

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ
FACULTAD DE MEDICINA. TRABAJO FIN DE GRADO EN
PODOLOGÍA



UNIVERSITAS
Miguel Hernández

biblioteca
UNIVERSITAS Miguel Hernández

Eficacia de la placa de fibra de carbono en las zapatillas del corredor.

Revisión bibliográfica.

AUTOR: Silvestre Rodríguez Claudia

TUTOR. Departamento y Área. Alonso Montero, Carolina. Patología y Cirugía. Área de Traumatología y Ortopedia.

Curso académico 2023 - 2024

Convocatoria de junio.

Índice

1.Listado de abreviaturas.....	3
2.Resumen y Abstract.....	5
2.1.Resumen.....	5
2.2.Abstract.....	7
3.Introducción.....	8
4.Objetivos.....	9
5.Material y métodos.....	10
5.1.Diseño del estudio.....	10
5.2.Estrategia de búsqueda.....	10
5.3.Criterios de inclusión y exclusión.....	11
6.Resultados.....	13
7.Discusión.....	23
7.1.Limitación del estudio.....	25
8.Conclusión.....	26
9.Referencias bibliográficas.....	27
10.Anexos.....	29

1. Listado de abreviaturas

AFCT3: Adidas adizero Avanti TYO. Espuma Lightstrike Pro, una espuma de elastómero de poliéter termoplástico liviano, que forma una entre suela rocker con un espesor de 17 mm, con varillas de fibra de vidrio incrustadas para una mayor rigidez a la flexión y 6 clavijas

AFT: tecnología avanzada de carrera.

AFTC1: PUMA evoSPEED Long Distance Nitro Elite+. Cuenta con nitro, pero no placa de fibra de carbono.

AFTC2: Nike ZoomX Dragonfly. Espuma ZoomX, un compuesto de espuma PEBA liviano, que forma una entre suela rocker con un espesor de 12 mm, pero sin placa de fibra de carbono, y 6 clavos por zapato.

AFTP1: prototipo de pico de media distancia PUMA AFT. Entresuela de espuma altamente resistente y flexible con una placa de fibra de carbono incrustada.

AFTP2: prototipo de pico de larga distancia PUMA AFT. No tiene placa de fibra de carbono.

AFTP3: prototipo de pico de media distancia PUMA AFT. Entresuela de espuma altamente resistente y flexible con placa de fibra de carbono incrustada.

CFP: carbon fiber plate

EP: Saucony Endorphin Pro.

GS: zapato de conexión a tierra.

LBS: longitud del arco del pie.

LBS: rigidez a la flexión longitudinal del zapato.

RE: economía de carrera.

RER: Índice de intercambio respiratorio.

Tipo A: Saucony TypeA, zapatillas de control.

TRAD: PUMA EvoSpeed Distance 9, contiene clavos de pista tradicional, amortiguación mínima y no tiene elementos que modifiquen la rigidez a la flexión.

TRAD+: PUMA EvoSpeed Distance 9, con las mismas púas que las tradicionales, pero con 200g de masa agregada.

TTS: calzado de entrenamiento tradicional.



2. Resumen y Abstract

2.1. Resumen

Introducción: El running es una de las mejores actividades para mantener y mejorar la salud física, mental y psicosocial. La placa de fibra de carbono (AFT) apareció por primera vez en los juegos olímpicos de 2016 y dos años después Eliud Kipchoge consiguió romper la barrera de las 2h en maratón gracias a ella. La placa fibra de carbono es una lámina delgada que proporciona rigidez y mayor capacidad de propulsión.

Objetivo: Conocer a través de la literatura científica el efecto de la placa de fibra de carbono sobre el corredor.

Material y métodos: Esta revisión bibliográfica se fundamenta en conocer el efecto de la placa de la fibra de carbono en las zapatillas del corredor. Para ello se consulta en las bases Scopus, Pubmed, Embase y Medline. Finalmente se seleccionan 7 estudios experimentales.

Resultados: Se encuentra una mejora en el rendimiento de carrera de los corredores, reduciéndose el tiempo de sus marcas. La economía de carrera de los atletas es significativamente mejor en presencia de la placa de fibra de carbono. Sin embargo, la longitud de pasos no varía de forma significativa.

Conclusión: Las placas de fibra de carbono son una innovación interesante en el calzado deportivo, proporcionando a los corredores mejoras notables en su rendimiento y economía de carrera, entre otros.

Palabras clave: “Running”, “shoes” “carbon “fiber” “plate”.

2.2. Abstract

Introduction: Running is one of the best activities to maintain and improve physical, mental, and psychosocial health. The carbon fiber plate (AFT) first appeared at the 2016 Olympic Games, and two years later, Eliud Kipchoge managed to break the 2-hour marathon barrier thanks to it. The carbon fiber plate is a thin sheet that provides stiffness and greater propulsion capacity.

Objective: To understand through scientific literature the effect of the carbon fiber plate on the runner.

Materials and Methods: This literature review is based on understanding the effect of the carbon fiber plate in running shoes. For this purpose, databases such as Scopus, Pubmed, Embase, and Medline are consulted. Finally, 7 experimental studies are selected.

Results: An improvement in runners' performance was found, with a reduction in their race times. The running economy of athletes is significantly better in the presence of the carbon fiber plate. However, stride length does not vary significantly.

Conclusion: Carbon fiber plates are an interesting innovation in sports footwear, providing runners with notable improvements in their performance and running economy, among others.

Keywords: "Running", "shoes", "carbon", "fiber", "plate".

3. Introducción

El running es un deporte que ha conseguido captar la atención de muchas personas en los últimos años, llegando a considerarse como una de las mejores actividades para mantener y mejorar la salud física, mental y psicosocial (1).

Al mismo tiempo que ha aumentado el número de practicantes de este deporte han ido incrementándose los conocimientos sobre qué tipo de calzado es necesario para correr, surgiendo interés en cuáles son las características más importantes de una buena zapatilla de running. Si bien es importante destacar el factor individual en el efecto que tiene el calzado en cada uno de nosotros, los expertos han ido un paso más allá, introduciendo elementos nuevos para probar si pueden contribuir de manera favorable a los tiempos de los corredores, la reducción del consumo máximo de oxígeno o la mejora de la economía de carrera. Podemos definir economía de carrera (RE) como la eficiencia con la que un corredor consume energía a una velocidad específica, permitiendo correr más rápido, durante más tiempo con una menor fatiga.

La placa de fibra de carbono (AFT) apareció por primera vez en competición durante los juegos olímpicos de Río de Janeiro 2016, dentro del modelo ya muy conocido, Nike Zoom Vaporfly. Pero no fue hasta dos años más tarde, cuando el corredor Eliud Kipchoge, consiguió romper la barrera de las 2h en maratón (1:59:40) en Viena, utilizando como calzado las Nike Air Zoom Alphafly NEXT%, zapatillas que contenían una AFT (2). Gracias a la utilización de nuevas tecnologías, se han conseguido reducir las marcas de las maratones, 5 minutos en hombres y 7 en mujeres (2).

Desde el lanzamiento de las zapatillas con placa por parte de Nike en 2016, los atletas que usan zapatillas con AFT han batido todos los récords mundiales masculinos y femeninos en carreras de larga distancia en carretera, desde 5 km hasta el maratón(3) . Por lo tanto, se puede intuir que

las recientes mejoras en los récords mundiales de carreras de larga distancia no son fisiológicas, sino más bien tecnológicas (3).

Es importante describir la placa de fibra de carbono, como una lámina delgada de fibra de carbono situada en la entre suela de la zapatilla, que proporciona rigidez y mayor capacidad de propulsión. Estudios previos (4) han demostrado que la flexión del antepié o de las articulaciones metatarsofalángicas durante la carrera induce una mayor pérdida de energía, al aumentar la rigidez a la flexión longitudinal de la entre suela del zapato reduce el rango de movimiento de la articulación metatarsofalángica. Las entresuelas actuales están compuestas de una CFP (carbon fiber plate) gruesa pero liviana diseñadas para que haya un mayor retorno de energía, requiriendo, por lo tanto, menor energía por paso al deportista (5,6).

4. Objetivos

Tras la selección del tema, se propone resolver la siguiente pregunta PICO, como se muestra la [\(Tabla1\)](#)

P	Corredores de cualquier nivel
I	Uso de las zapatillas de correr con placa de fibra de carbono
C	Uso de las zapatillas de correr que no lleven la placa o tengan otro tipo de tecnologías
O	Mejorar el rendimiento, economía de carrera y reducción del gasto energético

*PICO: population - intervention - comparator - outcomes

¿Cuál es el efecto de las zapatillas de running que tienen placa de fibra de carbono, en comparación con otras zapatillas (sin esta placa) en corredores?

Al plantear la presente revisión, el objetivo principal es:

- Conocer a través de la literatura científica el efecto de la placa de fibra de carbono sobre el corredor.

Surgiendo como objetivos secundarios.

- Determinar si el uso de zapatillas de correr con placa de fibra de carbono afecta a la economía de carrera.
- Conocer si se modifica el consumo de oxígeno en los corredores con el uso de zapatillas con placa de fibra de carbono.
- Valorar si existen cambios en la velocidad asociado al uso de pala de fibra de carbono en las zapatillas de carrera.

5. Material y métodos

5.1. Diseño del estudio

El contexto de esta revisión bibliográfica es fundamentalmente conocer la evidencia científica existente hasta la fecha que permita determinar el efecto que tiene la placa de fibra de carbono en las zapatillas de los corredores.

5.2. Estrategia de búsqueda

Para poder responder a la pregunta planteada, así como a los objetivos, se realizó una búsqueda de artículos en 4 bases de datos diferentes, Embase, Scopus, Pubmed y Medline. El proceso transcurrió entre los meses de marzo a mayo de 2024.

Se utilizaron las siguientes palabras clave: “running”, “racing”, “race”, “track and field”, “jog”, “jogging”, “shoes”, “shoe”, “footwear”, “sneakers”, “sneaker”, “carbon”, “fiber” y “plate”.

Las palabras: “running”, “racing”, “race”, “track and field”, “jog”, “jogging” son sinónimos de correr y carreras, por lo que se utilizó el factor booleano “OR” para introducirlas en la ecuación de búsqueda.

Por otro lado , las palabras: “shoes”, “shoe”, “footwear”, “sneakers”, “sneaker” son equivalentes del término zapatillas o deportivos, utilizando de nuevo el factor “OR” para añadirlas en la búsqueda en bases de datos.

Finalmente, los términos “carbon”, “fiber” y “plate” hacen referencia a la placa de fibra de carbono, por lo que se utiliza “AND” para incluirlas en la ecuación.

Entre los diferentes grupos desglosados, se introduce “AND” para poder componer bien la fórmula. Además de especificar que estos términos deben aparecer en el título y/o en el abstract, por lo que se selecciona el factor correspondiente en las diferentes bases.

5.3. Criterios de inclusión y exclusión

Los artículos seleccionados, cumplen los siguientes criterios de inclusión y responden a al objetivo planteado. Los criterios de inclusión utilizados fueron:

- Idioma en español e inglés.
- Artículos que evalúen y/o hablen del gasto energético y la velocidad del corredor.
- Artículos que hablen de economía de carrera.
- Artículos que traten sobre la placa de fibra de carbono en las zapatillas.

Por otro lado, los criterios de exclusión de la búsqueda:

- Publicaciones anteriores a 2014.
- Artículos que no son de acceso libre.
- Revisiones bibliográficas.

Una vez incorporadas las ecuaciones de búsqueda en las 4 bases de datos elegidas, se obtuvieron 76 artículos. Al pertenecer a diferentes repositorios de datos, se analizaron los artículos y se descartaron los duplicados, quedándose con 58 artículos en total. Tras pasar el primer filtro, se

seleccionan los textos que cumplían los criterios de inclusión anteriormente mencionados, en total 17 artículos.

Finalmente, se eliminan aquellos que cumplen los criterios de exclusión nombrados en el apartado anterior, quedando 7 artículos con los que se ha realizado esta revisión bibliográfica.

La metodología de la búsqueda se expone en el diagrama de flujo, donde se observa con claridad los resultados obtenidos y cómo se han ido descartando los artículos hasta llegar a la muestra final. En la [Figura 1](#) se muestra el diagrama de flujo de la búsqueda.

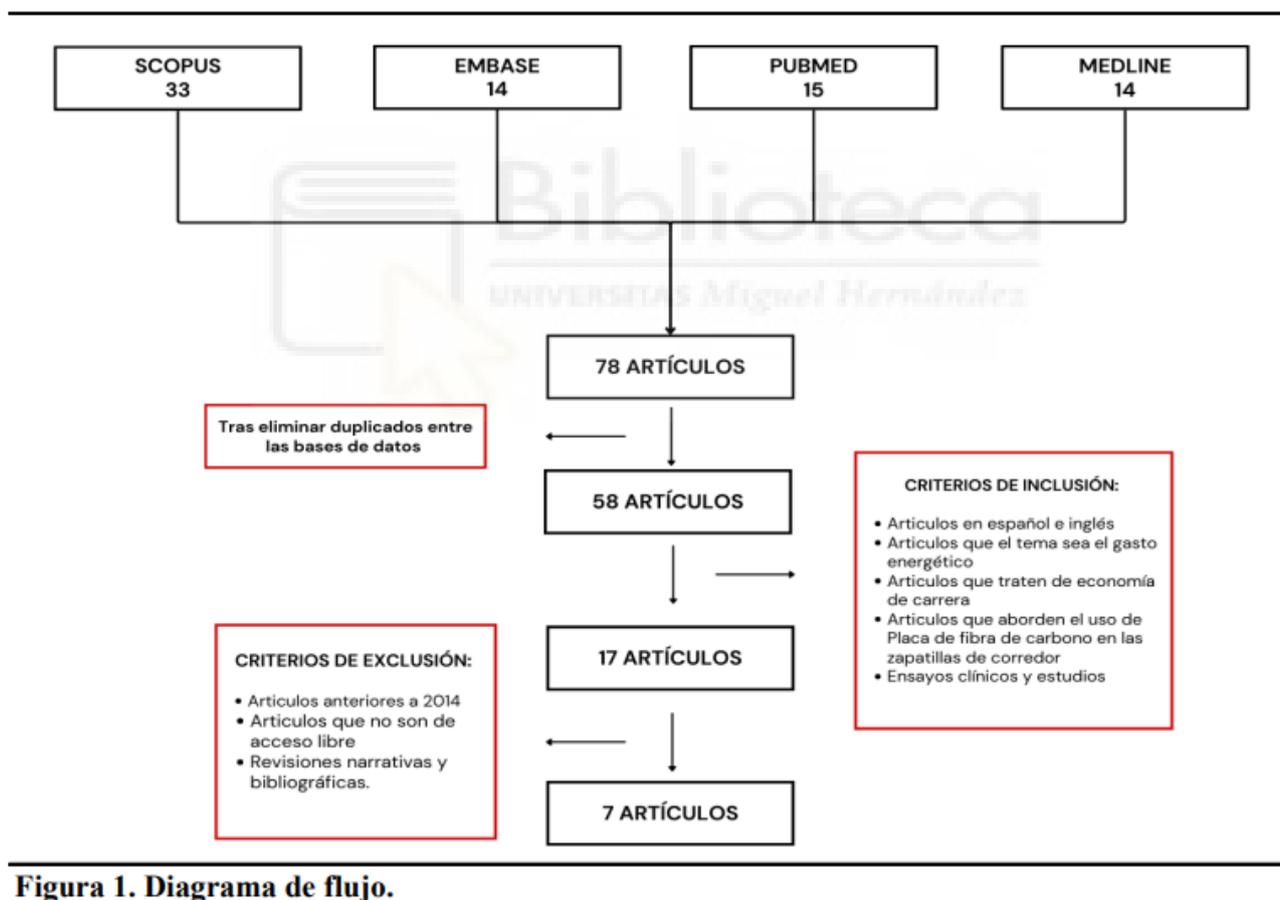


Figura 1. Diagrama de flujo.

6. Resultados

Como se ha expuesto en apartados anteriores, tras eliminar duplicados, cumplir los criterios de inclusión y aplicar los criterios de exclusión, han reducido a 7 artículos para realizar esta revisión bibliográfica. Estos ayudarán a responder a la pregunta de investigación. Los tipos de texto seleccionados son: 6 estudios experimentales y 1 estudio retrospectivo.

Las muestras de los artículos seleccionados varían, encontrándose en un rango desde 10 participantes (7) hasta 48 en uno de los estudios (8) . Si bien es cierto, se ha contado con un estudio retrospectivo (9) cuya muestra es de 1772 corredoras, esto se debe a que analiza los datos existentes de las atletas que se clasificaron entre las 20 mejores del mundo desde 1990 hasta 2020.

En el estudio de Bertschy et al. (8) se comparan varios tipos de calzados en 4 experimentos diferentes. En cada uno de los experimentos, hay zapatillas con características diferentes, intentando conocer cuáles benefician al corredor. En el experimento 1, ambos calzados no poseen placa de fibra de carbono, si no que los corredores utilizan dos zapatillas de clavos diferente (picos) y unas pesan más que otras. Los picos que pesaban menos, tenían una velocidad media (vm) ligeramente más lenta que en los tradicionales. En los siguientes 3 experimentos, se compararon el calzado tradicional con el que llevaba fibra de placa de carbono, las zapatillas con la fibra fueron más rápidas. La frecuencia de pasos no varió significativamente, sin embargo, la longitud de los pasos fue mayor en las zapatillas AFTC (zapatillas que llevan fibra de placa de carbono) que, en las TRAD (zapatillas tradicionales), pero no varió significativamente entre las AFTC.

Hunter et al. (10) midió el coste metabólico de los corredores y el índice de intercambio respiratorio en 3 situaciones diferentes (cuesta arriba, cuesta abajo y en llano) para evaluar si existía una diferencia significativamente importante en el uso de calzado con placa de fibra de carbono dependiendo de tipo de tramo que se esté corriendo. El coste metabólico se redujo cuando

utilizaban EP (Saucony Endorphin Pro.), tanto cuesta arriba, como cuesta abajo como nivelado, pero ese valor no fue muy diferente al de los que utilizaban zapatillas control (Saucony TypeA, zapatillas de control, sin placa de fibra de carbono).

En el siguiente estudio experimental, Muniz-Pardos et al. (7) se seleccionaron 10 corredores profesionales, internacionales y nacionales y se midieron ciertos valores, en este estudio las variables de importancia fueron el VO_2 máximo (volumen máximo de oxígeno) y RE (economía de carrera). El volumen de oxígeno máximo, aumentó en las zapatillas que no contenía la tecnología de placa de fibra de carbono (TSS) en comparación con las que en las que sí tenían. Los valores de economía de carrera no diferían mucho, por lo tanto, no existían diferencias estadísticamente significativas para determinar que un tipo de zapatilla era mejor que otra.

Rodrigo-Carranza et al. (11) comparaba 3 tipos de calzado, uno tradicional sin ningún tipo de tecnología (zapato control), otro con placa de fibra de carbono rígida (AFT rígida9) y el último con placa, pero más rígida que la del anterior. En general el índice de intercambio respiratorio se encontró entre $<1,0$. La economía de carrera mejoró con el calzado de placa rígida en comparación con el que no tenía, pero no existían diferencias significativas entre el calzado con placa más rígida y el de control. La frecuencia de pasos y el tiempo de contacto, no varió significativamente entre ninguno de los grupos estudiados.

Langley et al. (9) en un estudio retrospectivo que recopila los datos de 1772 atletas clasificadas entre las 20 mejores del mundo entre los años 1990 y 2020. Se compara el calzado tradicional, que es desde el año 2013-2016, con el AFT de 2017-2020. En términos de rendimiento, las corredoras con zapatos AFT, mejoraron un promedio de 143s en comparación con los tradicionales. El tiempo medio mejoró significativamente en los últimos 3 años (2018-2020), en las carreras de 10km se mejora 33s con el uso de este calzado en comparación al tradicional. El rendimiento de las atletas en maratón, difiere en 207s entre el calzado tradicional y el AFT.

Beck et al. (12) midieron la economía de carrera a partir de los valores obtenidos de rigidez de flexión del calzado y la potencia aeróbica bruta. Con las Adidas Adizero Adios BOOST 2 (Adidas sin placa de fibra de carbono), existen valores donde mejoraba su RE, mientras que, para Adidas con diferentes placas (en este estudio utilizan zapatillas de la marca Adidas con diferentes grosores de placa de fibra de carbono), hay valores donde empeoraba su economía de carrera. Al realizar las mediciones del consumo de oxígeno de los corredores, obtuvieron como resultado que la economía de carrera mejoró un 2,2% en calzado con placas que en las que no la tenían. Al deberse a una muestra tan pequeña, el valor no puede tomarse como válido, ya que para poder medir esta variable sería necesario una muestra mucho más grande, asegurándose así de que no intervenga el azar.

Rodrigo-Carranza et al. (13) estudió dos grupos uno en el cual los participantes corren 10km en tiempos de inferiores a 34 minutos (rápidos) y otro en el que los integrantes tardan de 38 a 45 minutos en hacer 10km (lentos). Uno de los ítems que miden es la RE en relación con la flexión longitudinal de la suela (LBS), utilizando calzado con AFT y calzado control. El aumento de LBS en los corredores lentos con AFT, muestra una mejora de la RE significativa. Existe además una diferencia significativa entre el grupo control y el AFT. Los corredores con economía de carrera deficiente mejoran más que aquellos que su RE era mejor. Los valores de la longitud de los pasos no varían significativamente dentro de los grupos, es decir, dentro del grupo de corredores lentos, los que tienen las zapatillas con AFT y los que tiene las zapatillas control, no se observa una diferencia significativa en su longitud de pasos, ocurre igual en el grupo de corredores rápidos. Sí bien es cierto el modelo AFT con LBS aumentada, da como resultado una disminución de la frecuencia de pasos.

En la [Tabla 2](#), se presentan los resultados de los estudios anteriormente nombrados con los valores de media y desviación típica, así como del p.valor.

Autores	Muestra	Tipo de estudio	Variables	Resultados	*Nivel de evidencia del estudio
Bertschy et al. (2024) (8)	48 participantes	Estudio experimental multicéntrico	Velocidad media	<p>Experimento 1. ^JTRAD+: (6,04 ± 0,50 m/s) ^bTRAD: (5,97 ± 0,52 m/s) p = 0,004</p> <p>Experimento 2: ^aAFTP1: (6,35 ± 0,42 m/s) ^bTRAD: (6,28 ± 0,50 m/s) p = 0,030</p> <p>Experimento 3: ^cAFTP2: (6,52 ± 0,37 m/s) ^dAFTP3: (6,60 ± 0,36 m/s) ^bTRAD: (6,40 ± 0,34 m/s) p = 0,0003</p> <p>Experimento 4: ^eAFTC1: (6,44 ± 0,45 m/s) ^fAFTC2: (6,41 ± 0,51 m/s) ^bTRAD: (6,31 ± 0,47 m/s) ^gAFCT3: (6,36 ± 0,48 m/s) p = 0,002</p>	6,5p Calidad moderada

			Frecuencia de pasos (cadencia)	No varía significativamente.	
			Longitud de pasos	^e AFTC1: (1,93 ± 0,15 m) ^f AFTC2: (1,92 ± 0,16 m) ^b TRAD: (1,88). ± 0,15 m p = 0,0512	
(Hunter et al., 2022) (10)	18 participantes (10 hombres y 8 mujeres)	Estudio de intervención cruzada	Coste metabólico (ahorro en el coste de oxígeno)	ⁱ EP: (46,7 ± 3,8 ml/kg/min) ^h Tipo A: (47,4 ± 4,8 ml/kg/min) p = 0,004	6 calidad moderada
			índice de intercambio respiratorio	<1,0 (media ± sd = 0,88 ± 0,04)	

			Rendimiento de carrera (10km)	^N AFT 2017-2020: Mejora del rendimiento en (331± 312s) Calzado tradicional: (123 ±116s). Diferencia de 207s	
(Beck et al., 2020) (12)	15 corredores	Estudio experimental cruzado aleatorizado	^M RE: Rigidez de flexión del calzado Potencia aeróbica bruta:	Adidas Adizero Adios BOOST 2(si AFT): (13,0 ± 1,0 kN/m) (valores donde minimiza su RE) Adidas con placas 0,8mm ,1,6mm, 3,2m: (31,0 ± 1,5kN/m), (43,1 ± 1,6 kN/m) y (84,1 ± 1,1 kN/m). (para otros valores donde minimiza RE) Adidas con placas 0,8mm ,1,6mm, 3,2m: (0,3 ± 2,2% menor).	5 calidad moderada

(Rodrigo-Carranza et al., 2023) (13)	28 corredores masculinos. 2 grupos: 1. 10km en tiempo inferior a 34min. 2. 10km en tiempo entre 38 y 45 min.	Estudio experimental	^M RE: Longitud de paso:	Modelo con AFT (curva): La economía de carrera mejora significativamente, con el aumento de LBS en el grupo más lento 11.86 ± 0.93 , en comparación con los más rápidos $1.41 \pm 0.93 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$. Modelo control, existe una diferencia significativa con el AFT. ($15,86 \pm 1,35$ frente a $15,50 \pm 0,98 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$) Corredores lentos: aumenta 0.92 ± 0.05 , control, $0,93 \pm 0,05$ m para AFT. Corredores rápidos: $1,27 \pm 0,073$ vs. $1,28 \pm 0,07$ m	7 calidad moderada

TABLA 2. Resultados de los artículos seleccionados. * La evaluación del nivel de evidencia de los artículos se realizó a través de la escala CASpe.

7. Discusión

Los resultados de esta revisión bibliográfica indican que la placa de fibra de carbono sí tiene un efecto en las zapatillas de los corredores. Esta nueva tecnología es capaz de mejorar la velocidad media de los corredores. En el estudio Bertschy et al. (8) tras 4 experimentos diferentes, comparando calzados con placas y sin ellas, se llega a la conclusión de que la placa de fibra de carbono hace que aumente la velocidad media de los corredores de manera significativa.

Por otro lado, estudios como el de Hunter et al. (10) midieron el coste metabólico y el índice de intercambio respiratorio, y se determinó que el coste es significativamente menor en las zapatillas que contienen la placa, por lo que aporta un beneficio claro a los corredores, ya que consiguen utilizar menos energía (y por lo tanto menor cantidad de oxígeno) para mantener una velocidad determinada, ayudando al corredor a mantener velocidades altas con menor esfuerzo. En consonancia con lo comentado anteriormente, Muniz-Pardos et al. (7) obtienen como resultado que el VO_2 máximo de los deportistas fue menor en el calzado con placa que en el que no contenía placa. Esta variable demuestra la capacidad que tiene el cuerpo humano de consumir oxígeno de forma eficiente durante el ejercicio, por lo que cuanto mayor sea el VO_2 máximo, mejor será para su rendimiento en carrera. Langley et al. (9) afirmó que el rendimiento de carrera mejoraba reduciendo el tiempo de los corredores en 143s con las zapatillas que contenía AFT. Si compara con las tradicionales, reducen 33s más el tiempo aquellas que tiene AFT, por lo que la velocidad, resistencia y capacidad de mantener un esfuerzo de manera constante se ve afectada de manera favorable.

La longitud de los pasos fue medida en el estudio de Bertschy et al. (8) siendo mayor en los corredores con AFT, por el contrario, Rodrigo-Carranza et al. (13) explica que existen ciertas diferencias, pero no es significativa como para afirmar que la longitud de los pasos aumenta con la tecnología de la placa.

Por otro lado, 4 de los estudios seleccionados (7,11–13) para la revisión, han valorado la economía de carrera en base a parámetros del calzado como el aumento de la rigidez de la flexión longitudinal. El estudio de Muniz-Pardos et al. (7) determinó que los datos no diferían mucho entre ambos calzados, mientras que Rodrigo-Carranza et al. (11) explicaba que sí existía una diferencia estadísticamente significativa entre el calzado con placa y el que no tenía, pero que entre los zapatos con placa la diferencia era insignificante.

Rodrigo-Carranza et al. (13) tras medir la economía de carrera en relación con la rigidez a la flexión longitudinal del zapato, concluye que los corredores cuya RE era deficiente, al aumentar la rigidez de la flexión longitudinal con CFP, mejoraba la economía en valores significativos. No obstante Beck et al. (12) en su estudio también relaciona la mejora de la economía de carrera con la LBS del calzado, pero concluye que, para considerar esta diferencia significativa, se debería estudiar este fenómeno en una muestra mucho más amplia, evitando así la acción del azar.

El uso de placas de fibra de carbono en las zapatillas de running tiene implicaciones en el rendimiento deportivo. La capacidad de la placa de aportar mayor rigidez, favorece en parte al impulso en la carrera de los corredores, por lo que ayuda a mejorar su rendimiento.

7.1.Limitación del estudio

A pesar de los beneficios observados de la AFT, es importante considerar cuales han sido las limitaciones de los artículos revisados. Debido a la falta de consenso en cuanto a qué valores proporcionan los datos de mejora de la economía de carrera, es complicado realizar una comparación entre los diferentes artículos, ya que pese a que el concepto de RE, es en sí el mismo, sus variables son diferentes en cada uno de los estudios. Establecer unos parámetros para medir el efecto que tiene la placa en las zapallas de running es importante para continuar estudiando esta nueva tecnología.

Asimismo, sería interesante que se realizaran futuros estudios con muestras numerosas, para que la confianza del estudio sea mayor y por lo tanto aplicable a la realidad de los corredores. Es importante resaltar, que la mayoría de los estudios realizados son sobre corredores profesionales por lo que no se conoce en sí el efecto de la placa en corredores amateur.

Sumado a esto, futuros estudios deberían evaluar el confort de los corredores al llevar zapatillas con esta placa, ya que, aunque este calzado pueda mejorar su RE, si resultan ser incómodas su uso no sería favorable, ya que podría afectarles negativamente en otros aspectos, como la aparición de rozaduras, ciertas lesiones, etc.

8. Conclusión

Con los resultados obtenidos tras una revisión de la literatura científica, se puede determinar que el rendimiento de los corredores se ve favorecido con el uso de estas placas rígidas, ya que le aportan cierta rigidez que favorece el impulso en carrera.

Por otra parte, la implementación de la placa de fibra de carbono genera una disminución significativa en el consumo de oxígeno. El coste metabólico disminuye, esto permite correr a altas velocidades con menor esfuerzo.

Es importante mencionar que producen cambios en la velocidad. Aumenta la velocidad media de carrera, permitiéndoles realizar mejores marcas.

La economía de carrera mejora gracias a la presencia de la placa en las zapatillas del corredor. La diferencia entre un grosor u otro de placa no ha mostrado cambios en la economía de carrera.

En conclusión, las placas de fibra de carbono son una innovación importante en el calzado deportivo, proporcionando a los corredores mejoras notables en su rendimiento y economía de carrera, entre otros. No obstante, es crucial continuar investigando para comprender plenamente los beneficios de esta tecnología y sus posibles implicaciones, asegurando que su uso no genere inconvenientes relacionados con el confort y la salud de los atletas. Las nuevas tecnologías en el calzado pueden aportar muchos beneficios a nuestro desarrollo de la actividad deportiva, pero es importante investigar y conocer al máximo sus características para realizar un correcto uso de ellas.



9. Referencias bibliográficas

1. Nogueira López A, Salguero del Valle A, Márquez Rosa S. Adicción a correr: una revisión desde sus inicios hasta la actualidad. *Revista de Psicología Aplicada al Deporte y el Ejercicio Físico*. 2017;2(1):e6, 1–22.
2. Vidal Roldán D. Impacto de la tecnología de zapatillas con placa de fibra de carbono sobre índices de rendimiento en corredores entrenados [Trabajo de Fin de Grado]. España: Universidad de Zaragoza; 2022.
3. Muniz-Pardos B, Sutehall S, Angeloudis K, Guppy FM, Bosch A, Pitsiladis Y. Recent improvements in marathon run times are likely technological, not physiological. *Sports Med* [Internet]. 2021 [citado el 28 de mayo de 2024];51(3):371–8. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33442838/>
4. Stefanyshyn DJ, Nigg BM. Influence of midsole bending stiffness on joint energy and jump height performance. *Med Sci Sports Exerc* [Internet]. 2000 [citado el 28 de mayo de 2024];32(2):471. Disponible en: https://journals.lww.com/acsm-msse/fulltext/2000/02000/influence_of_midsole_bending_stiffness_on_joint.32.aspx
5. Wang L, Hong Y, Li JX. Durability of running shoes with ethylene vinyl acetate or polyurethane midsoles. *J Sports Sci* [Internet]. 2012 Dec [cited 2024 May 23];30(16):1787–92. Available from: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02640414.2012.723819>
6. Hoogkamer W, Kipp S, Frank JH, Farina EM, Luo G, Kram R. A Comparison of the Energetic Cost of Running in Marathon Racing Shoes. *Sports Medicine*. 2018 Apr 1;48(4):1009–19.
7. Muniz-Pardos B, Zelenkova I, Gonzalez-Aguero A, Knopp M, Boitz T, Graham M, et al. The Impact of Grounding in Running Shoes on Indices of Performance in Elite Competitive Athletes. *Int J Environ Res Public Health*. 2022 Feb 1;19(3).
8. Montgomery B, Rodrigo-Carranza V, Wilkie W.C. E, Healey L, Noble J, Albert J. W, Hoogkamer W. Self-perceived middle-distance race pace is faster in Advanced Footwear Technology spikes. *BioRxiv* [Preprint]. *BioRxiv* 2024 March 27 [citado el 28 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://ouci.dntb.gov.ua/en/works/42QEWXK7/>

9. Langley JO, Branthwaite HR, Chockalingam N, Forsyth JJ. Determining the effect and magnitude of advanced footwear technology on female distance running performance. *Footwear Sci.* 2023;15(3):161–9.
10. Hunter I, Bradshaw C, Mcleod A, Ward J, Standifird T. and Biomechanics of Uphill, Downhill and Level Running in Highly-Cushioned Carbon Fiber Midsole Plated Shoes. *J Sports Sci Med [Internet]*. 2022;21:127–30. Available from: <http://www.jssm.orgDOI:https://doi.org/10.52082/jssm.2022.127`Energetics>
11. Rodrigo-Carranza V, Hoogkamer W, González-Ravé JM, González-Mohíno F. Relationship between advanced footwear technology longitudinal bending stiffness and energy cost of running. *BioRxiv [Preprint]*. BioRxiv 2024 Feb 14 [cited 2024 May 20] Disponible en: <https://www.biorxiv.org/content/10.1101/2023.12.27.573423v1> Doi: <https://doi.org/10.1101/2023.12.27.573423>
12. Beck ON, Golyski PR, Sawicki GS. Adding carbon fiber to shoe soles may not improve running economy: a muscle-level explanation. *Sci Rep [Internet]*. 2020 [citado el 28 de mayo de 2024];10(1). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-020-74097-7>
13. Rodrigo-Carranza V, Hoogkamer W, Salinero JJ, Rodríguez-Barbero S, González-Ravé JM, González-Mohíno F. Influence of Running Shoe Longitudinal Bending Stiffness on Running Economy and Performance in Trained and National Level Runners. *Med Sci Sports Exerc.* 2023 Dec 1;55(12):2290–8.

10. Anexos



INFORME DE EVALUACIÓN DE INVESTIGACIÓN RESPONSABLE DE 1. TFG (Trabajo Fin de Grado)

Elche, a 17/04/2024

Nombre del tutor/a	Carolina Alonso Montero
Nombre del alumno/a	Claudia Silvestre Rodríguez
Tipo de actividad	Sin implicaciones ético-legales
Título del 1. TFG (Trabajo Fin de Grado)	Eficacia de la placa de fibra de carbono en las zapatillas del corredor. Revisión bibliográfica.
Evaluación de riesgos laborales	No solicitado/No procede
Evaluación ética humanos	No solicitado/No procede
Código provisional	240415104022
Código de autorización COIR	TFG.GPO.CAM.CSR.240415
Caducidad	2 años

Se considera que el presente proyecto carece de riesgos laborales significativos para las personas que participan en el mismo, ya sean de la UMH o de otras organizaciones.

La necesidad de evaluación ética del trabajo titulado: **Eficacia de la placa de fibra de carbono en las zapatillas del corredor. Revisión bibliográfica.** ha sido realizada en base a la información aportada en el formulario online: "TFG/TFM: Solicitud Código de Investigación Responsable (COIR)", habiéndose determinado que no requiere ninguna evaluación adicional. Es importante destacar que si la información aportada en dicho formulario no es correcta este informe no tiene validez.

Por todo lo anterior, **se autoriza** la realización de la presente actividad.

Atentamente,

Alberto Pastor Campos
Jefe de la Oficina de Investigación Responsable
Vicerrectorado de Investigación y Transferencia