



**TRABAJO FIN DE GRADO DE PODOLOGÍA**

**EL CALZADO MINIMALISTA EN  
LA CARRERA:  
PERSPECTIVA PODÓLOGICA  
BASADA EN LA EVIDENCIA**

Autor: José Ángel Cembellín Ayora

Tutora: Yolanda Fuentes Peñaranda



## **ÍNDICE**

1. RESUMEN.....	Página 4
2. INTRODUCCIÓN.....	Página 5
2.1 Justificación del tema elegido.....	Página 5
2.2 Antecedentes y estado actual del tema.....	Página 5
2.3 Objetivos del trabajo.....	Página 9
2.4 Metodología.....	Página 9
2.4.1 Diseño del estudio y fuentes de información.....	Página 9
2.4.2 Criterios de inclusión y exclusión.....	Página 10
2.4.3 Estrategias de búsqueda.....	Página 10
3. DESARROLLO Y DISCUSIÓN.....	Página 11
3.1 Concepto de calzado minimalista.....	Página 11
3.2 Tipos de calzado minimalista.....	Página 12
3.3 Anatomía del calzado minimalista.....	Página 12
3.4 Repercusiones biomecánicas.....	Página 14
3.4.1 Presiones plantares.....	Página 14
3.4.2 Musculatura intrínseca del pie.....	Página 15
3.4.3 Musculatura extrínseca del pie.....	Página 16
3.4.4 Patrón de carrera y cambios biomecánicos articulares.....	Página 17
3.4.5 Carrera minimalista VS carrera descalza.....	Página 20
3.5 Efectos sobre la economía de carrera.....	Página 20
3.6 Lesiones asociadas al calzado minimalista.....	Página 23
3.6.1 Incidencia de lesiones.....	Página 24
3.6.2 Localización y tipo de lesiones.....	Página 26
4. CONCLUSIONES.....	Página 27
5. BIBLIOGRAFÍA.....	Página 29
6. ANEXOS.....	Página 35

## 1. **RESUMEN**

### Resumen

El minimalismo constituye una alternativa de calzado deportivo cuyo interés ha aumentado en la sociedad en los últimos años bajo la premisa de que los cambios biomecánicos que genera su empleo en el gesto técnico de la carrera, implican un estilo de correr más natural que como consecuencia conlleva a una reducción del número de lesiones y a una mejora de la economía de carrera. Con este trabajo se pretende aportar una visión global de este tipo de calzado, desde su concepto y anatomía, a los cambios biomecánicos que genera y los efectos sobre el rendimiento y las lesiones asociadas a su uso; con el fin de ofrecer a los profesionales de la podología el conocimiento de la evidencia científica actual acerca de este tipo de calzado, para posteriormente conociendo sus ventajas e inconvenientes, aplicarlo en sus campos competenciales para ofrecer los mejores servicios posibles a la población deportista.

### Palabras clave

Calzado minimalista, lesiones atléticas, carrera-biomecánica

### Abstract

Minimalism is an alternative sports shoe that have experimented an increasing interest in recent years in the society, because it is said that the biomechanical changes, that they generate in the race technical gesture, implies a more natural style of running that consequently leads to a reduction of injuries and an improvement on running economy. With this project we intend to provide a global vision of this type of footwear, from its concept and anatomy, to the biomechanical changes that it generates and the effects of the performance and the associated injuries; in order to allow to the podiatry professionals the knowledge about current scientific evidence about it, for later knowing its advantages and disadvantages, apply it in their field of competences to offer the best possible services to the athlete population.

### Key words

Minimalist shoe, athletics injuries, running biomechanics

## **2. INTRODUCCIÓN**

### **2.1 Justificación del tema elegido**

Dado que la realización del Trabajo Fin de Grado supone la culminación de esta importante etapa de formación en Podología, he querido realizar el mismo sobre un tema del que me hubiesen quedado interrogantes sin resolver al finalizar el Grado y que además tuviese motivaciones personales para intentar aclarar esas cuestiones y alcanzar una respuesta; y dado mis intereses y gustos en el campo de la Podología Deportiva y de la calzadoterapia he optado por la elección del calzado minimalista en la carrera como eje vertebrador de este trabajo.

Sumado a esto, el calzado minimalista es un tema frecuente en los últimos años tanto el campo deportivo en general (sobre todo en la disciplina del running) como más específicamente en congresos, conferencias y cursos. Por ello, el calzado minimalista es un tema de actualidad y más allá de mis motivaciones personales, considero que es un tema adecuado y que puede suscitar interés para el resto de podólogos, así como para otros profesionales de la comunidad científica.

El podólogo como profesional sanitario especializado en el diagnóstico, prevención y tratamiento de las afecciones del pie (1), tiene reconocidas competencias en ortopodología, y concretamente también en calzadoterapia, materia que se incluye en las directrices generales de los planes de estudio del Grado de Podología en las que se establece el “estudio del calzado y calzadoterapia” como uno de los conocimientos a adquirir (2). Como consecuencia y dado que no hay duda de la importancia que el calzado tiene sobre el pie como ortesis preventiva, considero que este profesional no debe estar ajeno al debate generado en torno a esta cuestión, debiendo ser quien debe dar respuestas y argumentos bajo el paraguas de la evidencia científica para trasladarlo a la comunidad científica y posteriormente llegar su mensaje a los pacientes, al mundo del deporte y a la sociedad.

Por todo esto y tras un análisis del estado actual del tema, he querido indagar sobre el mismo planteando unos objetivos dirigidos a extraer unas conclusiones que permitan conocer mejor el calzado minimalista bajo una perspectiva podológica.

### **2.2 Antecedentes y estado actual del tema**

El boom del running como disciplina deportiva practicada por corredores habituales y ocasionales, más allá de los profesionales, comenzó en la década de los 80 del siglo pasado. Hasta entonces era una actividad deportiva reservada principalmente para los deportistas de alto nivel. El aumento de su popularidad como actividad física tanto como de uso recreacional y ocio, como con fines de salud física, ha conllevado un importante incremento de la población corredora, lo que supuso un gran aumento en la incidencia de lesiones (3,4).

Paralelamente a esa situación, la industria del calzado deportivo comenzó a incrementar su nivel de desarrollo e investigación para hacer frente a esa problemática, dando como resultado un mercado de calzado deportivo muy variado y con diseños especiales como por ejemplo con sistemas de control del movimiento, o con adaptaciones a las diferentes morfologías del pie o mecánica del mismo. Sin embargo, a pesar de estos esfuerzos en mejoras en el calzado no se ha conseguido alcanzar una reducción significativa del número de lesiones, y estas siguen siendo elevadas entre la población corredora (5,6).

En este contexto, en el año 2009 se publicó el libro 'Born to Run' de Christopher McDougall donde se describen experiencias de carrera descalza por parte de este autor, siendo un éxito en el mercado del calzado deportivo, alcanzado por consiguiente una gran repercusión, considerándose este el inicio del desarrollo del calzado minimalista, aumentando sus ventas, y su uso por parte de los corredores y popularidad bajo la premisa de que contribuye a reducir el número de lesiones asociadas al running (7,8). Este hecho marcó un antes y un después, cambiando la forma de pensar de parte del colectivo de corredores, los cuales pasaron de buscar las zapatillas con mejores sistemas de control y la mayor amortiguación posible, a una filosofía en la que se considera que cuantos menos elementos lleve un calzado es más positivo para la carrera y más confortable, motivado en gran parte por un éxito de marketing. No obstante, esto no quiere decir que no hubiese antecedentes en este tipo de calzado, ya que la industria del calzado bajo el conocimiento de la medicina y la investigación científica desde la década de los 90 lleva desarrollando zapatos con características que conducen al minimalismo, como modelos más ligeros y con menos sistemas de control de los que suelen tener las zapatillas tradicionales; e incluso con el desarrollo de modelos específicos extra-ligeros (9). Además, uno de los argumentos en los que se basan los defensores de este tipo de calzado es que históricamente durante miles de años se ha practicado la carrera sin ningún tipo de calzado o con modelos muy ligeros, ya que hasta el siglo XX no se comenzó a desarrollar un calzado con suplementos de protección y control (4,10).

El calzado minimalista es un término empleado para referirse al calzado deportivo destinado a simular la carrera descalza pero aportando protección al pie para evitar sensaciones no confortables con la superficie de terreno o lesiones relacionadas con esta como heridas (4, 11,12). Sin embargo, a pesar de que se coincide en características comunes (bajo drop, ligereza y flexibilidad, escasa presencia de elementos de control del movimiento...) es un concepto amplio que en literatura y en el mercado se emplean sin una estandarización clara en cuanto a su concepto y se emplean términos clasificatorios sin dar muchos detalles al respecto, surgiendo recientemente intentos de unificar opiniones y criterios para alcanzar una definición de consenso (3,4,8) siendo una de las cuestiones que abordaré en el desarrollo de este trabajo.

Como he nombrado anteriormente, la reducción en el número de lesiones por parte de la población corredora es el objetivo fundamental que persigue el empleo de calzado minimalista, gracias a que, según sus defensores, permite acercar la técnica de carrera a una técnica más natural conllevando dicha reducción. No obstante, la literatura actual muestra una controversia en torno a ese debate y será otro de los aspectos que analizaré en esta revisión bibliográfica (9,14).

A pesar de perseguir replicar la carrera descalza, esto no es posible totalmente y hay diferencias biomecánicas entre correr descalzo y correr con calzado minimalista en cuanto a la cinética y cinemática de pie y tobillo, con una reducción en la carrera descalza de la flexión dorsal de tobillo en el primer rocker, menor flexión de rodilla en el segundo rocker y menos trabajo articular en rodilla y más en tobillo con respecto al uso de calzado, incluido el minimalista (15).

Al pretender acercarse al estilo de carrera descalza, sus promotores fomentan este calzado como el que aporta un estilo 'natural' a la carrera, siendo por tanto una de sus características fundamentales el bajo drop (diferencia de altura entre la entresuela a nivel del retropié y a nivel del antepié) que dependiendo del perfil de la zapatilla suele oscilar entre los 0 milímetros (conocidas también como zapatillas 'drop cero') y los 8 mm, contrastando con los modelos de zapatillas tradicionales que superan el centímetro. El bajo drop presente en el calzado implica cambios biomecánicos, en la cinética y cinemática, siendo el principal el cambio en el patrón de cargas durante las fases de la marcha, en las que durante el primer rocker del ciclo de la carrera el apoyo inicial de antepié y mediopié es mayor que si empleasen unas zapatillas con un drop alto que facilita el apoyo inicial por retropié. Otros cambios son, por ejemplo, una mayor frecuencia de la zancada con una reducción de la longitud del paso, una reducción del movimiento de dorsiflexión de tobillo, por tanto aumentando la plantarflexión de dicha articulación; o sobre la rodilla una reducción del rango de movimiento y una posición de la misma en mayor flexión (7,9). Esos cambios biomecánicos paralelamente se corresponden con cambios en las presiones plantares con un incremento de las fuerzas reactivas del suelo (6,12) y cambios tisulares óseos con mayor riesgo de edemas óseos y musculares, como mayor fuerza muscular a nivel de los tendones de la musculatura intrínseca de pie y tobillo (6,16).

Los defensores del calzado minimalista defienden que este aporta una reducción de gasto energético durante el gesto técnico de la carrera, ya que el desarrollo en la industria del calzado de diseños de peso ligero ha experimentado un interés en este tipo de modelos con la hipótesis de que producen una mejora en la economía de carrera. Sin embargo, actualmente hay controversia en la literatura sobre si hay una relación significativa entre bajo peso y mejora en la economía de carrera (9).

Los corredores que optan por emplear este tipo de calzado durante la carrera lo hacen mayoritariamente para evitar la aparición de lesiones, influyendo en otros corredores aunque en menor medida otros factores como la mejora del rendimiento deportivo o la curiosidad de probar este tipo de calzado. En parte se debe a ese cambio de mentalidad en la que lo natural está cobrando mayor protagonismo en la sociedad, visto como lo mejor y lo más adecuado, reflejándose así en la carrera minimalista como un estilo de correr más “natural”, como el de nuestros antepasados previo al desarrollo de la industria y tecnología del calzado, afirmando muchos corredores que el cuerpo humano está diseñado para correr descalzo. Sumado a esto, frente a la carrera descalza que es considerada por los propios corredores como extrema, el empleo de zapatillas minimalistas como alternativa reduce esas percepciones negativas (4,7).

Muchos adeptos a ese tipo de calzado en lugar de seguir las recomendaciones de la literatura científica, obtienen información a través de fuentes de información no rigurosa, lo que constituye un riesgo al ser influidos por medios no profesionales. Los corredores más jóvenes son los más propensos a experimentar una carrera minimalista. Al comparar géneros los hombres lo emplean más que las mujeres, mientras que los corredores más profesionales muestran mayor interés que los ocasionales. A pesar del miedo inicial a emplear esta técnica y la necesidad de un programa de transición supervisado muchas veces por un profesional, las expectativas de alcanzar una reducción del número de lesiones y una mejora en el rendimiento hacen que los corredores que prueban correr con calzado minimalista tengan interés en seguir adaptando su carrera a esta técnica (4,7).

Existen programas específicos de transición a este tipo de carrera de diferente tiempo de duración (cuatro semanas, seis, ocho, etc.). El objetivo de dichos programas es ir aumentando progresivamente el porcentaje de tiempo de las sesiones de carrera en las que se emplea el calzado minimalista comenzado con pocos minutos de carrera minimalista e ir incrementado la frecuencia con más o menos aumento de minutos dependiendo de la duración del programa. También recomiendan emplear dicho calzado lo máximo posible en actividades de la vida diaria, no solamente en la carrera, para ir adecuando el pie a dicho calzado y comenzar a correr primero por terrenos que proporcionen mayor amortiguación como hierba, y de manera paulatina ir aumentando el tiempo de carrera realizada sobre terrenos más duros como asfalto. Además se recomiendan programas de estiramientos musculares y de movilidad articular para evitar lesiones durante la transición a dicho calzado debido a los cambios cinéticos y cinemáticos que se producen, sobre todo dichos ejercicios encaminados a trabajar tríceps sural y fascia en cuanto a músculos, las articulaciones del miembro inferior en cuanto a movilidad, y ejercicios de equilibrio y propiocepción dada la reducción de sistemas de control del movimiento que experimentarán con el calzado de drop bajo (10,16,17).



### **2.3 Objetivos del trabajo**

La realización de este Trabajo Fin de Grado supone la realización de una búsqueda bibliográfica basada en la evidencia científica actual que persigue el siguiente objetivo general:

- Aportar una visión global del calzado minimalista en la carrera que permita conocer al podólogo la evidencia científica actual al respecto de este tipo de calzado.

Y los siguientes objetivos específicos:

- Determinar un concepto para calzado minimalista.
- Describir la anatomía del calzado minimalista y sus tipos.
- Analizar las características más importantes de la carrera minimalista en cuanto a su biomecánica y sus efectos sobre el pie.
- Determinar si el calzado minimalista implica una mejoría en la economía de carrera.
- Analizar las lesiones más frecuentes asociadas al calzado minimalista y si emplear este tipo de calzado se traduce en una mejora de la incidencia de lesiones.

### **2.4 Metodología**

#### **2.4.1 Diseño del estudio y fuentes de información**

La confección de este trabajo supone la realización de una revisión bibliográfica narrativa basada en la evidencia científica de la literatura existente y publicada hasta la fecha del tema sobre el que se aborda en este trabajo.

La búsqueda en fuentes de información se ha realizado intentando cubrir el mayor abanico de fuentes, para lo cual se ha consultado en buscadores especializados (Google Académicos, BuCea), bases de datos nacionales (Dialnet, Enfispo), internacionales (PubMed, ScienceDirect) y específicas en evidencia (PEDro, Biblioteca Cochrane).

El silencio documental obtenido en el apartado del desarrollo del trabajo de anatomía y tipos del calzado minimalista ha supuesto un límite en la realización del mismo, lo que me ha conllevado optar por consultar fuentes de información de recursos web para suplir esa carencia, mínimas en número de referencias y con el único objetivo de conocer de manera informativa las características de los diferentes tipos de calzado minimalista a los que se refieren los artículos científicos, nunca como objeto de futuros análisis y comparaciones. También se han incluido en la bibliografía dos normativas legales que han sido citadas en este trabajo.

#### 2.4.2 Criterios de inclusión y exclusión

Los criterios de inclusión aplicados en los operadores límite de la búsqueda han sido: artículos publicados en los últimos cinco años (con la excepción de dos artículos de hace seis años que dado su relevancia en el tema tratado se han incluido), referentes a humanos y que haya tenido la posibilidad de acceder al texto completo. Además se ha priorizado en buscar artículos de mayor evidencia científica como primera opción en la búsqueda y selección de los artículos.

Los criterios de exclusión aplicados han sido todos aquellos que no cumplen los criterios de inclusión citados anteriormente.

#### 2.4.3 Estrategias de búsqueda

Los términos de búsqueda aplicados en las diferentes bases de datos han sido en primer lugar los términos Mesh o Decs: shoe, sports/deporte, wounds and injuries/heridas y lesiones, foot/pie, running/carrera.

Dado que al aplicar esos términos de búsqueda he obtenido mucho ruido documental al obtener un gran número de artículos pero sin ceñirse concretamente al tema específico sobre el cual se desarrolla el trabajo, he optado por incluir términos de búsqueda más precisos como: calzado minimalista/minimalist shoe, carrera minimalista/minimalist running, lesiones minimalista/minimalist injuries, drop calzado/drop shoe, biomecánica minimalista/minimalist biomechanics, minimalist footwear, descalzo minimalista/ barefoot minimalist, economía de carrera minimalista/running economy minimalist.

Para facilitar, concretar y limitar la búsqueda junto a los términos de búsqueda se han incluido operadores booleanos, de proximidad, de truncamiento, de agrupamiento, de frase y de expresión; siendo los más empleados el uso de paréntesis como operador de agrupamiento, el operador booleano 'AND/Y', el '\*' como operador de truncamiento y "título" como operador de campo. En la *tabla 1* de anexos se resumen las estrategias de búsqueda empleadas.

De los artículos encontrados he preseleccionado y analizado un total de 89 artículos de los cuales finalmente se han incluido 43 artículos para desarrollar el trabajo, a los que se han añadido dos recursos web y dos normativas legales como anteriormente he citado. En el *gráfico 1* de anexos se ilustra el proceso de búsqueda y selección de artículos.

### 3. DESARROLLO Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Concepto de calzado minimalista

La ausencia de estandarización clara en cuanto al concepto de calzado minimalista implica que se empleen términos clasificatorios sin dar muchos detalles al respecto, lo que supone confusión a la hora de realizar comparaciones entre estudios, siendo necesaria una uniformidad para garantizar una mayor calidad de los estudios de investigación (5).

Por ello en el año 2015 *Esculier y colaboradores* (5) realizaron un estudio y reunieron a un grupo de expertos con el objetivo de alcanzar una definición de consenso para este tipo de calzado. En cuanto a la definición se alcanzó una satisfacción del 95% de los expertos participantes para definir calzado minimalista, como el tipo de calzado destinado a proporcionar una mínima interacción en el movimiento natural del pie gracias a su alta flexibilidad, bajo drop, peso y altura de la suela a nivel de retropié y a la ausencia de dispositivos de control del movimiento y estabilidad.

En ese mismo estudio, otro de sus objetivos fue la elaboración de un índice de minimalismo que permita determinar el grado de minimalismo que tiene un determinado calzado a partir del examen de una serie de variables, y alcanzar así una estandarización de clasificación. Dicho índice incluye las siguientes variables: peso, altura de los elementos que componen la suela (suela, entresuela, plantilla interior), drop, presencia de elementos del control del movimiento y estabilidad, flexibilidad longitudinal y flexibilidad transversal. A cada variable se le otorga una serie de puntuación y al finalizar el análisis de todas ellas, se suman los valores y se obtiene una puntuación total que se multiplica por cuatro para obtener el porcentaje de minimalismo de ese calzado analizado, de tal manera que a mayor puntuación dada a cada uno de los factores, mayor relación existe con el minimalismo (5). En el apartado de anexos, se adjunta la *tabla 2* en la cual se aporta una adaptación del índice de minimalismo al que se acaba de hacer referencia en este párrafo.

Una vez desarrollado el índice anterior se realizó en ese mismo estudio una prueba práctica de clasificación del calzado con 85 participantes relacionados con el mundo del calzado o la investigación científica y con experiencia en el mismo, en la cual se aplicaba el índice de minimalismo nombrado anteriormente. Como conclusión se establece que dicho índice es un recurso fiable y recomendable para ser aplicado (5,18).

### **3.2 Tipos de calzado minimalista**

A pesar de la existencia de múltiples modelos de calzado minimalista, se pueden englobar en dos grupos principales que son las zapatillas barefoot y las zapatillas minimalistas:

Zapatillas barefoot, también denominados “zero drop” debido a su ausencia de drop, o “guantes de pie” por su morfología. Es el grado máximo de minimalismo, el que busca un mayor contacto con el terreno para simular la carrera descalza, con una mínima estructura con un grosor también mínimo (de unos pocos milímetros, no más del centímetro) destinado a la protección para proteger el pie contra agentes externos desfavorables y que la piel no contacte directamente con el suelo. En cuanto a su peso son muy ligeras (menos de 200 gramos), además de totalmente flexibles; y el material del que están fabricadas suele ser la goma (19,20). En la *figura 1* de anexos se adjunta una imagen de este tipo de calzado con algunas características del mismo.

Zapatillas minimalistas: es un punto intermedio entre el calzado ‘barefoot’ y el calzado tradicional, siendo como estas últimas pero con muchos menos sistemas de control, sin sistemas de soporte de arco, con una ligereza (menos de 200 gramos) y flexibilidad elevada, además de un drop cero o bajo (no más de 8 milímetros). Al igual que las zapatillas tradicionales pueden presentar diferentes tipos de materiales en su estructura (19,20). En la *figura 2* de anexos se adjunta una imagen de este tipo de calzado con algunas características del mismo.

Dentro de las zapatillas minimalistas se pueden distinguir las zapatillas 100% minimalistas, con drop cero y totalmente flexibles y ligeras; y las zapatillas de transición con un drop bajo pero mayor que las anteriores mencionadas, así como menos flexibles, algo más de grosor en su suela y como su nombre indica están especialmente indicadas en casos en los que no se quiere hacer un cambio directo a la zapatilla puramente minimalista, y facilitar el periodo de transición y adecuación del miembro inferior a las nuevas condiciones (20).

### **3.3 Anatomía del calzado minimalista**

En cuanto a su anatomía se pueden concluir que las principales características y cualidades de un calzado minimalista son:

Bajo peso: junto con el drop, es la característica más importante a la hora de definir el calzado minimalista, ya que la búsqueda de ligereza es inherente al minimalismo, determinándose el límite de 200 gramos como barrera para determinar los límites de este tipo de zapatilla, considerándose este el límite por debajo del cual se considera que una zapatilla se acerca a las características de minimalismo en cuanto a su peso (3).

Flexibilidad: la flexibilidad, tanto longitudinal como torsional, es otro criterio importante a valorar en el calzado minimalista, dado que a mayor flexibilidad posea un zapato en su estructura mayor se acercaría al minimalismo, pues menos impacto tendría sobre el control del pie y los movimientos de este. Sin embargo, es un aspecto que aunque se ha estandarizado su medición es difícil de valorar de manera objetiva completamente. La flexibilidad longitudinal se valora sujetando el zapato con los dedos en pinza tanto en la parte anterior como posterior y realizando una fuerza superior dirigida a la parte anterior; mientras que la torsional se valora en la misma posición pero la fuerza realizada es medial (3, 5, 7).

Materiales variables: diferentes tipos de materiales, desde goma como suele ser el caso del calzado 'barefoot' hasta un conjunto de varios tipos de materiales como es el caso de las zapatillas minimalistas. La transpirabilidad de los materiales que conforman el corte es una característica importante, como en todo calzado deportivo (19,20).

Horma que garantiza el confort: los calzados minimalistas suelen presentar en su anatomía una horma que tenga suficiente capacidad para acoger el pie, y evitar roces y desarrollo de deformidades, en definitiva, como en todo calzado deportivo la comodidad y el confort deben garantizarse. Se pueden emplear con o sin calcetines (19, 20).

Presencia de sistemas de ajuste: la mayoría de modelos llevan incorporados sistemas de ajuste, siendo los cordones los más habituales, aunque también pueden ser de velcro. Otros modelos, sobre todo incluidos dentro del tipo 'barefoot' llevan sistemas de ajuste rápido mediante elásticos o cordones (19,20).

Altura posterior reducida: el calzado con una altura reducida a nivel de la suela en talón contribuye a alcanzar una biomecánica cercana a la carrera descalza y a reforzar la propiocepción con el terreno, siendo los 26mm la altura por encima de la cual favorece una biomecánica similar a la de la carrera tradicional, proponiéndose la altura 20mm como altura máxima posterior que puede presentar un calzado minimalista (3).

Drop bajo o nulo: El drop, es decir, la diferencia de altura entre retropié y antepié, es una característica fundamental en el calzado minimalista y la principal que caracteriza al este tipo de calzado, ya que la ausencia del drop o la presencia del mismo pero de perfil bajo favorece una cinética y una cinemática más cercana a la biomecánica descalza. Se considera un drop bajo y por lo tanto compatible con el calzado minimalista cuando la altura es igual o menor a 7 milímetros, extensible a los 8mm según algunos autores. Para medirlo se coge como referencia en retropié la zona media del mismo, y en antepié la correspondiente a nivel de las cabezas metatarsales, siendo el drop la diferencia entre ambas medidas (3, 5, 9).

Ausencia de sistemas de control del movimiento: al igual que la flexibilidad, dado que el minimalismo busca simular la carrera descalza; la ausencia de estos elementos supone que mayor grado de minimalismo tiene un calzado al permitir una mayor interacción con el terreno.

Los elementos de control más frecuentes que puede presentar un calzado tradicional son entre otros un refuerzo del arco interno, presencia de cazoleta rígida, entresuela multidensidad, y ensanchamientos y refuerzos en medial y posterior a nivel del corte. Esto guarda relación con la ausencia de sistemas de amortiguación, que también es defendida por el minimalismo como factor que contribuye a la propiocepción y acerca a un estilo más natural de carrera (4, 5, 9).

### **3.4 Repercusiones biomecánicas**

Como anteriormente se ha citado, el calzado minimalista persigue la consecución de cambios asociados a la biomecánica, por ello en este apartado se pretende examinar acorde con la literatura actual las repercusiones biomecánicas que el calzado minimalista implica sobre diferentes factores como las presiones plantares, la musculatura del pie, la movilidad articular y el patrón de carrera, así como la similitud de dichos cambios del minimalismo con los que la carrera descalza conlleva.

#### **3.4.1 Presiones plantares**

El estilo de carrera minimalista supone mayores sollicitaciones a nivel del antepié y esto se traduce en mayores presiones en dicha región tal y como se concluye en el estudio de *Bergsta y colaboradores* (12) en el que se observó las diferencias existentes en cuanto a presiones plantares a nivel del antepié dependiendo de si las participantes empleaban un calzado tradicional o un calzado minimalista. En dicho estudio se realizaron una serie de mediciones de diferentes variables mediante sensores, concluyendo los resultados que las variables de presión máxima, la media de presiones y la integral presión-tiempo es mayor en el calzado minimalista que en el calzado tradicional, lo que podría ser un factor de riesgo que contribuye a fracturas de estrés a nivel del antepié.

Los cambios en las presiones plantares no se limitan sólo a nivel del antepié, sino que repercuten también en mediopié y retropié, como *Warne y colaboradores* (10) analizaron en su estudio. En este estudio quisieron observar los cambios que las presiones plantares experimentan durante un programa de adaptación de cuatro semanas al calzado minimalista. A través de mediciones de presiones plantares se analizaron la fuerza máxima y la presión máxima total y la presión en las diferentes zonas en las que se dividió el pie para su análisis, comparando los resultados obtenidos por el calzado minimalista con el calzado tradicional. Se observó como el uso de calzado minimalista supone un aumento de presiones plantares en términos globales en comparación con el tradicional. En cuanto por regiones, en el calzado minimalista al finalizar el programa de entrenamiento en comparación con el inicio, las presiones plantares fueron mayores en antepié, contrastando con mediopié y retropié donde se observó una reducción tras la transición a este calzado, igualando los registros del calzado tradicional en dichas regiones.

Las presiones plantares con calzado minimalista son diferentes en el caso de que los corredores sean corredores de antepié o de apoyo completo, tal y como reflejaron *Kernozek y colaboradores* (11) en su estudio, en el que tras un periodo de cuatro semanas de adaptación al calzado minimalista concluyeron que en todas las regiones plantares analizadas había diferencias al comparar ambos grupos de corredores, sobre todo a nivel del retropié donde las presiones son mucho mayores y significativas en el grupo de corredores de apoyo completo con respecto a los corredores de antepié. En mediopié las presiones son también mayores en los corredores de apoyo completo, mientras que en antepié son mayores en el grupo de corredores de antepié, lo que puede contribuir a mayor riesgo de fracturas metatarsales.

Por tanto, tras analizar los artículos anteriormente citados, se puede extraer que el uso de calzado minimalista implica cambios en las presiones plantares, con un aumento de las mismas en comparación con el calzado tradicional, sobre todo a nivel del antepié, mientras que en mediopié y retropié se produce una reducción, especialmente tras la adecuación a la biomecánica minimalista. Aunque persé las cargas son mayores en antepié, el tipo de carrera también tiene su influencia, siendo las cargas en dicha región mayores en los corredores de antepié que en los corredores de apoyo completo, y dicho aumento tienen su riesgo en la producción de fracturas metatarsales.

#### 3.4.2 Musculatura intrínseca del pie

Numerosos estudios realizados a través de pruebas de imagen sobre la musculatura intrínseca del pie demuestran que esta experimenta un aumento tras el empleo de calzado minimalista, como es el caso del estudio realizado por *Campitelli y colaboradores* (21) en el que analizaron los cambios que sufre el músculo abductor del hallux con el uso de calzado minimalista. Tras un seguimiento de 24 semanas en los que se realizaban tres mediciones con ultrasonidos (al inicio del estudio, a las 12 semanas y a las 24 semanas) del músculo abductor del primer dedo se observó que en el grupo que llevaba el calzado minimalista (tipo 'barefoot') experimentaba un aumento del grosor del músculo analizado, siendo significativo en el periodo de tiempo que transcurrió desde el comienzo a las doce semanas. A partir de la semana número 12 no hay variaciones significativas.

Esta hipótesis se confirma también en otro estudio que aborda esta cuestión, el realizado por *Johnson y colaboradores* (22), en el que analizan los cambios observados en cuatro músculos intrínsecos del pie (abductor del hallux, flexor corto común de los dedos, flexor corto del hallux y extensor común de los dedos) durante un periodo de carrera minimalista con calzado 'barefoot' de diez semanas, realizadas las mediciones mediante ultrasonidos. Los resultados manifiestan que se produce un aumento significativo del tendón del músculo abductor del hallux, sin que haya una variación significativa del resto de músculos analizados.

En otro estudio realizado por *Chen y colaboradores* (23) analizaron también el cambio que experimenta la musculatura intrínseca del área del pie (sin especificar tendones en concreto) en cuanto a su grosor medido con RMN durante un programa de entrenamiento de seis meses con calzado minimalista 'barefoot' en comparación con el calzado tradicional. Los resultados del mismo reflejan que mientras que en el grupo de corredores que emplearon un calzado normal el espesor de la musculatura intrínseca no sufrió variaciones, en los atletas minimalistas se observó una hipertrofia de dichos músculos, la cual estaba más acentuada en la zona del antepié que en el retropié.

Tras analizar los estudios anteriores, como discusión puedo aportar que los tres estudios manifiestan que hay una relación significativa entre correr con calzado minimalista y el aumento de grosor de la musculatura intrínseca del pie. No obstante, no hay estandarización en cuanto al estudio de las variables y puede haber limitaciones al analizar en conjunto los artículos anteriores, ya que hay diferencias en cuanto a los tendones musculares analizados, el tiempo de transición a la carrera minimalista y los métodos de análisis del aumento de grosor. No obstante, a pesar de estas limitaciones considero positivo el hecho de que los tres estudios utilicen el mismo tipo de calzado minimalista y me permiten concluir que aunque sea necesarios más estudios para estandarizar variables, tomando como base los estudios analizados, el músculo abductor del hallux es el principal músculo intrínseco que más aumenta de grosor durante la transición al calzado minimalista.

La explicación de por qué el tendón del músculo abductor del hallux es el que más aumento de espesor puede estar en la ausencia de control medial de la zapatilla minimalista, lo que conlleva una mayor sollicitación de este tendón conduciendo a su hipertrofia. Dado que es un músculo que contribuye a la estabilidad del arco interno, y el aumento de su espesor contribuye a aumentar la estabilidad de dicha estructura y poder contribuir así a reducir las lesiones asociadas a componente pronador del pie, aunque no hay evidencia científica al respecto (21,22).

### 3.4.3 Musculatura extrínseca del pie

El estudio citado anteriormente de *Chen y colaboradores* (23) además de analizar la musculatura intrínseca, analiza también los cambios en la musculatura extrínseca asociado a la carrera minimalista con calzado 'barefoot', concretamente los músculos largos de pierna y pie sin especificar cuáles exactamente. Mediante imágenes de RMN se analizaron los cambios de grosor asociados a este tipo de calzado durante un programa de seis semanas y se concluyó que hay una relación significativa entre el minimalismo y el aumento de grosor, seguramente al igual que la musculatura intrínseca, motivado por el aumento de sollicitaciones a las que está sometida la musculatura del miembro inferior.



La hipótesis anterior fue examinada también por el estudio de *Franklin y colaboradores* (24) en el que analizaron los cambios de tres músculos extrínsecos (tibial anterior, peroneo largo y gemelos) durante el ciclo de la carrera minimalista y descalza. Concluyeron que los cambios más significativos son una disminución del trabajo del peroneo largo y en el tibial anterior ya que en la fase de apoyo del ciclo de la carrera el calzado minimalista conlleva una disminución del apoyo por retropié (disminución de la flexión dorsal de tobillo) y facilita un apoyo plantígrado, y por tanto una reducción del trabajo de esta musculatura; por el contrario la musculatura del gemelo tiene mayor activación muscular por el aumento de momento plantarflexor.

La idea de que el trabajo muscular realizado por el tendón Aquiles es mayor con el empleo del calzado minimalista fue confirmada en el estudio de *Joseph y colaboradores* (25) en el que analizaron los cambios que sufre dicho tendón en diferentes características del mismo (fuerza, elongación de sus fibras, etc) durante 24 semanas de adaptación al calzado minimalista, concluyendo que al finalizar el programa de adaptación se observó un incremento de momentos plantarflexores y rigidez. Conclusiones que coinciden con otro estudio realizado por *Sinclair y colaboradores* (26) mediante mediciones una plataforma de correr con diferentes condiciones a comparar, concluyendo que correr descalzo o con calzado minimalista supone mayor sollicitación sobre el tendón de Aquiles con un incrementos de las fuerzas y de impulso por parte del mismo.

Tras el análisis de los estudios anteriores se puede extraer que la musculatura extrínseca dada la mayor sollicitación del miembro inferior en la biomecánica minimalista experimenta también un aumento de su grosor. No obstante, esos cambios son mayores en la musculatura plantarflexora como el tríceps sural que en la musculatura dorsiflexora, ya que los cambios cinéticos y cinemáticos que implicada el calzado estudiado supone un gesto técnico de la carrera más plantígrado y con una disminución de momentos dorsiflexores durante la fase de apoyo.

#### 3.4.4 Patrón de carrera y cambios biomecánicos articulares

En primer lugar, cabe recordar que existen tres formas de carrera en cuanto a su patrón de apoyo en la fase monopodal: los corredores de retropié, los de mediopié y los de antepié.

En los corredores de retropié el apoyo inicial se realiza por la parte externa de dicha región posterior conllevando un mayor momento dorsiflexor del tobillo, con un incremento en la activación de la musculatura dorsiflexora. Por su parte los corredores de antepié o de puntillas realizan el apoyo inicial durante el gesto deportivo de la carrera por la parte delantera del pie, con una mayor plantarflexión del tobillo y extensión de rodilla. Los corredores de mediopié adoptan un patrón intermedio entre los dos anteriores. Aunque estos patrones dependen del patrón individual de la anatomía de cada corredor, el calzado juega también un papel fundamental, de tal manera que el empleo de calzado minimalista favorece el apoyo inicial por antepié, contrastando con el calzado tradicional que promueve mayor apoyo por retropié, tal y como se establece en el estudio de *Knapik y colaboradores* (27).

De tal manera, que ser corredor de antepié más específicamente implica que el apoyo inicial se produzca por cuarta y quinta cabeza metatarsal, con una mayor plantarflexión de tobillo. En la fase media de apoyo o segundo rocker se genera una dorsiflexión de tobillo contrarrestada por el trabajo plantarflexor del tríceps sural, que se extiende hasta la fase propulsiva o tercer rocker para facilitar el despegue (27,28). Mientras que a nivel de la rodilla y cadera, debido a los cambios que favorece la carrera de antepié, se genere una disminución de la extensión de dichas articulaciones (28). Estas descripciones coinciden con las conclusiones de otros artículos como el descrito previamente de *Fredericks y colaboradores* (29), en el que se observa también un aumento del momento plantarflexor de tobillo en el grupo de participantes minimalistas, y también con los resultados del estudio de *Barcellona y colaboradores* (30) en el que se compararon valores cinéticos y cinemáticos entre el calzado 'barefoot' y el tradicional mediante mediciones en cinta de correr, observando un incremento de la flexión de la rodilla y de la plantarflexión de tobillo. Los cambios biomecánicos tienen también su repercusión sobre la columna lumbar, como afirman *Lee y colaboradores* (31) en su estudio en el que analizaron la cinemática lumbar durante cuatro semanas de carrera minimalista; concluyendo que una carrera con este tipo de calzado conlleva a una menor flexión de la columna lumbar.

Dicho apoyo inicial en antepié conlleva una disminución de presiones en talón y una mayor superficie de contacto, con mayor adaptabilidad al terreno (27, 28). En cambio, la forma de patrón de carrera aparentemente no tiene efecto sobre las fuerzas de reacción del suelo, siendo similares en los tres tipos de patrón, así como también hay similitud en el pico máximo de presión. Donde sí se aprecian diferencias es en el índice de carga (velocidad con la que actúan las fuerzas sobre el cuerpo) siendo mayor en los corredores de retropié que en los de antepié (27).

Además en el estudio anterior de *Barcellona y colaboradores* (30) se compararon las variables del calzado junto el factor de seguimiento o no de un plan de instrucciones de adaptación a una carrera más ligera, concluyendo que independientemente del calzado empleado, el seguir esas instrucciones implicaba cambios que se acercaban al minimalismo, sobre a todo nivel del aumento en la plantarflexión de tobillo. No obstante, dichos cambios son mayores en el caso de que se emplee además un calzado minimalista, conllevando un mayor patrón de carrera por antepié al combinar ambas variables.

Con respecto a los cambios biomecánicos asociados a las diferentes velocidades de carrera, no hay una relación entre los cambios en el patrón de carrera y la velocidad como se concluye en el estudio de *Fredericks y colaboradores* (29), tras realizar un completo estudio cinemático comparativo de mediciones de variables sobre cinta de correr.

Sin embargo, en la literatura hay algunos estudios como el llevado a cabo por *Willson y colaboradores* (32) que difieren de lo descrito anteriormente, en el cual los participantes realizaron sesiones de entrenamiento tres veces por semana durante quince días en las que se analizaron diferentes variables cinéticas y cinemáticas. Como conclusión en este caso se apreciaron cambios significativos a nivel de la rodilla, con un aumento de flexión de dicha

articulación, mientras que no se observaron resultados concluyentes en cuanto a las articulaciones de tobillo y cadera. En cuanto al patrón de carrera, la mayoría de participantes eran corredores de retropié al comienzo del estudio, patrón que el porcentaje mayor de los mismos mantuvieron al finalizar el entrenamiento.

El efecto sobre la atenuación del impacto fue analizado en el estudio de *Sinclair* (33) en el que cada participante corría sobre una plataforma de carrera con tres condiciones de calzado (minimalista, tradicional y maximalista) midiendo diferentes variables. Se concluyó que en el calzado minimalista se observaba una disminución en la atenuación del impacto en comparación con los otros dos tipos de calzado. Además, se observó cómo los participantes adoptaban un patrón más cercano a mediopié o antepié que a corredores de retropié en la línea de lo descrito a comienzo del apartado.

Con respecto a la cadencia, las conclusiones del estudio de *Barcellona y colaboradores* (30) reflejan que llevar un calzado minimalista incrementa la cadencia y reduce la longitud del paso de manera significativa. Resultados coincidentes con los del estudio de *Squadrone y colaboradores* (34), en el que se observó que la longitud del paso se reducía en los corredores descalzos y en los que empleaban el modelo 'barefoot', y un incremento de la frecuencia de carrera (cadencia) en comparación con los que empleaban modelos tradicionales u otros tipos de calzado minimalista. Un incremento en la cadencia implica una disminución en el índice de cargas según la revisión de *Roth y colaboradores* (28) lo que podría suponer una reducción en la incidencia de lesiones, aunque no obstante no hay una evidencia científica concluyente que relacione ambas variables de manera significativa. Además aumentar la cadencia puede contribuir a disminuir momentos de fuerzas lesivos sobre algunas articulaciones como rodilla, aunque específicamente en el minimalismo tampoco hay una evidencia clara en cuanto a esa relación (27,28).

Tras el análisis de los artículos anteriores, como discusión se puede indicar que los artículos tienen el denominador común al concluir que usar calzado minimalista favorece el patrón de carrera en antepié aunque no necesariamente implica un cambio de patrón en aquellos corredores que previamente tienen un patrón de retropié, por lo que es necesario nuevos estudios para comprobar el grado de incidencia hacia una carrera de antepié y posibles factores que puedan influir. La relación con dicho patrón conlleva, según la mayoría de estudios analizados, cambios biomecánicos, siendo los más relevantes el incremento de momentos plantarflexores en el tobillo y una reducción de los momentos de extensión en rodilla. Además se producen otros cambios relevantes como una disminución en la atenuación del impacto, un aumento de la cadencia y una disminución en la longitud del paso que específicamente en el minimalismo la literatura actual no ha demostrado la repercusión que esto puede tener sobre las articulaciones y por tanto en la incidencia de lesiones.

### 3.4.5 Carrera minimalista VS carrera descalza

En la introducción de este trabajo se abordó la cuestión de que a pesar de que el calzado minimalista pretende simular a la carrera descalza, la reproducción fiel a la misma no se consigue y hay diferencias entre ambas, como se demuestra en el estudio de *Bonacci y colaboradores* (15) en el que se recogieron distintas variables de fuerza y movimiento a los participantes con diferentes condiciones de calzado, desde descalzo al calzado tradicional, concluyendo que no hay diferencias significativas en cuanto a la longitud y frecuencia de zancada, pero que sí se aprecian importantes cambios en cuanto a la biomecánica, concluyendo que correr descalzo implica una menor dorsiflexión de tobillo en el primer rocker, y de manera general un mayor número de momentos articulares y trabajo muscular en tobillo y menor en rodilla.

Como anteriormente se ha descrito, la carrera minimalista favorece el patrón de carrera de antepié, al igual que la carrera descalza, aunque en esta última se acentúa aún más, como se refleja en el estudio de *Hollander y colaboradores* (35) en el que se analizaron las diferencias biomecánicas entre cuatro condiciones que incluyen la carrera descalza, dos tipos de calzado minimalista y el calzado tradicional, pretendiendo observar la influencia de la amortiguación en el gesto técnico de la carrera, concluyendo que en la condición de descalzo los momentos dorsiflexores de tobillo son menores y que favorece una carrera de puntillas mayor por antepié, situaciones que van variando a medida que se van añadiendo elementos de amortiguación al calzado.

Tras revisar la literatura se puede afirmar que aunque la carrera minimalista se acerca a la descalza hay disparidad en cuanto a su biomecánica, favoreciendo esta última aún más el apoyo inicial en antepié y los cambios asociados a este patrón como mayor plantarflexión de tobillo.

### 3.5 Efectos sobre la economía de carrera

Los promotores del calzado minimalista defienden que debido a su ligereza el gasto energético durante la carrera se reduce, implicando una mejoría en la economía de carrera (9).

La economía de carrera viene determinada por la capacidad de regeneración de los niveles de trifosfato adenosina en condiciones de actividad aeróbica a intensidad submáxima, siendo un indicador de la resistencia y del rendimiento durante la carrera. Por tanto su medición es dependiente de diferentes parámetros metabólicos y cardiorrespiratorios como el consumo de oxígeno máximo, la ventilación pulmonar y el ritmo cardiaco. En la literatura hay controversia al respecto de esta cuestión, pues no hay duda de que el bajo peso contribuye a un menor gasto energético, pero esta reducción es sobre todo en distancias cortas, pues en distancias largas entran en juego otros factores como la fatiga muscular, y el empleo de un calzado minimalista supone cambios biomecánicos que implican mayor fatiga en algunos grupos musculares como los plantarflexores, lo que tiene efectos negativos en la economía de carrera, además de que la

ausencia de elementos de control del movimiento, aunque por una parte ayudan a aumentar la ligereza, por otra parte deriva en un aumento del trabajo muscular (8, 36, 37).

Las diferentes variables citadas anteriormente relacionadas con el rendimiento fueron estudiadas por *Kahle y colaboradores* (8) a la que se sumaron mediciones mediante EMG de los músculos sóleo y tibial anterior, comparando dichos valores entre el calzado minimalista y el tradicional. Tras efectuar dichas mediciones sobre una cinta de correr durante seis minutos, se concluyó que en dichos parámetros analizados no había diferencias significativas entre los dos grupos comparados.

Sí se observaron diferencias significativas entre ambos calzados en el estudio de *Sinclair y colaboradores* (38) en el que se analizó el consumo de oxígeno y el porcentaje de carbohidrato empleado tras mediciones de carrera en una cinta de correr durante una serie de minutos en la que incluyó una comparación con el calzado maximalista, aparte del minimalista y el tradicional, para ayudar a estudiar si la masa del zapato influye en la economía de carrera. Se concluyó que en ambas variables había una relación significativa entre los valores analizados y la masa del calzado, observando que en el grupo que empleaba calzado minimalista hubo una relación significativa en dichas variables, y por tanto afirmaron que la masa del zapato tiene influencia en la economía de carrera, favoreciendo la ligereza una mejora de la misma. Como dato adicional se analizó además el confort, mostrando los participantes mayores tasas de satisfacción con el calzado tradicional que con los otros dos tipos de calzado.

La influencia de la masa del zapato en la economía de carrera fue también estudiada por *Sobhani y colaboradores* (39), en la que mediante una carrera en cinta de correr a cada participante se le realizaron mediciones cardiorrespiratorias (ritmo cardíaco, consumo de oxígeno, producción de CO<sub>2</sub>, entre otras) en cada tipo de calzado analizado: maximalista, estándar y minimalista. Se observó que los gastos energéticos y metabólicos registrados fueron mucho mayores en el tipo de calzado con una masa mayor que en comparación con el calzado minimalista, por tanto se observó una relación entre la ligereza del calzado y la mejora de la economía de carrera, relación que favorece una mejora de la misma al emplear calzado minimalista.

Los cambios a medio plazo, concretamente durante un periodo de adaptación de cinco semanas, fueron analizados en el estudio de *Bellar y Judge* (40), estudiando variables cardiorrespiratorias (consumo de oxígeno, intercambio respiratorio y ritmo cardíaco) tanto en la marcha como la carrera, comparando el calzado minimalista, la carrera descalza y el calzado tradicional. Se observaron diferencias significativas, sobre todo en las variables de carácter respiratorio, durante la primera fase del estudio, observando una mejora de la economía de carrera en el calzado minimalista y la carrera descalza (mayor en esta última) en comparación con el calzado tradicional. No obstante, al finalizar el estudio y tras la adecuación a los diferentes tipos de marcha y carrera, no se observaron diferencias significativas entre las tres condiciones estudiadas.

Otra de las hipótesis planteadas, como he citado al comienzo de este apartado, es que además de la reducción de la masa del zapato, los cambios asociados a la biomecánica minimalista también tienen influencia en la economía de carrera, factores que han sido examinados por varios estudios como el realizado por *Gillinov y colaboradores* (41), en el que se analizaron mediante la carrera en cinta de correr el patrón de pisada, en tiempo de contacto, la cadencia y en ángulo de la rodilla; resultando que había diferencias en las dos primeras variables citadas y que no las había en las otras dos, concluyendo que los cambios asociados al tiempo de contacto y a la forma de pisada en la carrera sin calzado o minimalista suponía una mejora en la economía de carrera.

En la línea anterior, un estudio de seis semanas realizado por *Fuller y colaboradores* en el año 2017 (17) de transición al calzado minimalista también concluyó que el cambio en la forma de patrón de pisada asociada al minimalismo supone mejoras en la economía de carrera de manera significativa. En cambio, no se encontraron diferencias en otros factores analizados como la fuerza plantarflexora en tobillo o la cadencia.

Como cité en la introducción había dudas acerca de si en distancias largas de carrera minimalista la mejora del rendimiento se ve afectada, y este fue el objetivo principal del estudio de *Fuller y colaboradores* de 2016 (36) que analiza diferentes variables para determinar si el calzado minimalista tiene influencia en la economía de carrera en una distancia larga (5 kilómetros), midiendo el rendimiento dependiendo de variables relacionadas con el oxígeno y la influencia con otros factores como la velocidad de carrera. Se concluyó en los resultados que a pesar de ser altas distancias las realizadas, la masa del zapato influye significativamente en la mejora de la economía de carrera. También concluye en los resultados que a velocidades más altas la mejora de la economía de carrera se incrementa, que no hay relación entre el tiempo de la carrera y la economía, y que el calzado minimalista implica mayores índices de discomfort.

Un metaanálisis a partir de 14 estudios que abordan esta cuestión fue desarrollado también por *Fuller y colaboradores* en 2015 (42), pretendiendo estandarizar las variables analizadas en cada uno de ellos a pesar de la dificultad que conllevó, ya que cada estudio establece un tipo de calzado con características y en condiciones diferentes, estableciendo el calzado ligero como aquel por debajo de 440 gramos y el tradicional por encima de dicho peso. Como conclusión se llegó a que a pesar de que hay una relación entre el bajo peso del calzado, la cadencia y el patrón del miembro inferior del minimalismo y la mejora del rendimiento, dicha relación no supone una mejora significativa con respecto al calzado tradicional, siendo mayor la mejora tras el periodo de transición. Los autores añaden que es necesario incluir en futuros estudios la relación entre la mejora de la economía de carrera y la velocidad con la que se realiza la carrera, variable que fue estudiada en el artículo de *Bellar y Judge* (40) citado anteriormente, en la que como resultado tampoco hubo una relación significativa entre dichos factores.

Tras un análisis de los ocho artículos previamente analizados puedo extraer que el empleo de calzado minimalista tiene un impacto sobre la economía sobre todo en variables de carácter respiratorio, pues la mayoría de los estudios analizados establece que hay diferencias en los valores respiratorios registrados con el calzado tradicional y el minimalista. También se puede afirmar que en un porcentaje alto de los estudios citados se establece que hay una relación entre el bajo peso del calzado y la mejora de la economía de carrera, aunque no obstante, continúa existiendo en la literatura actual una controversia acerca de si los cambios generados en la economía de carrera son suficientemente significativos para afirmar que el minimalismo implica una mejora en la misma. Con respecto a las distancias recorridas, los cambios en la economía de carrera se dan tanto en distancias cortas como largas, aunque considero que se precisan más estudios al respecto para sacar conclusiones más concluyentes.

Los artículos ponen de manifiesto que los cambios en el patrón de pisada influyen en una mejora del rendimiento, sin embargo, con respecto a otros factores como la cadencia y la velocidad de la carrera hay dudas pues algunos estudios establecen que no hay relación y otros que sí existe dicha conexión entre las variables nombradas.

Tampoco está claro si la posible mejora de la economía de carrera es mayor antes del periodo de transición al minimalismo o posterior a este, pues mientras el metaanálisis de *Fuller y colaboradores* (42) que ha sido analizado establece que la mejora es posterior, otros estudios citados afirman que los resultados son mejores al comienzo de su uso que una vez adaptado el pie al calzado minimalista.

Como dato adicional, se puede poner de manifiesto que el calzado minimalista implica una mayor tasa de incomodidad en comparación con el calzado tradicional.

### **3.6 Lesiones asociadas al calzado minimalista**

Actualmente y a pesar de los esfuerzos de la industria del calzado por conseguir diseños destinados a reducir el número de lesiones asociadas al running, la incidencia sigue siendo alta. Por ello, el calzado minimalista fue reivindicado por sus promotores como alternativa a esta situación, defendiendo que los cambios biomecánicos del minimalismo, con un gesto de carrera que implica menor apoyo en retropié, conlleva a una reducción en las fuerzas de impacto que actúan sobre el miembro inferior, y por tanto a un menor riesgo de lesiones (6).

En la línea de confirmar la anterior hipótesis, en la revisión literaria realizada por *Knapik y colaboradores* (27) se abordó la posible influencia que el patrón de carrera de antepié, el cual favorece el minimalismo, tiene sobre la incidencia de lesiones, sin que se encontrasen unos resultados concluyentes y coincidentes a partir de los estudios analizados.



La anterior revisión también analizó la posible relación entre la reducción de lesiones y el índice de cargas, concluyendo que tampoco existe una evidencia clara entre ambas variables (27). Esta cuestión fue también abordada en un estudio reciente de *Tam y colaboradores* (43) comparando variables cinéticas y cinemáticas de la carrera descalza con la tradicional, observando que no hay relación significativa entre el tipo de carrera empleada y la reducción o aumento del índice de cargas.

Por tanto se precisan más estudios para determinar el efecto que los cambios biomecánicos que implica el uso de calzado minimalista pueden tener sobre las lesiones, ya que bajo la evidencia actual no se puede afirmar que haya una relación significativa.

### 3.6.1 Incidencia de lesiones

La relación existente entre el drop del calzado y la producción de lesiones fue analizada en el estudio de *Malisoux y colaboradores* (13). Para ello distribuyeron a los participantes en tres grupos con diferente drop (0mm, 6mm y 10mm) y se registraron diferentes sesiones de carrera. Al finalizar el estudio se observó que el porcentaje de lesiones era similar en las tres condiciones del estudio (25%), y que por tanto no había diferencias significativas entre el tipo de drop de la zapatilla y el número de lesiones.

La prevalencia de lesiones en la transición al calzado minimalista tipo 'barefoot' durante un periodo de seis semanas fue examinada por *Salzler y colaboradores* (6), concluyendo que el 83% de los participantes sufrieron lesiones, una tasa de incidencias muy elevada a pesar del seguimiento de una guía de adaptación al mismo.

En el estudio realizado por *Ostermann y colaboradores* (14) a través de un formulario de preguntas dirigido a corredores minimalistas, el 38,3% de los encuestados afirmaron que han sufrido alguna lesión durante la práctica deportiva con dicho calzado, una mejora en comparación con la incidencia del calzado tradicional mostrada en otros estudios. Sin embargo, este estudio tiene el límite de que se basa en cuestionarios y no hay comparación directa con el calzado tradicional.

Uno de los análisis con más recorrido temporal realizados en este aspecto se recoge en el estudio de *Ryan y colaboradores* (44) en el que se valoraron las lesiones asociadas al minimalismo durante doce semanas de entrenamiento y posterior realización de un evento de 10 km, dividiendo a los participantes en tres grupos: calzado tipo 'barefoot', zapatilla minimalista y calzado tradicional. Al finalizar el estudio se observó que la incidencia de lesiones fue menor en el grupo de participantes que llevaron calzado tradicional en comparación con los otros dos grupos, siendo donde más aumento se observó en el grupo de corredores con zapatilla minimalista.



Por último, en un estudio con soldados estadounidenses llevado a cabo por *Grier y colaboradores* (45) se analizó el tipo de calzado que llevaba cada participante y se analizaba las lesiones registradas y su posible interacción con el tipo de calzado. Se concluyó que no había relación significativa entre dichas variables.

En la *tabla 3* de anexos se resumen los resultados de los estudios analizados, y a la vista de los mismos sólo un estudio establece que hay una mejora significativa en la incidencia de lesiones al emplear calzado minimalista, siendo además el estudio de menor evidencia. Por consiguiente, puedo aportar que la mayoría de estudios demuestran que no hay mejora significativa o incluso un empeoramiento en cuanto al número de lesiones, y de esta manera, uno de los principales argumentos que los defensores del minimalismo promueven, no estaría corroborado bajo la evidencia científica actual.

Hay otros factores que los diferentes estudios científicos han pretendido analizar su influencia sobre las lesiones, como por ejemplo el tipo de deportista, analizado en el estudio de *Malisoux y colaboradores* (13) en el que sí se registraron diferencias en cuanto a este elemento, ya que el uso de zapatillas de perfil bajo (0-6mm) supuso una reducción de lesiones en deportistas ocasionales y un aumento en los deportistas habituales. Esto último es seguramente motivado por la adaptación de sus estructuras musculares al calzado tradicional de carrera, y posible interacción del factor tiempo y distancia, recomendando por tanto el calzado minimalista a deportistas del running principiantes u ocasionales.

También se ha observado una relación significativa con la masa corporal, incrementándose el riesgo de sufrir lesiones exponencialmente a medida que aumenta el peso corporal del corredor a partir de los 71,4 kilogramos debido probablemente a la relación directa entre masa y fuerza, algo que se acentúa más en el minimalismo por los cambios biomecánicos que se producen y por la ausencia de sistemas de amortiguación. Por debajo del peso citado anteriormente no hay una relación significativa como demuestra el estudio de *Fuller y colaboradores* (47).

Además el estudio anterior demuestra que las distancias recorridas en la carrera durante el periodo de transición al minimalismo influyen en el desarrollo de lesiones, ya que concluyen que las lesiones se incrementan cuanto mayor es la distancia recorrida, sobre todo a partir de los 35 kilómetros por semana, especialmente a nivel posterior de la pierna (47).

Por consiguiente, a la vista de los resultados se puede extraer que el perfil de corredor minimalista que menos riesgo de lesiones podría sufrir es un corredor ligero, ocasional y con distancias recorridas no muy elevadas. No obstante, se precisan más estudios para confirmar la interrelación entre dichos factores y la producción de lesiones al emplear calzado minimalista, ya que el número de artículos que abordan dichas cuestiones son escasos.

### 3.6.2 Localización y tipo de lesiones

Con respecto a la localización de las lesiones el estudio de *Malisoux y colaboradores* (13) concluyó que el porcentaje mayoritario de lesiones asociadas a un calzado minimalista se localizan en la pierna, seguido de tobillo, pie y rodilla, destacando el aumento que se produce en las lesiones a nivel del pie en comparación con el calzado de drop alto. Además añade que las lesiones fundamentalmente son músculo-tendinosas, de carácter crónico y de diferentes tipos de gravedad.

También el estudio de *Salzler y colaboradores* (6) concluye que las lesiones músculo-tendinosas en el grupo muscular posterior de la pierna (sóleo, gemelo) y óseas a nivel de las cabezas metatarsales son las más frecuentes al emplear calzado minimalista. Esto tiene su explicación, según la revisión de *Roth y colaboradores* (28), en que la biomecánica minimalista, como ya se explicó en el apartado correspondiente, implica un incremento del trabajo de la musculatura plantarflexora, especialmente del tríceps sural, y por tanto el riesgo de sufrir lesiones en la musculatura posterior de la pierna aumenta.

En cuanto al riesgo de fracturas de estrés a nivel de las cabezas metatarsales, se sabe que el calzado minimalista favorece un incremento de cargas en la zona de antepié, razón por la cual aumenta dicho riesgo. Esta revisión, también afirma que el riesgo de fascitis plantares es mayor en el minimalismo, al estar incluida esta estructura en el sistema calcáneo-aquíleo-plantar y estar sometida a mayor tensión por ausencia de sistemas de soporte de arco (28).

En esta línea, dos estudios citados en el apartado de presiones plantares ya ponían de manifiesto que el aumento de sollicitaciones a nivel del antepié constituía un factor de riesgo que incrementa el riesgo de edemas en antepié y por tanto el de fracturas de estrés en el metatarso (11,12).

Los resultados de los dos estudios anteriores coinciden con las conclusiones del estudio de *Ostermann y colaboradores* (14), en el que se establece que las lesiones se dan mayoritariamente en pie y región posterior de la pierna.

Otra de las lesiones que se han relacionado con el minimalismo es el desarrollo de edemas tibiales por incremento de estrés a ese nivel, siendo esto objeto del estudio realizado por *Ridge y colaboradores* (46) en el que analizaron la incidencia de edemas tibiales en los participantes durante 10 semanas de transición al minimalismo en comparación con el calzado tradicional, concluyendo que es más habitual encontrar edemas tibiales, seguramente motivado por mayor estrés a dicho nivel debido una inadecuación inicial a las nuevas condiciones biomecánicas que supone el minimalismo.

En la revisión de *Roth y colaboradores* (28), aparte de las lesiones atribuidas a la musculatura posterior y fascia plantar citadas anteriormente, establece que también hay mayor riesgo de heridas y lesiones de piel (sobre todo en la carrera descalza o con modelos extremadamente minimalistas), mientras que afirma que se reducen algunas lesiones a nivel de rodilla como

patologías patelofemorales, debido a que los cambios asociados al patrón de carrera y a la cadencia favorecen la disminución de los momentos lesivos en dicha articulación. Con respecto a los edemas de tibia, no se establece que haya suficiente evidencia para afirmar una conclusión significativa.

En cuanto al dolor, el estudio de *Ryan y colaboradores* (44) observó que el empleo de calzado minimalista durante un periodo de doce semanas de adaptación al mismo, se relacionaba directamente con un incremento de dolor a nivel de la toda la parte posterior de la pierna, desde el tercio medio y superior hasta el inferior. Esto coincide con el estudio de veintiséis semanas de *Fuller y colaboradores* (47) que registraron un aumento de dolor a nivel posterior de la pierna en los participantes que emplearon calzado minimalista, sobre todo en aquellos que recorrieron distancias mayores a 35 km por semana.

Tras el análisis de los artículos anteriores, como discusión se puede establecer que el desarrollo de dolor y lesiones más frecuentes asociadas al minimalismo son de tipo muscular y tendinoso, afectando fundamentalmente a la musculatura del sistema calcáneo-aquíleo-plantar por el mayor trabajo muscular y sollicitaciones del mismo. No obstante, los estudios analizados también ponen de manifiesto que el uso de este calzado tiene efectos sobre estructuras óseas, especialmente con el desarrollo de edemas a nivel del metatarso y futuro riesgo de desarrollo de fracturas de estrés en dicho nivel por incremento de fuerzas reactivas en esta región. Sin embargo, se evidencia la necesidad de nuevos estudios para reforzar las conclusiones anteriores y abordar la posible relación con otras lesiones como los edemas tibiales, la posible mejora de las lesiones patelofemorales como evidencian algunos estudios, u otras patologías del miembro inferior para las cuales la literatura actual es escasa.

#### 4. CONCLUSIONES

El calzado minimalista ha experimentado en los últimos años un aumento de interés y popularidad que ha supuesto el desarrollo de bastantes proyectos y estudios para conocer científicamente mejor el mismo y sus efectos. Esto ha permitido el avance hacia una posición de consenso en cuanto a su concepto, de tal manera que se puede afirmar que el calzado minimalista es aquel que debido a las características propias de su anatomía proporciona que la interacción sobre el movimiento natural del pie sea mínima. La zapatilla minimalista y la zapatilla 'barefoot' son los dos tipos principales de calzado minimalista dentro de una gran variedad de diseños que comparten una anatomía similar con un bajo drop, alta ligereza y flexibilidad, ausencia de sistemas de control del movimiento y escasa altura posterior.

De acuerdo con la bibliografía consultada, el calzado minimalista implica en cuanto a la biomecánica un aumento de las presiones plantares a nivel del antepié, un incremento de grosor en la musculatura del pie tanto intrínseca como extrínseca, y favorece un patrón de carrera de antepié, con mayores momentos plantarflexores en tobillo y flexores en rodilla; acercándose de esa manera a la biomecánica de carrera descalza, aunque no se consigue una reproducción fiel de la misma. Además supone un aumento del índice de cargas, así como un aumento de la cadencia y una disminución de la longitud del paso, siendo necesario nuevos estudios que refuercen las conclusiones anteriores e interrelacionen la biomecánica minimalista con otros factores como la incidencia de lesiones o el rendimiento deportivo.

Comprobar si este calzado mejora la economía de carrera y reduce las lesiones, tal y como defienden los promotores del minimalismo, ha sido otra de las cuestiones que más ha perseguido la investigación científica. De tal manera, que esto nos ha permitido conocer que el bajo peso influye en una mejora en la economía de carrera; sin embargo, se precisa de la realización de nuevos estudios para determinar si esa mejora es significativa y la interrelación con otras variables y factores que influyen en el rendimiento como la transición, la velocidad o la cadencia.

Con respecto a las lesiones, de acuerdo a la evidencia actual, practicar running con calzado minimalista no implica una mejora en la incidencia de lesiones, y en las lesiones asociadas al mismo destacan las lesiones músculo-tendinosas en la región posterior de la pierna y aumenta el riesgo de fracturas de estrés a nivel de los metatarsianos. Se precisan en este sentido también más estudios para determinar el efecto sobre las lesiones en otras regiones del miembro inferior, y determinar en qué casos específicos el uso de este calzado podría ser positivo, así como la influencia que tienen factores como el peso corporal o los cambios biomecánicos.

Finalmente, tras la realización de este Trabajo Fin de Grado, se puede concluir que el calzado minimalista está al alcance de todos los deportistas y nosotros como podólogos debemos tener una visión crítica acerca del mismo, ya que de manera general la evidencia científica actual no muestra unos beneficios significativos derivados del uso de este calzado en comparación con el calzado tradicional. No obstante, se debe valorar específica e individualmente cada caso para determinar el efecto que el uso de este calzado podría tener sobre ese corredor en concreto. Asimismo se debe continuar avanzando en la investigación acerca de este tema ya que sigue habiendo lagunas al respecto, y dada la tendencia actual continuará siendo un tema presente el mundo del running que debe corresponderse con una mayor respuesta científica.

## 5. **BIBLIOGRAFÍA**

1. Ley 44/2003, de 21 de noviembre, de ordenación de las profesiones sanitarias. (Boletín Oficial del Estado, número 80, de 22-11-2003). Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2003-21340>
2. Orden CIN/728/2009, de 18 de marzo, por la que se establecen los requisitos para la verificación de los títulos universitarios oficiales que habiliten para el ejercicio de la profesión de Podólogo. (Boletín Oficial del Estado, número 73, de 26 de marzo de 2009). Disponible en: [https://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-2009-5035](https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2009-5035)
3. Coetzee DR, Albertus Y, Tam N, Tucker R. Conceptualizing minimalist footwear: an objective definition. J Sports Sci [Internet]. 2018 [citado 18 ene 2018]; 36(8):949–54. Disponible en: <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/02640414.2017.1346816>
4. Rothschild CE. Primitive running: a survey analysis of runners' interest, participation, and implementation. J Strength Cond Res [Internet]. 2012 [citado 19 ene 2018]; 26(8):2021-6. Disponible en: <https://insights.ovid.com/pubmed?pmid=21997446>
5. Esculier JF, Dubois B, Dionne CE, Leblond J, Roy JS. A consensus definition and rating scale for minimalist shoes. J Foot Ankle Res [Internet]. 2015 [citado 21 ene 2018]; 8(42):1–9. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4543477/>
6. Salzler MJ, Kirwan HJ, Scarborough DM, Walker JT, Guarino AJ, Berkson EM. Injuries observed in a prospective transition from traditional to minimalist footwear: correlation of high impact transient forces and lower injury severity. Phys Sportsmed [Internet]. 2016 [citado 23 ene 2018]; 44(4): 373-9. Disponible en: [www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00913847.2016.1238282](http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00913847.2016.1238282)
7. Walton PD, French DP. What do people think about running barefoot/with minimalist footwear? A thematic analysis. Br J Health Psychol [Internet]. 2015 [citado 23 ene 2018]; 21(2):1–18. Disponible en: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/bjhp.12180/abstract>
8. Kahle A, Brown GA, Shaw I, Shaw BS. Mechanical and physiological analysis of minimalist versus traditionally-shod running. J Sports Med Phys Fitness [Internet]. 2016 [citado 27 ene 2018]; 56(9):974-9. Disponible en: <https://www.minervamedica.it/en/journals/sports-med-physical-fitness/article.php?cod=R40Y2016N09A0974>
9. Langer P. A closer look at minimalist running shoes. Podiatry Today [Internet]. 2012 [citado 27 ene 2018]; 25(9):1-8. Disponible en: <https://www.podiatrytoday.com/closer-look-minimalist-running-shoes>

10. Warne JP, Kilduff SM, Gregan BC, Nevill AM, Moran KA, Warrington GD. A 4-week instructed minimalist running transition and gait-retraining changes plantar pressure and force. *Scand J Med Sci Sports* [Internet]. 2014 [citado 5 feb 2018]; 24(6):964-73. Disponible en: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/sms.12121/abstract?system>
11. Kernozek TW, Meardon S, Vannatta CN. In-shoe loading in rearfoot and non-rearfoot strikers during running minimalist footwear. *Int J Sports Med* [Internet]. 2014 [citado 5 feb 2018]; 35(13):1112-7. Disponible en: <https://www.thieme-connect.com/DOI/DOI?10.1055/s-0034-1372627>
12. Bergstra SA, Kluitenberg B, Dekker R, Bredeweg SW, Postema K, Van den Heuvel ER, et al. Running with a minimalist shoe increases plantar pressure in the forefoot region of healthy female runners. *J Sci Med Sport* [Internet]. 2015 [citado 5 feb 2018]; 18(4):463-8. Disponible en: [http://www.jsams.org/article/S1440-2440\(14\)00118-2/fulltext](http://www.jsams.org/article/S1440-2440(14)00118-2/fulltext)
13. Malisoux L, Chambon N, Urhausen A, Theisen D. Influence of the heel-to-toe drop of standard cushioned running shoes on injury risk in leisure-time runners: a randomized controlled trial with 6-month follow-up. *Am J Sports Med* [Internet]. 2016 [citado 7 feb 2018]; 44(11): 2933-40. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27501833>
14. Ostermann K, Ridpath L, Hanna JB. Self-reported minimalist running injury incidence and severity: a pilot study. *J Am Osteopath Assoc* [Internet]. 2016 [citado 9 feb 2018]; 116(8):512–20. Disponible en: <http://jaoa.org/article.aspx?articleid=2538811>
15. Bonacci J, Saunders PU, Hicks A, Rantalainen T, Vicenzino BG, Spratford W. Running in a minimalist and lightweight shoe is not the same as running barefoot: a biomechanical study. *Br J Sports Med* [Internet]. 2013 [citado 10 feb 2018]; 47(6):387-92. Disponible en: <http://bjsm.bmj.com/content/47/6/387.long>
16. Fuller JT, Thewlis D, Tsiros MD, Brown NAT, Bruckley JD. The long-term effect of minimalist shoes on running performance and injury: design of a randomised controlled trial. *BMJ Open* [Internet]. 2015 [citado 10 feb 2018]; 5(8):1-9. Disponible en: <http://bmjopen.bmj.com/content/bmjopen/5/8/e008307.full.pdf>
17. Fuller JT, Thewlis D, Tsiros MD, Brown NAT, Buckley JD. Six-week transition to minimalist shoe improves running economy and time-trial performance. *J Sci Med Sport* [Internet]. 2017 [citado 11 feb 2018]; 20(12):1117-22. Disponible en: [http://www.jsams.org/article/S1440-2440\(17\)30397-3/fulltext](http://www.jsams.org/article/S1440-2440(17)30397-3/fulltext)
18. Esculier JF, Dubois B, Roy JS. The minimalist index is a valid and reliable tool for rating running shoes. *Physiotherapy* [Internet]. 2015 [citado 11 feb 2018]; 101(Supp 1):1301. Disponible en: [http://www.physiotherapyjournal.com/article/S0031-9406\(15\)01249-3/fulltext](http://www.physiotherapyjournal.com/article/S0031-9406(15)01249-3/fulltext)

19. Recreational Equipment, Inc. [Internet]. Kent: REI Co-op. [Actualizada feb 2018; citado 15 feb 2018]. Disponible en: <https://www.rei.com/learn/expert-advice/how-to-choose-barefoot-minimalist-running-shoes.html>
20. Gutiérrez Samuelsson C. [Internet]. Málaga: Como Correr [Actualizada feb 2018; citado 14 feb 2018]. Disponible en: <http://www.comocorrer.es/tipos-de-zapatos-minimalistas/>
21. Campitelli NA, Spencer SA, Bernhard K, Heard K, Kidon A. Effect of vibram five fingers minimalist shoes on the abductor hallucis muscle. J Am Podiatr Med Assoc [Internet]. 2016 [citado 20 feb 2018]; 106(5):344–51. Disponible en: [http://www.japmaonline.org/doi/10.7547/14-084?url\\_ver=Z39.88-2003&rfr\\_dat=cr\\_pub%3Dpubmed&rfr\\_id=ori:rid:crossref.org&code=pmas-site](http://www.japmaonline.org/doi/10.7547/14-084?url_ver=Z39.88-2003&rfr_dat=cr_pub%3Dpubmed&rfr_id=ori:rid:crossref.org&code=pmas-site)
22. Johnson AW, Myrer JW, Mitchell UH, Hunter I, Ridge ST. The effects of a transition to minimalist shoe running on intrinsic foot muscle size. Int J Sports Med [Internet]. 2016 [citado 20 feb 2018]; 37(2):154–8. Disponible en: <https://www.thieme-connect.com/DOI/DOI?10.1055/s-0035-1559685>
23. Chen TL, Sze LK, Davis IS, Cheung RT. Effects of training in minimalist shoes on the intrinsic and extrinsic foot muscle volume. Clin Biomech [Internet]. 2016 [citado 20 feb 2018]; 36:8-13. Disponible en: [http://www.clinbiomech.com/article/S0268-0033\(16\)30067-5/pdf](http://www.clinbiomech.com/article/S0268-0033(16)30067-5/pdf)
24. Franklin S, Li FX, Grey MJ. Modifications in lower leg muscle activation when walking barefoot or in minimalist shoes across different age-groups. Gait Posture [Internet]. 2018 [citado 22 feb 2018]; 60:1-5. Disponible en: [http://www.gaitposture.com/article/S0966-6362\(17\)30983-9/fulltext](http://www.gaitposture.com/article/S0966-6362(17)30983-9/fulltext)
25. Joseph MF, Histen K, Arntsen J, L'Hereux L, Defeo C, Lockwood D, et al. Achilles tendon adaptation during transition to a minimalist running style. J Sport Rehabil [Internet]. 2017 [citado 23 feb 2018]; 26(2):165-70. Disponible en: [https://journals.humankinetics.com/doi/abs/10.1123/jsr.2016-0007?url\\_ver=Z39.88-2003&rfr\\_id=ori%3Arid%3Acrossref.org&rfr\\_dat=cr\\_pub%3Dpubmed](https://journals.humankinetics.com/doi/abs/10.1123/jsr.2016-0007?url_ver=Z39.88-2003&rfr_id=ori%3Arid%3Acrossref.org&rfr_dat=cr_pub%3Dpubmed)
26. Sinclair J, Kenneth J, Sant B. The effects of CrossFit and minimalist footwear on Achilles tendon kinetics during running. Foot Ankle J [Internet]. 2016 [citado 25 feb 2018]; 9(4):2. Disponible en: <http://faoj.org/2016/12/31/the-effects-of-crossfit-and-minimalist-footwear-on-achilles-tendon-kinetics-during-running/>
27. Knapik JJ, Orr R, Pope R, Grier T. Injuries and footwear (Part 2): minimalist running shoes. J Spec Oper Med [Internet]. 2016 [citado 26 feb 2018]; 16(1): 89-96. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27045504>



28. Roth J, Neumann J, Tao M. Orthopaedic perspective on barefoot and minimalist running. *J Am Acad Orthop Surg* [Internet]. 2016 [citado 26 feb 2018]; 24(3):180-7. Disponible en: <https://insights.ovid.com/pubmed?pmid=26808173>
29. Fredericks W, Swank S, Teisberg M, Hampton B, Ridpath L, Hanna JB. Lower extremity biomechanical relationships with different speeds in traditional, minimalist, and barefoot footwear. *J Sports Sci Med* [Internet]. 2015 [citado 28 feb 2018]; 14(2):276-83. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4424455/>
30. Barcellona MG, Buckley L, Palmer LJM, Ormond RM, Owen G, Watson DJ, et al. The effect of minimalist footwear and instruction on running: an observational study. *BMJ Open Sport Exerc Med* [Internet]. 2017 [citado 28 feb 2018]; 3(1):1-8. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5530131/pdf/bmjsem-2016-000160.pdf>
31. Lee SP, Bailey JP, Smith JA, Barton S, Brown S, Joyce T. Adaptations of lumbar biomechanics after four weeks of running training with minimalist footwear and technique guidance: implications for running-related lower back pain. *Phys Ther Sport* [Internet]. 2018 [citado 2 mar 2018]; 29: 101-7. Disponible en: [http://www.physicaltherapyinsport.com/article/S1466-853X\(16\)30189-4/fulltext](http://www.physicaltherapyinsport.com/article/S1466-853X(16)30189-4/fulltext)
32. Willson JD, Bjorhus JS, Williams DS, Butler RJ, Porcari JP, Kernozek TW. Short-term changes in running mechanics and foot strike pattern after introduction to minimalistic footwear. *PM R* [Internet]. 2014 [citado 2 mar 2018]; 6(1); 34-43. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23999160>
33. Sinclair J. The influence of minimalist, maximalist and conventional footwear on impact shock attenuation during running. *Mov Sport Sci/Sci Mot* [Internet]. 2016 [citado 2 mar 2018]; 95:59-64. Disponible en: <https://www.mov-sport-sciences.org/articles/sm/abs/2017/01/sm160010/sm160010.html>
34. Squadrone R, Rodano R, Hamill J, Preatoni E. Acute effect of different minimalist shoes on foot strike pattern and kinematics in rearfoot strikers during running. *J Sports Sci* [Internet]. 2015 [citado 3 mar 2018]; 33(11):1196-204. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25529114>
35. Hollander K, Argubi-Wollesen A, Reer R, Zech A. Comparison of minimalist footwear strategies for simulating barefoot running: a randomized crossover study. *PloS One* [Internet]. 2015 [citado 3 mar 2018]; 10(5):1-11 Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4444250/>
36. Fuller JT, Thewlis D, Tsiros MD, Brown NA, Bruckley JD. Effects of a minimalist shoe on running economy and 5-km running performance. *J Sports Sci* [Internet]. 2016 [citado 4 mar 2018]; 34(18):1740-5. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27328725>



37. Warne JP, Moran KA, Warrington GD. Eight weeks gait retraining in minimalist footwear has no effect on running economy. *Hum Mov Sci* [Internet]. 2015 [citado 5 mar 2018]; 42:183-92. Disponible en: [http://www.academia.edu/25263958/Eight\\_weeks\\_gait\\_retraining\\_in\\_minimalist\\_footwear\\_has\\_no\\_effect\\_on\\_running\\_economy](http://www.academia.edu/25263958/Eight_weeks_gait_retraining_in_minimalist_footwear_has_no_effect_on_running_economy)
38. Sinclair J, Shore H, Dillon S. The effect of minimalist, maximalist and energy return footwear of equal mass on running economy and substrate utilization. *Comp Exerc Physiol* [Internet]. 2016 [citado 5 mar 2018]; 12(1):49-54. Disponible en: <http://www.wageningenacademic.com/doi/10.3920/CEP150029>
39. Sobhani S, Bredeweg S, Dekker R, Kluitenberg B, van der Heuvel E, Hijmans J, Postema K. Rocker shoe, minimalist shoe, and standard running shoe: a comparison of running economy. *J Sci Med Sport* [Internet]. 2014 [citado 5 mar 2018]; 17(3):312-6. Disponible en: [http://www.jsams.org/article/S1440-2440\(13\)00102-3/fulltext](http://www.jsams.org/article/S1440-2440(13)00102-3/fulltext)
40. Bellar D, Judge LW. Effect of training in minimalist footwear on oxygen consumption during walking and running. *Biol Sport* [Internet]. 2015 [citado 6 mar 2018]; 32(2):149-54. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4447761/pdf/JBS-32-1144417.pdf>
41. Gillinov SM, Laux S, Kuivila T, Hass D, Joy SM. Effect of minimalist footwear on running efficiency: a randomized crossover trial. *Sports Health* [Internet]. 2015 [citado 6 mar 2018]; 7(3):256-60. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4482302/>
42. Fuller JT, Bellenger CR, Thewlis D, Tsiros MD, Buckley JD. The effect of footwear on running performance and running economy in distance runners. *Sports Med* [Internet]. 2015 [citado 6 mar 2018]; 45(3):411-22. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs40279-014-0283-6>
43. Tam N, Darragh IAJ, Dikevar NV, Lamberts RP. Habitual minimalist shod running biomechanics and the acute response to running barefoot. *Int J Sports Med* [Internet]. 2017 [citado 7 mar 2018]; 38(10):770-5. Disponible en: <https://www.thieme-connect.com/DOI/DOI?10.1055/s-0043-114863>
44. Ryan M, Elashi M, Newsham-West R, Taunton J. Examining injury risk and pain perception in runners using minimalist footwear. *Br J Sports Med* [Internet]. 2014 [citado 9 mar 2018]; 48(16):1257-62. Disponible en: <http://bjsm.bmj.com/content/48/16/1257.long>
45. Grier T, Canham-Chervak M, Bushman T, Anderson M, North W, Jones BH. Minimalist Running shoes and injury risk among United States Army soldiers. *Am J Sports Med* [Internet]. 2016 [citado 10 mar 2018]; 44(6): 1439-46. Disponible en: [http://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0363546516630926?url\\_ver=Z39.88-2003&rfr\\_id=ori%3Arid%3Acrossref.org&rfr\\_dat=cr\\_pub%3Dpubmed&](http://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0363546516630926?url_ver=Z39.88-2003&rfr_id=ori%3Arid%3Acrossref.org&rfr_dat=cr_pub%3Dpubmed&)

---

46. Ridge ST, Johnson AW, Mitchell UH, Hunter I, Robinson E, Rich BS, Brown SD. Foot bone marrow edema after a 10-wk transition to minimalist running shoes. *Med Sci Sports Exerc* [Internet]. 2013 [citado 10 mar 2018]; 45(7): 1363-8. Disponible en: <https://insights.ovid.com/pubmed?pmid=23439417>

47. Fuller JT, Thewlis D, Buckley JD, Brown NA, Hamill J, Tsiros MD. Body mass and weekly training distance influence the pain and Injuries Experienced by runners using minimalist shoes. *Am J Sports Med* [Internet]. 2017 [citado 12 mar 2018]; 45(5): 1162-70. Disponible en: [http://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0363546516682497?url\\_ver=Z39.88-2003&rfr\\_id=ori%3Arid%3Acrossref.org&rfr\\_dat=cr\\_pub%3Dpubmed&](http://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0363546516682497?url_ver=Z39.88-2003&rfr_id=ori%3Arid%3Acrossref.org&rfr_dat=cr_pub%3Dpubmed&)

6. **ANEXOS**

<b>ESTRATEGIAS DE BÚSQUEDA</b>	
calzado*[título] Y minimalista* [título] shoe* [title] AND minimalist* [title]	biomecánica*[título] Y minimalista*[título] biomechanics*[title] AND minimalist*[title]
minimalista*[título] Y carrera* [título] minimalist* [title] AND running* [title]	minimalista*[título] Y calzado*[título] minimalist*[title] AND footwear*[title]
minimalist*[título] Y lesiones*[título] minimalist*[title] AND injuries*[title]	descalzo*[título] Y minimalista*[título] barefoot*[title] AND minimalist*[title]
drop*[título] Y calzado*[título] drop*[title] AND shoe*[title]	minimalista*[título] Y economía de carrera*[título] minimalist*[title] AND running economy*[title]

Tabla 1: Resumen de estrategias de búsquedas realizadas.

Fuente: Original del autor

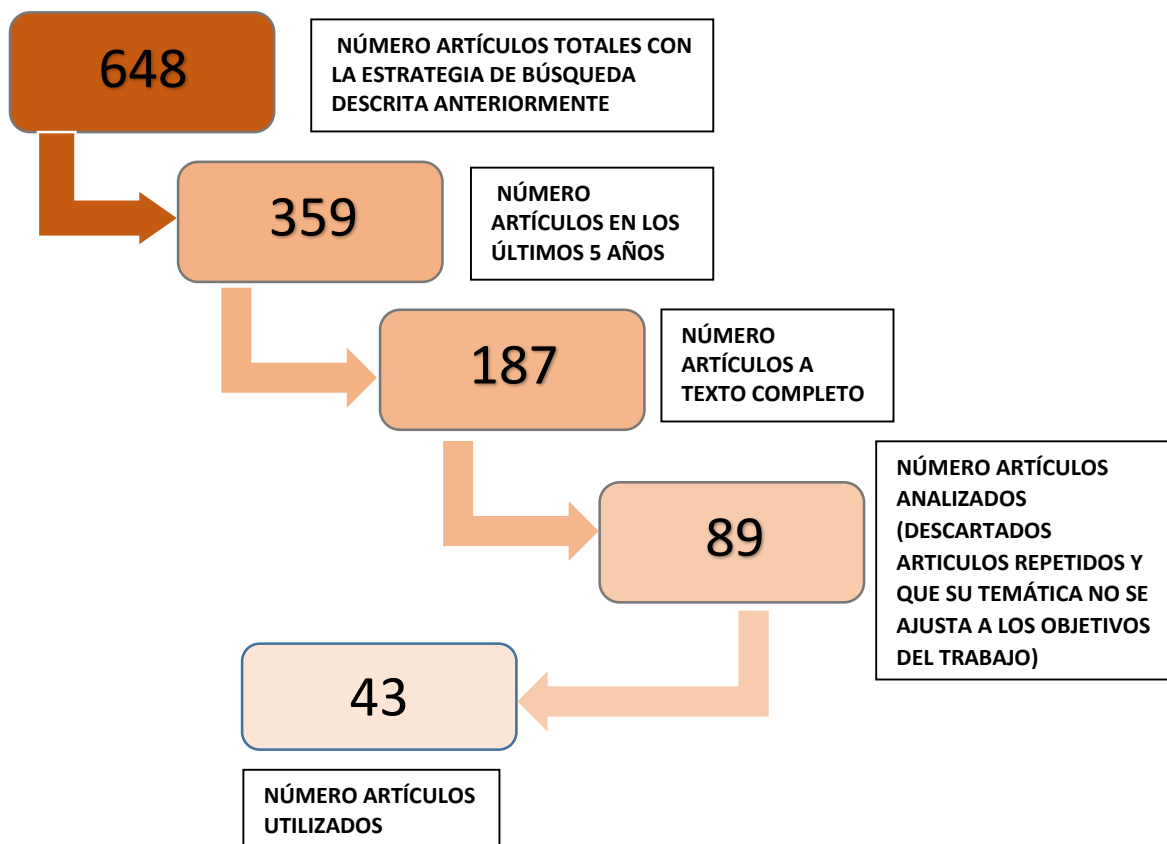


Gráfico 1: Resumen de los resultados obtenidos (número de artículos) en la búsqueda en las diferentes bases de datos.

Fuente: Original del autor

ÍNDICE DE MINIMALISMO	
VARIABLES	PUNTOS
PESO	5: < 125 gramos 4: de 125 g a 175 g 3: de 175 g a 225 g 2: de 225 g a 275 g 1: de 275 a 325 g 0: 325 g o más Puntuación:
ALTURA DE LA SUELA (suela + entresuela + plantilla interior) A NIVEL DE TALÓN	5: menos de 8 mm 4: de 8mm a 14 mm 3: de 14mm a 20mm 2: de 20mm a 26mm 1: de 26mm a 32mm 0: 32mm o más Puntuación:

ÍNDICE DE MINIMALISMO	
Variables	Puntos
DROP (altura suela a nivel de las cabezas metatarsales – altura suela a nivel de talón)	5: menos de 1 mm 4: de 1mm a 4mm 3: de 4mm a 7mm 2: de 7mm a 10mm 1: de 10mm a 13mm 0: 13mm o más  Puntuación:
PRESENCIA DE ELEMENTOS DE CONTROL DEL MOVIMIENTO Y ESTABILIDAD - Entresuela multidensidad - Refuerzo termoplástico posteromedial en entresuela - Cazoleta rígida - Refuerzo arco interno - Refuerzo medial en corte - Ensanchamiento hacia medial que sobrepasa la anchura del calzado	5: ningún elemento 4: un elemento 3: dos elemento 2: tres elementos 1: cuatro elementos 0: cinco elementos  Puntuación:
FLEXIBILIDAD LONGITUDINAL	2'5: mínima resistencia (puede doblarse más de 360 grados) 2: ligera resistencia (toca el borde anterior con el posterior pero no llega a doblarse 360 grados) 1,5: moderada resistencia (45- 90°) 1: alta resistencia (menos de 45°) 0: flexibilidad no significativa  Puntuación:
FLEXIBILIDAD TRANSVERSAL (torsión)	2'5: mínima capacidad a la torsión (la parte anterior gira 360°) 2: ligera capacidad (180-360°) 1'5: moderada capacidad (90-180°) 1: alta capacidad (45-90°) 0'5: muy alta capacidad (menos de 45°) 0: extrema resistencia (no permite)  Puntuación:
PUNTUACIÓN TOTAL:	
TOTAL x 4= % MINIMALISMO	

Tabla 2: Índice de minimalismo.

Fuente: Original del autor, adaptada del estudio de Esculier y colaboradores (5).



Figura 1: Zapatillas barefoot.

Fuente: Imagen de Gutiérrez Samuelsson C (20) modificada por el autor.



Figura 2: Zapatillas minimalistas.

Fuente: Imagen de Gutiérrez Samuelsson C (20) modificada por el autor.

<b>INCIDENCIA DE LESIONES</b>			
<b>Artículo</b>	<b>Corredores</b>	<b>Tasa lesiones</b>	<b>Resultados</b>
<i>Malisoux y cols. (13)</i>	553	24,6%	No diferencias significativas
<i>Salzler y cols. (6)</i>	14	83%	Empeoramiento significativo
<i>Ostermann y cols. (14)</i>	47	38,3%	Mejora significativa
<i>Ryan y cols. (44)</i>	99	23,2%	Empeoramiento significativo
<i>Grier y cols. (45)</i>	1132	-	No diferencias significativas

Tabla 3: Resumen de la incidencia de lesiones.

Fuente: *Tabla original del autor.*

