

# **INFLUENCIA DEL USO DE BASTONES EN LA CARGA INTERNA EN CORREDORES EXPERIMENTADOS DE MONTAÑA**

**Grado en Ciencias de la Actividad Física y  
el Deporte**

**FACULTAD CIENCIAS DE LA ACTIVIDAD FÍSICA  
Y EL DEPORTE**



Realizado por: Alberto Agúndez de San Sebastián y Rodrigo Moreno Vargas

Grupo TFG: M41

Año Académico: 2022-2023

Tutor: Iyán Iván Baragaño

Área: diseño de un estudio experimental

## Resumen

El uso de bastones en las carreras por montaña es un elemento de uso muy común entre los corredores por montaña puesto que hay una creencia extendida por la cual hacer uso de ellos facilita el desplazamiento por este terreno. Sin embargo, las investigaciones realizadas han revelado que su uso, pese a permitir un avance más rápido, no reduce el gasto energético del desplazamiento, si bien, sí que reduce la percepción de esfuerzo del atleta. El objetivo de este trabajo es analizar si un proceso de entrenamiento con y sin bastones produce diferentes adaptaciones en el rendimiento. En base a la evidencia científica, el hacer uso o no de este elemento repercute sobre diferentes variables de carga interna entre otras. El diseño experimental no aleatorizado consiste en dos grupos que realizarán un mismo protocolo de entrenamiento durante diez semanas, un grupo con bastones y otro sin bastones, realizando una serie de test previos y al cabo de las diez semanas.

**Palabras clave:** entrenamiento con bastones, carrera por montaña, vo2max, umbral ventilatorio, economía de carrera.

## Abstract

Poles in mountain running is commonly used by runners, as there is a widespread belief that using them makes it easier to move through this terrain. However, research has revealed that their use, despite allowing faster progress, does not reduce the energy expenditure of the movement, although it does the athlete's perception of effort. The aim of this work is to analyze whether a training program, with and without mountain poles can produce different adaptations in their performance. Based on scientific evidence, the use or not of this element has repercussions on different internal load variables, among others. The non-randomized experimental design consists of two groups that will experiment the same training protocol during ten weeks, one with canes and the other without them, performing a series of pre-tests and at the end of the ten weeks, the other group will perform a series of pre-tests.

**Key words:** pole training, trail running, vo2max, ventilatory threshold, running economy.

# Índice.

## Contenido

<b>1. Introducción</b> .....	5
1.1 Definición y modalidades.....	5
1.2 Crecimiento de las carreras por montaña.....	5
1.3 Uso de bastones en este deporte.....	5
1.4 Tipos de técnica de uso de bastones .....	7
1.5 Eficiencia y economía de carrera .....	7
<b>2. Justificación</b> .....	10
<b>3. Objetivos e hipótesis de estudio</b> .....	11
3.1 Objetivo principal .....	11
3.2 Objetivo secundario .....	11
<b>4. Metodología</b> .....	11
4.1 Diseño .....	11
4.2 Muestra y formación de grupos .....	12
4.3 Variables y material de medida .....	13
4.4 Procedimiento.....	15
4.5 Análisis de datos .....	19
<b>5. Equipo investigador</b> .....	20
<b>6. Viabilidad del estudio</b> .....	20
<b>7. Referencias bibliográficas</b> .....	22
<b>8. Anexo</b> .....	27
Hoja de información.....	27
Consentimiento informado.....	30

## **Índice de figuras**

<b>Figura 1.</b>	
Diferencias individuales en el costo de O 2.	8
<b>Figura 2.</b>	
Resumen de las variables a utilizar. Elaboración propia.	14
<b>Figura 3.</b>	
Resumen del procedimiento de la investigación.	16

## **Índice de tablas**

<b>Tabla 1.</b>	
Escala de Borg.	14
<b>Tabla 2.</b>	
Resumen proceso de entrenamiento durante 10 semanas.	18

## **1. Introducción**

### **1.1 Definición y modalidades**

Las carreras por montaña son, según la Federación de Deportes de Montaña y Escalada (FEDME, 2023) eventos deportivos en los que participan un número de competidores que realizan un recorrido por zonas de montaña siguiendo un camino previamente aceptado, y bajo el amparo de la organización de la prueba. Estas pruebas según la FEDME (2023) contarán con fuertes desniveles, terreno típico de montaña que puede ser de difícil acceso y unas distancias exigentes en cuanto a su duración.

Este deporte se divide en tres modalidades principales según indica la FEDME (2023) que son: i) kilómetro vertical donde los corredores deben realizar un recorrido ascendente con un desnivel positivo aproximado de 1000 metros que se acumula en pocos kilómetros, ii) prueba en línea donde se realiza un circuito por terreno de montaña de hasta 42 kilómetros con un desnivel acumulado bastante significativo y iii) la prueba ultra donde los corredores realizarán un recorrido de una duración en cuanto a kilómetros y desnivel mayor que la prueba en línea.

### **1.2 Crecimiento de las carreras por montaña**

La práctica de las carreras por montaña ha experimentado un importante auge en los últimos años que, según la International Trail Running Association (ITRA, 2021), ha sido de un 12% anual durante los últimos 15 años, considerando que en la actualidad hay aproximadamente 20 millones de corredores por montaña en el mundo.

Los deportistas federados en montaña y escalada ocupan el cuarto lugar del ranking nacional en licencias federativas nacionales según el Ministerio de Cultura y Deporte (MCD, 2022) con más de 270.000 licencias, siendo en Madrid el número de federados superior a 21.000 (FMM, 2023).

### **1.3 Uso de bastones en este deporte**

En las carreras por montaña la mayoría de los corredores hacen uso de bastones, especialmente en carreras donde la pendiente es muy elevada como son los kilómetros verticales o carreras de varias horas de duración, pensando que mejoran su rendimiento. En esta línea, Giovanelli et al. (2019) ya demostraron que no era más

económico hacer uso de ellos, pero a nivel energético sí que encontraron que la percepción de fatiga con su uso era menor en los atletas y esto podría suponer un mejor resultado al final de carrera en una prueba de larga duración puesto que el uso de bastones permite un apoyo extra que permita distribuir mejor la carga de trabajo entre miembros superiores e inferiores y además el 80% de la muestra mejoró su tiempo en la subida de test al hacer uso de los bastones.

En contraposición a la investigación anterior, en un reciente estudio observaron que es mejor para obtener un rendimiento mayor en subida al proporcionar un mayor impulso y estabilidad en terreno empinado e irregular (Giovanelli et al., 2022). Como indican Daviaux et al. (2013) las mejoras por el uso de bastones mencionadas en líneas anteriores se deben al proporcionar una menor presión plantar en subida por la ayuda de los bastones puesto que reparte parte del peso corporal sobre el tren superior teniendo también efectos en bajada, al reducir el grado de impacto contra el suelo por el apoyo del bastón.

Además, los diferentes récords del mundo en kilómetro vertical tanto masculino en 28:48 por Kilian Jornet (CPM, 2021); como el femenino, en manos de Axelle Mollaret en 34:01 según publica Infotrail, (2019) fueron realizados haciendo uso de los bastones.

En cuanto a la ultra distancia se puede ver que, en la carrera más importante del mundo, el Ultra Trail du Mont Blanc de 170km y 10.000 metros de desnivel positivo nos volvemos a encontrar con que los dos mejores tiempos de la historia están realizados por Kilian Jornet (19 horas 49 minutos) y Courtney Dauwalter (22 horas 30 minutos) con bastones según datos de la Ultra-Trail de Mont-Blanc (UTMB, 2021). En consonancia con lo anterior, Harris et al. (2016) mostraron en su estudio como el hecho de llevar bastones aumentaba el coste energético, si bien lo curioso del estudio fue que cuando la pendiente era mayor, la diferencia en el coste energético entre su uso o no se reducía de un 7,4% a un 4,3% en el porcentaje de  $VO_2$  utilizado, y además la aparición de dolores musculares tardíos (DOMS) se veían significativamente reducidos por hacer uso de los bastones.

Hasta este momento se han discutido factores como el crecimiento del deporte, récords deportivos y las diferentes modalidades deportivas que existen, por lo que, en el próximo apartado, se hará un análisis de los estudios que han analizados las

diferentes técnicas, así como la eficiencia en cada una de ellas.

#### **1.4 Tipos de técnica de uso de bastones**

La American Trail Running Association (ATRA, 2018) afirma que usar bastones por senderos es menos eficiente debido a las demandas que implica la técnica de subida, pudiendo limitar bastante la potencia de los corredores, por consecuencia a esto, es necesario mencionar las diferentes técnicas que existen para realizar un buen uso de bastones en caso de ser necesarios.

En primer lugar, cabe destacar la técnica del bastoneo dos tiempos, en que se clavan los bastones a distinto tiempo que el apoyo de pies, recomendada para subidas poco técnicas pero prolongadas, donde se realiza una zancada larga, suave y prolongada. En segundo lugar, cabe destacar la zancada diagonal o alternativa 1-1, la cual está relacionada directamente con el esquí de fondo, técnica más usada cuando se realizan zancadas de alto ritmo, por lo que implica mucho consumo de energía y se realiza de manera simétrica entre la propia zancada y el golpeo del bastón contra el suelo. Existe también la zancada diagonal delimitadora o alternativa 1-1 corriendo, realizada de la misma manera que la mencionada anteriormente pero que se diferencia por consumir mucha más energía por quienes la realizan, por lo que se recomienda usarla en distancias cortas con un desnivel positivo alto y no durante periodos de larga duración. Por último, cabe destacar el uso simultáneo de bastones, también conocida como remar con bastones, óptima para senderos de alta inclinación, donde, por seguridad del atleta, se realiza el apoyo de los bastones a la vez para coger impulso en la subida, es recomendable su uso en zonas donde el sendero tiene cimientos sueltos y un desnivel positivo alto (ATRA, 2018).

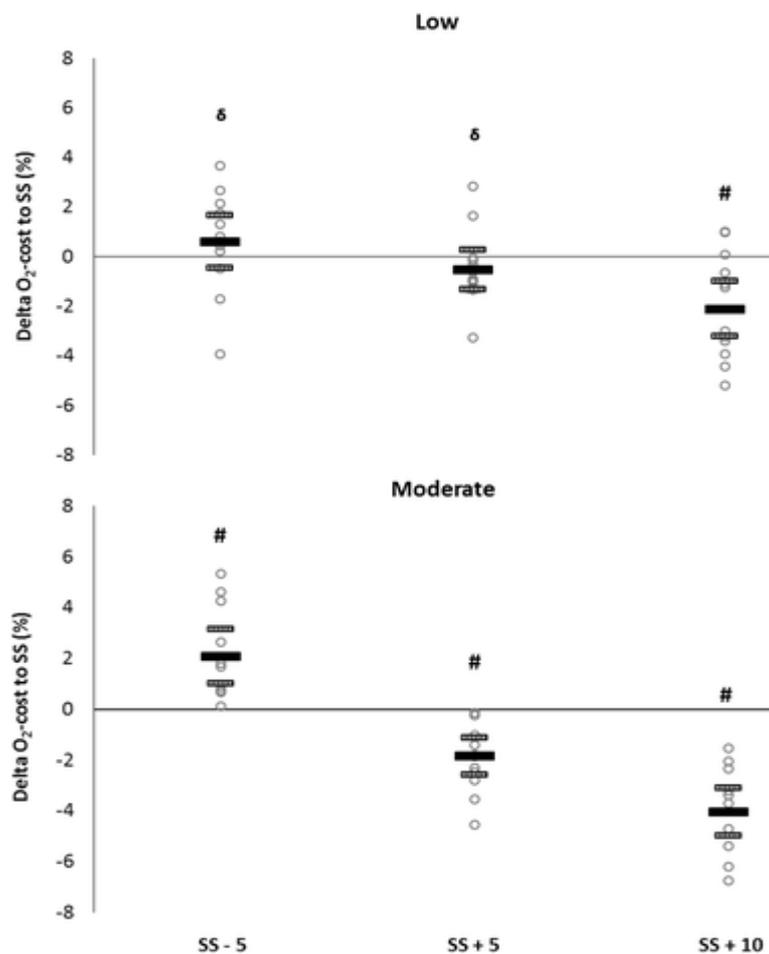
#### **1.5 Eficiencia y economía de carrera**

En el estudio de Torvik et al. (2021) se comparaba la eficiencia entre el uso de la zancada diagonal sin bastones y el uso de bastones con diferentes alturas mostrando resultados óptimos cuando no se usaban bastones y se realizaban en pendientes pronunciadas. Sin embargo, también se pudo observar que cuando se utilizaban bastones altos en pendientes elevadas, la frecuencia cardíaca y el coste de oxígeno, disminuía notablemente. En relación con este estudio, sobre la longitud de los bastones y las diferencias que implican a nivel fisiológico Carlsen et al. (2018)

estudiaron cómo afectaba el hacer uso de la talla de bastón del participante frente a usar cinco centímetros menos, o subir cinco y diez centímetros más, obteniendo que los valores de consumo de oxígeno fluctuaban con cada talla de bastón utilizada. Los datos obtenidos concluyeron que aumentar la talla del bastón en diez centímetros permitía hacer un menor coste de uso de oxígeno y desplazamiento vertical del centro de masas, y que además este beneficio era mayor cuanto más inclinada era la pendiente. Como podemos ver en la figura 1 cuando se utilizaba un bastón más elevado que el elegido por el atleta, se reducía el coste de oxígeno.

Figura 1.

*Diferencias individuales en el costo de O<sub>2</sub>.*



*Nota:* en relación con la longitud del bastón autoseleccionado en inclinación baja (1,7°; panel superior) e inclinación moderada (4,5°; panel inferior).

Sin embargo, si se tiene que hacer uso de ellos, se recomiendan los bastones largos. En conexión con los artículos previamente mencionados, Jacobson & Wright (1998) observaron en los participantes de su estudio, como usando bastones tanto para ascender como descender una pendiente pronunciada, la frecuencia cardiaca y la percepción del esfuerzo disminuían en comparación a los sujetos que no hacían uso de bastones. Esto se pudo observar, y por tanto confirmar cuando se realizó un único ensayo. Sin embargo, cuando se hacía más de un ascenso seguido, la frecuencia cardiaca por parte de los dos grupos (con o sin bastones) se volvía equitativa. Por ello este estudio, acabó por concluir que, el uso de bastones al principio de los ascensos puede mejorar la eficiencia, pero una vez pasado el tiempo, no se aprecia cambio aparente en los resultados.

Entre otros valores, Onasch et al. (2017), midieron cómo afectaba al consumo máximo de oxígeno durante una carrera de larga duración el usar bastones con diferentes grados de altura, oscilando entre un 77% y un 98% de la altura corporal de los sujetos, llegando a la conclusión de que el uso de bastones altos mejoraba el rendimiento de los atletas testados pudiendo variar este rendimiento con atletas más experimentados o atletas más principiantes.

En otros deportes similares a la carrera montaña como es la marcha nórdica, si se empareja con la parte de subidas andando, ya se han constatado mejoras en los valores fisiológicos como el  $vo_{2max}$  por el uso de este elemento extra manteniendo igual la percepción subjetiva del esfuerzo (Barberán-García et al., 2015).

Sin embargo, estudios muestran que no hay correlación entre la economía de carrera en llano y en pendientes elevadas del 12,5% y 25% como muestra Balducci et al. (2016) en su publicación. Además, Noakes et al. (1990) ya vieron que la velocidad alcanzada durante un test de  $vo_{2max}$  en cinta era un buen predictor del rendimiento, el cual según Coates et al. (2021) sirve para predecir también el rendimiento en carreras menores de 80 kilómetros, no encontrando ningún parámetro fisiológico relevante como predictor del rendimiento en ultras de 160 kilómetros.

Otro estudio realizado por Sandbakk et al. (2014) de carácter comparativo entre hombres y mujeres esquiadoras de fondo mostró cómo en función del tipo de técnica de bastón utilizado o su desuso variaban los parámetros fisiológicos, siendo el uso

de los dos bastones a la vez, técnica muy similar que se usa en carreras de montaña de tipo vertical, el tipo de gesto que implicaba unos mayores valores de consumo de oxígeno. Por otro lado, Porcari et al. (1997) realizaron un estudio en el que un grupo usaba bastones y otro no, y también encontraron que el grupo que usaba bastones hacía uso de un 23% extra de consumo de oxígeno medio frente al grupo sin bastones, y pese a que artículos más nuevos han demostrado que el uso de bastones mantenía o mejoraba la percepción de esfuerzo, en este estudio resultó ser superior. Los autores concluyeron, y esto es algo que resulta interesante para la propuesta de estudio, que el uso de bastones podía conllevar mejoras en el entrenamiento de los deportistas al aumentar la intensidad del ejercicio a una misma velocidad.

Debido a todo lo anterior, la evidencia científica existente parece indicar que existe una influencia en el uso de bastones sobre algunas variables como el coste de oxígeno y la percepción de esfuerzo. Por ello, la realización de estudios en los que se analice como influye el uso de este implemento sobre variables como el vo2max, frecuencia cardiaca y percepción de esfuerzo frente a su rechazo pueden ser interesantes para abrir nuevas vías de mejora del rendimiento en esta tipología de corredores.

## 2. Justificación

El uso de bastoneos hace muchos años que comenzó a estudiarse, pero ha sido en los últimos años coincidiendo a su vez con el crecimiento de este deporte cuando han comenzado a aparecer más estudios sobre el uso de bastones y como su uso puede influir en parámetros como la carga interna en este deporte de las carreras por montaña. Gracias a varios autores se puede afirmar cómo el uso de este implemento produce cambios notables (Barberán-García et al., 2015; Carlsen et al., 2018; Giovanelli et al., 2019; Noakes et al., 1990; Onasch et al., 2017; Porcari et al., 1997; Torvik et al., 2021).

Sin embargo, es importante conocer todo lo que conlleva el uso de bastones en este deporte. Por estos motivos, el presente estudio quiere dar respuesta a que sucede en la carga interna de los deportistas en un primer instante. Además, se considera importante estudiar si el uso de los bastones durante un periodo determinado de

tiempo puede suponer una mejora en el rendimiento en deportistas en cuanto a parámetros como  $vo_{2max}$ ,  $vo_{2pico}$  o los diferentes umbrales ventilatorios, así como diferencias en cuanto a percepción de esfuerzo, frecuencia cardíaca y variables biomecánicas asociadas a diferentes intensidades. Esto resulta interesante para poder obtener una respuesta a si el uso de este material de apoyo sirve de ayuda para una mejora del rendimiento que haga que los atletas puedan seguir mejorando.

### 3. Objetivos e hipótesis de estudio

#### 3.1 Objetivo principal

- Analizar cómo afecta el uso o no de bastones en las diferentes variables de carga interna del deportista.

#### 3.2 Objetivo secundario

- Analizar la influencia sobre las variables de  $vo_{2máx}$ ,  $vo_{2pico}$ , frecuencia cardíaca, percepción del esfuerzo, umbrales ventilatorios, gasto energético y variabilidad de la frecuencia cardíaca.
- Estudiar si se producen mejoras en los diferentes parámetros fisiológicos por su uso.
- Comparar aspectos biomecánicos relacionados con la economía de carrera.

**Hipótesis:** el uso de bastones consigue que la percepción subjetiva del esfuerzo sea menor pese a valores más elevados en marcadores de carga interna, lo cual repercute en mejoras de valores fisiológicos de los sujetos aumentando de esta forma su rendimiento.

### 4. Metodología

#### 4.1 Diseño

Para la realización de este estudio, se optará por una metodología experimental no aleatorizada, o cuasiexperimental. Se ha escogido este tipo de metodología ya que aporta el mayor grado de evidencia científica a la hora de valorar la efectividad de un programa o tratamiento. A pesar de ello, el hecho de que la asignación de los corredores no sea aleatoria, puede suponer una dificultad a la hora de extrapolar los resultados.

El diseño que se llevará a cabo será un diseño pre-post. Se analizarán las variables escogidas antes y después de la puesta en marcha de la intervención planteada en este estudio. Por ello contaremos con dos grupos experimentales, sujetos que utilizan bastones y sujetos que no, no teniendo grupo control ya que los dos grupos estarán expuestos al mismo programa y por lo tanto realizarán el mismo entrenamiento (con uso o no del implemento mencionado), comparando los resultados entre uno y otro.

#### **4.2 Muestra y formación de grupos**

Para la obtención de la muestra nos pondremos en contacto directamente con los corredores masculinos y femeninos con mejores resultados en competición de la Comunidad de Madrid en un primer lugar, y de ser necesario en comunidades próximas. Se buscará recoger a un número similar de hombres y mujeres. El número de sujetos dependerá de la disposición a participar por parte de los atletas y del cumplimiento de los criterios de inclusión y exclusión, se preverán los posibles abandonos que puedan surgir durante la realización de la investigación.

Se buscará que el tamaño de la muestra sea de aproximadamente 12-15 hombres y 12-15 mujeres, basándonos para elegir esta cantidad de sujetos en investigaciones similares realizadas previamente, donde en la mayoría de ellas se utilizan muestras de 10-15 sujetos (Daviaux et al., 2013; Giovanelli et al., 2017; Giovanelli et al., 2022). Con esto, creemos que el número anteriormente mencionado permitirá obtener un resultado representativo y nos dejará margen para posibles abandonos o incumplimientos que se puedan dar durante la investigación.

Los criterios de inclusión, es decir, las características que deben cumplir cada uno de los corredores para optar a la participación en el estudio son: i) corredores de montaña, ii) con experiencia en el uso de bastones, iii) entre 18 y 50 años y, iv) con más de 650 puntos ITRA o UTMB index.

Los criterios de exclusión, en cambio, son: i) haber sufrido algún tipo de lesión los 2 meses previos a la selección para la muestra que haya implicado imposibilidad de continuar con su plan de entrenamiento habitual, ii) no estar en posesión de la licencia federativa correspondiente, iii) haber competido en una prueba de más de 10 horas de duración las dos semanas previas a la selección de la muestra y, iv) llevar menos de un año de experiencia con el uso de bastones.

Teniendo en cuenta lo anterior, en este estudio se llevará a cabo un muestreo estratificado no probabilístico. Se trata de un muestreo estratificado puesto que precisa de la selección de un similar número de hombres y mujeres. En cuanto al proceso de selección, será no probabilístico puesto que la selección final de sujetos se realizará por conveniencia atendiendo a: i) cumplimiento de los criterios de inclusión y, ii) disposición a participar en el estudio.

El proyecto planteado se adhiere a la Declaración de Helsinki (Asociación Médica Mundial, 2019) y deberá ser aprobado por el Comité Ético del Hospital de Getafe.

A los corredores seleccionados para formar parte de la investigación, se les facilitará una hoja informativa con el consentimiento informado que deben firmar (Anexo 1) en la que constará una descripción de forma detallada de la participación en el estudio. Se les establecerán unos horarios de entrenamiento para facilitar su organización.

### **4.3 Variables y material de medida**

Con el propósito de dar respuesta al objetivo principal será necesario medir las siguientes variables:

- Uso o no de bastones. Esta variable se medirá gracias a una observación participante por parte de los entrenadores y/o investigadores.
- Carga interna, la cual se subdivide en consumo máximo de oxígeno (VO<sub>2</sub>max), porcentaje del VO<sub>2</sub>max, ventilación, cociente de intercambio respiratorio (RER), VO<sub>2</sub> y VCO<sub>2</sub>. Se realizará una prueba de valoración de la condición física en rampa con análisis de gases y electrocardiograma (Menz et al., 2021).
- Frecuencia cardiaca y HRV. Para ello se utilizará la banda de frecuencia cardiaca Polar H10 (Schaffarczyk et al., 2022).
- Percepción del esfuerzo. Medido con la escala de BORG presentada en la Tabla 1 (Pfeiffer et al., 2002).

Estas variables quedan resumidas en la figura 2 de manera más esquematizada.

Figura 2.

*Resumen de las variables*



Tabla 1.

*Escala de Borg. Elaboración propia.*

Percepción del esfuerzo	Significado
0	Reposo
01	Muy fácil
02	
03	Fácil
04	
05	Duro
06	
07	
08	Muy duro
09	
10	Esfuerzo máximo

*Nota:* Hemos seleccionado la escala del 0 al 10 por su sencillez de comprensión para los atletas.

Al tratarse de un estudio pre-post. Antes de estudiar estas variables se realizarán pretest para posteriormente realizar una comparación. Se utilizarán:

- Absorciometría con rayos X de doble energía: DEXA (Lahav et al., 2021). Con esta prueba pretendemos analizar variables como el porcentaje de masa muscular, densidad mineral ósea y porcentaje graso entre otras.
- Test de salto, CMJ (Counter movement jump): chronojump (Blas et al., 2012). Con esta prueba queremos medir la fuerza explosiva en tren inferior y si se produce alguna variación. Consiste en realizar un ciclo de estiramiento acortamiento desde posición de bipedestación y buscando la mayor altura posible sin flexionar rodillas.

Para dar respuesta a los objetivos secundarios será preciso hacer uso de lo siguiente:

- Sistema Vicon (Vicon MX-13, Oxford, UK) y Leomo para ver variables relacionadas con la biomecánica como puedan ser los movimientos de la plevís y sus distintos ángulos (Plaza-Bravo et al., 2022).
- Stryd para la valoración de técnica de carrera y potencia (Imbach et al., 2020).

#### 4.4 Procedimiento

El procedimiento consistirá en seleccionar a los participantes contactando con ellos directamente, teniendo en cuenta antes de seleccionarlos que cumplan con el criterio de tener más de 650 puntos ITRA o UTMB index, y teniendo en cuenta si tienen experiencia en el uso de bastones o han hecho uso de ellos en los últimos meses. La selección se hará tratando de escoger a los corredores de mayor nivel posible para lo cual se revisarán las clasificaciones de los diferentes Campeonatos y Copas de Madrid de carreras por montaña. Una vez se tenga el listado de los últimos años se les irá contactando para proponerles la participación en el proyecto por medio de uno de los investigadores del proyecto y a través de la Federación Madrileña de Montañismo.

Una vez seleccionados los participantes y divididos en el grupo bastones y no bastones, serán citados en la Universidad Europea para la realización de las pruebas de laboratorio. Tendrán que aceptar previamente los consentimientos informados (Anexo 1) antes de comenzar sus pruebas.

Una vez en la Universidad Europea de Madrid para realizar las pruebas de

laboratorio, seguirán el siguiente orden:

1. Prueba de composición corporal DEXA.
2. Análisis biomecánico de carrera con sistema Vicon y Stryd en tapiz rodante.
3. Test de salto: CMJ (Counter movement jump).
4. Prueba de valoración de la condición física en rampa. Con análisis de gases HRV, frecuencia cardiaca, percepción de esfuerzo, Stryd y Leomo (Foss & Hallen, 2004).

La muestra será citada en cuatro días separados previa reserva de la instalación correspondiente en la Universidad Europea Madrid. Se citará cada uno de los cuatro días aproximadamente entre seis y ocho personas en horario de tarde dos días y en horario de mañana los otros dos días restantes.

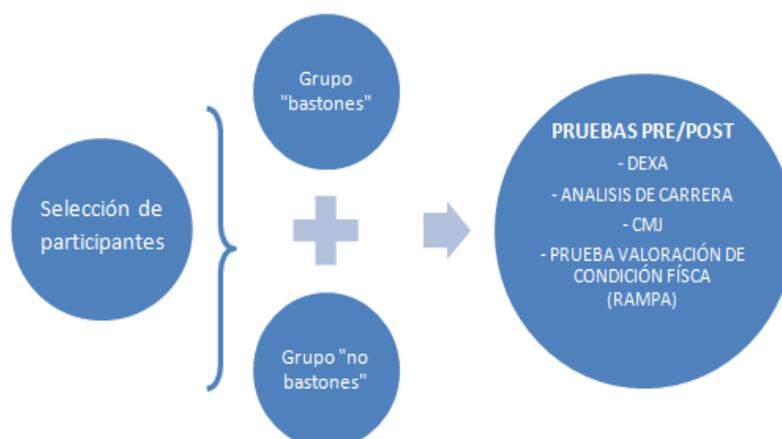
El proyecto dará comienzo en la primera semana de febrero de 2024 con dos días de recogida de datos PRE y durante la segunda semana con otros dos días de recogida de datos PRE.

Tras 10 semanas de entrenamiento controlado volverán a las instalaciones en el mismo orden para la realización de las pruebas POST.

En la figura 3 se presenta una figura a modo resumen del procedimiento.

Figura 3

*Resumen del procedimiento.*



El proceso de entrenamiento durante las 10 semanas queda resumido en la tabla 2 y el modelo de semana a realizar se explica a continuación.

- Lunes: rodaje 40-60' en zona 1 de pulso por debajo del primer umbral ventilatorio (VT1), más sesión de gimnasio general consistente en dos ejercicios (peso muerto y sentadilla completa) a ejecutar de la siguiente manera: 3x5 (20) R:2', es decir, tres series consistentes en 5 repeticiones de veinte posibles con una recuperación entre series de dos minutos trabajando con un carácter del esfuerzo bajo.
- Martes: descanso
- Miércoles: sesión alta intensidad en la que se acumulen entre 10 a 15 minutos por encima de segundo umbral (VT2).
- Jueves: rodaje 40-60' por debajo de VT1
- Viernes: descanso
- Sábado: 2 horas de rodaje en montaña alternando andar con correr con un desnivel positivo de 800 a 1000 metros
- Domingo. 2 horas de rodaje en montaña con intervalos en subida que acaben acumulando entre 10 a 15' por encima de VT2 con un desnivel positivo de 800 a 1000 metros.

Tabla 2.

*Resumen proceso de entrenamiento durante 10 semanas.*

Semanas	Explicación
Semana 1	Dos sesiones que den un acumulado de 20 minutos por encima de VT2, dos sesiones de 2 horas en montaña, una sesión de fuerza y dos de rodaje por debajo de VT1.
Semana 2	Se aumentará el tiempo en las sesiones de intensidad para acumular 25 minutos por encima de VT2
Semana 3	El tiempo en las sesiones de intensidad aumentará para acumular 30 minutos por encima de VT2.
Semana 4	Realizará dos sesiones de gimnasio eliminando la sesión de alta intensidad del miércoles y

reduciendo el volumen del domingo a 1 hora y 30 minutos en total con un desnivel positivo de 500 a 700 metros.

Semana 5	La sesión de intensidad del miércoles y domingo deberá acumular 20 minutos por encima de VT2 y aumentará a 2 horas y 30 minutos el rodaje en montaña del domingo con un desnivel positivo de 1000 a 1200 metros.
Semana 6	La sesión del domingo deberá acumular 3 horas de rodaje por montaña con 25 minutos por encima del VT2 con un desnivel positivo acumulado de 1200 a 1400 metros.
Semana 7	Se añadirá una sesión de gimnasio el jueves con un rodaje previo de 20 minutos por debajo del VT1, el tiempo acumulado en la sesión del miércoles será de 20 minutos por encima de segundo umbral y el rodaje del domingo en montaña evitará acumular más de 5' por encima de segundo umbral reduciendo su duración a 2 horas.
Semana 8	La sesión del miércoles deberá acumular 30' por encima de VT2, la sesión del sábado aumentará a 2 horas y 30 minutos de duración y la sesión del domingo acumulará solo 20 minutos por encima de VT2 manteniendo las 3 horas de rodaje por montaña.
Semana 9	La sesión del miércoles se verá reducida a 20 minutos por encima de VT2 y la sesión del sábado y domingo serán de 2 horas de duración con un tiempo acumulado de 20 minutos por encima de VT2 en el entrenamiento del domingo.
Semana 10	La sesión de rodaje del jueves se verá reducida a 25 minutos por debajo de VT1, el sábado descansará y el domingo participará en una prueba deportiva de su elección de 2 horas aproximadas de duración y 1000 metros de desnivel positivo acumulados.

#### 4.5 Análisis de datos

Una vez detallada la metodología y el procedimiento que se llevará a cabo en este estudio se presenta en este apartado el análisis de datos. En este sentido, en primer lugar, para analizar los resultados se deberá conocer el tipo de variables de estudio.

- Uso o no de bastones. Se trata de una variable cualitativa nominal. Esta será representada con los parámetros “si” /”no”
  - Carga interna. Variable cuantitativa continua; se observan valores numéricos pudiendo encontrarse estos mismos entre intervalos.
  - Frecuencia cardiaca y HRV. Al tratarse de valores numéricos nos encontramos con una variable cuantitativa continua.
  - Percepción del esfuerzo. Se trata de una variable cuantitativa discreta en el que los valores serán entre el 1 y el 10, siendo 10 la percepción más alta y 1 la más baja.
  - Técnica carrera: Se trata de una serie de variables cuantitativas continuas en el que los valores irán de 0 a 360.
- Potencia: es una variable cuantitativa discreta en la que los valores irán de 0 a 1000.

Para analizar cada una de las variables mencionadas se utilizarán tres tipos de análisis estadísticos. En primer lugar, se realizará un análisis descriptivo para el que se aplicarán porcentajes y recuentos de frecuencias en el caso de las variables cualitativas (usos de bastones) y medidas de tendencia central y dispersión en el caso de las variables cuantitativas.

A nivel comparativo, se analizarán las diferencias en cada una de las variables analizadas entre cada uno de los grupos. Para ello, en primer lugar se comprobará si cada una de las variables sigue una distribución normal mediante la prueba Kolgomorov Smirnov:

- Pre-Post Grupo Bastones: prueba t de Student para muestras relacionadas (si son normal) o ANOVA de medidas repetidas (si no es normal).
- Pre-Post Grupo No Bastones: prueba t de Student para muestras relacionadas (si son normal) o ANOVA de medidas repetidas (si no es normal).

- Pre-Pre-Bastones-No Bastones: t de Student para muestras independientes (si es normal) y U de Mann Whitney (si no es normal).

Por último, con el objetivo de pronosticar la variable dependiente “Uso Bastones” se utilizará un modelo de regresión logística binaria. Para este modelo se utilizarán el resto de las variables medidas como variables independientes.

## 5. Equipo investigador

Para la realización del estudio requerirá contar con el siguiente personal:

- 2 investigadores principales que se encargarán redirigir el estudio y ser las cabezas visibles sobre las que recaigan las dudas o responsabilidades, así como los encargados de contactar con la muestra, reserva de espacios y materiales y organización de recursos humanos. Asimismo, detallarán a los participantes los pasos a seguir, así como encargarse de que rellenen los diferentes consentimientos informados para la participación en el estudio, la realización de la prueba de valoración de la condición física y DEXA, además de realizar el análisis de los resultados obtenidos del estudio.
- 4 alumnos de cuarto curso del grado en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte de la Universidad Europea de Madrid con especialidad en rendimiento deportivo y familiarizados con los diversas pruebas a realizar. Serán los encargados de ayudar en la preparación del material durante las pruebas y estar pendiente de la llegada y recepción de los participantes.
- 1 técnico DEXA experimentado en la realización de estas pruebas y con conocimiento del uso y manejo de la máquina que se encuentra en las instalaciones de la facultad.
- 1 asesor médico que participa en el seguimiento del proyecto y está pendiente de cualquier problema clínico que se pudiera producir.

## 6. Viabilidad del estudio

Este diseño de estudio se ha planteado para que pueda ser llevado a cabo en las instalaciones de una universidad como es la Universidad Europea de Madrid. El material necesario para llevar a cabo la investigación es de uso habitual en las instalaciones y accesible a través de colaboraciones con la universidad.

Para el análisis y la obtención de datos se cuenta con tiempo suficiente para poder solventar posibles contratiempos y que pueda ser llevado a cabo con un número de personas razonable.

Con vistas a las posibles limitaciones para llevar a cabo el estudio se propone las siguientes propuestas para solventarlo:

- Financiación del estudio: debido al elevado coste económico del estudio se pedirá a la universidad la cesión de las instalaciones para la realización de las pruebas con la consiguiente mención y agradecimiento posterior en las diferentes publicaciones que se hagan.
- Bajas por lesión: debido al riesgo de lesión en este deporte se cuenta con una muestra suficiente para poderlo llevar a cabo teniendo en cuenta que puede producirse una serie de bajas durante el estudio. En caso de perder sujetos, se contactará con otros del listado.
- Problemas con la duración del estudio: debido a la duración de diez semanas del estudio se informará con precisión a los participantes del entrenamiento a seguir durante el proyecto para que puedan adaptar su calendario y entrenamientos a la investigación.

## 7. Referencias bibliográficas

American Trail Running Association (2018, abril). USING POLES FOR A MORE EFFICIENT TRAIL RUNNING EXPERIENCE. <https://trailrunner.com/trail-news/using-poles-for-a-more-a-efficient-trail-running-experience/>

Balducci, P., Clémençon, M., Morel, B., Quiniou, G., Saboul, D., & Hautier, C. A. (2016). Comparison of level and graded treadmill tests to evaluate endurance mountain runners. *Journal of Sports Science & Medicine*, 15(2), 239.

Barberan-Garcia, A., Arbillaga-Etxarri, A., Gimeno-Santos, E., Rodríguez, D. A., Torralba, Y., Roca, J., & Vilaró, J. (2015). Nordic walking enhances oxygen uptake without increasing the rate of perceived exertion in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Respiration*, 89(3), 221-225. <https://doi.org/10.1159/000371356>

Blas, X. D., Padullés Riu, J. M., López del Amo, J. L., & Guerra-Balic, M. (2012). Creation and validation of chronojump-boscosystem: A free tool to measure vertical jumps. *International Journal of Sport Science* <http://dx.doi.org/10.5232/ricyde2012.03004>

Carlsen, C. H., Rud, B., Myklebust, H., & Losnegard, T. (2018). Pole lengths influence O<sub>2</sub>-cost during double poling in highly trained cross-country skiers. *European Journal of Applied Physiology*, 118, 271-281. <https://doi.org/10.1007/s00421-017-3767-x>

Carreras por Montaña. (2021, Noviembre). Kilian Jornet dinamita el Kilómetro Vertical con 28'48", nuevo récord oficioso. <https://carreraspormontana.com/retos/kilian-jornet-dinamita-el-kv-con-2848-nuevo-record-oficioso/#:~:text=EN%20NORUEGA-.Kilian%20Jornet%20dinamita%20el%20Kil%C3%B3metro%20Vertical%20con%2028'48%E2%80%9D%2C,el%20actual%20r%C3%A9cord%20del%20mundo>

- Coates, A. M., Berard, J. A., King, T. J., & Burr, J. F. (2021). Physiological determinants of ultramarathon trail-running performance. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 16(10), 1454-1461. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2020-0766>
- Daviaux, Y., Hintzy, F., Samozino, P., & Horvais, N. (2013). Effect of using poles on foot-ground kinetics during stance phase in trail running. *European Journal of Sport Science*, 13(5), 468-474. <https://doi.org/10.1080/17461391.2012.740505>
- Federación Española de Deportes de Montaña y Escalada. (2023) ¿Qué son las carreras por montaña? <https://fedme.es/carreras-por-montana/>
- Federación Madrileña de Montañismo. (2023). Licencias FMM 2023. <https://www.fmm.es/seguro-de-montana/tramites/comparador-licenciasseguros.html>
- Foss, Ø, & Hallen, J. (2004). Validity and stability of a computerized metabolic system with mixing chamber. *International Journal of Sports Medicine*, 569-575. <https://doi.org/10.1055/s-2004-821317>.
- Giovanelli, N., Mari, L., Patini, A., & Lazzer, S. (2022). Pole Walking Is Faster but Not Cheaper During Steep Uphill Walking. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 1(aop), 1-7. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2021-0274>.
- Giovanelli, N., Sulli, M., Kram, R., & Lazzer, S. (2019). Do poles save energy during steep uphill walking? *European Journal of Applied Physiology*, 119(7), 1557-1563. <https://doi.org/10.1007/s00421-019-04145-2>.

Imbach, F., Candau, R., Chailan, R., & Perrey, S. (2020). Validity of the Stryd power meter in measuring running parameters at submaximal speeds. *Sports*, 8(7), 103. <https://doi.org/10.3390/sports8070103>.

Infotrail. (2019, Septiembre). AXELLE MOLLARET ESTABLECE UN NUEVO RÉCORD DEL KILÓMETRO VERTICAL: 34MIN 01SEG. <https://infotrail.es/noticias/corredores/axelle-mollaret-establece-un-nuevo-record-del-kilometro-vertical/>

International Trail Running Association. (2021, Agosto). ITRA anuncia el inicio de una nueva era en el trail running. <https://carreraspormontana.com/noticias/itra-anuncia-el-inicio-de-una-nueva-era-en-el-trail-running/>

Jacobson, B. H., & Wright, T. (1998). A field test comparison of hiking stick use on heartrate and rating of perceived exertion. *Perceptual and Motor Skills*, 87(2), 435-438. <https://doi.org/10.2466/pms.1998.87.2.435>

Lahav, Y., Goldstein, N., & Gepner, Y. (2021). Comparison of body composition assessment across body mass index categories by two multifrequency bioelectrical impedance analysis devices and dual-energy X-ray absorptiometry in clinical settings. *European Journal of Clinical Nutrition*, 75(8), 1275-1282. <https://doi.org/10.1038/s41430-020-00839-5>

Menz, V., Niedermeier, M., Stehle, R., Mugele, H., & Faulhaber, M. (2021a). Assessment of maximal aerobic capacity in Ski mountaineering: A laboratory-based study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(13), 7002. <https://doi.org/10.3390/ijerph18137002>

Ministerio de Cultura y Deporte (2022, Mayo). Anuario de Estadísticas Deportivas. <https://www.culturaydeporte.gob.es/servicios-al-ciudadano/estadisticas/deportes/anuario-de-estadisticas-deportivas.html>

- Mundial, A. M. (2019). Declaración de Helsinki de la AMM-Principios éticos para las investigaciones médicas en seres humanos.
- Noakes, T. D., Myburgh, K. H., & Schall, R. (1990). Peak treadmill running velocity during the V O<sub>2</sub> max test predicts running performance. *Journal of Sports Sciences*, 8(1), 35-45. <https://doi.org/10.1080/02640419008732129>
- Onasch, F., Killick, A., & Herzog, W. (2017). Is there an optimal pole length for double poling in cross country skiing? *Journal of Applied Biomechanics*, 33(3), 197-202. <https://doi.org/10.1123/jab.2016-0071>
- Pfeiffer, K. A., Pivarnik, J. M., Womack, C. J., Reeves, M. J., & Malina, R. M. (2002). Reliability and validity of the Borg and OMNI rating of perceived exertion scales in adolescent girls. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 34(12), 2057-2061. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000039302.54267.BF>
- Plaza-Bravo, J. M., Mateo-March, M., Sanchis-Sanchis, R., Pérez-Soriano, P., Zabala, M., & Encarnación-Martínez, A. (2022). Validity and Reliability of the Leomo Motion-Tracking Device Based on Inertial Measurement Unit with an Optoelectronic Camera System for Cycling Pedaling Evaluation. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(14), 8375. <https://doi.org/10.3390/ijerph19148375>
- Porcari, J. P., Hendrickson, T. L., Walter, P. R., Terry, L., & Walsko, G. (1997). The Physiological Responses to Walking with and without Power Poles™ on Treadmill Exercise. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 68(2), 161-166. <https://doi.org/10.1080/02701367.1997.10607992>
- Sandbakk, Ø, Ettema, G., & Holmberg, H. (2014). Gender differences in endurance performance by elite cross-country skiers are influenced by the contribution from poling. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 24(1), 28-33. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2012.01482.x>



Schaffarczyk, M., Rogers, B., Reer, R., & Gronwald, T. (2022). Validity of the polar H10 sensor for heart rate variability analysis during resting state and incremental exercise in recreational men and women. *Sensors*, 22(17), 6536. <https://doi.org/10.3390/s22176536>

Torvik, P., Persson, J., & van den Tillaar, R. (2021). The Effects of Sub-Technique and Pole Length on Classic Roller Skiing Performance and Physiological Responses at Steep Uphill Inclination. *Journal of Human Kinetics*, 77(1), 97-105. Page range: 97 – 105. <https://doi.org/10.2478/hukin-2021-0014>

Ultra-Trail de Mont-Blanc. (2021, Agosto). Clasificación de la carrera. <https://utmb.world/es/utmb-index/races/142.utmb-utmb-.2021>

## 8. Anexo

Anexo 1. Hoja de información y consentimiento informado.

### HOJA DE INFORMACIÓN

Nos dirigimos a usted para informarle sobre un estudio de investigación que se va a realizar en la Universidad Europea de Madrid, en el cual se le invita a participar. Este documento tiene por objeto que usted reciba la información correcta y necesaria para evaluar si quiere o no participar en el estudio. A continuación, le explicaremos de forma detallada todos los objetivos, beneficios y posibles riesgos del estudio. Si usted tiene alguna duda tras leer las siguientes aclaraciones, nosotros estaremos a su disposición para aclararle las posibles dudas. Finalmente, usted puede consultar su participación con las personas que considere oportuno.

#### **¿Cuál es el motivo de este estudio?**

El objetivo principal de este proyecto es analizar si el uso de bastones durante diez semanas de entrenamiento produce diferencias comparado a un grupo que hará uso de ellos y otro que no.

**RESUMEN DEL ESTUDIO:** El objetivo principal de este proyecto es analizar cómo afecta el uso o no de bastones en las diferentes variables de carga interna del deportista.

1. Analizar la influencia sobre las variables de  $vo_{2m\acute{a}x}$ ,  $vo_{2pico}$ , frecuencia cardiaca, percepción del esfuerzo, umbrales ventilatorios, gasto energético y variabilidad de la frecuencia cardiaca.
2. Estudiar si se producen mejoras en los diferentes parámetros fisiológicos por su uso.
3. Comparar aspectos biomecánicos relacionados con la economía de carrera.

**PARTICIPACIÓN VOLUNTARIA Y RETIRADA DEL ESTUDIO:** La participación en este estudio es voluntaria, por lo que puede decidir no participar. En caso de que decida participar, puede retirar su consentimiento en cualquier momento, sin que por ello se altere la relación con el equipo investigador ni se produzca perjuicio alguno en su tratamiento. En caso de que usted decidiera abandonar el estudio, puede hacerlo permitiendo el uso de los datos obtenidos hasta ese momento para la finalidad del estudio, o si fuera su voluntad, todos los registros y datos serán borrados de los ficheros informáticos.

**¿Quién puede participar?** El estudio se realizará en voluntarios. El reclutamiento de los participantes será a través de sus entrenadores y responsables de la investigación. Si acepta participar, usted va a formar parte de un estudio en el que se incluirán diversos atletas procedentes de este deporte.

**¿En qué consiste el estudio y mi participación?** Se realizarán evaluaciones de tipo no invasivo, relacionadas con el rendimiento deportivo, antes de situaciones de entrenamiento o competición. A modo de ejemplo, se especifican dos pruebas:

- Prueba de valoración de condición física: el atleta realiza un protocolo incremental en tapiz rodante con análisis de gases y frecuencia cardiaca.
- Salto vertical: el atleta realiza un salto vertical.

**¿Cuáles son los posibles beneficios y riesgos derivados de mi participación?** Se prevé que la información que se obtenga pueda beneficiar en un futuro a los deportistas de montaña y pueda contribuir a realizar mejoras en la especificidad de sus entrenamientos. Al finalizar la investigación podrá ser informado, si lo desea, sobre los principales resultados y conclusiones generales del estudio. El estudio no supone ningún riesgo para su salud ya que para la toma adicional de los registros necesarios no se incurre en ninguna acción nociva ni perniciosa.

**¿Quién tiene acceso a mis datos personales y cómo se protegen?** El tratamiento, la comunicación y la cesión de los datos de carácter personal de todos los sujetos participantes se ajustará a lo dispuesto en la Ley Orgánica 3/2018 de 5 de diciembre de Protección de Datos Personales y garantía de los derechos digitales. De acuerdo a lo que establece la legislación mencionada, usted puede ejercer los derechos de acceso, modificación, oposición y cancelación de datos, para lo cual deberá dirigirse a su médico del estudio.

Los datos recogidos para el estudio estarán identificados mediante un código y solo los investigadores del estudio podrán relacionar dichos datos con usted. Por lo tanto, su identidad no será revelada a persona alguna salvo excepciones, en caso de urgencia médica o requerimiento legal. Sólo se transmitirán a terceros y a otros países los datos recogidos para el estudio que en ningún caso contendrán información que le pueda identificar directamente, como nombre y apellidos, iniciales, dirección, número de la seguridad social, etc. En el caso de que se produzca esta cesión, será para los mismos fines del estudio descrito y garantizando la confidencialidad como mínimo con el nivel de protección de la legislación vigente en nuestro país. El acceso a su información personal quedará restringido al investigador del estudio, siempre manteniendo la confidencialidad de los mismos de acuerdo con la legislación vigente.

**¿Recibiré algún tipo de compensación económica?** No se prevé ningún tipo de compensación económica durante el estudio. Si bien, su participación en el estudio no le supondrá ningún gasto.

**¿Quién financia esta investigación?** El promotor del estudio es el responsable de gestionar la financiación del mismo.

**OTRA INFORMACIÓN RELEVANTE:** Si usted decide retirar el consentimiento para participar en este estudio, ningún dato nuevo será añadido a la base de datos y puede exigir la destrucción de sus datos y/o de todos los registros identificables, previamente retenidos, para evitar la realización de otros análisis. También debe saber que puede ser excluido del estudio si los investigadores del estudio lo consideran oportuno, ya sea por motivos de seguridad, por cualquier acontecimiento adverso que se produzca o porque consideren que no está cumpliendo con los procedimientos

establecidos. En cualquiera de los casos, usted recibirá una explicación adecuada del motivo que ha ocasionado su retirada del estudio.

**CALIDAD CIENTÍFICA Y REQUERIMIENTOS ÉTICOS DEL ESTUDIO:** Este estudio ha sido

enviado para aprobación por el Comité de Ética de la Universidad Europea de Madrid, Valencia y Canarias, que vela por la calidad científica de los proyectos de investigación que se llevan a cabo en el centro. Cuando la investigación se hace con personas, este Comité vela por el cumplimiento de lo establecido en la Declaración de Helsinki y la normativa legal vigente sobre investigación biomédica (ley 14/2007, de junio de investigación biomédica) y ensayos clínicos (R.D. 223/2004 de 6 de febrero, por el que se regulan los ensayos clínicos con medicamentos, modificado por Real Decreto 1276/2011, del 16 de septiembre).

**PREGUNTAS:** Llegando este momento le damos la oportunidad de que, si no lo ha hecho antes, haga las preguntas que considere oportunas. El equipo investigador le responderá lo mejor que sea posible.

**INVESTIGADORES DEL ESTUDIO:** Si tiene alguna duda sobre algún aspecto del estudio o le gustaría comentar algún aspecto de esta información, por favor no deje de preguntar a los miembros del equipo investigador. En caso de que una vez leída esta información y aclaradas las dudas decida participar en el estudio, deberá firmar su consentimiento informado. Este estudio ha sido aprobado por el Comité Ético de Investigación del Hospital de Getafe.

## CONSENTIMIENTO INFORMADO:

D./D<sup>a</sup>. \_\_\_\_\_, de \_\_\_\_ años,  
con

DNI \_\_\_\_\_ y domicilio en \_\_\_\_\_. He  
recibido una explicación satisfactoria sobre el procedimiento del estudio, su finalidad,  
riesgos, beneficios y alternativas.

He quedado satisfecho/a con la información recibida, la he comprendido, se me han  
respondido todas mis dudas y comprendo que mi participación es voluntaria.

Presto mi consentimiento para el procedimiento propuesto y conozco mi derecho a  
retirarlo cuando lo desee, con la única obligación de informar sobre mi decisión al doctor  
responsable del estudio.

En \_\_\_\_\_, a día \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_.

\_\_\_\_\_  
Firma y N<sup>o</sup> de colegiado del investigador

\_\_\_\_\_  
Firma y N<sup>o</sup> de DNI del paciente

\_\_\_\_\_  
En caso de menores de edad: Nombre, firma y DNI de  
padre/madre/t

