

**Universidad San Jorge**

**Facultad de Ciencias de la Salud**

**Grado en Fisioterapia**

**Trabajo de fin de grado**

**Influencia del tipo de calzado en la aparición  
de lesiones en corredores de trail: protocolo de  
estudio observacional**

**Autor del proyecto: Mattin Barnetche**

**Director del proyecto: Javier Trenado Molina**

**Villanueva de gallego, 19 de mayo de 2023**



Este trabajo constituye parte de mi candidatura para la obtención del título de Grado en Fisioterapia de la Universidad San Jorge y no ha sido entregado previamente (o simultáneamente) para la obtención de cualquier otro título.

Este documento es el resultado de mi propio trabajo, excepto donde de otra manera esté indicado y referido.

Doy mi consentimiento para que se archive este trabajo en la biblioteca universitaria de Universidad San Jorge, donde se puede facilitar su consulta.

Firma:

Fecha: 05 de mayo de 2023

X

---

Mattin Barnetche

---

### **Dedicatoria y Agradecimientos**

Con estas pocas líneas quiero agradecer a mi familia por haberme apoyado durante todos estos años y por haberme permitido elegir el camino que me convenía.

También quiero agradecer a mis amigos, gracias a quienes estos 4 años han sido geniales y han pasado lamentablemente demasiado rápido.

Por último, quiero agradecer a los profesores que nos han transmitido con pasión sus conocimientos durante 4 años, y a Javi, quien supervisó esta última tarea.

¡Muchas gracias!

---

## Tabla de contenidos

RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	1
<b>1. INTRODUCCION.....</b>	<b>2</b>
JUSTIFICACION.....	4
HIPOTESIS.....	4
OBJETIVOS.....	4
<b>2. MATERIAL Y METODO.....</b>	<b>5</b>
DISEÑO DEL ESTUDIO.....	5
PROCEDIMIENTO.....	6
VARIABLES.....	8
TAMANO DE LA MUESTRA.....	10
ANALISIS ESTADISTICO.....	10
<b>3. DISCUSION.....</b>	<b>11</b>
FORTALEZAS Y LIMITACIONES.....	13
<b>4. CONCLUSION.....</b>	<b>14</b>
<b>5. REFERENCIAS.....</b>	<b>15</b>
<b>6. ANEXOS.....</b>	<b>18</b>

---

## Resumen

**Introducción:** El trail running es una disciplina que gana popularidad cada año. Al igual que el running en asfalto, se asocia a un alto índice de lesiones. Frente a los argumentos de las distintas marcas de zapatillas que abogan por un calzado cada vez más tecnológico para disminuir esta tasa de lesión, se ha desarrollado otro tipo de calzado: el minimalista. Se define como un zapato que interfiere mínimamente en el movimiento natural del pie. Por lo tanto, para conocer la influencia real de un determinado tipo de calzado en la aparición de lesiones en una población dada, son necesarios diferentes estudios prospectivos a largo plazo.

**Objetivo:** Determinar si el uso del calzado minimalista influye sobre la aparición y la severidad de las lesiones del miembro inferior en corredores de trail running.

**Material y métodos:** Es un protocolo de estudio de cohorte, prospectivo, observacional y analítico, en el que se sigue a corredores de trail running de Aragón durante 6 meses. Los corredores se dividen en 2 grupos según el calzado que utilizan: minimalista o convencional. Los datos para el estudio se recogen cada dos semanas mediante cuestionario en línea. Se valoran la aparición de lesión relacionadas con la carrera, la severidad de las lesiones, el patrón de pisada de cada corredores y el volumen y la duración de entrenamiento.

**Resultados esperados:** Se esperó que corredores con calzado minimalista y patrón de pisada de antepié o mediopié desarrollen menos lesiones que corredores con calzado convencional.

**Conclusión:** Este estudio permite aumentar los conocimientos sobre la relación entre el uso de un tipo de calzado y la aparición de lesiones en una población menos estudiada: los corredores de trail running. Abre la puerta para futuros estudios a largo plazo sobre otros posibles factores de riesgo de lesiones.

**Palabras Clave:** trail running, calzado minimalista, calzado convencional, lesión.

## **Abstract**

**Introduction:** Trail running is a discipline that gains popularity every year. Like road running, it is associated with a high rate of injuries. In response to the arguments from different shoe brands advocating for increasingly technological footwear to decrease this injury rate, another type of footwear has been developed: minimalist shoes. These shoes are defined as minimally interfering with the natural movement of the foot. Therefore, to understand the real influence of a specific type of footwear on the occurrence of injuries in a given population, different long-term prospective studies are necessary.

**Objective:** To determine if the use of minimalist footwear influences the occurrence and severity of lower limb injuries in trail runners.

**Materials and methods:** This is a prospective, observational, analytical cohort study protocol, following trail runners from Aragón for 6 months. The runners are divided into two groups based on the footwear they use: minimalist or conventional. Data for the study are collected every two weeks through an online questionnaire. The occurrence of running-related injuries, the severity of injuries, each runner's foot strike pattern, and the volume and duration of training are evaluated.

**Expected results:** It is expected that runners using minimalist footwear and exhibiting a forefoot or midfoot strike pattern will develop fewer injuries compared to runners using conventional footwear.

**Conclusion:** This study enhances knowledge about the relationship between the use of a specific type of footwear and the occurrence of injuries in a less-studied population: trail runners. It paves the way for future long-term studies on other potential risk factors for injuries.

**Keywords:** trail running, minimalist footwear, conventional footwear, injury.

## 1. Introducción

El running se ha hecho muy popular en los últimos años entre las personas que buscan un estilo de vida activo y desean mejorar su condición física<sup>(1,2)</sup>. Una de las disciplinas que ha crecido en popularidad es el trail running. Según la ITRA, el trail running es una carrera a pie, en un entorno natural (por ejemplo, montaña, bosque, pradera) con un mínimo de recorridos pavimentados o asfaltados (menos del 20% del recorrido total) y que idealmente, pero no necesariamente, debe ser autosuficiente<sup>(3,4)</sup>.

### *Epidemiología en la literatura*

Un estudio de Hespanhol et al. informó de una incidencia global de 10,7 lesiones relacionadas con la carrera (RRI) por cada 1.000 h, mostrando una mayor incidencia de lesiones por sobreuso (8,1 por 1.000 h) frente a lesiones agudas (2,7 por 1.000 h)<sup>(2)</sup>. La incidencia de lesiones relacionadas con la carrera a pie por cada 1 000 h de carrera varía entre 2,5 y 33,0, y la incidencia estimada de lesiones entre los corredores recreativos es de 7,7 <sup>(5,6)</sup>. Otro estudio que sigue corredores de trail sudafricanos durante 30 semanas informa de una tasa global de lesiones de 19,6 RRI (Running Related Injuries) por 1000 h y una prevalencia media de RRI del 12,3%. La principal localización anatómica de las RRI fue la extremidad inferior (82,9%)<sup>(7)</sup>.

Una revisión sistemática mostró un rango de incidencia global de entre 1,6-4285,0 lesiones por 1000 h de trail running<sup>(8)</sup>. En 2019, otra revisión sistemática de Francis et al. describe que la rodilla (28%), el tobillo-pie (26%) y la tibia (16%) representaron la mayor proporción de lesiones en corredores femeninos y masculinos<sup>(9)</sup>.

Una de la principal causa de la heterogeneidad de las cifras puede ser la ausencia de consenso entre los artículos sobre la definición de una lesión<sup>(10)</sup>.

Aunque se conocen muchos factores de riesgo en el corredor<sup>(11,12)</sup>, la mayoría de los estudios no abordan los factores de riesgo (intrínsecos o extrínsecos) en el corredor de trail y solo abordan la carrera en asfalto. Además, existen muy pocos estudios prospectivos.

### *El calzado*

Aunque las zapatillas de correr actuales son descritas por las distintas marcas como cada vez más cómodas, tecnológicas y eficaces, la frecuencia de las lesiones al correr no ha cambiado en los últimos 40 años<sup>(13)</sup>. Con estas cifras y la publicación del libro de Christopher McDougall "Born to Run", algunos investigadores y marcas empezaron a promover el calzado minimalista (CM) como forma de reducir estas lesiones. En efecto, al entrenar un ataque con el mediopié o el antepié, la zapatilla minimalista reduciría las fuerzas de impacto y el CM interferiría menos en el movimiento natural del pie, al tiempo que ofrecería protección a la planta del pie<sup>(14)</sup>. En

consecuencia, la reducción de las fuerzas de impacto debería lógicamente disminuir la carga sobre el sistema musculoesquelético y conllevar un menor riesgo de lesión<sup>(15)</sup>.

En 2015, Esculier et al. llegaron a un consenso para definir el CM: "es un zapato que interfiere mínimamente con los movimientos naturales del pie, debido a su alta flexibilidad, bajo drop, bajo peso, bajo grosor del talón, y la ausencia de tecnologías de estabilidad y control de movimiento"<sup>(16)</sup>. Crearon el Índice Minimalista, que calcula el porcentaje de minimalismo de cada modelo de zapatilla en función de 5 parámetros, cada uno de los cuales tiene un peso del 20% en el índice: flexibilidad (longitudinal y torsional), peso, grosor del talón, tecnologías de estabilidad y control del movimiento, drop. Lo que vemos entonces es que los términos minimalista o maximalista se utilizan para promocionar determinados tipos de calzado, pero no existe ni el calzado minimalista ni el maximalista sino un conjunto de zapatos cuantificados por un nivel de minimalismo expresado en porcentaje.

#### *Calzado y lesiones*

La elección de un nuevo par de zapatos es muy importante para la mayoría de los corredores. Además, según un estudio sobre las creencias de los corredores, una gran mayoría de ellos atribuye a sus zapatos el riesgo de sufrir una lesión. Estas creencias deberían estar relacionadas con los argumentos de venta ofrecidos por las marcas de calzado desde hace años<sup>(15,17)</sup>.

Según un estudio de Fuller et al., el 52% de los corredores con calzado minimalista declararon haber sufrido una lesión durante el periodo de seguimiento, frente al 37% de los corredores con calzado convencional (CC)<sup>(18)</sup>.

En 2016, otro estudio de Ostermann et al. mostró una tasa de lesiones del 38,3% en corredores con zapatillas minimalistas frente al 64% en corredores con zapatillas convencionales<sup>(19)</sup>.

¿Por qué hay tantos resultados diferentes entre los estudios? ¿Las zapatillas minimalistas reducen realmente el riesgo de lesiones?



## Justificación

Es interesante para el ámbito de la fisioterapia deportiva estudiar si los diferentes tipos de calzado influyen en la aparición de lesiones para comprender más los factores de riesgo de lesiones relacionadas con la carrera y también poder integrar esas zapatillas como una herramienta para la rehabilitación y el proceso de vuelta al trail running.

Además, no existen estudios prospectivos que analicen la diferencia en el riesgo de lesiones entre el uso de calzado minimalista y convencional tras un periodo de transición. Por lo tanto, ninguna evidencia actual apoya las recomendaciones sobre el uso de calzado minimalista en poblaciones específicas, y en este caso, en corredores de trail<sup>(15)</sup>.

## Hipótesis

H0: El uso de zapatillas minimalistas no reduce el riesgo de lesión en el miembro inferior en corredores de Trail

Ha: El uso de zapatillas minimalistas reduce el riesgo de lesión en el miembro inferior en corredores de Trail

## Objetivos

### Primario:

Determinar si el uso de zapatillas minimalistas reduce el riesgo de lesión en el miembro inferior en el corredor de trail respecto al uso de zapatillas convencionales.

### Secundarios:

- 1) Detectar si el uso de calzado minimalista o convencional tiene un impacto sobre la severidad de la lesión.
- 2) Analizar si hay una relación entre el tipo de patrón de pisada, el uso de calzado minimalista o convencional y la aparición de una lesión.
- 3) Analizar si el volumen y la duración de entrenamiento son diferentes según el uso de una u otra zapatilla.

## 2. Material y Métodos

### Diseño del estudio

Protocolo de estudio de cohorte, prospectivo, analítico y experimental siguiendo las directivas del STROBE statement que indica los elementos que deben incluirse en los estudios observacionales.

El estudio durará 8 meses. Los participantes serán reclutados desde enero 2024 hasta marzo 2024, y los que cumplen los criterios de selección serán seguidos durante 6 meses desde marzo de 2024 hasta agosto de 2024.

Los participantes serán reclutados vía un cuestionario online transmitidos a los diferentes clubes de trail running en Aragón por la Federación Aragonesa de Atletismo. El cuestionario constará de preguntas sobre variables socio-demográficas como edad, sexo, BMI y otras variables que se tendrán en cuenta como criterios de inclusión o exclusión. Un miembro del equipo de investigación se encargará del reclutamiento determinando quién cumple los criterios de inclusión.

Los criterios para ser incluido en el estudio serán:

- Criterios de inclusión:
  - Hombre y mujeres entre 18 y 60 años
  - Correr al mínimo 15km por semanas<sup>(20)</sup>
  - Índice minimalista entre 0 y 30% o 70 y 90%. Para conocer el índice minimalista de los modelos de zapatillas de los corredores que respondieron al cuestionario, utilizaremos la base de datos de la clínica del corredor, que recoge el índice minimalista de diferentes modelos y marcas de zapatillas<sup>(21)</sup>
  
- Criterios de exclusión:
  - Presencia de una lesión
  - Antecedentes de operaciones quirúrgicas en los miembros inferiores en los últimos 12meses <sup>(22)</sup>
  - Haber cambiado de calzado en los últimos 2 meses<sup>(23)</sup>
  - Uso de plantillas ortopédicas
  - Contraindicación a la práctica del trail running

Antes de empezar, el estudio deberá ser aprobado por el Comité de Ética de la Investigación de la Comunidad Autónoma de Aragón (CEICA).

#### Procedimiento

Todos los participantes serán informados de los objetivos y procedimientos del estudio antes de dar su consentimiento informado por escrito (anexos).

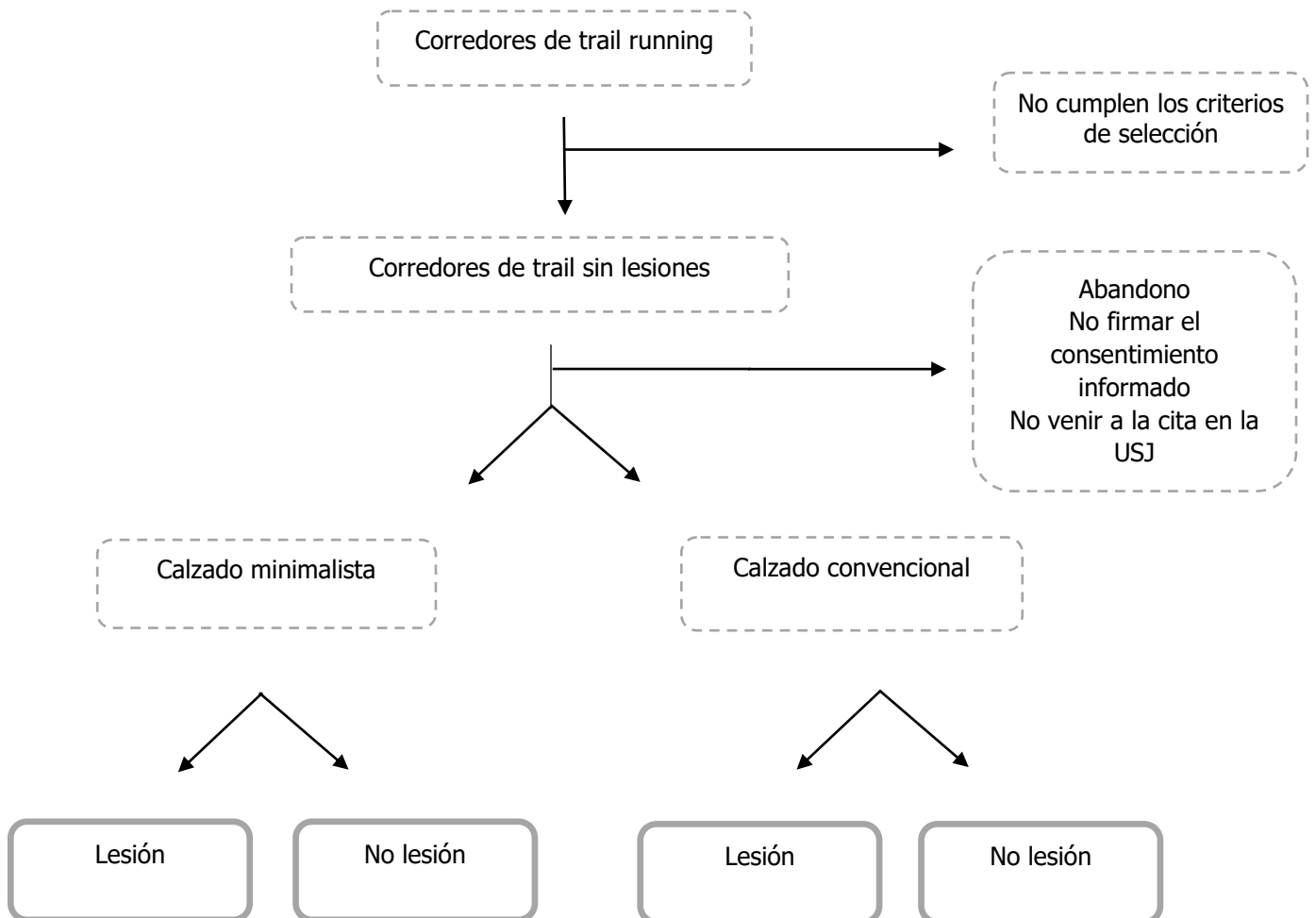
Al inicio del estudio, para cada participante, se concertará una cita en la Universidad San Jorge con el fin de identificar el patrón de pisada que utiliza. Un miembro del equipo investigador será encargado de recibir a los participantes y realizar los videos, otro que esta entrenado y acostumbrado a utilizar el software Kinovea, realizará el análisis video y determinará el tipo de pisada de cada participante.

Durante esta cita, se proporcionará a cada paciente un reloj deportivo conectado y se le explicará su funcionamiento, así los investigadores recibirán directamente los datos de entrenamiento y los participantes no tendrán que escribir y transmitir sus datos cada dos semanas lo que puede ser tedioso y fuente de abandono del estudio. Lo único que se les pedirá es que rellenen cada dos semanas un cuestionario en línea realizado gracias a la herramienta Survey Monkey que incluye varias preguntas sobre si se ha producido o no una lesión relacionada con la carrera en las extremidades inferiores. Este cuestionario se compone de una versión modificada del cuestionario OSTRC (ver variable principal) y 2 preguntas adicionales (¿Ha consultado a un profesional sanitario en las últimas dos semanas? En caso afirmativo, ¿cuál fue su diagnóstico?).

El investigador quien se encargará del análisis de los datos será cegado y no sabrá los nombres de las personas.

Para potenciar y promover la participación activa, los participantes recibirán un mensaje recordatorio por correo electrónico 1 día antes de que se abra el cuestionario.

A continuación, se adjunta el diagrama de flujo del estudio:



**Figura 1: Diagrama de flujo**

## Variables

### Variable Primaria:

- **Frecuencia de aparición de una lesión:** una lesión se define como "running-related (training or competition) musculoskeletal pain in the lower limbs that causes a restriction on or stoppage of running (distance, speed, duration, or training) for at least 7 days or 3 consecutive scheduled training sessions, or that requires the runner to consult a physician or other health professional" (24).

Para recoger los datos se utilizará una versión modificada del cuestionario del Oslo Sports Trauma Research Center. Este cuestionario fue desarrollado por Clarsen et al. (25) para registrar las lesiones por sobreuso y su gravedad e impacto. El cuestionario OSTRC consta de cuatro ítems para dolor o limitaciones en rendimiento durante la última semana (últimas 2 semanas en nuestro caso), debido a problemas en 3 regiones de los miembros inferiores; cadera, rodilla/muslo y pie/tobillo/pierna inferior(26). Es necesaria la modificación del cuestionario OSTRC mediante la inclusión de una pregunta adicional relacionada con cada localización anatómica(27) para cubrir si la lesión cumple la definición consensual de Yamato et al. : "Have your problems with your (foot, ankle, lower leg, knee, groin, hip) restricted your running activity (distance, speed, duration, or training) for at least 7 days or 3 consecutive scheduled training sessions, or that requires the runner to consult a physician or other health professional".

La versión española del cuestionario OSTRC ha mostrado una buena fiabilidad y validez en deportistas juveniles y una excelente consistencia interna(28,29).

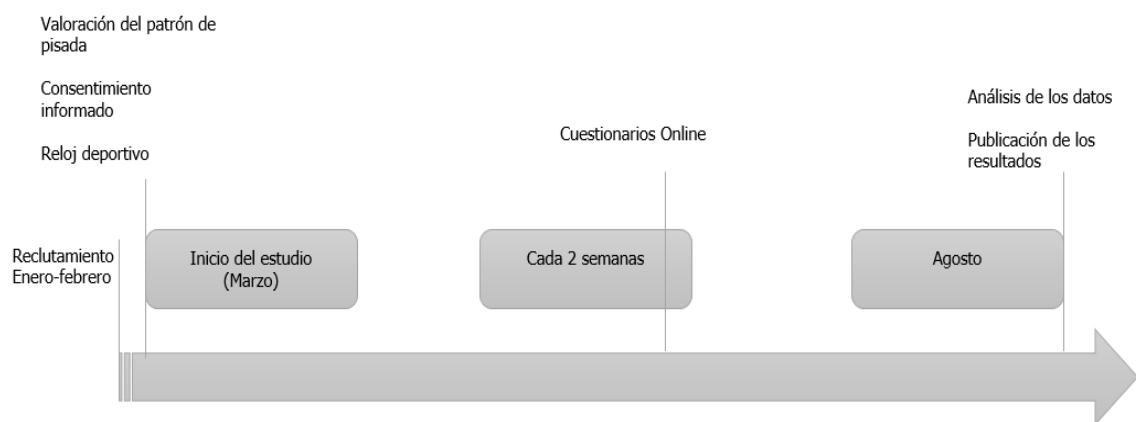
Al final del estudio esta incidencia será expresada en número de lesiones por 1000 horas, así tendremos en cuenta la carga (volumen de carrera) ya que puede influir en el desarrollo de lesiones(30).

### Variables secundarias:

- **Gravedad de la lesión:** Utilizando el "severity score" dado por el cuestionario OSTRC. Sobre las 4 mismas preguntas planteadas según la localización de la lesión, se da una puntuación según la respuesta: Las preguntas 1 y 4 puntúan 0-8-17-25, y las preguntas 2 y 3 puntúan 0-6-13-19-25. El 0 representa la ausencia de problemas y el 25 el nivel máximo de dificultades y problemas en la carrera. A continuación, se calcula un "severity score" para cada lesión, de 0 a 100, basado en estas cuatro preguntas, donde 0 representa ningún impacto y 100 representa la máxima gravedad e impacto en la actividad deportiva(25,29).

- **Patrón de pisada:** El patrón de pisada (FSP) de los participantes se grabará mediante vídeo de alta velocidad a 240 Hz. La cámara se colocará perpendicular a la cinta rodante desde una vista sagital a 2 m del centro de la cinta y a una altura de 0,30 m<sup>(31)</sup>. El análisis video para valorar el patrón de pisada tiene una buena validez y fiabilidad ya sea en 2D o 3D y por lo tanto el uso de video 2D está justificada en la clínica<sup>(31,32)</sup>. Utilizando la herramienta Kinovea para el análisis video y la clasificación de Altman et al., se considera retropié un ángulo entre la cinta rodante y una línea pasando en la quinta articulación metatarsofalángica y el calcáneo superior a 8°, mediopié entre 8° y -1,6° y antepié con un ángulo inferior a -1,6° <sup>(33,34)</sup>.

- **Volumen de entrenamiento y Duración de entrenamiento:** Serán medidos con un reloj deportivo conectado, y se expresaran en kilómetros por semana y horas por semanas. El reloj deportivo conectado es una herramienta que tiene una precisión general buena en relación con las distancias registradas y pueden recomendarse para medir distancias, especialmente para mediciones en exteriores <sup>(35,36)</sup>.



**Figura 2: Cronograma del estudio**

#### Tamaño de la muestra

Para calcular el tamaño muestral se utilizará el software estadístico G\*Power. Para minimizar errores de tipo 1 y 2, se utilizará un valor de Alpha = 0,05 y Beta = 0,2 (Potencia = 80%). Se utilizará un tamaño del efecto de 0,5 y se tendrá en cuenta un 20% de posibles abandonos.

#### Análisis Estadístico

Otros dos miembros, distintos del que realizó el reclutamiento, se encargarán del análisis estadístico.

El análisis de las estadísticas se realizará con el programa informático IBM SPSS. Para determinar si las variables siguen una distribución normal, se utilizará la prueba de Shapiro-Wilk. Las que sigan una distribución normal se expresarán como media + desviación estándar y las que no sigan una distribución normal como mediana y rango intercuartílico. El nivel de confianza será de 95% y el valor de p será considerado estadísticamente significativo si es <0,05.

Se utilizará un análisis de regresión logística que permite analizar la relación entre una variable dependiente binaria (la aparición o no de lesiones) y variables independientes. Se calcularán los Odds ratio y los intervalos de confianza del 95% correspondientes.

### 3. Discusión

Según la literatura actual se esperan los siguientes resultados: el grupo con calzado minimalista reportara menos lesiones que el grupo con calzado convencional. El grupo con CM tendrá un mayor porcentaje de pisada de antepié mientras que el grupo con CC tendrá un mayor porcentaje de pisadas con retropié. Corredores con CC y pisada de retropié tendrán más lesiones que corredores con CM y pisada de antepié, pero corredores con CM y pisada de retropié tendrán más lesiones que corredores con CC y pisada de retropié.

No se esperan diferencias significativas respecto a severidad, volumen y duración de entrenamientos.

Los corredores con calzado convencional tienen 3,41 veces más probabilidades de sufrir una lesión que los que llevan CM según Goss y Gross<sup>(37)</sup>. Pero en este estudio los corredores con CM tenían más experiencia (declararon más años de experiencia de carrera) que los corredores con CC y la experiencia es un factor de riesgo a tener en cuenta<sup>(5,38)</sup>.

Un estudio de Fuller et al. mostró no diferencia estadísticamente significativa entre el riesgo de lesión y el tipo de calzado, además el CM aumentó el riesgo de lesión en corredores de más de 85,7kgs. Ryan et al. concluyeron que el uso del CM aumenta el riesgo de desarrollar una lesión.

Pero lo que estos dos estudios tienen en común es que tomaron corredores inexpertos en el uso de CM. Lo que se ve es que los corredores que pasan demasiado rápido de CC a CM tienen una mayor incidencia de lesiones que los que no cambian de tipo de zapatillas<sup>(18)</sup>. Para limitar estos riesgos, la transición a un calzado más minimalista debería ser gradual, permitiendo que el sistema musculoesquelético se adapte a la nueva cinemática de carrera inducida por el CM<sup>(39,40)</sup>. En este sentido, nuestro estudio difiere de la mayoría de los demás estudios en que reclutamos a corredores acostumbrados al calzado minimalista y sin lesiones actuales, lo que elimina el riesgo de desarrollar lesiones relacionadas con la adaptación a un nuevo calzado.

Un parámetro que los estudios han aislado como asociado a una mayor incidencia de lesiones<sup>(41)</sup>, y que está relacionado con dos variables de nuestro estudio, es la tasa de aplicación de la fuerza de impacto, también conocida como "tasa de carga vertical" o "vertical loading rate" (VLR), es decir, la velocidad a la que se golpea el suelo. Este parámetro puede modificarse: corriendo con menos ruido, aumentando el ritmo de la zancada, utilizando calzado minimalista o favoreciendo un patrón de pisada de mediopié o antepié. Los corredores con un golpe de talón y que corren con zapatillas minimalistas aumentan la tasa de carga de esta fuerza de impacto en 37x, entonces una gran parte de los corredores con zapatillas minimalistas favorecen un golpe de antepié y esto conlleva una disminución de la VLR.



Sin embargo, aunque se pensaba que una transición de CC a CM induciría automáticamente una transición a un ataque de antepié, no siempre es así. Un estudio de Goss et al.<sup>(42)</sup> demostró que el 50% de los corredores seguían utilizando un patrón de pisada de retropié después de 2 semanas de uso del CM. Entonces el aumento de la VLR en ese grupo puede aumentar su riesgo de padecer una lesión. Habrá que tener cuidado con corredores que utilizan CM y que continúan a tener un apoyo en retropié.

Pero estos estudios tienen en cuenta un terreno plano o el terreno plano es reproducido por una cinta de correr. En el trail running, el terreno varía mucho y el patrón de pisada no es constante. En este estudio de 2021<sup>(43)</sup>, la mayoría de los corredores de trail cambiaron a la pisada de mediopié durante las subidas mientras que mantienen la pisada en retropié durante la carrera en terreno plano y bajadas. Esto puede explicarse a que la forma óptima de correr requiere una interacción precisa entre la movilidad y la estabilidad de las articulaciones de los miembros inferiores, que se hace más compleja al correr por un sendero natural, entonces trail runners necesitan una gran variabilidad cinemática<sup>(43)</sup>.

En un estudio de Mo et al. los investigadores encontraron que no hay diferencias significativas de VLR entre los corredores de trail que llevan CM o CC. Esto contrasta con los resultados de Sinclair<sup>(44)</sup> que muestran una menor VLR en los corredores con CM en un estudio utilizando una cinta rodante. Entonces estas diferencias de resultados podrían ser explicado por la variabilidad del terreno y de las poblaciones (trail runners y corredores de asfalto).

Además en los corredores de trail, el VLR difiere según el tipo de terreno siendo más importante durante las bajadas que durante las partes planas o las subidas<sup>(45,46)</sup>.

Finalmente, en el estudio de Mo et al., aunque se realiza con corredores de trail, ninguno de ellos está acostumbrado al uso del CM.

Ostermann et al. analizaron la incidencia y gravedad de las lesiones durante la transición de CC a CM. No hubo diferencias significativas en la gravedad entre las lesiones sufridas en CC y las lesiones durante la transición a CM<sup>(47)</sup>. Sin embargo, este estudio fue retrospectivo, los únicos criterios de inclusión fueron tener 18 años y haber corrido en CM (sin especificar cuánto tiempo y en qué disciplina) y la gravedad de la lesión se determinó mediante una escala de Likert utilizando el grado de dolor sentido. Gamez-Paya et al. utilizaron el OSTRC-O severity score para ver el impacto de zapatillas de running sin talón que obligan a tener un patrón de pisada de antepié sobre la recuperación de una lesión en comparación con corredores con CC. El grupo con zapatillas sin talón tuvo una disminución significativa de la gravedad y del impacto de la lesión en comparación con el grupo con CC. Obviamente este estudio no utiliza CM pero los autores señalan que las zapatillas sin talón disminuyen el VLR, lo que disminuye la tensión sobre los tejidos y por lo tanto permitiría la recuperación de los tejidos lesionados<sup>(29)</sup>. Esto apoyaría la idea de que correr con CM y con un patrón de pisada de antepié sería menos

estresante y por lo tanto menos propenso a lesiones graves para los corredores (ya que la combinación de ambos provoca una disminución significativa del VLR).

En cuanto a nuestra última variable, se sabe que un mayor número de sesiones de running y una mayor distancia total recorrida se asocian de manera significativa con una menor probabilidad de sufrir lesiones en corredores de trail o de asfalto<sup>(7,48)</sup>. Un mayor volumen de entrenamiento resultó en un mayor tiempo hasta la primera lesión reportada en orientadores: un aumento de 1 hora de entrenamiento (en total, es decir sin cambio repentino de la carga de entrenamiento) que sea en asfalto, senderos forestales o de montaña retrasó el tiempo hasta la primera lesión reportada en un 20%<sup>(49)</sup>.

Pero, sigue sin responderse la pregunta de cuánto entrenamiento de carrera (por ejemplo, frecuencia, volumen, velocidad de carrera) en presencia de una técnica de carrera y un calzado específico puede tolerarse sin incurrir en lesiones<sup>(15)</sup>.

#### Fortalezas y limitaciones

Nuestro estudio es una primera respuesta a una revisión sistemática de 2022 que concluye: "La definición de lesión por correr también debe utilizarse de forma coherente y confirmarse a través de los profesionales sanitarios. Por último, los trabajos futuros deberían explorar la influencia de los diferentes tipos de calzado para correr sobre las tasas de lesiones en subgrupos específicos"<sup>(50)</sup>.

De hecho, se utiliza por primera vez una definición consensuada de la lesión y una definición consensuada del CM en un estudio prospectivo. Además, para reducir la variabilidad de la población, estudia a corredores de trail. Por último, a diferencia de muchos estudios, se estudia a corredores que ya están acostumbrados a llevar CM (han realizado una transición completa, es decir, sus cuerpos están acostumbrados al estrés mecánico que conlleva el uso del CM ya que no tienen lesiones al inicio del estudio) y se limita así el desarrollo de lesiones debidas a la no adaptación a la zapatilla.

El hecho de que se trate de un estudio de cohorte también es un punto fuerte: no se imponen cambios ni tratamientos a los participantes, la única limitación es responder a un cuestionario cada dos semanas. Entonces, podría haber un sesgo de análisis porque, como los pacientes tienen que rellenar los cuestionarios de forma independiente, algunos podrían decidir no rellenarlos en un momento determinado. Intentaremos evitar este sesgo enviando un mensaje recordatorio 1 día antes de que el cuestionario se abra.

Una limitación del estudio puede ser el uso del cuestionario OSTRC. En efecto, aunque se trata de una herramienta válida y fiable para registrar las lesiones por sobreuso y su gravedad e impacto, debe modificarse para tener en cuenta la definición de lesión utilizada en este estudio. Además, aunque se les explicó el cuestionario, su interpretación sigue siendo muy subjetiva y es difícil concluir si la lesión sufrida está directamente relacionada con el trail running o no es consecuencia de las actividades cotidianas de los participantes o de otras posibles actividades deportivas.

Igualmente, aunque se utilicen criterios de reclutamiento y debido a la posible multifactorialidad de los riesgos de lesión, es imposible atribuir directamente la aparición de una lesión al uso de un calzado concreto. Se necesitan más estudios de esta población para analizar otros factores de riesgo específicos y sus impactos en la aparición de lesiones.

#### **4. Conclusión**

Según la bibliografía actual, la relación entre el tipo de calzado y las lesiones difiere bastante de las creencias populares y de los argumentos de venta de la industria. Un hecho parece evidente: una transición demasiado rápida a un tipo de calzado diferente provocaría una mayor incidencia de lesiones. Sin embargo, las consecuencias a largo plazo del uso de un tipo de calzado no se conocen bien. Este estudio aumentará el conocimiento sobre este tema y ayudará a los profesionales de la salud en el desarrollo de estrategias de prevención de lesiones para corredores de trail. Por último, abrirá la puerta a futuros estudios prospectivos que investiguen esta población a largo plazo.

## 5. Bibliografía

1. Hespanhol Junior LC, Pillay JD, van Mechelen W, Verhagen E. Meta-Analyses of the Effects of Habitual Running on Indices of Health in Physically Inactive Adults. *Sports Med Auckl Nz.* 2015;45(10):1455-68.
2. Hespanhol Junior LC, van Mechelen W, Verhagen E. Health and Economic Burden of Running-Related Injuries in Dutch Trailrunners: A Prospective Cohort Study. *Sports Med Auckl Nz.* 2017;47(2):367-77.
3. Vincent HK, Brownstein M, Vincent KR. Injury Prevention, Safe Training Techniques, Rehabilitation, and Return to Sport in Trail Runners. *Arthrosc Sports Med Rehabil.* 28 janv 2022;4(1):e151-62.
4. Gajardo-Burgos R, Monrroy-Uarac M, Barría-Pailaquilén RM, Norambuena-Noches Y, van Rensburg DCJ, Bascour-Sandoval C, et al. Frequency of Injury and Illness in the Final 4 Weeks before a Trail Running Competition. *Int J Environ Res Public Health.* 19 mai 2021;18(10):5431.
5. Videbæk S, Bueno AM, Nielsen RO, Rasmussen S. Incidence of Running-Related Injuries Per 1000 h of running in Different Types of Runners: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med Auckl Nz.* 2015;45(7):1017-26.
6. Ramskov D, Nielsen RO, Sørensen H, Parner E, Lind M, Rasmussen S. The design of the run Clever randomized trial: running volume, –intensity and running-related injuries. *BMC Musculoskelet Disord.* 23 avr 2016;17:177.
7. Viljoen CT, Janse van Rensburg DC, Verhagen E, van Mechelen W, Korkie E, Botha T. Epidemiology, Clinical Characteristics, and Risk Factors for Running-Related Injuries among South African Trail Runners. *Int J Environ Res Public Health.* 30 nov 2021;18(23):12620.
8. Viljoen CT, Janse van Rensburg DC, Verhagen E, van Mechelen W, Tomás R, Schoeman M, et al. Epidemiology of Injury and Illness Among Trail Runners: A Systematic Review. *Sports Med Auckl NZ.* mai 2021;51(5):917-43.
9. Francis P, Whatman C, Sheerin K, Hume P, Johnson MI. The Proportion of Lower Limb Running Injuries by Gender, Anatomical Location and Specific Pathology: A Systematic Review. *J Sports Sci Med.* 11 févr 2019;18(1):21-31.
10. Kluitenberg B, van Middelkoop M, Diercks R, van der Worp H. What are the Differences in Injury Proportions Between Different Populations of Runners? A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med Auckl Nz.* 2015;45(8):1143-61.
11. Gijon-Nogueron G, Fernandez-Villarejo M. Risk Factors and Protective Factors for Lower-Extremity Running Injuries A Systematic Review. *J Am Podiatr Med Assoc.* nov 2015;105(6):532-40.
12. Kluitenberg B, van Middelkoop M, Smits DW, Verhagen E, Hartgens F, Diercks R, et al. The NLstart2run study: Incidence and risk factors of running-related injuries in novice runners. *Scand J Med Sci Sports.* oct 2015;25(5):e515-523.
13. Nigg BM, Baltich J, Hoerzer S, Enders H. Running shoes and running injuries: mythbusting and a proposal for two new paradigms: « preferred movement path » and « comfort filter ». *Br J Sports Med.* oct 2015;49(20):1290-4.

14. Rixe JA, Gallo RA, Silvis ML. The barefoot debate: can minimalist shoes reduce running-related injuries? *Curr Sports Med Rep*. 2012;11(3):160-5.
15. Malisoux L, Theisen D. Can the « Appropriate » Footwear Prevent Injury in Leisure-Time Running? Evidence Versus Beliefs. *J Athl Train*. 1 déc 2020;55(12):1215-23.
16. Esculier JF, Dubois B, Dionne CE, Leblond J, Roy JS. A consensus definition and rating scale for minimalist shoes. *J Foot Ankle Res*. 19 août 2015;8:42.
17. Saragiotto BT, Yamato TP, Lopes AD. What do recreational runners think about risk factors for running injuries? A descriptive study of their beliefs and opinions. *J Orthop Sports Phys Ther*. oct 2014;44(10):733-8.
18. Fuller JT, Thewlis D, Buckley JD, Brown NAT, Hamill J, Tsiros MD. Body Mass and Weekly Training Distance Influence the Pain and Injuries Experienced by Runners Using Minimalist Shoes: A Randomized Controlled Trial. *Am J Sports Med*. avr 2017;45(5):1162-70.
19. K O, L R, Jb H. Self-Reported Minimalist Running Injury Incidence and Severity: A Pilot Study. *J Am Osteopath Assoc* [Internet]. 8 janv 2016 [cité 15 avr 2023];116(8). Disponible sur: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27455100/>
20. Fuller JT, Thewlis D, Tsiros MD, Brown NAT, Buckley JD. The long-term effect of minimalist shoes on running performance and injury: design of a randomised controlled trial. *BMJ Open*. 21 août 2015;5(8):e008307.
21. humans.txt. Calzados [Internet]. La Clínica del Corredor Cursos de Biomecánica y Running. [cité 19 avr 2023]. Disponible sur: <https://laclinicadelcorredor.com/calzados/>
22. Malisoux L, Chambon N, Delattre N, Gueguen N, Urhausen A, Theisen D. Injury risk in runners using standard or motion control shoes: a randomised controlled trial with participant and assessor blinding. *Br J Sports Med*. avr 2016;50(8):481-7.
23. Warne JP, Gruber AH. Transitioning to Minimal Footwear: a Systematic Review of Methods and Future Clinical Recommendations. *Sports Med - Open*. 15 sept 2017;3:33.
24. Yamato TP, Saragiotto BT, Lopes AD. A consensus definition of running-related injury in recreational runners: a modified Delphi approach. *J Orthop Sports Phys Ther*. mai 2015;45(5):375-80.
25. Clarsen B, Myklebust G, Bahr R. Development and validation of a new method for the registration of overuse injuries in sports injury epidemiology: the Oslo Sports Trauma Research Centre (OSTRC) overuse injury questionnaire. *Br J Sports Med*. mai 2013;47(8):495-502.
26. Martínez-Silván D, Díaz-Ocejo J, Murray A. Predictive Indicators of Overuse Injuries in Adolescent Endurance Athletes. *Int J Sports Physiol Perform*. 1 avr 2017;12(s2):S2-156.
27. Damsted C, Parner ET, Sørensen H, Malisoux L, Nielsen RO. Design of ProjectRun21: a 14-week prospective cohort study of the influence of running experience and running pace on running-related injury in half-marathoners. *Inj Epidemiol*. 6 nov 2017;4:30.
28. Bailón-Cerezo J, Clarsen B, Sánchez-Sánchez B, Torres-Lacomba M. Cross-Cultural Adaptation and Validation of the Oslo Sports Trauma Research Center Questionnaires on Overuse Injury and Health Problems (2nd Version) in Spanish Youth Sports. *Orthop J Sports Med*. 11 déc 2020;8(12):2325967120968552.

29. Gamez-Paya J, Dueñas L, Arnal-Gómez A, Benítez-Martínez JC. Foot and Lower Limb Clinical and Structural Changes in Overuse Injured Recreational Runners Using Floating Heel Shoes: Preliminary Results of a Randomised Control Trial. *Sensors*. 24 nov 2021;21(23):7814.
30. Lopes AD, Hespanhol LC, Yeung SS, Costa LOP. What are the Main Running-Related Musculoskeletal Injuries? *Sports Med Auckl Nz*. 2012;42(10):891-905.
31. Jaén-Carrillo D, Roche-Seruendo LE, Molina-Molina A, Cardiel-Sánchez S, Cartón-Llorente A, García-Pinillos F. Influence of the Shod Condition on Running Power Output: An Analysis in Recreationally Active Endurance Runners. *Sensors*. 26 juin 2022;22(13):4828.
32. Esculier JF, Silvini T, Bouyer LJ, Roy JS. Video-based assessment of foot strike pattern and step rate is valid and reliable in runners with patellofemoral pain. *Phys Ther Sport Off J Assoc Chart Physiother Sports Med*. janv 2018;29:108-12.
33. Vercruyssen F, Tartaruga M, Horvais N, Brisswalter J. Effects of Footwear and Fatigue on Running Economy and Biomechanics in Trail Runners. *Med Sci Sports Exerc*. oct 2016;48(10):1976-84.
34. Altman AR, Davis IS. A kinematic method for footstrike pattern detection in barefoot and shod runners. *Gait Posture*. févr 2012;35(2):298-300.
35. Gilgen-Amman R, Schweizer T, Wyss T. Accuracy of Distance Recordings in Eight Positioning-Enabled Sport Watches: Instrument Validation Study. *JMIR MHealth UHealth*. 24 juin 2020;8(6):e17118.
36. Xie J, Wen D, Liang L, Jia Y, Gao L, Lei J. Evaluating the Validity of Current Mainstream Wearable Devices in Fitness Tracking Under Various Physical Activities: Comparative Study. *JMIR MHealth UHealth*. 12 avr 2018;6(4):e94.
37. Goss DL, Gross MT. Relationships among self-reported shoe type, footstrike pattern, and injury incidence. *US Army Med Dep J*. 2012;25-30.
38. Malliaropoulos N, Mertyri D, Tsaklis P. Prevalence of injury in ultra trail running. Vol. 16, *Human Movement*. 2015. p. 55-9.
39. Lohman EB, Balan Sackiriyas KS, Swen RW. A comparison of the spatiotemporal parameters, kinematics, and biomechanics between shod, unshod, and minimally supported running as compared to walking. *Phys Ther Sport Off J Assoc Chart Physiother Sports Med*. nov 2011;12(4):151-63.
40. Sun X, Lam WK, Zhang X, Wang J, Fu W. Systematic Review of the Role of Footwear Constructions in Running Biomechanics: Implications for Running-Related Injury and Performance. *J Sports Sci Med*. mars 2020;19(1):20-37.
41. Davis IS, Rice HM, Wearing SC. Why forefoot striking in minimal shoes might positively change the course of running injuries. *J Sport Health Sci*. juin 2017;6(2):154-61.
42. Goss DL, Lewek M, Yu B, Ware WB, Teyhen DS, Gross MT. Lower Extremity Biomechanics and Self-Reported Foot-Strike Patterns Among Runners in Traditional and Minimalist Shoes. *J Athl Train*. juin 2015;50(6):603-11.

43. Mo S, Chan ZYS, Lai KKY, Chan PPK, Wei RXY, Yung PSH, et al. Effect of minimalist and maximalist shoes on impact loading and footstrike pattern in habitual rearfoot strike trail runners: An in-field study. *Eur J Sport Sci.* févr 2021;21(2):183-91.
44. Sinclair J. The influence of minimalist, maximalist and conventional footwear on impact shock attenuation during running. *Mov Sport Sci - Sci Mot.* 2017;(95):59-64.
45. Björklund G, Swarén M, Born DP, Stöggl T. Biomechanical Adaptations and Performance Indicators in Short Trail Running. *Front Physiol.* 30 avr 2019;10:506.
46. Chan ZYS, Au IPH, Lau FOY, Ching ECK, Zhang JH, Cheung RTH. Does maximalist footwear lower impact loading during level ground and downhill running? *Eur J Sport Sci.* sept 2018;18(8):1083-9.
47. Ostermann K, Ridpath L, Hanna JB. Self-Reported Minimalist Running Injury Incidence and Severity: A Pilot Study. *J Osteopath Med.* 1 août 2016;116(8):512-20.
48. Rasmussen CH, Nielsen RO, Juul MS, Rasmussen S. Weekly running volume and risk of running-related injuries among marathon runners. *Int J Sports Phys Ther.* avr 2013;8(2):111-20.
49. von Rosen P, Heijne AILM, Frohm A. Injuries and Associated Risk Factors Among Adolescent Elite Orienteers: A 26-Week Prospective Registration Study. *J Athl Train.* avr 2016;51(4):321-8.
50. Relph N, Greaves H, Armstrong R, Prior TD, Spencer S, Griffiths IB, et al. Running shoes for preventing lower limb running injuries in adults. *Cochrane Database Syst Rev.* 22 août 2022;8(8):CD013368.

## **6. Anexos**

### Anexo 1: Hoja de Información al participante

#### Hoja de información

Título del proyecto: Influencia del tipo de calzado en la aparición de lesiones en corredores de trail: protocolo de estudio observacional.

Nos dirigimos a usted para informarle sobre un estudio de investigación en el que se le invita a participar. Nuestra intención es que usted reciba la información correcta y suficiente para que pueda decidir si acepta o no participar en este estudio. Para ello lea esta hoja informativa con atención y nosotros le aclararemos las dudas que le puedan surgir. Además, puede consultar con las personas que considere oportuno.

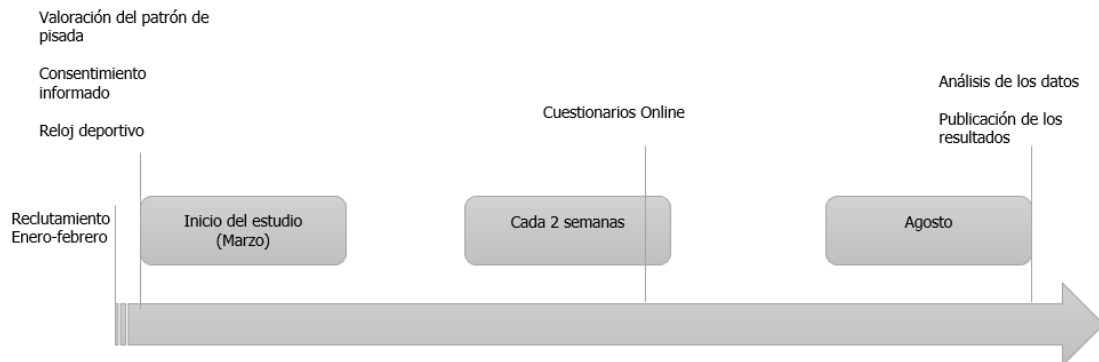
Le invitamos a participar en el estudio porque usted es miembro de un club de trail running en Aragon. Debe saber que su participación en este estudio es voluntaria y que puede decidir NO participar. Si decide participar, puede cambiar su decisión y retirar el consentimiento en cualquier momento.

El objetivo de este estudio es saber si hay una diferencia en el riesgo de desarrollar lesiones en los miembros inferiores según el tipo de calzado que utilizan los corredores de trail (analizando además el tipo de patrón de pisada, el volumen, la duración de entrenamiento y la severidad de las lesiones).

El estudio durará 6 meses (de marzo hasta agosto 2024) y el análisis de los datos lo hará un investigador quien no sabrá los nombres de los participantes. Si acepta participar en el estudio, recibirá un reloj conectado que nos permitirá recibir sus datos de entrenamiento (número de kilómetros y tiempo de entrenamiento). La única tarea que se le pedirá es que rellene un cuestionario quincenal sobre la aparición de lesiones. Por supuesto, esto se le explicará de antemano. Se le avisará 1 día antes de la apertura de cada cuestionario y el cuestionario se realizará mediante un programa informático (Survey Monkey) que encripta los datos para preservar su confidencialidad.



Este es el cronograma del estudio:



## Anexo 2: consentimiento informado

Para satisfacción de los Derechos del Paciente/Participante, y en cumplimiento de la normativa vigente en materia de investigación:

Yo, D/Dña. \_\_\_\_\_,  
como paciente/participante, en pleno uso de mis facultades, libre y voluntariamente,

EXPONGO: que he sido debidamente INFORMADO/A por  
D/Dña. \_\_\_\_\_,  
en entrevista personal realizada el día \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_, de que entro a formar parte de un proyecto de investigación para el estudio de "Influencia del tipo de calzado en la aparición de lesiones en corredores de trail: protocolo de estudio observacional".

MANIFIESTO: que he entendido y estoy satisfecho de todas las explicaciones y aclaraciones recibidas sobre el proceso de participación citado, y OTORGO MI CONSENTIMIENTO para participar en el estudio titulado "Influencia del tipo de calzado en la aparición de lesiones en corredores de trail: protocolo de estudio observacional".

De acuerdo con el Reglamento (UE) 2016/679 del Parlamento Europeo y del Consejo de 27 de abril de 2016 de Protección de Datos (RGPD) y la Ley Orgánica 3/2018, de 5 de diciembre, de Protección de Datos Personales y garantía de los derechos digitales, el participante y/o sus padres o tutores legales quedan informados de que el Responsable del tratamiento de sus datos personales será FUNDACION UNIVERSIDAD SAN JORGE.

Todos los datos personales, incluidos los clínicos en su caso, serán tratados por el equipo investigador conforme a las leyes en vigor en la materia, especialmente el RGPD, únicamente

con fines estadísticos, científicos y de investigación, para extraer conclusiones del proyecto en el que participa.

Los datos recogidos para el estudio estarán identificados mediante un código de manera que no se pueda identificar a los participantes y su identidad no será revelada de ninguna manera excepto en los casos legalmente previstos. Cualquier publicación de los resultados de la investigación, estadísticos o científicos, reflejará únicamente datos disociados que impidan la identificación de los participantes en el estudio.

Como participante en el estudio puede ejercitar sus derechos de acceso, modificación, oposición, cancelación, limitación del tratamiento y portabilidad, dirigiéndose al Delegado de Protección de Datos de la Universidad adjuntando a su solicitud de ejercicio de derechos una fotocopia de su DNI o equivalente al domicilio social de USJ sito en Autovía A-23 Zaragoza-Huesca, km. 299, 50830- Villanueva de Gállego (Zaragoza), o la dirección de correo electrónico [privacidad@usj.es](mailto:privacidad@usj.es). Asimismo, tiene derecho a dirigirse a la Agencia Española de Protección de Datos en caso de no ver correctamente atendido el ejercicio de sus derechos.

El participante podrá retirarse del estudio en cualquier momento comunicándose al investigador principal, si bien queda informado de que sus datos no podrán ser eliminados para garantizar la validez de la investigación y garantizar el cumplimiento de los deberes legales del responsable.

Igualmente queda informado de que los resultados del presente proyecto podrán ser usados en el futuro en otros proyectos de investigación relacionados con el campo de estudio objeto del presente, así como que tiene derecho a ser informado sobre los resultados del estudio en el caso de que así lo solicite.

Y, para que así conste, firmo el presente documento

**Villanueva de Gállego, a \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_**

<b>Firma del paciente/participante y nº DNI</b>	<b>Firma del investigador y nº DNI</b>

Anexo 3: Ejemplo de las 4 preguntas del cuestionario OSTRC para la rodilla (ingles)

**Question 1**

*Have you had any difficulties participating in normal training and competition due to knee problems during the past week?*

- Full participation without knee problems
- Full participation, but with knee problems
- Reduced participation due to knee problems
- Cannot participate due to knee problems

**Question 2**

*To what extent have you reduced you training volume due to knee problems during the past week?*

- No reduction
- To a minor extent
- To a moderate extent
- To a major extent
- Cannot participate at all

**Question 3**

*To what extent have knee problems affected your performance during the past week?*

- No effect
- To a minor extent
- To a moderate extent
- To a major extent
- Cannot participate at all

**Question 4**

*To what extent have you experienced knee pain related to your sport during the past week?*

- No pain
- Mild pain
- Moderate pain
- Severe pain