJSPORTS-2013-092408>
- Urdampilleta, A., Martínez, J. M., & Cejuela, R. (2012). *Indicadores del rendimiento deportivo: aspectos psicológicos, fisiológicos, bioquímicos y antropométricos*. Efdportes. <https://www.efdeportes.com/efd173/indicadores-del-rendimiento-deportivo.htm>
- Vancini, R., Pesquero, J. B., Fachina, R. J., Dos, M., Andrade, S., Borin, J. P., Montagner, P. C., Andre Barbosa De Lira, C., & Barbosa De Lira, C. A. (2014). Genetic aspects of



- athletic performance: the African runners phenomenon. *Open Access Journal of Sports Medicine*, 5, 127. <https://doi.org/10.2147/OAJSM.S61361>
- Verdugo, M. F. (2015). El proceso de maduración biológica y el rendimiento deportivo. *Revista Chilena de Pediatría*, 86(6), 383–385. <https://doi.org/10.1016/J.RCHIPE.2015.10.003>
- Wang, G., Tanaka, M., Eynon, N., North, K. N., Williams, A. G., Collins, M., Moran, C. N., Britton, S. L., Fuku, N., Ashley, E. A., Klissouras, V., Lucia, A., Ahmetov, I. I., Geus, E. de, Alsayrafi, M., & Pitsiladis, Y. P. (2016). The Future of Genomic Research in Athletic Performance and Adaptation to Training. *Medicine and Sport Science*, 61, 55–67. <https://doi.org/10.1159/000445241>
- Wilber, R., & Pitsiladis, Y. (2012). Kenyan and Ethiopian distance runners: what makes them so good? *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 7(2), 92–102. <https://doi.org/10.1123/IJSP.7.2.92>
- Yang, N., MacArthur, D., Gulbin, J., Hahn, A., Beggs, A., Eastal, S., & North, K. (2003). ACTN3 genotype is associated with human elite athletic performance. *American Journal of Human Genetics*, 73(3), 627–631. <https://doi.org/10.1086/377590>
- Yang, N., MacArthur, D., Wolde, B., Onywera, V., Boit, M., Lau, S., Wilson, R., Scott, R., YP, P., & North, K. (2007). The ACTN3 R577X polymorphism in East and West African athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(11), 1985–1988. <https://doi.org/10.1249/MSS.0B013E31814844C9>

Conflicto de intereses:

La autora declara que no posee conflictos de intereses respecto a este texto.