



universidad  
de león



TRABAJO DE FIN DE GRADO EN CIENCIAS DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y DEL  
DEPORTE

Curso Académico 2017/2018

INFLUENCIA DEL CALZADO CON TECNOLOGÍA “ENERGY RETURN”  
EN LA ECONOMÍA DE CARRERA Y EL RENDIMIENTO.

Influence of footwear energy return technology on both running economy  
and performance

Autor: Alejandro Justo Álvarez

Tutor: Dr. Juan García López

Fecha: 26 de Julio de 2018

VºBº TUTOR

VºBº AUTOR

# ÍNDICE

RESUMEN .....	4
1. INTRODUCCIÓN .....	5
2. OBJETIVOS Y COMPETENCIAS A DESARROLLAR POR EL ESTUDIANTE.....	9
3. METODOLOGÍA.....	10
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	12
4.1. La masa del calzado .....	12
4.2. La amortiguación.....	13
4.3. La tecnología “energy return” .....	15
4.4. Estudios realizados con zapatillas Adidas Energy Boost .....	16
4.5. Estudios realizados con zapatillas Nike Vaporfly.....	20
4.6. Análisis crítico de los estudios realizados con calzado “energy return” .....	22
5. CONCLUSIONES Y APLICACIONES PRÁCTICAS .....	24
6. BIBLIOGRAFÍA .....	26
7. ANEXO 1.- Fuentes utilizadas para la elaboración/reproducción de las Figuras.....	31



## **RESUMEN**

El calzado deportivo ha sido señalado como un medio por el cual se puede prevenir la aparición de lesiones y mejorar el rendimiento deportivo. El lanzamiento al mercado de una nueva generación de calzado para la carrera de resistencia bajo la denominación "energy return", cuyas campañas de marketing afirman que mejora el rendimiento deportivo, ha suscitado el interés de la comunidad científica. El objetivo de este trabajo fue realizar una revisión bibliográfica sobre esta nueva generación "energy return" y sus efectos sobre la economía y el rendimiento de la carrera desde una perspectiva biomecánica. Los resultados de este trabajo muestran que, pese a que la mayoría de marcas deportivas han lanzado sus prototipos "energy return", sólo los modelos "Energy Boost" de Adidas y "Vaporfly" de Nike han demostrado mejorar la economía de carrera respecto al calzado convencional de EVA. Sin embargo, ningún estudio ha demostrado la efectividad de este calzado en el rendimiento deportivo ni en la incidencia lesional de los corredores.

### **Palabras clave:**

Carrera de larga distancia, gasto energético, rendimiento, Adidas Energy Boost, Nike Vaporfly.

## **ABSTRACT**

Athletic footwear has been point out as a means to prevent injuries and improve sport performance. The launch of a new generation athletic footwear under the name "energy return", whose marketing strategies claim that long-distance running performance can improve with them, has aroused the interest of the scientific community. The objective of this work was to carry out a bibliographic review about this new generation "energy return" and its effects on running economy and performance from a biomechanical perspective. The results of this work show that, despite the fact that most sports brands have launched their own "energy return" models, only both "Energy Boost" by Adidas and "Vaporfly" by Nike models have been shown to improve running economy compared to conventional EVA footwear. However, no study has shown the effectiveness of this footwear to improve running performance or minimizing injury rates.

### **Keywords:**

Long-distance running, energy cost, performance, Adidas Energy Boost, Nike Vaporfly.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las carreras de fondo y medio fondo representan una actividad física popular que han demostrado ser beneficiosas para quienes participan en ellas (Wen, 2007). Los datos arrojados por los estudios de García Ferrando (2001; 2006), el CSD (2011) y el MECD (2015) muestran un progresivo incremento del interés hacia esta actividad física en España. Concretamente, entre la población que declaró realizar deporte regularmente durante el año anterior, los porcentajes de practicantes de carrera a pie fueron los siguientes: 3.8% en el año 2000, 4.4% en el año 2005, 5.1% en el año 2010 y 10.6% en el año 2015 (figura 1). Además, el 30.4% de la población encuestada afirmó haber realizado carrera a pie en algún momento durante el año 2014, siendo la práctica ligeramente superior en hombres (33.4%) que en mujeres (26.7%) (MECD, 2015).

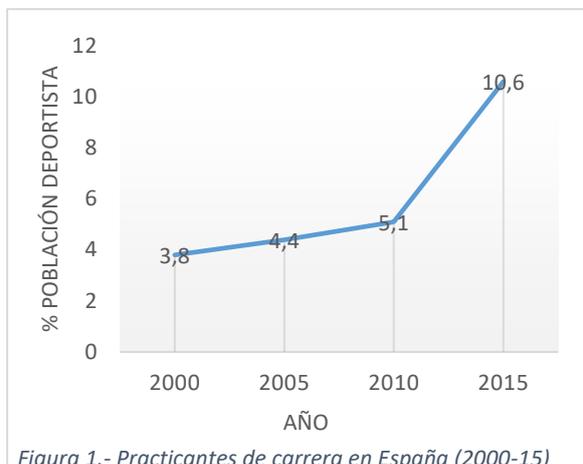


Figura 1.- Practicantes de carrera en España (2000-15)

Paralelamente al incremento de corredores, el número de carreras populares ha aumentado más de un 50% desde el 2008 hasta el 2014, llegando a celebrarse, cerca de 3000 carreras populares anuales repartidas por toda la geografía española (Suances, 2014), siendo el placer de correr (la propia satisfacción que genera la actividad física), el cumplimiento de los objetivos establecidos y la comprobación de la propia condición física, las principales razones por la que los corredores participan en este tipo pruebas (Llopis y Llopis, 2016).

Como consecuencia de este “boom”, en España la industria deportiva textil (que incluye calzado y equipación deportiva) ha experimentado un incremento en el número de ventas. Solo durante el año 2015 se facturaron más 378 millones de euros en material deportivo de running, un 4.5% más respecto al año anterior (Lázaro, 2017). En relación con el calzado, se estima que, sin contar con el vendido en grandes almacenes, durante el año 2013 (figura 2) se vendieron más de 2.2 millones pares de zapatillas de running (el doble que en 2009), lo que hace que las ventas de calzado running supongan un 13% del total del calzado vendido en España (Suances, 2014).

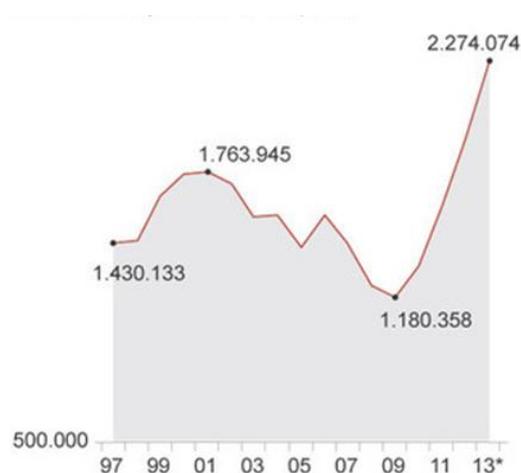


Figura 2. Número de pares de zapatillas vendidas en España (1997-2013).

Dentro de este sector, Nike, Asics, Adidas y Mizuno, por este orden, son las empresas que lideraron la cuota de mercado en España durante el año 2013 en venta de zapatillas de running (figura 3) (Suances, 2014).

Sin embargo, el crecimiento del mercado del running parece haberse desacelerado en los últimos años (algunos autores hablan de era post-boom del running) tanto a nivel nacional (Arjona, 2017), como internacional (Wichita, 2017). A pesar de ello, el running, y más concretamente la industria del calzado de running sigue siendo un nicho de mercado de gran interés para las grandes compañías deportivas, quienes han combatido la disminución del número ventas mediante la innovación de sus diseños (especialmente gracias a la creación de diseños más ligeros y a la aparición tecnología “energy return” en la mediasuela del calzado) y el desarrollo de potentes campañas de marketing.

Concretamente, una de las fórmulas de marketing que más se repiten entre las grandes empresas es la vinculación de sus nuevos modelos de calzado con resultados deportivos remarcables, especialmente en carreras de maratón. De esta forma es relativamente común ver en los medios de comunicación y redes sociales imágenes donde se muestra el calzado utilizado por los atletas ganadores de las maratones más importantes del circuito mundial (figura 4).

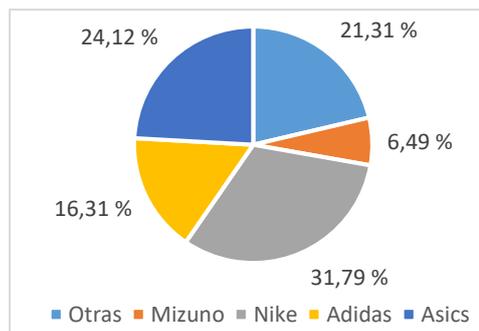


Figura 3.- Cuota de mercado de diferentes marcas de calzado en España.

### 2018 World Marathon Majors Top 3 shoes

1st	2nd	3rd
<b>TOKYO MARATHON</b> Dickson Chumba (KEN) 2:05:03 Streak 6	<b>TOKYO MARATHON</b> Yuta Shitara (JPN) 2:06:11 Vaporfly 4%	<b>TOKYO MARATHON</b> Amos Kipruto (KEN) 2:06:33 adizero SUB2
<b>BOSTON MARATHON</b> Yuki Kawauchi (JPN) 2:15:58 Custom SORTIE MAGIC	<b>BOSTON MARATHON</b> Geoffrey Kirui (KEN) 2:18:23 Custom Vaporfly 4%	<b>BOSTON MARATHON</b> Shadrack Bivott (USA) 2:18:35 Prototype Hyperion
<b>LONDON MARATHON</b> Eliud Kipchoge (KEN) 2:04:17 Vaporfly Elite FlyPrint	<b>LONDON MARATHON</b> KITATA Shura (ETH) 2:04:49 Vaporfly 4%	<b>LONDON MARATHON</b> Mo FARAH (GBR) 2:06:21 Vaporfly Elite

### 2018 World Marathon Majors Women Top 3 shoes

1st	2nd	3rd
<b>TOKYO MARATHON</b> Birhane DIBABA (ETH) 2:19:51 Vaporfly 4%	<b>TOKYO MARATHON</b> Rutli AGA (ETH) 2:21:19 Vaporfly 4%	<b>TOKYO MARATHON</b> Amy CRAGG (USA) 2:21:42 Vaporfly 4%
<b>BOSTON MARATHON</b> Desiree Linden (USA) 2:39:54 Prototype Hyperion	<b>BOSTON MARATHON</b> Sarah Sellers (USA) 2:44:04 1400 v5	<b>BOSTON MARATHON</b> Krista Duchene (CAN) 2:44:20 Fastwitch 8
<b>LONDON MARATHON</b> Vivian CHERUIYOT (KEN) 2:18:31 Vaporfly 4%	<b>LONDON MARATHON</b> Brigid KOSGEI (KEN) 2:20:13 Streak 5	<b>LONDON MARATHON</b> Tadelech BEKELE (ETH) 2:21:40 Vaporfly 4%

Figura 4.- Top 3 clasificados en las maratones de Tokio, Boston y Londres 2018, y calzado utilizado por los atletas.

De hecho, tal es el impacto de la maratón, que dos de las mayores compañías deportivas, Nike y Adidas, han desarrollado y están desarrollando ambiciosos proyectos que tienen como meta completar la maratón en menos de dos horas (Bloomberg, 2017). Nike lo intentó (sin éxito) con el proyecto “Breaking2” para patrocinar el calzado “Nike Vaporfly” (Nike, 2017) y Adidas tratará de lograrlo mediante el proyecto “Sub2”, donde se probará la eficacia del calzado “Adidas Adizero sub2” (Sub2, 2018). El objetivo común de ambos proyectos es mostrar al público que es posible producir una mejora en el rendimiento (disminuir, al menos, 177 segundos la actual mejor marca en maratón) gracias a las propiedades de sus nuevas zapatillas, y más concretamente, a las mejoras que estas producen en la economía de carrera.

La economía de carrera se define como la tasa de consumo de oxígeno producida a una velocidad de carrera determinada y es una medida fisiológica ampliamente reconocida como pronosticadora del rendimiento de carrera de larga distancia (Cavanagh y Kram, 1985; Lucia et al., 2006; Weston et al., 2000). De hecho, junto al consumo de oxígeno máximo y el umbral de lactato, es uno de los tres parámetros fisiológicos que determinan el rendimiento (Joyner et al., 1991; Di Prampero et al., 1986), aunque algunos autores afirman que la economía de carrera podría ser incluso mejor predictor del rendimiento que el consumo de oxígeno máximo (Hanson et al., 2011), especialmente entre atletas de alto nivel (Conley y Krahenbuhl, 1980). Esto se debe a que el atleta puede alcanzar una mayor velocidad de carrera a una misma tasa metabólica (Saunders et al., 2004-a). Por lo tanto, las mejoras en la economía de carrera son de gran interés para los corredores.

Como consecuencia de esta importancia de la economía de carrera en el rendimiento en pruebas de fondo, durante los últimos años ha aparecido en el mercado una nueva generación de calzado deportivo que presenta dos grandes cambios con respecto al calzado running tradicional: mayor ligereza, e incorporación en la amortiguación de mediasuelas más elásticas y blandas bajo la denominación “*energy return*”.

El concepto de retorno de la energía o “*energy return*” del calzado, como se explicará con mayor detalle más adelante, hace referencia a la capacidad de la mediasuela para el almacenamiento y la recuperación de la energía producida durante su deformación en el impacto de la zancada (Frederick et al., 1986). El principal objetivo de este calzado es producir una mejora del rendimiento a partir de una mejora en la economía de carrera (Hoogkamer et al., 2017-a; Worobets et al., 2014; Sinclair et al., 2015-a; Sinclair y Dilón, 2016-a), aunque no todos los estudios han encontrado un aumento de la economía de carrera utilizando modelos “*energy return*” (Flores et al., 2017).

En vista de la aparición de esta nueva generación de calzado deportivo, y de la explosión del fenómeno del “running” tanto a nivel social como económico, varios estudios recientes han

analizado los efectos de correr con calzado “energy return” en variables fisiológicas, biomecánicas y psicológicas (Worobets et al., 2014; Sinclair y Dillon, 2016-a; Sinclair et al., 2015-a). A la vez, las propias marcas deportivas han subvencionado estudios de estas características (Hoogkamer et al., 2017a), en lo que se prevé que pueda ser una nueva estrategia de diferenciación de las marcas para ganar cuota de mercado. En el presente trabajo se tratarán de dilucidar los efectos de esta nueva generación del calzado running “energy return” en la economía de carrera y en el rendimiento desde una perspectiva biomecánica (influencia de la masa, la amortiguación, el confort, etc.).

## 2. OBJETIVOS Y COMPETENCIAS A DESARROLLAR POR EL ESTUDIANTE

El objetivo principal de este trabajo es realizar una revisión bibliográfica sobre el calzado “energy return” y su efecto sobre la economía y el rendimiento de la carrera, desde una perspectiva biomecánica (influencia de la masa, amortiguación, confort, etc.). La necesidad de abordar este estudio es la inexistencia de estudios que comprueben de forma científica si efectivamente, tal y como afirman las campañas de marketing de las grandes compañías deportivas, la tecnología “energy return” produce una mejora en el rendimiento de la carrera.

Las competencias generales a desarrollar por el alumno durante este trabajo se basan en la realización de una revisión bibliográfica para la valoración del efecto en el rendimiento de un material deportivo. Cabe señalar las siguientes:

- Conocer y comprender los objetos de estudio de las Ciencias de la Actividad Física y del Deporte.
- Adquirir la formación científica básica aplicada a la actividad física y al deporte en sus diferentes manifestaciones.
- Comprender la literatura científica del ámbito de la actividad física y del deporte.
- Ser capaz de interpretar resultados y extraer conclusiones relevantes de los mismos.
- Saber aplicar las tecnologías de la información y comunicación al ámbito de las Ciencias de la Actividad Física y del Deporte.
- Desarrollar competencias para el aprendizaje autónomo y la adaptación a las nuevas situaciones.
- Desarrollar hábitos de excelencia y calidad en el ejercicio profesional, actuando con respeto a los principios éticos necesarios.

Como competencias específicas podemos señalar las siguientes:

- Aplicar los principios teóricos de la biomecánica al campo de la actividad física y del deporte.
- Saber interpretar correctamente los resultados arrojados por otras investigaciones.
- Extraer conclusiones y aplicaciones prácticas relevantes relativas al calzado “energy return”.

### 3. METODOLOGÍA

Para la elaboración de este Trabajo de Fin de Grado se han utilizado algunas de las bases de datos y repositorios digitales más comunes en el ámbito de las Ciencias de la Actividad Física y el Deporte (figura 5), así como libros de texto, artículos de revistas especializadas, artículos de periódicos y páginas web oficiales de las principales marcas deportivas.

Herramientas utilizadas para la búsqueda bibliográfica		
Bases de datos	Redes sociales	Repositorios
Google Scholar	ResearchGate	Rebiun
Scopus		Buleria
PubMed		
SPORTDiscus		

Figura 5.- Principales bases de datos, redes sociales y repositorios digitales utilizados en el presente trabajo.

En las bases de datos Google Scholar, Scopus, PubMed y SPORTDiscus, para la realización de la búsqueda se utilizaron las siguientes palabras clave: “running”, “long-distance running”, “energy return footwear”, “running economy”, y “performance”, y se combinaron con otras palabras como “Adidas Boost”, “Nike Vaporfly”, “athletic footwear”, “shoe mass”, “footwear confort” o “footwear cushioning”.

Del total de artículos encontrados, se han utilizado 9 (figura 6), porque tratan específicamente sobre el efecto de la tecnología “energy return” en la economía y las variables biomecánicas de la carrera. Otros trabajos fueron descartados por las siguientes razones:

- Baja calidad del trabajo: Se consideraron trabajos de baja calidad aquellos que no habían sido publicados por revistas de carácter científico, o aquellos que, pese a estar publicados, contaban con una metodología imprecisa o poco detallada. Por ejemplo, en el estudio de Flores et al. (2017), pese a que el objetivo del trabajo era examinar la influencia de una zapatilla “energy return”, en la metodología no se especificaba el modelo ni el peso del calzado “energy return” ni el de la zapatilla que se utilizó como control.
- Texto completo no disponible. Ante la imposibilidad de extraer toda la información relevante exclusivamente del *abstract*, se decidió descartar todos los trabajos en los que no se pudiera acceder al texto completo. Esto solo sucedió en una ocasión, concretamente con el trabajo de Sinclair (2016) “The effect of minimalist, maximalist and energy return footwear of equal mass on running economy and substrate utilization”. Se intentó acceder a él a través todas las bases de datos anteriormente mencionadas mediante acceso institucional, y a través de una petición al autor vía “ResearchGate”, la cual no obtuvo respuesta.
- Temática no relacionada al ámbito de las Ciencias del deporte. Fueron descartados todos los artículos que analizaban el calzado “energy return” fuera del ámbito de la biomecánica,

fisiología o psicología del deporte y del ejercicio. Ejemplos de este tipo de trabajos son todos los relacionados con las estrategias de marketing empleadas por las compañías deportivas.

Autor	Año	Calzado utilizado
Sinclair et al.	2014	Energy Boost (EB) y EVA
Worobets et al.	2014	EB y EVA
Sinclair et al.	2015-a	EB y EVA
Sinclair et al.	2015-b	EB, EVA y minimalista
Sinclair y Dillon	2016-a	EB, EVA y Springblade
Sinclair y Dillon	2016-b	EB, EVA y Springblade
Sinclair	2016	EB, EVA y Springblade
Hoogkgamer et al.	2017	Nike Vaporfly, EB y Nike Streak
Sinclair	2017	EB, minimalista, EVA y zapatillas de pista

Figura 6.- Sumario de estudios sobre la tecnología "energy return" incluidos en el presente trabajo (para más información consultar el apartado Bibliografía).

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la revisión realizada, varias características del calzado (masa total del calzado, propiedades de la amortiguación, control mecánico del retropié, rigidez longitudinal o *stiffness*, viscoelasticidad de la mediasuela, drop y confort), se han propuesto como variables que influyen en la economía de carrera, la mayoría de ellas con efectos muy pequeños o triviales (Fuller et al., 2014). No obstante, estas pequeñas mejoras en la economía de carrera pueden ser de gran importancia para los deportistas de élite, para quienes mejoras relativamente pequeñas en el rendimiento pueden dar lugar a grandes cambios en los resultados de las competiciones deportivas (Hopkins et al., 1999). De todas ellas, posiblemente las variables más importantes sean la masa del calzado (Frederick, 1984; Franz et al., 2012; Hoogkamer et., 2016; Fuller et al., 2014), y las propiedades de la amortiguación (Tung et al., 2014; Bosco y Rusko, 1983; Nigg et al., 2003; Hoogkamer et al., 2017a), ya que han demostrado ser dos de las características del calzado que más influyen en la economía de carrera. Además, tanto la masa del calzado (mediante la creación de modelos más ligeros), como la amortiguación (mediante la aparición de nuevos materiales en la mediasuela), son dos de los parámetros que más diferencian a la nueva generación de zapatillas “energy return” respecto al calzado de running tradicional.

### 4.1. La masa del calzado

El calzado deportivo es una masa periférica alejada de los principales ejes de rotación de las extremidades inferiores (articulaciones de la cadera y rodilla) (Ogueta-Alday y García-López, 2016), cuya aceleración en contra de la gravedad en cada zancada, de acuerdo con la ley de la inercia, provoca un aumento el gasto energético (Divert et al., 2008). De hecho, se estima que el consumo de oxígeno aumenta en aproximadamente un 1% por cada 100 gramos de masa añadidos en el calzado (Frederick, 1984; Franz et al., 2012; Hoogkamer et., 2016).

No obstante, y de acuerdo con Fuller et al. (2014), este efecto perjudicial de la masa del calzado sólo se produce cuando la masa total del par es mayor de 440 gramos. El calzado que pese menos que esto, equilibraría las desventajas provocadas por la masa, con los beneficios obtenidos de la amortiguación (propiedades viscoelásticas del calzado), el *stiffness* longitudinal de la zapatilla (es decir, la resistencia de la zapatilla a ser flexionada por la mitad), y el confort percibido (Fuller et al, 2014).

Aunque todavía no se han encontrado diferencias en la economía de carrera entre correr descalzo (*barefoot running*) y correr con calzado ligero (menos de 440 gr el par) (Fuller et al, 2014), varios autores afirman que correr descalzo, a pesar implicar cero masa, no es

energéticamente óptimo puesto que requiere un mayor esfuerzo muscular para amortiguar el pie (Frederick et al., 1983; Tung et al., 2014).

Además, el *barefoot running* o correr con calzado excesivamente ligero (calzado minimalista) podría afectar negativamente al confort percibido por el atleta. El confort se define como la percepción subjetiva de comodidad (ausencia de dolor y malestar) que el sujeto experimenta con el calzado. Se trata de una percepción multifacética, pues factores como el tamaño, la forma, la flexibilidad, la amortiguación, el peso, la temperatura y la humedad en el interior de la zapatilla y los materiales por los que esta está formada son conocidos por afectar la comodidad del calzado (Goonetilleke, 1999). El confort se trata por tanto de una sensación subjetiva e individual, de tal forma que un calzado que para unos individuos es cómodo, puede ser incómodo para otros (Miller et al., 2000). Debido a esta complejidad e individualidad, la cuantificación de la comodidad del calzado no está definida de forma universal.

Aunque tradicionalmente se ha demostrado que el confort tiene influencia sobre la aparición de lesiones (Mündermann et al., 2001), recientemente se ha demostrado que el confort también está relacionado con el rendimiento. Concretamente, Luo et al. (2009) han evidenciado que los sujetos de su estudio mejoraban significativamente la economía de carrera un 0.7% de media entre el calzado que los participantes percibían como más cómodo, en comparación con el que menos.

Por lo tanto, el calzado de running ideal debería tener una masa de aproximadamente 440 gramos el par, lo que sería una disminución importante respecto a los 500-700 gramos que han sido utilizados tradicionalmente en carreras de larga distancia. Aunque esta reducción de masa se podría conseguir mediante la utilización de materiales más ligeros y la eliminación de cantidad de amortiguación, la segunda estrategia no es recomendable en carreras de larga distancia, porque se ha demostrado que los sistemas de amortiguación incrementan la sensación de confort (Tunstall, 2000), y por lo tanto su eliminación podría ocasionar detrimentos en la economía de carrera. Igualmente, hay que reconocer que el confort percibido por el atleta es muy individual, lo que implica reconocer una masa óptima individualizada para cada atleta, en función de sus características.

#### **4.2. La amortiguación.**

La amortiguación es una propiedad del calzado proporcionada principalmente por la mediasuela, y en menor medida por la suela y la plantilla. Su función principal es atenuar el impacto de la zancada (prevención de lesiones) mediante la distribución de las fuerzas que actúan sobre el pie en una superficie más grande (McPoil, 2000), aunque diferentes trabajos

también han demostrado que la cantidad y propiedades del material de amortiguación en el calzado pueden influir en la economía de carrera (Tung et al., 2014).

El calzado deportivo moderno incorpora mediasuelas hechas de diversos materiales que, en diferente forma, atenúan el impacto, almacenan y devuelven energía mecánica producida durante la zancada. La cantidad de energía almacenada por la media suela depende de su rigidez, mientras que el porcentaje de esta energía mecánica que se devuelve al cesar la fuerza deformante se denomina elasticidad (Hoogkamer et al., 2017a).

La rigidez es la capacidad que tienen las mediasuelas de comprimirse cuando se les aplica una fuerza (Hoogkamer et al., 2017a). De forma genérica podemos afirmar que las mediasuelas blandas tienen mayor capacidad de comprimirse (y por tanto tienen mayor capacidad de amortiguación) que las duras. Aunque inicialmente se afirmó que calzado blando (menor rigidez) requería un mayor consumo de oxígeno (peor economía de carrera) (Bosco y Rusko, 1983), investigaciones posteriores (Frederick et al., 1986) encontraron resultados contrarios a este, mostrando que los sujetos estudiados tenían un menor consumo de oxígeno (mejor economía de carrera) mientras usaban calzado de menor rigidez. Estudios posteriores (Nigg et al., 2003) parecen indicar que cambios en la rigidez afectan al consumo de oxígeno de forma individualizada (algunos sujetos ven incrementado su consumo, mientras que otros reducen su consumo), y que, por tanto, existe una rigidez óptima para cada individuo.

A falta de definir el concepto de elasticidad (véase siguiente apartado), y tomando todas estas observaciones juntas, idealmente, el mejor calzado deportivo para carreras de larga distancia sería ligero, poco rígido y muy elástico (Hoogkamer et al., 2017a), siempre y cuando el sujeto no responda de forma negativa a la ausencia de rigidez, y el material de la mediasuela tenga suficiente elasticidad para devolver la energía almacenada durante la deformación.

### 4.3. La tecnología “energy return”

Como se ha señalado anteriormente, la mediasuela óptima debería ser poco rígida y elástica. Aunque una baja rigidez y una alta elasticidad no son mutuamente excluyentes, inevitablemente, todas las mediasuelas son viscoelásticas y disipan algo de energía en forma de calor (Shorten, 1993), lo que impide que puedan devolver la totalidad energía almacenada. Dicho de otra forma, siempre que existe mediasuela en el calzado hay una pérdida de energía en forma de calor.

La cantidad de energía disipada en forma de calor se mide a partir de curvas de tensión-deformación y a través del concepto de histéresis de los materiales (figura 7). Se denomina histéresis al área comprendida entre las dos curvas, y representa la pérdida de energía en forma de calor durante un ciclo de carga-descarga en un apoyo de la carrera. Por lo tanto, la histéresis es un concepto que sirve para representar la eficiencia del calzado (capacidad para no perder energía). Observando la figura 7 podemos comprobar que la zapatilla de la izquierda tiene mayor histéresis que la de la derecha y, por lo tanto, mayor pérdida de energía. Igualmente, y relacionado con el apartado anterior, la zapatilla de la derecha tiene menor rigidez, porque se deforma más para la misma cantidad de fuerza aplicada. Por lo tanto, la zapatilla de la derecha cumpliría, a priori, con las características comentadas de poca rigidez y alta elasticidad. Sin embargo, es necesario destacar que este tipo de ensayos son mecánicos (es decir, la zapatilla es sometida a ensayos mecánicos tradicionales), siendo necesario comprobar su comportamiento biomecánico (una vez que esta zapatilla es utilizada por el corredor, este tiene capacidad de compensar estas propiedades mecánicas mediante la actuación de su sistema neuromuscular).

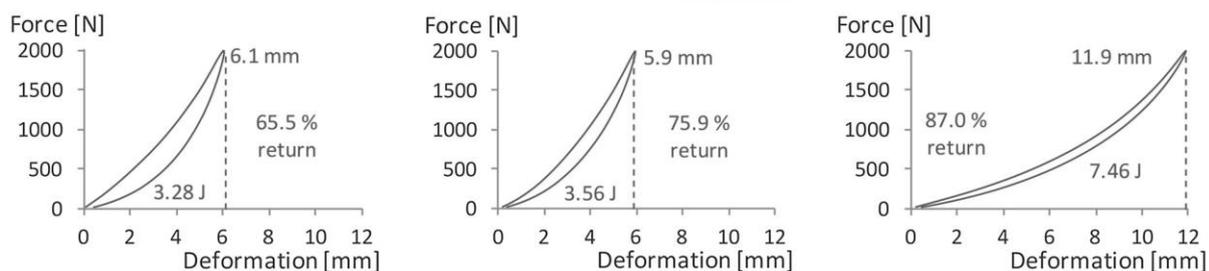


Figura 7.- Curvas de tensión-deformación de tres modelos de calzado: Nike Zoom Streak 6 (izq), Adidas Adizero Adios Boost 2 (centro) y Nike Vaporfly (dcha).

Desde el año 2013 (lanzamiento de Adidas Boost), ha aparecido en el mercado una nueva generación de calzado denominada “energy return”, cuya estrategia de marketing afirma que tienen la capacidad de devolver la energía producida durante el impacto de la carrera (alta elasticidad). Sin embargo, esta afirmación no es del todo cierta, ya que lo que realmente permite esta generación “energy return” es disminuir al máximo esa cantidad de energía

disipada en la mediasuela, incorporando una nueva clase de materiales denominados “termoplásticos elastómeros expandidos” (especialmente de poliuretano de termoplástico o TPU), capaces de aportar alta elasticidad y bajo peso, en contraposición con la tradicional espuma de EVA (poco elástica y bajo peso) o el poliuretano convencional (muy elástico y muy pesado).

En mayor o menor medida, todas las grandes compañías del calzado deportivo han lanzado al mercado modelos de zapatillas bajo la denominación “*energy return*”. En el mejor de los casos (no siempre) las empresas ofrecen información en sus páginas Webs sobre las curvas tensión-deformación e histéresis de estas zapatillas. Sin embargo, sólo dos de ellas (“Energy Boost” de Adidas y “Vaporfly” de Nike) han generado evidencia científica respecto a las características reivindicadas (véanse siguientes apartados).

- Saucony: tecnología “Everun”. Cuenta con una mediasuela formada por pequeñas bolas de termoplástico expandido (E-TPU). La compañía afirma que devuelve el 83% de la energía en cada zancada (Saucony, 2018).
- Brooks Levitate: tecnología “DNA AMP”. Desarrollada por la multinacional BASF, está basada en un sistema de amortiguación en el que se combina TPU y poliuretano (Brooks Levitate, 2018).
- Reebok: tecnología “Floatride”. Fabricada a partir del material “Pebax” (TPE) (Zotefoams, 2018) en combinación con EVA, la empresa americana asegura que este nuevo diseño aumenta la reactividad de la amortiguación, sin comprometer el peso de la zapatilla (Reebok, 2018).
- Adidas: tecnología “Energy Boost” (TPU) (Adidas, 2013). Desarrollada en el siguiente punto.
- Nike: tecnología “Nike Zoom”. Detallada posteriormente.
- Otras: tecnología “UA HOVR” de Under Armour (Under Armour, 2018), tecnología “Ignite” de Puma (Puma, 2018), tecnología “Wave” de Mizuno (Mizuno, 2018).

#### **4.4. Estudios realizados con zapatillas Adidas Energy Boost**

La compañía alemana Adidas lanzó al mercado en el año 2013 (Gil, 2018) la tecnología “Energy Boost”, una de las primeras mediasuelas en desarrollar el principio de retorno de energía o “*energy return*” en su diseño. Este calzado utiliza una media suela de poliuretano termoplástico expandido (E-TPU) diferente al tradicional etileno acetato de vinilo (EVA). Dicho E-TPU fue diseñado por la compañía química BASF a partir de “Infinergy” (BASF, 2013), un poliuretano termoplástico expandido (E-TPU), el cual combina Elastollan (TPU) con Neopolen (una espuma de polipropileno, PPE) (BASF, 2001). El resultado es un poliuretano

termoplástico expandido (E-TPU) que combina las propiedades del TPU (elasticidad) con las ventajas (ligereza) de las espumas (BASF, 2013; BASF, 2018).

Este nuevo material en la media suela asegura ser menos rígido y más elástico que la tradicional espuma de EVA y podría asociarse con una menor pérdida de energía en comparación con las mediasuelas del calzado convencional (Worobets et al., 2013), lo cual supondría una mejora de rendimiento en la carrera.



Figura 8.-Adizero Adios Boost utilizadas por Kimetto en la maratón de Berlín 2014

Con esta tecnología (concretamente con el modelo adizero Adios Boost -figura 5-), Dennis Kimetto estableció el actual récord del mundo de maratón en el circuito de Berlín en 2014 (2:02:57), recortando 26 segundos la anterior mejor marca. Además, otras 4 de las 10 mejores marcas de la historia en maratón han sido realizadas con tecnología “Energy Boost” (#4º Mutai Berlín 2014, (#5º Kipsang Berlín 2016, #6º Kipsang Berlín 2013 y #10º Kimetto Chicago 2013) (IAAF, 2018). No

obstante, es muy reducido el número de estudios que han investigado la biomecánica de la carrera y el efecto en el rendimiento del calzado Energy Boost.

El primer trabajo que se ha realizado con tecnología “Energy Boost” es el elaborado por Worobets et al. (2014). En él, se asocia el uso del calzado “Energy Boost” con una disminución del consumo de oxígeno a una misma velocidad (mejora de la economía de carrera) tanto en la carrera en pista (1.2%) como sobre cinta de correr (1%). No obstante, esta medida tuvo una gran variabilidad entre los diferentes días de la investigación para todos los sujetos en un rango comprendido entre el 0.33 y el 7%. Además, no se ha podido identificar de manera concluyente qué característica de la amortiguación de las “Energy Boost” producía la mejora de la economía de carrera: su *stiffness* longitudinal, su histéresis, o una combinación de ambas. De hecho, si observamos la figura 7, tomada a partir de datos de otra investigación, no se puede afirmar que esta zapatilla (centro) aporte menor rigidez que una convencional (izquierda).

Siguiendo la línea de trabajo de Worobets et al. (2014), Sinclair et al. (2015-a) examinaron la influencia del calzado Energy Boost en la economía de carrera. Esta investigación encontró que el consumo de oxígeno fue significativamente menor (4%) en el calzado de “Energy Boost” en comparación con el calzado convencional. En base a estas observaciones, los investigadores concluyeron que el calzado “Energy Boost” podría asociarse con mejoras en la economía de carrera en comparación con el calzado convencional. Los mecanismos detrás

de esta mejora podrían deberse a que el aumento del retorno de energía producido por las “Energy Boost” permitirían reducir el oxígeno requerido para mantener la velocidad de carrera (Sinclair et al., 2015-a).

Asimismo, correr con tecnología “Energy Boost” se asoció de forma significativa con una menor tasa de intercambio respiratorio (Sinclair et al., 2015-a), lo que sugiere que correr con el calzado convencional favorece una utilización de carbohidratos significativamente mayor en comparación con el modelo “Energy Boost” (Sinclair et al., 2015-a). Esta observación puede tener importantes implicaciones en el rendimiento, ya que los carbohidratos (cuyas reservas en el cuerpo son limitadas) son la principal fuente de combustible durante la carrera de resistencia (Rapoport, 2010). Por tanto, un menor consumo de los carbohidratos a una misma velocidad de carrera podría servir para retrasar el inicio de la fatiga durante la carrera, o permitir que se mantenga una mayor velocidad de carrera antes del inicio de la fatiga (Joyner y Limberg, 2014).

Estos resultados fueron contrastados y respaldados por Sinclair y Dilón (2016-a), los cuales evidenciaron que el calzado “Energy Boost” disminuye el consumo de oxígeno y la tasa de intercambio respiratorio a una misma velocidad en comparación con modelos de calzado convencional de EVA y “Springblade”. Estos resultados nos permiten afirmar que el calzado “Energy Boost” mejora la economía de carrera en comparación con los modelos de EVA y que, en consecuencia, podrían estar asociadas a un mayor rendimiento (Sinclair y Dilón, 2016-a).

Asimismo, en este mismo estudio, Sinclair et al. (2015-a) observaron que los participantes encontraron el calzado “Energy Boost” significativamente más cómodo, aunque no se mostraron diferencias significativas en el ritmo cardiaco ni en el esfuerzo percibido (RPE) entre las distintas condiciones de investigación. Esta mejora en el confort del modelo “Energy Boost” también podría explicar una posible mejora en el rendimiento de la carrera ya que de acuerdo con Luo et al. (2009), el calzado que subjetivamente se percibe como el más cómodo, puede estar relacionado con reducciones significativas en el consumo de oxígeno.

Además de estudios sobre los efectos sobre la economía de carrera, también se han realizado investigaciones acerca de los efectos en la cinética, cinemática e influencia en las lesiones de la tecnología “Energy Boost”.

Sinclair et al. (2014) examinaron la cinética y la cinemática de la carrera con calzado “Energy Boost” en comparación con las zapatillas convencionales de EVA. Aunque no se encontraron diferencias entre los dos calzados en los parámetros de la fuerza vertical aplicada contra el suelo, los resultados señalaban que el pico de aceleración tibial era significativamente mayor en el calzado “Energy Boost” en comparación con el convencional. En base a estos resultados,

Sinclair et al. (2014) estimaron que los modelos “Energy Boost” podrían no ser efectivos para atenuar las aceleraciones transitorias que sufre la tibia durante la carrera en comparación con el calzado convencional. Este hallazgo podría tener importancia clínica, ya que las aceleraciones transitorias de la tibia se han visto implicadas en la etiología de las lesiones crónicas (Whittle, 1999). Asimismo, también encontraron que la tecnología “Energy Boost” aumenta significativamente la eversión del tobillo y la rotación interna tibial. Ambas condiciones también han sido asociadas a la etiología de varias patologías comunes en la carrera de fondo, como son el síndrome de estrés tibial, la fascitis plantar, el síndrome patelofemoral y el síndrome de banda iliotibial (Duffey et al., 2000; Lee et al., 2010; Willems et al., 2006). Como consecuencia de estos datos, Sinclair et al. (2014) concluyeron que el calzado convencional podría tener un mayor potencial de atenuar la incidencia de lesiones crónicas en comparación con los modelos “Energy Boost”.

En vista de los resultados del trabajo anterior, Sinclair y Dillon (2016-b) decidieron replicar el estudio, examinando comparativamente los efectos del calzado “Energy Boost”, “Springblade” y convencional en la cinética y la cinemática de la carrera. El principal hallazgo de la investigación es que no se observaron diferencias significativas en la cinética del impacto entre ninguno de los calzados experimentales, lo cual contradecía a los hallazgos anteriores de Sinclair et al. (2014). De acuerdo con los resultados de este nuevo estudio, la tecnología “Energy Boost” no afecta a la susceptibilidad del corredor a padecer lesiones crónicas relacionadas con el impacto. Es posible que estos resultados, contrarios a los anteriores, se deban a las modificaciones introducidas por Adidas para un mejor control del movimiento del retropié durante la carrera.

Siguiendo en la línea de investigación del análisis de la influencia de los modelos “Energy Boost” en la prevención de lesiones, Sinclair (2016) examinó las cargas experimentadas por la articulación femorrotuliana y el tendón de Aquiles durante la carrera utilizando diferentes modelos de calzado: calzado convencional de EVA, tecnología “Energy Boost” y tecnología “Springblade”. Sus resultados muestran que el calzado influyó significativamente en los parámetros cinéticos de la rodilla y el tobillo. Concretamente, la fuerza pico experimentada durante el contacto por la articulación patelofemoral, la presión patelofemoral máxima, la tasa máxima de carga femorrotuliana y el impulso patelofemoral fueron significativamente mayor en el calzado convencional en comparación con el modelo “Energy Boost”, aunque no encontró diferencias entre ellos en las fuerzas experimentadas en el tendón de Aquiles. Por tanto, el calzado “Energy Boost” podría ser el más eficaz para los corredores que son susceptibles a padecer síntomas de dolor y lesiones en la articulación patelofemoral (Sinclair, 2016).

Posteriormente, Sinclair (2017) estudió los efectos a nivel cinético y cinemático de la tecnología Energy Boost en una tarea de cambio de dirección de 180° en comparación con otros tres modelos de calzado (convencional, minimalista y específicos para pista). Los resultados de este estudio sugieren que el calzado minimalista y el específico de pista podrían aumentar el riesgo de los deportistas a padecer lesiones en movimientos que impliquen hacer un cambio de dirección de 180° (Sinclair, 2017), mientras que el calzado convencional y “Energy Boost” no presentaron indicadores de riesgo de lesión (mayor flexión plantar, mayor inversión y rotación interna del tobillo, mayor gradiente de aceleración tibial, o mayor tasa de carga instantánea). Por tanto, la tecnología “Energy Boost” se comportaría como el calzado convencional en deportes que impliquen cambios de dirección, tales como el tenis, el fútbol sala o el baloncesto.

Sólo un estudio ha investigado el efecto de las “Energy Boost” fuera del ámbito de la carrera. Fue el elaborado por Sinclair et al (2015-b), en el que examinaron la influencia del calzado minimalista, “Energy Boost” (modelo Adidas energy boost 2.0 ESM) y convencional sobre la cinética, la cinemática 3D y parámetros temporales del salto de altura en profundidad (*depth jump*). Los resultados muestran que la altura del salto fue significativamente mayor en las condiciones “Energy Boost” y calzado convencional en comparación con las zapatillas minimalistas, gracias a que el tiempo de la fase excéntrica (desde el contacto del pie hasta la flexión máxima de la rodilla) fue mayor en estos calzados, permitiendo una mayor fase de pre-estiramiento de los extensores de la cadera y de la rodilla durante el contra-movimiento.

En conclusión, el calzado “Energy Boost” parece estar relacionado con una mejora en la economía de carrera entre un 1% y un 4% respecto al calzado convencional. Asimismo, parece haber un consenso casi total en afirmar que esta tecnología no tiene efectos en la cinética y cinemática de la carrera en comparación con el calzado con mediasuelas tipo EVA, y que por tanto los modelos “Boost” no afectan a la susceptibilidad de los corredores a padecer lesiones. En otros deportes con cambios de dirección y salto, esta tecnología tampoco ha mostrado un comportamiento diferencial respecto al calzado convencional.

#### **4.5. Estudios realizados con zapatillas Nike Vaporfly**

En mayo de 2017 (Nike, 2017) y con motivo del evento “Nike Breaking 2”, la compañía americana Nike presentó su nuevo prototipo de calzado “Nike VaporFly”, el cual incorpora en la mediasuela un nuevo sistema de amortiguación elástico llamado “ZoomX”, desarrollado a partir de un elastómero termoplástico (TPE) llamado “Pebax” (poli éter bloque amida) (Arkema, 2016). Junto a este nuevo material, la otra gran innovación de este modelo es la inserción de una placa de fibra de carbono en la mediasuela, la cual permite incrementar el

*stiffness* longitudinal de la zapatilla. Se estima que esta placa puede reducir el gasto energético de la carrera en un 1% (Roy y Stefanyshyn., 2006) gracias a una reducción de la energía disipada en la articulación metatarsofalángica (Stefanyshyn y Nigg, 1997; Stefanyshyn y Nigg, 2000). No obstante, esta mejora en la economía de carrera no ha sido encontrada en todos los estudios (Madden et al., 2015; Flores et al., 2017), sugiriendo que sólo los atletas que puedan mantener un ángulo máximo de extensión en la articulación metatarsofalángica en el momento del impulso se beneficiarán de esta placa (Madden et al., 2015).

Los resultados del estudio realizado por Hoogkamer et al. (2017a) muestran que el prototipo de Nike ("Nike Vaporfly") reduce el gasto energético de la carrera aproximadamente un 4% en comparación con otros 2 modelos de zapatillas comúnmente usados en la maratón (4.16% vs Nike Zoom Streak 6; 4.01% vs Adidas adizero adios Boost 2) en las 3 velocidades en las que fueron testadas. Los datos arrojados por este estudio muestran que el prototipo de Nike es el calzado más blando, y el más elástico de los tres modelos (figura 7), siendo teóricamente capaz de devolver el 87% de la energía que se producía en cada zancada (vs 75.9% Adidas Boost y vs 65.5% del modelo Zoom). Aunque el nuevo prototipo producía pequeños cambios en la biomecánica de carrera (mayor pico de fuerza Fz, menor frecuencia de zancada y mayor tiempo de contacto), sus teóricas ventajas deben atribuirse a sus propiedades elásticas y especialmente a su baja rigidez (Hoogkamer et al., 2017a). En teoría, y apoyándose en estudios sobre carrera en superficies blandas, sería posible que estas superficies permitiesen a los atletas aumentar su *leg stiffnes*, provocando un menor descenso del centro de gravedad, y por tanto una carrera más lineal y económica (Ferris et al., 1999). Con este calzado Kipchogue corrió una maratón durante el evento en "Breaking2" con un tiempo final de 2h00'25". No obstante, esta marca no fue reconocida por la Federación Internacional de Atletismo (IAAF), al no haberse homologado el circuito y al haber empleado estrategias de *drafting* (un coche y varios corredores hacían una pantalla delante de este corredor) que no son permitidas en competición (Ferguson y Beves, 2018).

En resumen, el prototipo "Nike VaporFly" permite aumentar la economía de carrera un 4% en comparación con otros modelos de calzados cuya eficacia para mejorar la economía de carrera también había sido probada en estudios anteriores (Worobets et al., 2014; Sinclair et al., 2015-a; Sinclair y Dilón, 2016-a). No obstante, esta capacidad para mejorar la economía de carrera es muy individualizada y podría diferir mucho entre distintos individuos, ya que las ventajas proporcionadas por la inserción de una placa de fibra de carbono en la mediasuela (su principal innovación) dependerá de la capacidad de los sujetos para mantener un ángulo máximo de extensión en la articulación metatarsofalángica en el momento del impulso. Además, el intento de demostración de estas ventajas con el proyecto "Nike Breaking 2",

aunque estableciera el mejor registro de la maratón de todos los tiempos (2h00'25"), aprovechó otras ventajas (por ejemplo, el *drafting*) que no cumplían con la reglamentación actual.

#### **4.6. Análisis crítico de los estudios realizados con calzado “energy return”**

A partir del análisis de los estudios mencionados en los dos previos apartados, hay evidencia científica de que tanto la tecnología “Energy Boost” como el calzado “Nike Vaporfly” están relacionados con una mejora en la economía de carrera (Worobets et al., 2014; Sinclair et al., 2015-a; Sinclair y Dilon, 2016-b; Hoogkamer et al., 2017a), la cual podría provocar un aumento en el rendimiento (Sinclair et al, 2014). Así, y de acuerdo con Burkett et al. (1985), cada 1.0% de aumento en el consumo de oxígeno en estado estable (perdida de economía de carrera), puede producir una reducción en la velocidad de carrera de 0.17 km/h. Por su parte, Hoogkamer et al. (2016) asegura que una disminución de la economía de carrera del 1.1% como consecuencia del uso de calzado 100 gramos más pesado, se relaciona con un deterioro del en una carrera de 3000 metros de un 0.78% del tiempo final.

Sin embargo, esto es solo una aproximación teórica y, a pesar del interés creciente, ningún estudio ha determinado de forma científica el efecto de la tecnología “Energy Boost” y del calzado “Nike Vaporfly” en las medidas de tiempo o distancia del rendimiento de la carrera. En lugar de ello, los estudios han identificado la mejora de la economía de carrera como indicador del rendimiento en carrera. No obstante, este razonamiento carece de validez científica dado que, aunque varios autores han observado una fuerte asociación entre la economía de carrera y el rendimiento en carrera (Conley et al, 1980; Svedenhag et al, 1985; Hoogkamer et al., 2016), esta relación no ha sido siempre encontrada (Foster et al., 1977; Williams y Cavanagh, 1987), sugiriendo que cambios en el rendimiento no pueden ser explicados en su totalidad por cambios en la economía de carrera (Hoogkgamer et al., 2016). Como señalan Ogueta-Alday y García-López (2016) y Basset y Howley (2000), la economía de carrera es sólo uno más de todas las variables implicadas en el rendimiento en pruebas de fondo. De hecho, una mejora de la economía de carrera de un 1.0 % como la encontrada por Worobets et al. (2014) en el calzado “Energy Boost” no está claro si afectaría a los tiempos de carrera, pues se ha propuesto que se requiere una reducción del consumo de oxígeno de al menos un 2.4% para obtener beneficios medibles en el rendimiento (Saunders et al., 2004-b). Además, el efecto que tenga esta mejora en la economía en el rendimiento dependerá directamente de la velocidad de carrera, dado que el gasto energético en la carrera crece de forma curvilínea cuando se aumenta la velocidad, en parte, por el aumento de la resistencia del aire (Hoogkamer et al., 2017b). En vista de todo lo anterior, y de acuerdo con Fuller et al. (2014), el tiempo final o la distancia recorrida deben ser las únicas medidas estandarizadas

para la evaluación del rendimiento en la carrera. Por lo tanto, hasta la fecha, ninguna investigación ha determinado de forma científica si la tecnología “Energy Boost” y el calzado “Nike Vaporfly” mejora el rendimiento de la carrera.

Finalmente, los estudios relacionados con la susceptibilidad del corredor a sufrir una lesión con calzado “energy return” son pocos (sólo existen cuatro análisis de la incidencia en la biomecánica de carrera con el modelo “Adidas Energy Boost”) y sus resultados son contradictorios (Sinclair et al., 2014; Sinclair y Dillon, 2016-b; Sinclair, 2016; Sinclair, 2018). Es por ello que se hace evidente la necesidad de realizar nuevas investigaciones en relación a la influencia de estos modelos de calzado deportivo en la incidencia lesional de los corredores.

## 5. CONCLUSIONES Y APLICACIONES PRÁCTICAS

La industria del calzado de running ha tenido un incremento exponencial de las ventas en los últimos años, habiéndose llegado en la actualidad a una “meseta” e incluso descenso en el volumen de ventas. Lo anterior posiblemente ha provocado que las marcas comerciales intenten diferenciarse con la incorporación de nuevos materiales (termoplástico expandido) en la mediasuela, reivindicando un menor peso y rigidez, a la vez que una mayor elasticidad y *stiffness* longitudinal de la zapatilla, que desembocaría en una mejor economía de carrera, que es uno de los tres factores reconocidos que influyen en el rendimiento en carreras de larga distancia.

Está bastante demostrado que una menor masa (peso) mejora la economía de carrera en 1% por cada 100 gr en cada zapatilla. Sin embargo, esto se conseguiría, hasta la llegada de los nuevos materiales de la mediasuela, disminuyendo el grosor de la misma. En carreras de larga distancia esta disminución afectaría a las propiedades de amortiguación y al confort percibido por los corredores, deteriorándolas, y empeorando a la vez la economía de carrera.

Los ensayos mecánicos indican que la tecnología “energy return” cumple con las características mencionadas, y al ser probados durante la carrera en deportistas, tanto el calzado “Energy Boost” como el “Nike Vaporfly” han mejorado la economía de carrera entre un 1-4%. Sin embargo, ninguno de ellos ha demostrado una mejora del rendimiento deportivo.

Aunque economía de carrera y rendimiento deportivo están fuertemente relacionados (se estima un aumento de 0.78% del tiempo final de una prueba por cada 1.1% de deterioro en la economía de carrera), esta relación no ha sido siempre encontrada, llegando incluso a afirmarse que solo mejoras superiores al 2.4% en la economía de carrera tendrían efectos medibles en el rendimiento. Bajo esta premisa, y en base a la revisión realizada, es posible que solo el calzado “Vaporfly” de Nike mejore el rendimiento, pues existen estudios con “Energy Boost” donde la mejora en la economía de carrera solo alcanza el 1%.

Sería relativamente fácil diseñar un experimento para comprobar si, tal y como afirman las marcas deportivas, la tecnología “energy return” mejora el rendimiento en corredores de larga distancia, lo que nos hace cuestionarnos por qué hasta el momento ninguna marca comercial lo ha intentado.

Respecto a el riesgo lesional de la tecnología “energy return”, sólo los estudios realizados con los primeros modelos “Energy Boost” analizaron la posible influencia de esta tecnología en las variables cinéticas y cinemáticas relacionadas con la incidencia de lesiones. A día de hoy, no se puede confirmar que esta tecnología aumente los factores de riesgo de lesión, por lo que más estudios a este respecto se necesitan, fundamentalmente con el calzado Nike Vaporfly y los nuevos modelos “Boost” de Adidas (Ultra Boost, Pure Boost y Supernova).

Por último, y pese a que no se ha demostrado experimentalmente que el calzado “energy return” mejore el rendimiento en carreras de larga distancia, las mejoras obtenidas en la economía de carrera en diferentes investigaciones parecen indicar que puede hacerlo. Por este motivo, sería recomendable usar este tipo de calzado en competición pues, como se ha señalado anteriormente, una mínima mejora en el rendimiento puede dar lugar a grandes cambios en los resultados de las competiciones deportivas. Asimismo, este tipo de calzado puede ser de gran utilidad para entrenamientos de alta intensidad en los que se corra a ritmo rápido.

Sin embargo, debido a los resultados contradictorios obtenidos en los estudios con “Energy Boost”, y a la falta de información con cualquier otro modelo “Energy Return” (Nike Vaporfly, Everun de Saucony, DNA AMP de Brooks Levitate...) sobre su posible influencia en el riesgo de lesión, no sería recomendable usar este tipo de calzado en el entrenamiento cotidiano de baja intensidad, especialmente teniendo en cuenta que confort y rendimiento suelen ser dos conceptos difícilmente compatibles.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

1. Adidas (2013). *Boost™ changes running forever* [online]. Recuperado de: <https://www.adidas-group.com/en/media/news-archive/press-releases/2013/boost-changes-running-forever/>
2. Arjona, M. (2017). *Adidas combate la desaceleración en el running conquistando nuevos nichos* [online]. Recuperado de: <https://www.cmdsport.com/esencial/cmd-running/adidas-combate-la-desaceleracion-en-el-running-conquistando-nuevos-nichos/>
3. Arkema (2016). *Technical polymers. An extreme world needs extreme materials.* [online]. Recuperado de : <https://www.extremematerials-arkema.com/export/sites/technicalpolymers/.content/medias/downloads/brochures/tpa-business-line-brochure-lower-resolution.pdf>
4. BASF (2001). *Neopolen® P (EPP)* [online]. Recuperado de: [https://www.plasticsportal.net/wa/plasticsEU~pl\\_PL/portal/show/content/products/foams/neopolen\\_p\\_e](https://www.plasticsportal.net/wa/plasticsEU~pl_PL/portal/show/content/products/foams/neopolen_p_e)
5. BASF (2013). *Infinergy®. The first expanded TPU: Small beads, high performance.* [online]. Recuperado de: [https://www.plasticsportal.net/wa/plasticsEU~de\\_DE/function/conversions:/publish/common/content/campaigns/infinergy/english/index.html](https://www.plasticsportal.net/wa/plasticsEU~de_DE/function/conversions:/publish/common/content/campaigns/infinergy/english/index.html)
6. BASF (2018). *As stretchy as rubber but also light and springy.* [online]. Recuperado de: [http://www.polyurethanes.basf.de/pu/solutions/en/content/group/News\\_und\\_Medien/Presseinformationen/Infinergy\\_BASF\\_develops\\_expanded\\_TPU](http://www.polyurethanes.basf.de/pu/solutions/en/content/group/News_und_Medien/Presseinformationen/Infinergy_BASF_develops_expanded_TPU)
7. Basset, D. y Howley, E. (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32 (1), 70-84.
8. Bloomberg (2017). *Nike y Adidas compiten por concluir maratón en menos de dos horas* [online]. Recuperado de: <http://www.estrategiaynegocios.net/ocio/1068671-330/nike-y-adidas-compiten-por-concluir-marat%C3%B3n-en-menos-de-dos-horas>
9. Bosco C., y Rusko H. (1983). The effect of prolonged skeletal muscle stretch-shortening cycle on recoil of elastic energy and on energy expenditure. *Acta Physiologica Scandinavica*, 119 (3), 219–224.
10. Brooks Levitate (2018). *Brooks Levitate with DNA AMP Delivers Infinite Energy.* [online]. Recuperado de: [http://www.brooksrunning.com/en\\_us/09-20-2017.html](http://www.brooksrunning.com/en_us/09-20-2017.html)
11. Burkett L., Kohrt W. y Buchbinder R. (1985). Effects of shoes and foot orthotics on VO<sub>2</sub> and selected frontal plane knee kinematics. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 17(1), 158–163.
12. Cavanagh, P. y Kram, R. (1985). The efficiency of human movement-a statement of the problem. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 17 (3), 304-308.
13. Conley, D. y Krahenbuhl, G. (1980). Running economy and distance running performance of highly trained athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 12 (5), 357-360.
14. Consejo Superior de Deportes (2011). *Encuesta sobre los hábitos deportivos en España 2010*. Madrid: Consejo Superior de Deportes y Centro de Investigaciones sociológicas.
15. Di Prampero, P. E., Atchou, G., Brückner, J. C., y Moia, C. (1986). The energetics of endurance running. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 55(3), 259-266.

16. Divert, C., Mornieux, G., Freychat, P., Baly, L., Mayer, F. y Belli, A. (2008). Barefoot shod running differences: shoe or mass effect? *International Journal of Sports*, 29(6), 512-518.
17. Duffey, M., Martin, D., Cannon, D., Craven, T. y Messier, S. (2000). Etiologic factors associated with anterior knee pain in distance runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32 (11), 1825-1832.
18. Ferguson, S. y Beves, C. (2018). *Uncovering the aerodynamic trickery behind Nike's Breaking 2 project* [online]. Recuperado de: <https://www.linkedin.com/pulse/uncovering-aerodynamic-trickery-behind-nikes-breaking-ferguson>
19. Ferris, D., Liang, K. y Farley, C. (1999). Runners adjust leg stiffness for their first step on a new running surface. *Journal of Biomechanics*, 32 (8), 787–794.
20. Flores, N., Delattre, N., Berton, E. y Rao, G. (2017) Effects of shoe energy return and bending stiffness on running economy and kinetics. *Footwear Science*, 9 (1), 11-13.
21. Foster, C., Daniels, J. y Yarbrough, R. (1977). Physiological and training correlates of marathon running performance. *Australian Journal of Sports Medicine and exercise science*, 9, 58–62.
22. Franz, J., Wierzbinski, C. y Kram, R. (2012). Metabolic cost of running barefoot versus shod: is lighter better? *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 44 (8), 1519-1525.
23. Frederick E., Howley E. y Powers, S. (1986). Lower oxygen demands of running in soft-soled shoes. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 57 (2), 174–177.
24. Frederick, E. (1984). Physiological and ergonomics factors in running shoe design. *Applied Ergonomics*, 15 (4), 281-287.
25. Frederick, E., Clarke, T. y Larsen J. (1983). The effects of shoe cushioning on the oxygen demands of running (pp. 107-114). En: Nigg, B. y Kerr, B. (Ed), *Biomechanical aspects of sports shoes and playing surfaces*. Calgary (Canadá): The University of Calgary.
26. Frederick, E., Daniels, J. y Hayes, J. (1984). The effect of shoe weight on the aerobic demands of running. En: Bachl, N., Prokop, L., y Suckert, R. (Ed), *Current Topics in Sports Medicine*. (pp. 616-625). Viena (Austria): Urban and Schwarzenberg.
27. Fuller J., Bellenger C., Thewlis D., Tsiros M. y Buckley J. (2014). The effect of footwear on running performance and running economy in distance runners. *Sports Medicine*, 45(3), 411-422.
28. García-Ferrando, M. (2001). *Los españoles y el deporte: Prácticas y comportamientos en la última década del siglo XX*. Madrid: Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. Consejo Superior de Deportes.
29. García-Ferrando, M. (2006). *Posmodernidad y deporte: entre la individualización y la masificación. Encuesta hábitos deportivos de los españoles 2005*. Madrid: Centro de Investigaciones sociológicas.
30. Gil, J. (2018). *5º Aniversario de Boost, el material que revolucionó la mediasuela* [online]. Recuperado de: <https://www.sport.es/labolsadelcorredor/5o-aniversario-de-boost-el-material-que-revoluciono-la-mediasuela/>
31. Goonetilleke, R. S., and Luximon, A. (2001). Designing for comfort: a footwear application. En *Proceedings of the computer-aided ergonomics and safety conference*, CAES, Maui (Hawaii).
32. Hanson N., Berg K., Deka P., Meendering J. y Ryan C. (2011). Oxygen cost of running barefoot vs. running shod. *International Journal of Sports Medicine*, 32 (6), 401–406.

33. Hoogkamer, W., Kram, R., y Arellano, C.J. (2017-b). How biomechanical improvements in running economy could break the 2-hour marathon barrier. *Sports Medicine*, 47 (9), 1739–1750.
34. Hoogkamer, W., Kipp, S., Frank, J., Farina, E., Luo, G. y Kram, R. (2017-a). A Comparison of the Energetic Cost of Running in Marathon Racing Shoes. *Sports Medicine*, 48 (4), 1009-1019.
35. Hoogkamer, W., Kipp, S., Spiering, B. y Kram R. (2016). Altered Running Economy Directly Translates to Altered Distance-Running Performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 48 (11), 2175-2180.
36. Hopkins, W. G., Hawley, J. A., y Burke, L. M. (1999). Design and analysis of research on sport performance enhancement. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31(3), 472-485.
37. IAAF (2018). *Senior outdoor marathon men*. [online]. Recuperado de: <https://www.iaaf.org/records/all-time-toplists/road-running/marathon/outdoor/men/senior>
38. Joyner M. y Limberg J. (2014). Hitting the wall: Glycogen, glucose and the carotid bodies. *The Journal of Physiology*, 592 (20), 4413–4414.
39. Joyner, M. J. (1991). Modeling: optimal marathon performance on the basis of physiological factors. *Journal of Applied Physiology*, 70(2), 683-687.
40. Lee, S., Hertel, J. y Lee, S. (2010). Rearfoot eversion has indirect effects on plantar fascia tension by changing the amount of arch collapse. *The Foot*, 20 (2-3), 64-70.
41. Llopis, D. y Llopis, R. (2006). Razones para participar en carreras de resistencia. Un estudio con corredores aficionados. *Cultura, ciencia y deporte*, 2 (4), 33-40.
42. Lucia, A., Esteve-Lanao, J., Oliván, J., Gómez-Gallego, F., San Juan, A.F., Santiago, C., Pérez, M., Chamorro-Viña, C. y Foster, C. (2006). Physiological characteristics of the best Eritrean runners exceptional running economy. *Applied Physiology and Nutrition Metabolism*, 31 (5), 530-540.
43. Luo, G., Stergiou, P., Worobets, J., Nigg, B., y Stefanyshyn, D. (2009). Improved footwear comfort reduces oxygen consumption during running. *Footwear Science*, 1(1), 25-29.
44. Madden, R., Sakaguchi, M., Wannop, J. y Stefanyshyn, D. (2015). Forefoot bending stiffness, running economy and kinematics during overground running. *Footwear Science*, 7 (1), 11-13.
45. Miller, J. E., Nigg, B. M., Liu, W., Stefanyshyn, D. J., y Nurse, M. A. (2000). Influence of foot, leg and shoe characteristics on subjective comfort. *Foot and Ankle International*, 21(9), 759-767.
46. Ministerio de educación, cultura y deporte (2015). *Encuesta de hábitos deportivos en España 2015. Síntesis de resultados*. Madrid: Ministerio de educación cultura y deporte.
47. Mizuno (2018). *Mizuno Wave Technology*. [online]. Recuperado de: <http://www.mizuno.asia/region/technology.aspx>
48. Mündermann, A., Stefanyshyn, D. J., y Nigg, B. M. (2001). Relationship between footwear comfort of shoe inserts and anthropometric and sensory factors. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(11), 1939-1945.
49. Nigg, B., Stefanyshyn, D., Cole, G., Stergiou, P., y Miller, J. (2003). The effect of material characteristics of shoe soles on muscle activation and energy aspects during running. *Journal of Biomechanics*, 36 (4), 569-575.
50. Nike (2017). *Breaking2*. [online]. Recuperado de: [https://www.nike.com/us/en\\_us/c/running/breaking2](https://www.nike.com/us/en_us/c/running/breaking2)
51. Ogueta-Alday, A. y García-López, J. (2016). Factores que afectan al rendimiento en carreras de fondo. *Revista Internacional de Ciencias del Deporte*, 12 (45), 278-308.

52. Puma (2018). *Ignite foam*. [online]. Recuperado de: [http://us.puma.com/en\\_US/pd/ignite-limitless-men%E2%80%99s-training-shoes/pna190274867437.html](http://us.puma.com/en_US/pd/ignite-limitless-men%E2%80%99s-training-shoes/pna190274867437.html)
53. Rapoport, B. (2010). Metabolic factors limiting performance in maratón runners. *PLoS Computational Biology*, 6 (10).
54. Reebok (2018). *Floatride*. [online]. Recuperado de: <http://www.reebok.com/en-us/campaigns/floatride/>
55. Roy, J. y Stefanyshyn, D. (2006). Shoe midsole longitudinal bending stiffness and running economy, joint energy, and EMG. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 38 (3), 562-569.
56. Saucony (2018). *Everun* [online]. Recuperado de: <https://www.saucony.com/en/everun-lp/>
57. Saunders, P., Pyne, D., Telford, R., y Hawley, J. (2004-a). Factors affecting running economy in trained distance runners. *Sports Medicine*, 34 (7), 465–85.
58. Saunders, P., Pyne, D., Telford, R., y Hawley, J. (2004-b). Reliability and variability of running economy in elite distance runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36 (11), 1972-1976.
59. Shorten, M. (1993). The energetics of running and running shoes. *Journal of Biomechanics*, 26 (1), 41-51.
60. Sinclair, J. (2016). Effects of energy boost and springblade footwear on knee and ankle loads in recreational runners. *The Foot and Ankle Online Journal*, 9 (2), 8.
61. Sinclair, J. y Dillon, S. (2016-a). Effects of energy boost and springblade footwear on running economy and substrate oxidation. *Central European Journal of Sport Sciences and Medicine*, 16 (4), 77–84.
62. Sinclair, J. y Dillon, S. (2016-b). The influence of energy boost and springblade footwear on the kinetics and kinematics of running. *Human Movement*, 17 (2), 112-118.
63. Sinclair, J., Franks, C., Goodwin, J., Naemi, R. y Chockalingam, N. (2014). Influence of footwear designed to boost energy return on the kinetics and kinematics of running compared to conventional running shoes. *Comparative Exercise Physiology*, 10 (3), 199-206.
64. Sinclair, J., Mcgrath, R., Brook, O., Taylor, P. y Dillon, S. (2015-a). Influence of footwear designed to boost energy return on running economy in comparison to a conventional running shoe. *Journal of Sport Sciences*, 34 (11), 1094-1098.
65. Sinclair, J., Toth, J. y Hobbs, S. (2015-b). The influence of energy return and minimalist footwear on the kinetics and kinematics of depth jumping in relation to conventional trainers. *Kinesiology*, 47 (1), 11-18.
66. Stefanyshyn, D. y Nigg, B.M. (1997). Mechanical energy contribution of the metatarsophalangeal joint to running and sprinting. *Journal of Biomechanics*, 30 (11-12), 1081-1085.
67. Stefanyshyn, D. y Nigg, B (2000). Influence of midsole bending stiffness on joint energy and jump height performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(2), 471-476.
68. Suances, P. (2014). Running, una fiebre multimillonaria [online]. Recuperado de: <http://www.elmundo.es/economia/2014/01/19/52daf5db22601d436e8b4574.html>
69. Sub2 (2018). Countdown to the first sub2hr marathon. *Sub2hrs*. Recuperado de: <http://www.sub2hrs.com/>
70. Svedenhag, J. y Sjodin, B. (1985). Physiological characteristics of elite male runners in and off-season. *Canadian Journal of Applied Sport Science*, 10 (3), 127–33.

71. Tung, K., Franz, J., y Kram, R. (2014). A test of the metabolic cost of cushioning hypothesis during unshod and shod running. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 46 (2), 324-329.
72. Tunstall, D. (2000). *Marathon medicine*. Londres (Reino Unido): The Royal society of medicine press.
73. Under Armour (2018). HOVR. [online]. Recuperado de: <https://www.underarmour.com/en-us/ua-hovr>
74. Wen, D. (2007). Risk factors for overuse injuries in runners. *Current Sports Medicine Reports*, 6 (5), 307-313.
75. Weston, A., Mbambo, Z. y Myburgh, K. (2000). Running economy of African and Caucasian distance runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 32 (6), 1130-1134.
76. Whittle, M. (1999). The generation and attenuation of transient forces beneath the foot. A review. *Gait and Posture*, 10 (3), 264-275.
77. Wichita, K. (2017). 2016 Running USA Annual Marathon Report [online]. *Running USA*. Recuperado de: <https://www.runningusa.org/marathon-report-2017?returnTo=annual-reports>
78. Willems, T., Witvrouw, E., De Cock, A. y De Clercq, D. (2006). A prospective study to gait related risk factors for exercise-related lower leg pain. *Gait and Posture*, 23(1), 91-98.
79. Williams, K. y Cavanagh, P. (1987). Relationship between distance running mechanics, running economy and running performance. *Journal of Applied Physiology*, 63 (3):1236–1245.
80. Worobets, J., Tomarasa, E., Wannopa, J. y Stefanyshyn, D. (2013). Running shoe cushioning properties can influence oxygen consumption. *Footwear Science*, 5, 75-76.
81. Worobets, J., Wannop, J., Tomaras, E. y Stefanyshyn, D. (2014): Softer and more resilient running shoe cushioning properties enhance running economy. *Footwear Science*, 6 (3), 147-153.
82. Zotefoams (2018). Zotek® peba. [online]. Recuperado de: <http://www.zotefoams.com/product/zotek/zotek-peba/>

## 7. ANEXO 1.- Fuentes utilizadas para la elaboración/reproducción de las Figuras

Figura	Fuente
1	Elaboración propia a partir de los estudios de García Ferrando (2001; 2006), el CSD (2011) y el MECD (2015)
2	Tomado de Suances (2014)
3	Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de Suances (2014).
4	<a href="https://twitter.com/Jokin4318/status/989604610787692544">https://twitter.com/Jokin4318/status/989604610787692544</a>
5	Elaboración propia.
6	Elaboración propia.
7	Tomado de Hoogkamer et al. (2017-a)
8	<a href="https://b6c18f286245704fe3e9-05e2055f4cd9122af02914269431c9f6.ssl.cf1.rackcdn.com/20049060_these-are-the-14-most-important_ta926c158.gif">https://b6c18f286245704fe3e9-05e2055f4cd9122af02914269431c9f6.ssl.cf1.rackcdn.com/20049060_these-are-the-14-most-important_ta926c158.gif</a>