



universidad
de león

TESIS DOCTORAL

Aportaciones a las carreras por montaña: análisis de las demandas
de competición, valoración de la resiliencia y estudio de la
accidentabilidad

Javier González-Lázaro

León, junio de 2022



universidad
de león

TESIS DOCTORAL

Aportaciones a las carreras por montaña: análisis de las demandas
de competición, valoración de la resiliencia y estudio de la
accidentabilidad

Javier González-Lázaro

Programa de Doctorado en

Ciencias de la Actividad Física y del Deporte

Directores:

Dr. Jose Antonio Rodríguez-Marroyo

Dr. Higinio Francisco Arribas Cubero

León, junio de 2022

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi agradecimiento a todas las personas y entidades que han hecho posible esta Tesis Doctoral, y de forma muy especial a:

Mis amigos, por aceptar la dirección de este trabajo, los Drs. Jose Antonio Rodríguez-Marroyo e Higinio Francisco Arribas Cubero. Por su amistad desde hace años esperando que dure muchos más.

A Raúl Pernía Cubillo, Ana Olgueta Alday, Jonatan Frutos de Miguel, Benito Arias González e Isabel Mansilla Blanco, por sus aportaciones en las diferentes partes del trabajo.

Al personal del “*INEF*” y de la Universidad de León, centro donde me formé como licenciado y donde he desarrollado esta Tesis Doctoral.

A la gran familia que conforma la Federación de Deportes de Montaña, Escalada y Senderismo de Castilla y León.

A mis compañeros y compañeras de la Universidad Europea Miguel de Cervantes de Valladolid.

A todos los deportistas que han participado voluntariamente en los diferentes estudios sin los cuales este trabajo no habría sido posible.

Y, por último, gracias a mi familia, especialmente a Patricia, Daniela, Manolo, Marga, Beatriz y Robin.

A Patricia y a Daniela por el tiempo robado
para la realización de este trabajo.

Parte de los resultados presentados en esta tesis doctoral han sido publicados en revistas científicas internacionales indexadas y presentados en congresos y jornadas:

Revistas científicas:

Rodríguez-Marroyo, J. A., González-Lázaro, J., Arribas-Cubero, H. F., y Villa, J. G. (2018). Physiological demands of mountain running races. *Kinesiology*, 50(1), 60–66. <https://hrcak.srce.hr/ojs/index.php/kinesiology/article/view/6409>

González-Lázaro, J., Frutos de Miguel, J., Arribas Cubero, H. F., y Rodríguez-Marroyo, J. A. (2021). Análisis de la escala de resiliencia en corredores por montaña. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y del Deporte*, 21(84), 699–711. <https://doi.org/10.15366/rimcafd2021.84.005>

González-Lázaro, J., Arribas-Cubero, H. F., y Rodríguez-Marroyo, J. A. (2021). Musculoskeletal injuries in mountain running races: A 5 seasons study. *Injury*, 52(4), 747–749. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2020.10.045>

Congresos y jornadas:

González-Lázaro, J. (2014) Ponencia “Proyecto Pendiente Positiva” en el II Congreso Internacional sobre Carreras por Montaña. Castellón, España.

Rodríguez-Marroyo, J. A. (2014). “Estudio Pendiente Positiva: aplicaciones prácticas para el entrenamiento de los tests de laboratorio” en las Jornadas Técnicas de Carreras Por Montaña. León, España

ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

%	porcentaje
<	menor que
>	mayor que
~	aproximadamente
a	años
AECM	Análisis de la Estrategia en Carreras por Montaña
AFE	análisis factorial exploratorio
AFC	análisis factorial confirmatorio
AINE	antiinflamatorios no esteroideos
AU·m ⁻¹	unidades arbitrarias por metro
CAT	catalasa
CARB	proteína carbonilo
CD-RISC	Connor-Davidson Resilience Scale
cm	centímetro
CMJ	salto con contramovimiento
cORP	capacidad potencial de oxidación-reducción
DE	desviación estándar
e.g.	<i>exempli gratia</i> , por ejemplo

EAA	European Athletics Association
et al.	y otros
FEDME	Federación Española de Deportes de Montaña y Escalada
GSH	glutación
h	hora
IAAF	International Association of Athletics Federations
IAU	International Association of Ultrarunners
IC	intervalo de confianza
i.e.	<i>id est</i> , es decir o esto es
ISF	International Skyrunning Federation
ITRA	International Trail Running Association
J/kg/m	julio por kilo por metro
km	kilómetro
km/h	kilómetro por hora
kcal/h	kilocaloría por hora
m	metro
m/s	metro por segundo
min	minuto
mm	milímetro

mm:ss	minutos, segundos
Nº	número
MSK	musculoesqueléticas
mg/dL	miligramos por decilitro
°C	grados centígrados
O ₂	oxígeno
ORP	potencial de oxidación-reducción
p	nivel de significación
TL	carga fisiológica
ppm	pulsaciones por minuto
r	coeficiente de correlación
RCT	umbral de compensación respiratoria
RS	Resilience Scale
RFEA	Real Federación Española de Atletismo
SJ	squat jump
sORP	potencial estático de oxidación-reducción
TAC	capacidad antioxidante total
TRI	Teoría de Respuesta al Ítem
TBARS	sustancias reactivas del ácido tiobarbitúrico

UIAA	International Climbing and Mountaineering Federation (Union Internationale des Associations d'Alpinism)
UTMB	Ultra Trail del Mont Blanc
VO ₂	consumo de oxígeno
VO _{2max}	consumo máximo de oxígeno
KMV	kilómetro vertical
VT	umbral ventilatorio
WA	World Athletics
WMRA	World Mountain Running Association

RESUMEN

Las carreras por montaña han sufrido un boom en el número de pruebas y de participantes desde principios del s. XXI, lo que ha venido acompañado de un aumento en las investigaciones relacionadas con esta modalidad deportiva en los últimos años. Existen diferentes entidades que pugnan por la gobernanza del deporte lo que lleva a una proliferación de campeonatos, copas y circuitos llegando a crear cierta confusión.

La primera parte de este trabajo recoge, a modo de antecedentes, una revisión narrativa de las revistas científicas indexadas en la Web of Science relacionadas con las carreras por montaña entre los años 2016 y 2020. Se han identificado los factores de rendimiento y las temáticas investigadas relacionadas con las carreras por montaña. Hoy en día, nos encontramos con una modalidad deportiva relativamente nueva en la que es necesario desarrollar un mayor número y variedad de investigaciones que nos aporten conocimiento sobre ella. Para intentar aportar conocimiento científico en el ámbito de las carreras por montaña la presente Tesis Doctoral plantea los siguientes objetivos: 1) analizar las demandas del ejercicio durante las carreras por montaña, 2) valorar los niveles de resiliencia en un grupo de corredores por montaña, y 3) estudiar la accidentabilidad en las carreras por montaña más habituales.

El análisis de las demandas del ejercicio durante las carreras por montaña se llevó a cabo con un total de 7 corredores que compitieron en diferentes tipos de carreras en las que se registró la frecuencia cardiaca (FC) y la carga fisiológica (TL). La intensidad del ejercicio entre el umbral respiratorio (VT) y el umbral de compensación respiratoria (RCT) se incrementó al aumentar la distancia de la carrera. Del mismo modo, el porcentaje de tiempo de carrera pasado por encima del RCT disminuyó cuando la duración de la carrera aumentó. Sin embargo, el tiempo pasado por encima del RCT fue similar entre las carreras (~50 min). La relación entre

TL y la ganancia de altitud acumulada fue similar en todas las carreras (~ 0.16 AU \cdot m $^{-1}$). Los resultados de este estudio demuestran las altas intensidades de ejercicio y las cargas fisiológicas sostenidas por los corredores durante diferentes carreras por montaña.

También se ha llevado a cabo la valoración de los niveles de resiliencia en un grupo de corredores por montaña primeramente analizando la estructura factorial de la escala de resiliencia de Wagnild y Young (1993) y posteriormente describiendo los niveles de resiliencia en una muestra española de corredores por montaña. Para ello, se usó una muestra formada por 400 deportistas. Se llevó a cabo una validación cruzada creándose dos submuestras de 200 participantes cada una. Según los datos aportados por la primera submuestra tras en el análisis factorial exploratorio (AFE), se estimaron cuatro modelos mediante análisis factorial confirmatorio (AFC), además se calculó el índice de fiabilidad mediante el alfa de Cronbach ($\alpha = 0.90$) y se comprobó si existían diferencias significativas entre hombres y mujeres. Los resultados señalaron que un 39 % de los corredores por montaña presentaban una elevada resiliencia, siendo el modelo de tres factores específicos aquel que presentó mejor ajuste.

Por último, se ha estudiado la accidentabilidad en las carreras por montaña para conocer la gravedad, el tipo y la ubicación corporal de las lesiones musculoesqueléticas (MSK) durante las carreras por montaña de 20 a 42 km. Además, se examinaron las tasas de lesiones en este tipo de carreras. Se recopilaron datos sobre lesiones durante 36 carreras por montaña durante 5 temporadas consecutivas de 2015 a 2019. Los participantes informaron todas las lesiones MSK en un formulario estandarizado de informe de lesiones. Los resultados se presentaron como el número de lesiones por exposición de 1000 h y por 1000 participantes. Veintiocho lesiones fueron reportadas. La mayoría de las lesiones ocurrieron en el tobillo (32 %), seguido de la rodilla (14 %) y el pie / dedo del pie (11 %). El número de lesiones representó una tasa general de lesiones de 1.6

lesiones por cada 1000 h corriendo y 5.9 lesiones por cada 1000 corredores. La tasa de letalidad fue de 0. La incidencia de lesiones MSK durante las carreras por montaña de 20 – 42 km es baja. Además, la mayoría de las lesiones que sufren los corredores son de naturaleza menor y se localizan en las extremidades inferiores, principalmente en los tobillos.

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN	27
1.1. Las carreras por montaña	28
1.2. Metodología	32
1.3. Resultados	33
1.3.1 Factores fisiológicos	36
1.3.2. Factores biomecánicos.....	48
1.3.3. Factores antropométricos.....	50
1.3.4. Factores técnico - tácticos.....	54
1.3.5. Factores relacionados con el uso del material	57
1.3.6. Factores ambientales	59
1.3.7. Factores nutricionales	61
1.3.8. Factores psicológicos	64
1.4. Conclusiones.....	66
2. OBJETIVOS GENERALES.....	69
3. PRIMER ESTUDIO. Demandas fisiológicas de las carreras por montaña	73
3.1. Introducción.....	75
3.2. Objetivos	77
3.2.1 Participantes	77
3.2.2 Procedimiento.....	78
3.2.3 Test progresivo	78
3.2.4 Carreras por montaña.....	79
3.2.5 Análisis estadístico	80
3.3. Resultados	80

3.4. Discusión.....	85
3.5. Conclusiones.....	90
4. SEGUNDO ESTUDIO. Análisis de la escala de resiliencia en corredores por montaña.....	91
4.1. Introducción.....	93
4.2. Objetivos	95
4.3. Metodología	95
4.3.1. Participantes	95
4.3.2. Procedimiento.....	96
4.3.3. Instrumento.....	96
4.3.4. Análisis estadístico	96
4.4. Resultados	98
4.4.1. Análisis factorial exploratorio.....	98
4.4.2. Análisis factorial confirmatorio.....	101
4.5. Discusión.....	104
4.6. Conclusiones.....	107
5. TERCER ESTUDIO. Lesiones musculoesqueléticas en competiciones de carreras por montaña: estudio de 5 temporadas	109
5.1. Introducción.....	111
5.2. Objetivos	112
5.3. Metodología	112
5.3.1. Análisis estadístico	113
5.4. Resultados	113
5.5. Discusión.....	117
5.6. Conclusiones.....	119

6. CONCLUSIONES	121
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	125
8. ANEXOS	151
8.1 Escala de resiliencia	153
8.2 Artículo I	157
8.3 Artículo II	167
8.4 Artículo III	183

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

Tablas

Tabla 1. Características de los recorridos de las carreras en la montaña .	31
Tabla 2. Factores de rendimiento y temáticas en carreras por montaña estudiados en los últimos cinco años	34
Tabla 3. Valores relacionados con el consumo de oxígeno en diferentes estudios.....	37
Tabla 4. Valores antropométricos en diferentes estudios	53
Tabla 5. Características fisiológicas de los sujetos	81
Tabla 6. Descripción de las características de las carreras por montaña (media \pm DE).....	82
Tabla 7. Carga de trabajo (TL) analizada en función de la distancia de la competición (media \pm DE).....	84
Tabla 8. Distribución de la muestra por sexo y edad	95
Tabla 9. Cargas Factoriales AFE 3 factores.....	100
Tabla 10. Modelos puestos a prueba	102
Tabla 11. Varianza total explicada	102
Tabla 12. Consistencia interna	103
Tabla 13. Distribución con baja y alta resiliencia.....	104
Tabla 14. Características de los corredores por montaña que participaron en el estudio.....	114
Tabla 15. Características de las carreras por montaña.....	115
Tabla 16. Características de los corredores lesionados.....	116

Figuras

Figura 1. Evolución del número de publicaciones relacionadas con las carreras por montaña en la Web of Science	29
Figura 2. Flujograma de criterios de selección e inclusión del estudio	34
Figura 3. Porcentaje del tiempo de prueba en la que los sujetos permanecieron en las zonas de intensidad analizadas.....	83
Figura 4. Tiempo medio transcurrido por debajo del umbral ventilatorio (Zona 1), entre los umbrales ventilatorio y de compensación respiratoria (Zona 2) y por encima del umbral de compensación respiratoria (Zona 3)	84
Figura 5. Análisis de datos paralelos.....	97



Fotografía archivo FDMESCYL

1. INTRODUCCIÓN

Para el desarrollo del presente estudio, en un primer lugar, se ha desarrollado una revisión bibliográfica narrativa sobre las carreras por montaña una nueva modalidad deportiva que está aumentando en el número de practicantes y de eventos rápidamente y que de igual manera lo está haciendo en cantidad de publicaciones científicas.

Con esta revisión, se constata el interés que están cobrando entre los investigadores las carreras por montaña viendo el gran aumento de publicaciones en los últimos años. Tras esta revisión, se plantean tres estudios que se han llevado a cabo con el objeto de aportar conocimiento en este deporte especialmente en las áreas de fisiología, psicología y salud.

1.1. Las carreras por montaña

La participación en carreras por montaña ha experimentado un incremento significativo en los últimos años (Hoffman, Ong, et al., 2010). A nivel internacional, en Estados Unidos, se pasó de 4.8 millones de participantes en trail running en 2006 a 9.1 millones en 2017 (Scheer et al., 2020)

En España, hemos asistido a un boom del trail running. En tan sólo 9 años (del 2007 al 2015) se produjo un aumento de casi tres terceras partes de las carreras existentes. Si bien resulta casi imposible disponer de una cifra exacta de las carreras que se organizan en España, en el año 2015 al menos se celebraron 1901 carreras (Segui y Faria, 2017) habiéndose contabilizado 1100 solamente en Espacios Naturales Protegidos (Europarc-España, 2016).

Debido a este crecimiento en popularidad de las carreras por montaña, se ha incrementado el interés de los investigadores haciendo

posible un mayor número de estudios en diferentes ámbitos relacionados con el tema que nos ocupa (Figura 1).

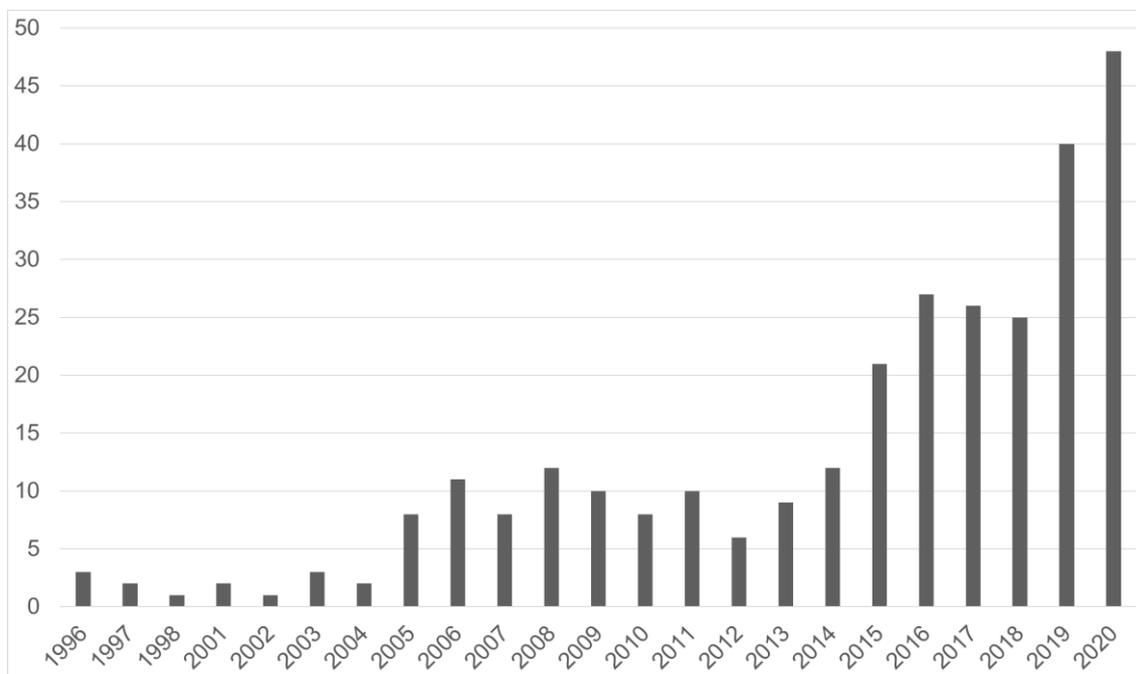


Figura 1. Evolución del número de publicaciones relacionadas con las carreras por montaña en la Web of Science

A la hora de comprender la denominación, extensión y el amparo de esta disciplina deportiva a nivel federativo, es importante conocer que actualmente en el contexto español existe una disputa en la regulación de las carreras por montaña entre federaciones deportivas y asociaciones de montañismo con las de atletismo para la ordenación de estos eventos (Babí-Lladós et al., 2021).

En el ámbito de los deportes de montaña, el máximo organismo internacional reconocido por el Comité Olímpico Internacional es la Union Internationale des Associations d'Alpinism (UIAA) encargada de los deportes del montañismo y la escalada. Las carreras por montaña se

encuentran bajo el paraguas de la International Skyrunning Federation (ISF), que desde el 1 de enero de 2016 se integró en la UIAA (International Skyrunning Federation, 2015).

A nivel nacional, es la Federación de Deportes de Montaña y Escalada (FEDME) la que asume la especialidad de las carreras por montaña (Consejo Superior de Deportes, 2019), denominándola carreras por montaña en sus reglamentos. A nivel autonómico existen las federaciones de deportes de montaña correspondientes integradas en la FEDME.

En el ámbito de las modalidades atléticas, a nivel mundial tenemos la World Athletics (WA), anterior International Association of Athletics Federations. La WA colabora en la organización de estas competiciones con otras asociaciones: la International Association of Ultrarunners (IAU), la World Mountain Running Association (WMRA) y la International Trail Running Association (ITRA) (World Athletics, 2018). A nivel europeo estaría la European Athletics Association (EAA).

En el ámbito español, es la Real Federación Española de Atletismo (RFEA) la que asume la especialidad del trail running (Consejo Superior de Deportes, 2019), recogiendo en sus reglamentos el trail running y las carreras de montaña. A nivel autonómico existen las federaciones de atletismo correspondientes integradas en la RFEA.

Cada organismo defiende un determinado nombre para referirse a ellas, pero a menudo, estos son similares a las de otras federaciones o asociaciones. Este conflicto conlleva que se encuentren diferentes denominaciones en función del organismo regulador e incluso, del ámbito territorial de la competición, existiendo diferencias entre las competiciones a nivel mundial, europeo, español y autonómico (Babí-Lladós et al., 2021; Scheer et al., 2020; Seguí et al., 2016). En la Tabla 1, se recogen las diferentes denominaciones.

Tabla 1. Características de los recorridos de las carreras en la montaña

Nombres	Superficie / Terreno	Superficie asfaltada	Distancia	Desnivel - altitud	Pendientes	Categorías	Marcaje
Carreras de montaña (mountain running)	Caminos, pistas y senderos en montañas, desiertos, bosques o llanuras. Preferiblemente caminos existentes	Permitido en pendientes pronunciadas	1 – 42 km	50–250 m/km	5 – 25 %	Classic Uphill / Classic Up and Down / Vertical / Long Distance / Relays	Sí
Trail running	Caminos, pistas y senderos en montañas, desiertos, bosques o llanuras. Preferiblemente caminos existentes.	≤25 %	Según categorías	No definido	No definidas	XXS / XS / S / M / L / XL / XXL	Sí
Fell running	Turón o montaña	≤40 % según categorías	Según categorías	No definido	≥2%	L / M / S	No
Carreras de campo a través	Hierba o tierra Amplitud de 5m	Mínimo	Según categorías Vueltas 1.5 – 2 km	Mínimo desnivel	~1 %	Según edad y sexo	Sí
Ultrarunning	Cualquiera	No definida	>42 km	No definido	No definidas	50 km / 6 horas / 100 km / 100 millas / 24 horas / 48 horas / 6 días / 1000 millas	Sí
Skyrunning	Pistas, senderos, morrenas, roca o nieve	≤15 %	Según categorías	≥2000 m de altitud	Medio ≥6 %, puntual >30 % y ≤ grado II*	Vertical kilometer / Skyspeed / Skyrace / Skymarathon / Ultra Skymarathon	Sí
Carreras por montaña	Pistas, caminos no asfaltados, senderos, barrancos...	≤15 %	Según categorías	No definido	Puntual ≤40° o ≤grado II*	Carreras verticales / Carreras en línea / Carreras por montaña ultra / Carreras sobre nieve	Sí

*Grado II de escalada: para progresar se requiere el movimiento de una extremidad cada vez, mientras el resto están en contacto con la superficie y una configuración adecuada de los movimientos; además, las tomas y los soportes son abundantes (Mandelli y Angriman, n.d.). Fuente: (Babí-Lladós et al., 2021).

También hay una abundancia de diferentes nomenclaturas, definiciones e incluso ortografías utilizadas en publicaciones científicas, tales como: carreras de montaña, carreras por montaña trail, trail running, ultramaratón, ultra maratón, ultra maratón de montaña, ultra-maratón de montaña, ultra-trail-marathon, ultra trail running, larga distancia trail running, y ultramarathon trail running (Scheer et al., 2020). Además, en el caso de la lengua española se utilizan y entremezclan palabras en español con anglicismos, lo que no hace más que aumentar la confusión.

A efectos del presente trabajo utilizaremos el termino carreras por montaña como genérico, entendiendo como tales las carreras que se llevan a cabo en espacios naturales a través de pistas, senderos, caminos o terrenos similares no asfaltados. En caso de existir superficies asfaltadas en la carrera, estas serán mínimas. La distancia de carrera será variable, aunque podemos distinguir entre carreras de menos de 10 km donde se exigirá un desnivel positivo mínimo de 1000 m, maratón (42 km) y ultramaratón (mayor de 42 km). Todas ellas deben de contar con un desnivel acumulado que implique subir y/o bajar, a través de un recorrido marcado. Además, los ultramaratones pueden ser en una o en varias etapas.

1.2. Metodología

Se ha llevado a cabo una revisión narrativa basada en una búsqueda bibliográfica, donde se seleccionaron aquellas publicaciones en revistas científicas, no tesis doctorales ni capítulos de libro, de los últimos 5 años (entre enero de 2016 y diciembre de 2020 ambos incluidos). Se consultó la base de datos principal de la Web of Science en marzo de 2021. Se

incluyeron los artículos escritos en inglés y en español. Como criterio de exclusión se marcó aquellos que se centrasen en carreras sobre superficies asfaltadas y los que hacían alusión a las temáticas que no tenían que ver directamente con los factores que afectan al rendimiento.

Para la búsqueda bibliográfica se utilizaron los siguientes términos y combinación: "trail running" or "mountain running" or "sky running" or "mountain *marathon".

1.3. Resultados

Inicialmente, se obtuvieron 144 artículos potenciales para ser seleccionados. Se excluyeron aquellos que se centraban en carreras sobre superficies asfaltadas (14) y los que hacían alusión a las temáticas que no tenían que ver directamente con los factores que afectan al rendimiento: modelos de organización y gestión de la modalidad deportiva (4), lesiones y cobertura médica de los eventos (7), medio ambiente (6), poblaciones especiales (3), sociología (4), turismo deportivo y desarrollo rural (3). Se seleccionaron 103.

Posteriormente se revisó el título y el resumen de todos ellos y no se excluyó ninguno. De manera adicional, tras una búsqueda manual basada en las referencias de los artículos seleccionados se incluyeron 2 artículos relevantes (Figura 2).

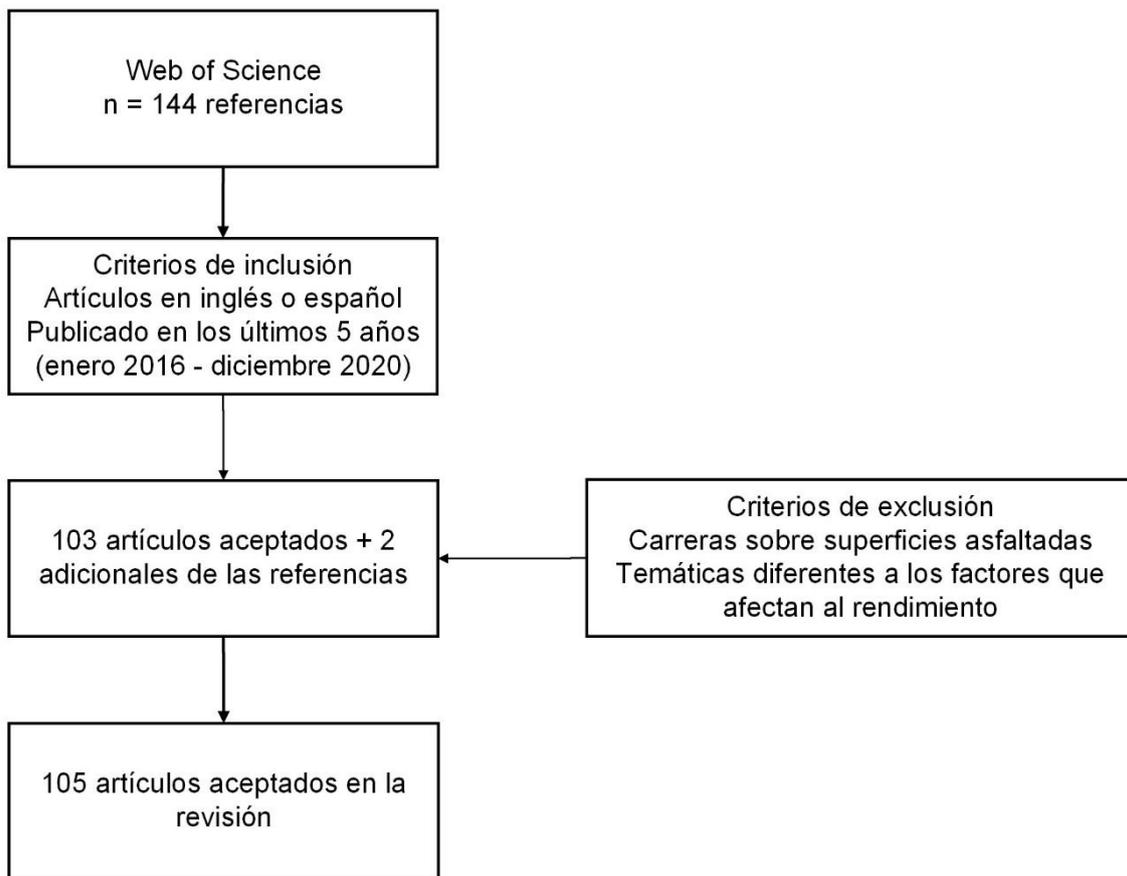


Figura 2. Flujograma de criterios de selección e inclusión del estudio

En los últimos años, se ha incrementado el número de estudios realizados sobre carreras por montaña con respecto a diferentes temáticas. También hay ciertos factores y temáticas que pueden contribuir a mejorar el rendimiento en las carreras por montaña (Tabla 2). Esta revisión se centra la investigación sobre los factores y temáticas que afectan al rendimiento en las carreras por montaña en los últimos 5 años.

Tabla 2. Factores de rendimiento y temáticas en carreras por montaña estudiados en los últimos cinco años

Ambientales	Altitud (Bernardi et al., 2017) Pendiente (Bernardi et al., 2017) y superficie (Fornasiero et al., 2018). Factores atmosféricos (Chlíbková, Nikolaidis, et al., 2019; Fornasiero et al., 2018)
Antropométricos	Edad y sexo (Suter et al., 2020) Índice de masa corporal (Alvero-Cruz et al., 2019; Belinchón-deMiguel et al., 2019; Clemente-Suarez y Nikolaidis, 2017; Hoffmde an, 2010) Densidad corporal (Rosado et al., 2020) Volumen corporal (Rosado et al., 2020) Utilización de las grasas (Hoffman et al., 2018; Hoffman y Stuempfle, 2014) Extensión de rodilla (Balducci, Cléménçon, Trama, Blache, et al., 2017)
Biomecánicos	Mecánica de carrera (Balducci, Cléménçon, Trama y Hautier, 2017; Degache et al., 2016; Giandolini, Horvais, et al., 2016; Vernillo, Savoldelli, Skafidas, et al., 2016)
Fisiológicos	VO _{2max} (Alvero-Cruz et al., 2019; Fornasiero et al., 2018; Gatterer et al., 2020) Velocidad ritmo umbral (Scheer, Vieluf, et al., 2019) Velocidad aeróbica máxima (Balducci, Cléménçon, Trama, Blache, et al., 2017) Umbral de lactato (Scheer, Vieluf, et al., 2019) Potencia máxima (Fornasiero et al., 2018) Fuerza muscular inspiratoria (Martinez-Navarro et al., 2020) Fuerza isométrica de las extremidades inferiores (Martinez-Navarro et al., 2020) Fuerza reactiva del tobillo (Martinez-Navarro et al., 2020) Fatiga (Giandolini et al., 2017) VO _{2max} y la absorción de oxígeno (Gatterer et al., 2020).
Materiales	Bastones (Giovanelli et al., 2019) Calzado (Vercruyssen et al., 2016)
Nutricionales	Preparación y planificación dietético-nutricional (Drehmer et al., 2020; López-Gómez et al., 2016; Martínez et al., 2018; Puigarnau et al., 2020). Hidratación (Belinchón-deMiguel et al., 2019).
Técnico/tácticos	Ritmo estable (Suter et al., 2020) Planificación de la (estrategia) de competición (Puigarnau et al., 2020) Inclinación de la caja torácica (Bernardi et al., 2017) Reducción daño musculoesquelético (Giandolini et al., 2017)
Psicológicos	Escala de Borg en carreras por montaña (Gasser, 2016) Evaluación cognitiva (Tonacci et al., 2016) Retirada de corredores (Philippe et al., 2016; Rochat et al., 2017) Relación entre la salud y paisajes naturales (MacBride-Stewart, 2019)

1.3.1 Factores fisiológicos

Consumo de oxígeno

Dentro de la investigación en las carreras por montaña los cambios fisiológicos han sido estudiados con especial interés. Diferentes estudios han analizado el VO_{2max} en distancias hasta maratón (Alvero-Cruz et al., 2019; Ehrström, Tartaruga, et al., 2018; Scheer, Janssen, et al., 2019; Scheer, Vieluf, et al., 2019) y en ultramaratón (Fornasiero et al., 2018; Gatterer et al., 2020), mediante test de laboratorio. En la Tabla 3 se recogen los principales valores obtenidos.

Para la determinación del VO_{2max} algunos estudios han desarrollado protocolos específicos con pendiente positiva constante (e.g., 10 % de pendiente) (Ehrström, Tartaruga, et al., 2018) o con un aumento progresivo de la pendiente a la vez que la velocidad (Alvero-Cruz et al., 2019; Fornasiero et al., 2018; Gatterer et al., 2020; Scheer, Janssen, et al., 2019), pese a que se ha determinado que la pendiente no tiene ningún efecto sobre los valores de VO_{2max} analizados en los corredores por montaña (Balducci et al., 2016).

Tabla 3. Valores relacionados con el consumo de oxígeno en diferentes estudios

Estudio	N (género)	Nivel deportistas	Distancia (km) [d+, d-]	vVT	vRCT	vVO _{2max}	VO ₂ VT	VO ₂ RCT	VO _{2max}
(Alvero-Cruz et al., 2019)	11 (h)	Entrenados	27 [d+ 1750]	8 ± 0	10 ± 1	11 ± 1	43 ± 6	58 ± 5	67 ± 7
(Ehrström, Tartaruga, et al., 2018)	9 (h)	Altamente entrenados	27 [d+ 1400]	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	61.1 - 69.7
(Scheer, Vieluf, et al., 2019)	25 (h)	N/A	31 [d+ 515, d- 710]	N/A	N/A	19 ± 2	N/A	N/A	59 ± 5
(Scheer, Janssen, et al., 2019)	9 (h)	Competición	31 [d+ 515, d- 710]	14 ± 1	17 ± 1	20 ± 2	N/A	N/A	60 ± 5
(Scheer, Janssen, et al., 2019)	9 (h)	Competición	31 [d+ 515, d- 710]	13 ± 1	17 ± 1	20 ± 1	N/A	N/A	59 ± 5
(Scheer, Janssen, et al., 2019)	9 (h)	Competición	31 [d+ 515, d- 710]	12 ± 1	13 ± 1	14 ± 0	N/A	N/A	63 ± 5
(Fornasiero et al., 2018)	17 (h) 6 (m)	Recreativos	65 [dt 4000]	N/A	N/A	N/A	45 ± 5	52 ± 6	57 ± 6
(Gatterer et al., 2020)	11 (h)	N/A	69 [d+ 4260]	N/A	N/A	N/A	38 ± 2	51 ± 3	59 ± 5
(Gatterer et al., 2020)	7 (h)	N/A	121 [d+ 7554]	N/A	N/A	N/A	51 ± 3	49 ± 6	57 ± 6

h, hombres; m, mujeres; d+, desnivel positivo en m; d-, desnivel negativo en m; dt, desnivel acumulado en m; Valores son media ± DE; vVT, velocidad en el umbral ventilatorio 1 (km/h); vRCT, velocidad en el umbral ventilatorio 2 (km/h); vVO_{2max}, velocidad en el VO_{2max} (km/h); VO₂ VT, consumo de oxígeno en el umbral ventilatorio (ml/kg/min); VO₂ RCT consumo de oxígeno en el umbral de compensación respiratorio (ml/kg/min); VO_{2max}, consumo máximo de oxígeno (ml/kg/min); N/A, no disponible.

Los valores promedio de VO_{2max} analizados en los diferentes trabajos oscilan entre 57 – 67 ml/kg/min. No sé han podido establecer valores en función de los niveles de los deportistas. En este aspecto, parece complicado establecer un criterio para asignar el nivel de los deportistas debido a la poca estandarización de las carreras en cuanto a distancia, desnivel y superficie. Además, existe una gran influencia de los factores ambientales sobre el rendimiento de los corredores (Bernardi et al., 2017; Chlíbková, Nikolaidis, et al., 2019; Chlíbková, Žákovská, et al., 2019; Fornasiero et al., 2018; Sawka et al., 2007). Es por ello, que la mayoría de los estudios se centran, a través de diferentes pruebas estadísticas, en relacionar el rendimiento obtenido en la competición con los diferentes parámetros analizados en tests de valoración (Alvero-Cruz et al., 2019; Baiget et al., 2018; Ehrström, Tartaruga, et al., 2018; Fornasiero et al., 2018; Gatterer et al., 2020; Scheer, Janssen, et al., 2019; Scheer, Vieluf, et al., 2019).

En carreras entre 21 y 65 km se han encontrado correlaciones entre el VO_{2max} (Alvero-Cruz et al., 2019; Ehrström, Tartaruga, et al., 2018; Fornasiero et al., 2018; Gatterer et al., 2020; Scheer, Janssen, et al., 2019) y la velocidad máxima alcanzada en los test (vVO_{2max}) (Alvero-Cruz et al., 2019; Ehrström, Tartaruga, et al., 2018) con el resultado final en la competición. Sin embargo, parece ser que cuando aumenta la distancia de la competición (121 km) estas relaciones entre el VO_{2max} y el tiempo en la competición desaparecen (Gatterer et al., 2020). Posiblemente este hecho se deba al efecto que tiene el incremento de la distancia de competición sobre la ventilación (Vernillo et al., 2015).

El tiempo de carrera se ha asociado con la presión inspiratoria máxima (Martinez-Navarro et al., 2020). En consecuencia, parece que los atletas que compiten en ultramaratones de montaña pueden beneficiarse de una mejora de la fuerza muscular inspiratoria (Martinez-Navarro et al., 2020). Además, al comparar los parámetros respiratorios entre hombres y mujeres y su interacción con el rendimiento en un ultramaratón de montaña (107 km)

(Martinez-Navarro et al., 2020) los corredores masculinos mostraron valores en gran medida mayores en variables espiratorias pulmonares: capacidad vital forzada, volumen espiratorio forzado en 1 s, caudal espiratorio máximo y ventilación voluntaria máxima en 12 s mientras que no se identificaron diferencias en cuanto al sexo en la presión inspiratoria máxima. En este sentido, se ha observado en un ultramaratón extremo (330 km, 24000 desnivel positivo) una reducción significativa en la función pulmonar inspiratoria y espiratoria, así como en la resistencia muscular respiratoria (Vernillo et al., 2015). Este estudio también observó una mayor disminución de la función pulmonar inspiratoria que la espiratoria y una correlación negativa entre el rendimiento y la ventilación máxima voluntaria (Vernillo et al., 2015).

Frecuencia cardíaca

Diferentes estudios han valorado la FC en test de laboratorio para posteriormente poder conocer la carga de competición mediante el uso de pulsómetros por parte de los corredores. En diferentes estudios se han obtenido FC máximas de entre 178 – 185 ppm (Alvero-Cruz et al., 2019; Fornasiero et al., 2018; Gatterer et al., 2020; Scheer, Vieluf, et al., 2019).

En cuanto al comportamiento de la FC media en competición, se ha hallado que los corredores compiten en torno al 90 % de la FC máxima durante carreras de 27 km (Ehrström, Tartaruga, et al., 2018). Se ha observado que el incremento de la distancia de competición implica una disminución de la intensidad del ejercicio. Así, en carreras de 65 km se han observado FC medias de 140 ± 8 ppm, lo que implica intensidades del 77 ± 4 % de la FC máxima (Fornasiero et al., 2018). Cuando se ha analizado la intensidad del ejercicio en este tipo de carreras en función de la FC donde se identificaron los umbrales ventilatorios, los corredores permanecieron el 85.7 ± 19.4 , 13.9 ± 18.6 y 0.4 ± 0.9 % del tiempo total de competición por debajo

del umbral ventilatorio (VT), entre el VT y umbral de compensación respiratoria (RCT) y por encima del RCT, respectivamente (Fornasiero et al., 2018). Así mismo, utilizando este método trifásico, la carga de competición analizada fue de 766 ± 110 UA (Fornasiero et al., 2018). Hasta la fecha, no se ha encontrado ninguna relación entre el rendimiento de los corredores y la intensidad alcanzada en la competición cuando se analizó en base a la FC (Fornasiero et al., 2018; Alvero-Cruz et al., 2019). Las alteraciones en la función cardiaca se han estudiado en ultramaratonos (>100 km) de una y de varias etapas observándose diferencias entre ambos tipos de competición (Maufrais et al., 2016). En las carreras de un día, no parece que la duración afecte a la función cardiaca, pudiendo ser un factor más importante de alteración cardiaca la intensidad del ejercicio (Maufrais et al., 2016). Por el contrario, las carreras de muy larga duración no inducen a una disfunción cardíaca, probablemente gracias a un llenado diastólico más extenso relacionado con un mayor retorno venoso (Maufrais et al., 2016). Independientemente de la distancia, en un estudio (Coates et al., 2020) llevado a cabo en un mismo evento el mismo día sobre 4 carreras de diferentes distancias (25, 50, 80 y 160 km) se observó en todas ellas una disminución de la presión arterial media y se incrementó la frecuencia cardiaca. La función diastólica de ambos ventrículos se redujo y aumento la función sistólica del ventrículo derecho (Coates et al., 2020). La disfunción del ventrículo derecho en corredores por montaña se ha comparado en competiciones de diferentes distancias (Coates et al., 2020; Sanz de la Garza et al., 2016), no obteniéndose modificaciones en los corredores de corta distancia (14 km) (Sanz de la Garza et al., 2016) pero sí que se ha hallado una disfunción de la deformación sistólica de forma significativa del ventrículo derecho en los corredores de distancias superiores de 25 km (Coates et al., 2020; Sanz de la Garza et al., 2016). Esta circunstancia se ha vinculado con la cantidad del ejercicio realizado, a pesar de ello, se ha identificado que existe una gran variabilidad interindividual (Coates et al., 2020; Sanz de la Garza et al., 2016).

Economía de carrera

En lo referente a la economía de carrera se han llevado a cabo dos estudios en el laboratorio con corredores masculinos (Ehrström, Tartaruga, et al., 2018; Scheer, Janssen, et al., 2019). Estos estudios han relacionado el rendimiento de los corredores en carreras de 27 y 31.1 km con los valores de economía analizados (Ehrström, Tartaruga, et al., 2018; Scheer, Janssen, et al., 2019). En el primero de los estudios (Ehrström, Tartaruga, et al., 2018) los autores sometieron a los corredores a 2 periodos de carrera de 5 min con una pendiente del 0 % y 10 % y una velocidad de 3.88 m/s y de 2.5 m/s (~80 % VO_{2max}), respectivamente. Los valores de economía analizados fueron de 4.7 ± 0.3 y 7.4 ± 0.7 J/kg/m para la carrera en llano y en pendiente, respectivamente. En el segundo estudio (Scheer, Janssen, et al., 2019) únicamente se valoró la economía de carrera en llano (12 km/h y 1 % de pendiente). Los sujetos corrieron a una intensidad de ~66 % del VO_{2max} . En ambos trabajos, la economía de carrera no se correlacionó con el VO_{2max} . Sin embargo, sí que existió una relación de la economía de carrera con el tiempo de prueba, aunque únicamente la economía de carrera en pendiente se consideró como un buen predictor del rendimiento (Ehrström, Tartaruga, et al., 2018).

Finalmente, el efecto de la fatiga en el deterioro de la economía de carrera también ha sido un tópico de estudio en las carreras por montaña (Balducci, Cléménçon, Trama, Blache, et al., 2017; Scheer, et al., 2018). Por ejemplo, para una carerera de 65 km y desnivel acumulado de 1093 m, (Scheer, et al. 2018) establecieron un circuito al que debían de dar tres vueltas los corredores con el fin de determinar el deterioro de la economía de carrera a lo largo de la competición. Antes de empezar la prueba y después de cada vuelta se realizó un test de economía de carrera. La economía de carrera aumentó significativamente entre el inicio y el final de la prueba. También la economía mejoró en los diferentes test intermedios realizados (Scheer, et al., 2018). Sin embargo, otros estudios no han

encontrado estos resultados (Balducci, Clémençon, Trama, Blache, et al., 2017) cuando analizaron la economía de carrera en una carrera de 75 km con un desnivel positivo y negativo de 3930 y 3700 m, respectivamente. En este estudio, la economía de carrera fue valorada tanto en llano como en pendiente, en condiciones basales de recuperación y 5 min después de finalizar la carrera (Balducci, Clémençon, Trama, Blache, et al., 2017).

Producción de ácido láctico

El comportamiento del lactato ha sido poco estudiado en carreras por montaña (Scheer, Vieluf, et al., 2019). Se han llevado a cabo estudios en test de escalón en laboratorio y su posterior correlación con los resultados en competición en carreras de 21.1 y 31 km en hombres (Scheer, Janssen, et al., 2019; Scheer, Vieluf, et al., 2019). Estos estudios han analizado velocidades para una concentración de lactato de 4 mmol/l de 17.6 y 16.2 km/h, respectivamente. Así mismo han identificado el umbral anaeróbico individual de los corredores a 16.4 y 15.3 km/h, respectivamente, situando el umbral aeróbico a 11.2 km/h (Scheer, Vieluf, et al., 2019).

Se ha observado que un incremento de la velocidad en el umbral de lactato conlleva mejoras en el rendimiento de los corredores en carreras de aproximadamente 30 km, sin embargo, esta influencia no ha sido hallada en carreras de aproximadamente 20 km/h (Clemente-Suárez, 2015). En competición, únicamente existe un estudio que analiza la evolución de la concentración de lactato a lo largo de una carrera de 54 km (Clemente-Suárez, 2015). Este estudio halló que el lactato se incrementó de 1.8 ± 0.3 a 2.05 ± 0.3 mmol/l después de 7 h de prueba y a 2.8 ± 0.3 mmol/l al acabar la competición (Clemente-Suárez, 2015).

Fuerza muscular

Pocos estudios se han centrado en estudiar la fuerza en los corredores por montaña (Ehrström, Tartaruga, et al., 2018; Martínez-Navarro et al., 2020; Rousanoglou et al., 2016). Se ha valorado la fuerza de la extremidad inferior en hombres y mujeres utilizando un salto sin contramovimiento (SJ), obteniéndose valores medios significativamente mayores en hombres (26 cm) frente a los valores encontrados en las mujeres (21 cm) (Martínez-Navarro et al., 2020). De igual modo, en estos grupos se han obtenido ratios entre el tiempo de vuelo y el tiempo de contacto de 1.89 y 1.72 en hombres y mujeres, respectivamente, durante un test de stiffness (Martínez-Navarro et al., 2020). Además se han arrojado valores de contracción isométrica máxima voluntaria de 10.9 y 10.3 N/kg (Martínez-Navarro et al., 2020). No se obtuvieron diferencias según el sexo de los corredores en los valores obtenidos en la prueba de fuerza reactiva de tobillo ni en la de contracción isométrica máxima voluntaria (Martínez-Navarro et al., 2020). De las tres variables estudiadas, tan solo la contracción isométrica máxima voluntaria se correlacionó moderadamente con el tiempo final en una prueba de 107 km (Martínez-Navarro et al., 2020).

También se ha analizado el efecto de una media maratón por montaña (23.5 km y 1018 m de desnivel positivo) sobre el salto con contramovimiento (CMJ) (Rousanoglou et al., 2016). En este estudio se valoró el CMJ antes de la carrera, nada más finalizar y después de 5 min de recuperación, hallándose que la altura de salto disminuyó significativamente a los 5 min de finalizar la carrera. Así mismo, se observó que la fuerza anteroposterior y la velocidad del salto disminuyeron significativamente inmediatamente después de la carrera y a los 5 min (tanto en la fase excéntrica como en la concéntrica del salto). También se observaron cambios en el tiempo de los picos de fuerza vertical (antes durante la fase excéntrica y más tarde durante la fase concéntrica) y unos tiempos máximos relativos alterados (solo en la fase excéntrica). El análisis conjunto de los datos reveló varios intervalos de

tiempo de alteraciones significativas posteriores a la carrera y un cambio de tiempo en la curva fuerza-velocidad. Una tendencia general de disminución de la salida y la mecánica de los saltos después de la carrera se caracterizó por una sincronización del salto alterada, un movimiento anterior-posterior restringido y unas relaciones de fuerza-velocidad alteradas. La especificidad de la fatiga de las carreras por montaña al trabajo muscular excéntrico parece reflejarse en el diferente orden temporal de las reducciones posteriores a la carrera, con las reducciones de la fase excéntrica precediendo a las de la concéntrica (Rousanoglou et al., 2016). Por lo tanto, aquellos que practican carreras por montaña deberían considerar, una vez más, especialmente el entrenamiento de descenso para optimizar la acción muscular excéntrica (Rousanoglou et al., 2016).

Función oxidativa

La función oxidativa muscular y el intercambio de oxígeno a nivel muscular han sido estudiados en corredores por montaña en test de laboratorio a través del vasto lateral (Giovanelli et al., 2020; Vernillo et al., 2017). Los estudios se llevaron a cabo antes y después de una carrera de 32 o 50 km (Giovanelli et al., 2020) y de 330 km (Vernillo et al., 2017). Se obtuvo un deterioro significativo en el metabolismo oxidativo musculoesquelético, posiblemente relacionado con el daño muscular de las contracciones excéntricas repetidas realizadas durante la competición. Esta circunstancia posiblemente sea la responsable de la reducción de la capacidad de trabajo durante y después de estas carreras (Giovanelli et al., 2020) y resalta la importancia que podría tener la incorporación de entrenamientos en pendiente, particularmente de descenso, para reducir la influencia negativa de las cargas concéntricas y excéntricas (Vernillo et al., 2017).

También se ha valorado la función oxidativa muscular a través de una metodología basada en biomarcadores en una carrera por montaña

ultramaratón de 103 km antes de la carrera y 24, 48 y 72 h después de la carrera. Los resultados mostraron un aumento significativo en los niveles del marcador de potencial estático de oxidación-reducción (sORP) y una disminución significativa en los niveles de la capacidad potencial de oxidación-reducción (cORP) y glutatión (GSH) después de la carrera en comparación con antes de la carrera. Los otros marcadores estudiados en el estudio (i.e., CARB, TBARS, TAC, y CAT) no mostraron cambios significativos entre el antes y después de la carrera. Además, un análisis interindividual mostró que en todos los atletas menos en uno se aumentó el sORP, mientras que el cORP se redujo. Además, los niveles de GSH disminuyeron en todos los atletas al menos en 2 puntos después de la carrera en comparación con los de antes de la carrera. Los otros marcadores exhibieron grandes variaciones entre los diferentes atletas. En conclusión, los marcadores ORP y GSH sugirieron que el estrés oxidativo puede perdurar incluso hasta 3 días después de un ultramaratón. Desde el punto de vista práctico, los marcadores más efectivos para monitorizar a corto plazo el estrés oxidativo inducido por las carreras por montaña de ultramaratón son sORP, cORP y GSH. Además, se recomienda la administración de suplementos que mejoren especialmente el GSH durante las carreras de ultramaratón de montaña para prevenir la manifestación de condiciones patológicas (Spanidis et al., 2017).

Potencia mecánica

La potencia mecánica desarrollada a lo largo de un test incremental realizado en pendiente también ha sido estudiada (Fornasiero et al., 2018). La estimación de la potencia máxima alcanzada en el test y la determinada en el VT y RCT ha sido estimada utilizando la siguiente fórmula: potencia = $g \cdot v \cdot \sin(\alpha)$, donde g es la aceleración gravitacional (m/s^2), v la velocidad de la cinta (m/s) y α el ángulo de inclinación de la cinta. Se han obtenido valores

medios de potencia máxima de 3.1 ± 0.6 W/kg, determinándose los umbrales a 1.7 ± 0.4 y 2.3 ± 0.5 W/kg para el VT y RCT, respectivamente. Estos valores representarían ~55 y el ~75 % de la potencia máxima alcanzada en el test, respectivamente (Fornasiero et al., 2018). Parece ser que la potencia máxima alcanzada en el test es la variable que más relación tiene con el rendimiento de los corredores en carreras de larga duración (i.e., 65 km), mientras que los valores analizados en los umbrales no han sido considerados buenos predictores del tiempo de carrera (Fornasiero et al., 2018).

Fatiga en las carreras por montaña

La fatiga de los corredores ha sido estudiada desde dos vertientes, por un lado se ha analizado el grado de fatiga cognitiva que conllevan las carreras (Clemente-Suárez, 2107) y por otro se ha valorado la fatiga muscular (Besson et al., 2020). La primera de las fatigas se ha valorado midiendo los umbrales críticos Flicker Fusión antes e inmediatamente después de completar una carrera de 42 km (Clemente-Suárez, 2107). En este estudio se demostró que la función cognitiva de los corredores no se ve afectada de manera negativa por la competición (Clemente-Suárez, 2107).

La fatiga neuromuscular también ha sido valorada después de ultramaratones de montaña (Besson et al., 2020). Concretamente se ha estudiado el efecto de correr 169 km de manera continua o realizar 4 etapas cubriendo 40 km por etapa (i.e., 160 km). La función neuromuscular fue valorada antes y después de la competición en ambos extensores de rodilla y flexores plantares con contracciones voluntarias o evocadas utilizando estimulación eléctrica de los nervios femoral y tibial, respectivamente (Besson et al., 2020). La carrera de un día provocó una mayor reducción de la activación voluntaria de los extensores de rodilla, lo que se vinculó con una mayor fatiga central en este tipo de competición frente a la carrera por etapas

(~23 vs. ~7 %). Sin embargo, la reducción en las respuestas mecánicas evocadas de los músculos tardó más en recuperarse después de la carrera por etapas. Esta circunstancia indicaría que este tipo de carreras provocaría una mayor fatiga contráctil / periférica (Besson et al., 2020).

Privación del sueño

La privación del sueño per se no parece desempeñar un papel importante en la fatiga central, pero podría afectar al rendimiento de los corredores al elevar su esfuerzo percibido (Millet et al., 2018). Esta variable puede ser de especial relevancia durante las carreras de ultramaratón ya que frecuentemente se desarrollan de manera parcial o total en horario nocturno. Se han estudiado los efectos del ejercicio intermitente nocturno (>21:00 h) de alta intensidad sobre la estructura de los ciclos del sueño entre corredores bien entrenados en un entorno de laboratorio (Aloulou et al., 2018). Bajo estas circunstancias de ejercicio nocturno, en cuanto a la estructura del sueño se observó una tendencia a aumentar el movimiento ocular no rápido (+4.2 %) y una reducción del movimiento ocular rápido (-4.4 %) al comparar corredores tras el ejercicio con corredores que habían descansado. Además, al comparar los que habían descansado con los que habían corrido, aumentó significativamente la temperatura corporal y la FC nocturna durante la primera parte de la noche. En cuanto al resto de variables estudiadas, se han observado disminuciones de los valores musculares de contracción máxima voluntaria y un aumento de las concentraciones de creatinquinasa, al igual que un incremento de la percepción del daño muscular por parte de los corredores frente a los que habían descansado (Aloulou et al., 2018).

Un estudio (Poussel et al., 2015) ha valorado la somnolencia, duración del sueño y el rendimiento cognitivo de los corredores durante un ultramaratón por montaña de 168 km. Los resultados obtenidos se compararon con los valores obtenidos el día anterior de la competición (i.e.,

condiciones de reposo). Se halló que los corredores tuvieron un tiempo de sueño medio en la carrera de ~24 min (medido mediante un cuestionario de 5 items). La somnolencia y el descenso del rendimiento cognitivo aumentaron durante la carrera, y ello fue influenciado por la hora del día, es decir mayor nivel de somnolencia y mayor descenso del rendimiento durante las horas tempranas de la mañana. Los corredores que dormían en el recorrido antes de la valoración tuvieron un rendimiento más pobre, lo que puede sugerir que las siestas en la carrera se tomaron debido al esfuerzo extremo realizado. Este estudio proporciona evidencia de que los déficits de rendimiento cognitivo y la somnolencia en los ultramaratones por montaña son sensibles al tiempo en la carrera y la hora del día.

1.3.2. Factores biomecánicos

Diversos estudios han investigado sobre la cinemática de carrera (Degache et al., 2016; Giandolini, Gimenez, et al., 2016; Vernillo, Savoldelli, Skafidas et al., 2016). Al relacionar la cinemática de la carrera en un ultramaratón (110 km) con el impacto de aceleración tibial y la severidad de la fatiga neuromuscular (Giandolini, Gimenez, et al., 2016) se ha observado una gran fatiga neuromuscular, incluyendo cambios en la fatiga periférica y déficits en la activación voluntaria en la extensión de rodilla y en la flexión plantar. Se han observado disminuciones en la contracción voluntaria máxima de ~35 % para los extensores de rodilla y de ~28 % para la flexión plantar. Entre las variables biomecánicas, la frecuencia de zancada aumentó en ~3 % y el rango de movimiento del tobillo disminuyó en ~4 % después de la competición. Los corredores que adoptaron un impacto no retro para el pie antes de la carrera adoptaron un patrón de impacto de flexión plantar menor después de la carrera (Giandolini, Gimenez, et al., 2016). Sin embargo, aquellos que adoptaron un impacto de pie trasero previo a la carrera tendían a adoptar un patrón de impacto de flexión dorsal menor (Giandolini, Gimenez,

et al., 2016). Se han hallado correlaciones positivas entre los cambios porcentuales en la fatiga periférica de flexión plantar y el rango de movimiento del tobillo entre el test antes de la carrera y el realizado después (Giandolini, Gimenez, et al., 2016). La fatiga de flexión plantar periférica también se correlacionó significativamente con los cambios tanto en la frecuencia de zancada como con el ángulo de contacto del tobillo entre antes y después de la carrera (Giandolini, Gimenez, et al., 2016). Este estudio sugiere que, en un estado de fatiga, los corredores de ultratrail utilizan ajustes compensatorios protectores que conducen a un contacto de pie más plano. Siendo esta circunstancia dependiente de la dosis de fatiga. Esta estrategia podría tener como objetivo minimizar la carga general aplicada al sistema musculoesquelético, incluyendo el choque del impacto y el estiramiento muscular.

Otro estudio ha analizado la mecánica de carrera midiendo el tiempo de contacto, tiempo de vuelo, frecuencia de zancada y velocidad durante un ultramaratón de montaña (Tor des Géants, 330 km y desnivel acumulado de 24000 m en una etapa). Se encontraron disminuciones significativas en los corredores entre antes y mitad de la prueba para tiempo de contacto, la fuerza máxima de reacción vertical al suelo, el desplazamiento vertical descendente del centro de masas y el stiffness. Por el contrario, la frecuencia de zancada aumentó significativamente entre antes y mitad de la prueba. No se observaron más cambios en el final de la prueba para ninguna de las variables estudiadas, salvo en el stiffness. Los valores analizados en esta última variable fueron similares antes y después de la competición. Durante la prueba, los corredores experimentados modificaron su patrón de carrera y el comportamiento de la masa elástica principalmente durante la primera mitad. Estos resultados sugieren que estos cambios mecánicos tienen como objetivo minimizar el dolor que se produce en los miembros inferiores principalmente durante las fases excéntricas (i.e., bajadas). No se puede descartar que el cambio a una técnica más segura (modificando la mecánica

de carrera, disminuyendo la fase aérea, la fuerza vertical de reacción con el suelo y la amplitud de la oscilación del centro de masas) también pueda tener como objetivo retrasar más daños (Degache et al., 2016).

Cuando se ha relacionado la cinemática con la economía de carrera evaluada después de completar un ultramaratón de montaña (330 km y desnivel acumulado de 24000 m) se encontró que el gasto energético disminuyó después de la carrera mientras que las variables cinemáticas se mantenían constantes (Vernillo, Savoldelli, Skafidas, et al., 2016). Esta circunstancia podría estar indicando una adaptación durante la carrera al intercalar tramos de caminar y correr.

Hasta donde tenemos conocimiento, pocos estudios (Balducci, Cléménçon, Trama y Hautier, 2017) han estudiado las diferencias que supone correr en llano y subiendo. Parece que las variables biomecánicas que se modifican de manera significativa después de la competición (75 km y desnivel acumulado de 7630) son el tiempo de vuelo y el desplazamiento vertical de la cabeza. Concretamente el comportamiento de estas variables fue a la baja. Por el contrario, en la carrera en pendiente únicamente se observó una disminución del desplazamiento vertical de la cabeza. Posiblemente, este comportamiento sea debido a las características de la carrera en pendiente, donde los corredores disminuyen la zancada e inclinan el cuerpo hacia adelante (Balducci, Cléménçon, Trama y Hautier, 2017; Bernardi et al., 2017).

1.3.3. Factores antropométricos

Es ampliamente conocido que las carreras de larga distancia van a estar condicionadas por la masa corporal de los sujetos, ésta va a limitar el rendimiento dentro del mismo sexo por razones gravitacionales (Ackland et al., 2012). En este sentido se ha identificado que los corredores por

montaña del sexo masculino son significativamente más altos, tienen mayor masa corporal y IMC comparado con las mujeres (Hoffman, 2008; Hoffman, Lebus, et al., 2010). La masa corporal en las carreras por montaña va a cobrar una mayor relevancia que en las carreras de asfalto, debido a la orografía del terreno que obliga a desplazar la masa corporal durante los ascensos y descensos (Alvero-Cruz et al., 2019; Balducci, Cléménçon, Trama, Blache, et al., 2017; Clemente-Suarez y Nikolaidis, 2017; Fornasiero et al., 2018; Gatterer et al., 2020; Hoffman, Lebus, et al., 2010; Rosado et al., 2020; Scheer, Janssen, et al., 2019; Vaquero-Cristobal et al., 2019). En la Tabla 4 se recogen los principales estudios que recogen variables antropométricas de los corredores. Como se puede observar en la tabla, las muestras de los estudios analizados engloban pocos sujetos con niveles de rendimiento muy heterogéneos. Además, las diferencias según por el sexo de los corredores únicamente se analizan en un estudio (Fornasiero et al., 2018).

Teniendo en cuenta la distancia de las competiciones se ha observado que en pruebas hasta maratón parece existir una correlación entre el tiempo de prueba con la masa grasa de los sujetos (Alvero-Cruz et al., 2019; Clemente-Suarez y Nikolaidis, 2017) y su IMC (Alvero-Cruz et al., 2019). Sin embargo, estas relaciones no se dan en competiciones de mayores duraciones. Así, en carreras de entre 65 y 80 km no se hallaron relaciones entre el rendimiento y ninguna variable antropométrica (i.e., masa, IMC, porcentaje de masa grasa) (Balducci, Cléménçon, Trama, Blache, et al., 2017; Fornasiero et al., 2018). Además, al comparar las características de los sujetos que finalizaron y no finalizaron una carrera de 100 km se encontró que los sujetos que no finalizaron presentaron valores de masa corporal, altura y IMC superiores a los que finalizaron (Belinchón-deMiguel et al., 2019).

Estudios llevados a cabo en carreras por montaña de 161 km han analizado en los primeros clasificados pérdidas de masa corporal en torno a

un 3 – 4 % debido a la pérdida de líquidos y un 1 % que podría ser debido a la utilización de las grasas (Hoffman et al., 2018; Hoffman y Stuempfle, 2014). Para estas distancias y duraciones (161 km, 25 - 30 h de esfuerzo) pérdidas de masa corporal entre 1.9 – 5.0 % podrían ser aceptables para mantener el equilibrio hídrico corporal evitando la deshidratación (Hoffman et al., 2018). A diferencia de lo que sucede en diferentes modalidades deportivas con eventos más cortos que se indica que el rendimiento puede verse deteriorado con pérdidas corporales superiores al 2 % de la masa corporal (Sawka et al., 2007). Además, se observa una relación entre el tiempo final con el porcentaje de grasa corporal y el IMC. Estos valores pudieran estar condicionados por la climatología de la carrera y por el sexo de los corredores (Hoffman, 2008; Hoffman, Lebus, et al., 2010). Recientemente se ha analizado, después de una carrera por montaña invernal de 24 h bajo condiciones extremas de frío, una mayor reducción del peso corporal en hombres que en mujeres (Chlíbková, Žáková, et al., 2019). Además, se observaron disminuciones de la masa corporal, en los hombres pero no en las mujeres, después de la carrera de entre 0.1 y 4.9 %. Del mismo modo la grasa corporal disminuyó un 1.2 y 2.1 % en hombres y mujeres, respectivamente (Chlíbková, Žáková, et al., 2019).

Se ha observado que las variables antropométricas evolucionan a lo largo de la temporada (Vaquero-Cristobal et al., 2019). Así, después de un periodo de entrenamiento previo a la competición (52 km) de 11 semanas se han encontrado disminuciones significativas de la masa corporal, IMC, porcentaje y peso graso y peso residual. Además, se han analizado aumentos significativos en el porcentaje de masa ósea y muscular (Vaquero-Cristobal et al., 2019).

Tabla 4. Valores antropométricos en diferentes estudios

	N (género)	Nivel deportistas	Distancia [d+, d-]	Peso (kg)	Altura (cm)	IMC	MG (%)	MG (kg)
(Alvero-Cruz et al., 2019)	11 (h)	Entrenados	27 [d+ 1750]	68 ± 6	173 ± 8	22 ± 2	9 ± 1	7 ± 1
(Scheer, Vieluf, et al., 2019)	25 (h)	N/A	31 [d+ 515, d- 710]	72 ± 8	180 ± 7	22 ± 1	N/A	N/A
(Scheer, Janssen, et al., 2019)	9 (h)	Competición	31 [d+ 515, d- 710]	N/A	N/A	21 ± 2	8 ± 3	N/A
(Scheer, Janssen, et al., 2019)	9 (h)	Competición	31 [d+ 515, d- 710]	N/A	N/A	21 ± 2	8 ± 3	N/A
(Scheer, Janssen, et al., 2019)	9 (h)	Competición	31 [d+ 515, d- 710]	N/A	N/A	21 ± 2	8 ± 3	N/A
(Clemente-Suarez y Nikolaidis, 2017)	52 (h)	N/A	42 [d+ 1077 d- 1077]	73 ± 10	173 ± 6	N/A	16 ± 5	12 ± 5
(Vaquero-Cristobal et al., 2019)	22 (h)	N/A	53 [d+ 1941 d- 1890]	82 ± 10	177 ± 6	26 ± 3	9 ± 3	11 ± 2
(Fornasiero et al., 2018)	17 (h) 6 (m)	Recreativos	65 [dt 4000]	69 ± 12	173 ± 8	23 ± 2	16 ± 4	11 ± 4
(Gatterer et al., 2020)	11 (h)	N/A	69 [d+ 4260]	79 ± 8	182 ± 7	N/A	N/A	13 ± 3
(Gatterer et al., 2020)	7 (h)	N/A	121 [d+ 7554]	73 ± 7	175 ± 6	N/A	N/A	10 ± 3
(Balducci, Cléménçon, Trama, Blache, et al., 2017)	26 (h)	Variable	80 [d+ 3500 d-3700]	72.3 ± 5.5	177 ± 4	23.1 ± 1.3	N/A	N/A

h, hombres; m, mujeres; d+, desnivel positivo en m; d-, desnivel negativo en m; dt, desnivel acumulado en m; Valores son media ± DE; IMC, índice de masa corporal (kg/m²); MG, masa grasa; N/A, no disponible.

1.3.4. Factores técnico - tácticos

Con el fin de valorar las estrategias de los corredores en carreras por montaña antes de la competición, se ha desarrollado recientemente el instrumento “Análisis de la Estrategia en Carreras por Montaña (AECM)” (Puigarnau et al., 2020). El instrumento consiste en un cuestionario con un total de 27 ítems, los cuales son valorados mediante una escala Likert de 1 (totalmente en desacuerdo) a 5 (totalmente de acuerdo). Esta herramienta puede ser válida para conocer los aspectos de estrategia utilizados por los corredores por montaña en sus competiciones, detectando las carencias de los deportistas en este sentido, lo que permitiría realizar recomendaciones a los mismos (Puigarnau et al., 2020).

Parece que la adopción de ritmos de carrera lo más estables posibles podrían favorecer el rendimiento de los corredores en las largas distancias (Suter et al., 2020). Se han hallado relaciones entre el rendimiento del Ultra Trail del Mont Blanc (171 km) y el ritmo de carrera medio en cada tramo y el ritmo más estable. Asimismo, el resultado final estuvo condicionado por el sexo y el grupo de edad de los corredores (Suter et al., 2020).

Correr en pendiente

En las carreras por montaña nos encontramos con diversidad de escenarios en relación a la superficie y el desnivel. Además, la carrera se va alternando con tramos andando (Svenningsen et al., 2020). Los corredores por montaña están expuestos a un mayor número de impactos, incluyendo impactos de alta intensidad en secciones de descenso, que los corredores que corren sin pendiente, lo que conducen a un mayor riesgo de lesiones óseas (Giandolini, Horvais, et al., 2016).

Diversos estudios han analizado cómo influye el patrón de impacto del pie en los componentes axiales y transversales de aceleración y atenuación del impacto (Giandolini, Horvais, et al., 2016) y su variabilidad en la actividad muscular (Giandolini et al., 2017) durante una carrera por montaña descendente (6.5 km y 1264 m de desnivel negativo acumulado) a través de acelerómetros y electromiografía de los músculos de las extremidades inferiores. En cuanto a lo que se refiere a los componentes axiales y transversales de aceleración e impacto, los patrones delanteros se asociaron con una aceleración axial pico más alta y una frecuencia media en la tibia, frecuencias medias transversales más bajas en la tibia y el sacro, y una aceleración del pico transversal inferior en el sacro. Para la aceleración resultante, se percibió una mayor frecuencia de mediana tibial, pero una aceleración de pico sacro más baja con un antepié llamativo. Aunque un golpe en el antepié reduce la gravedad del impacto y el contenido de frecuencia de impacto a lo largo del eje transversal, un golpe del retropié los disminuye en la dirección axial (Giandolini, Horvais, et al., 2016).

Al analizar la variabilidad en la activación muscular, se observó una mayor activación del gemelo externo y menor activación del tibial anterior y del vasto lateral durante la carrera y mayores disminuciones en los extensores de la rodilla de alta frecuencia en la fuerza después de la carrera y disminuciones mayores en los extensores de la rodilla mediante contracción máxima voluntaria dos días después de la carrera (Giandolini, Horvais, et al., 2016). Estos patrones aumentaron la gravedad de la fatiga periférica en los extensores de la rodilla. Sin embargo, la variabilidad del patrón de impacto alto del pie durante la carrera redujo la fatiga neuromuscular aguda y retardada en los extensores de la rodilla y los flexores del pie (Giandolini, Horvais, et al., 2016).

En base a los resultados de estos estudios (Giandolini et al., 2017; Giandolini, Horvais, et al., 2016) se consideró que la adopción de un patrón de impacto de pie más anterior conduce a una mayor intensidad de choque

a lo largo del eje axial e inferior a lo largo del eje transversal. En general, esto conduce a mejorar la atenuación de las frecuencias axiales y relacionadas con el impacto resultante. Se sugiere que no existe un patrón ideal de impacto del pie, y una posible estrategia podría ser cambiar entre patrones de impacto en función de factores internos (i.e., dolor y fatiga muscular) y externos (i.e., pendiente y superficie) con el propósito de evitar sobrecargar diferentes estructuras (e.g., músculos, articulaciones, tendones, etc.) y mejorar el reparto de la sobrecarga del aparato locomotor durante las carreras por montaña, y más específicamente durante las secciones de descenso.

Sin embargo, un reciente estudio (Vernillo et al., 2020) planteó el objetivo de demostrar si una estrategia de cambios regulares en el patrón de impacto del pie durante la carrera en descenso podría reducir el grado de fatiga en los parámetros neuromusculares, energéticos y biomecánicos, así como aumentar un rendimiento en un test con pendiente positiva hasta el agotamiento. Se observó que una estrategia deliberada para alternar entre los patrones de impacto de pie no redujo el grado de fatiga durante la carrera prolongada. Por lo que se sugiere que no es la capacidad de cambiar entre patrones de impacto de pie lo que minimiza la fatiga sino más bien la capacidad de adaptar el patrón de impacto de pie al terreno y por lo tanto una mejor técnica de carrera. En cuanto a la mejora del rendimiento en pendiente positiva no era diferente entre las dos técnicas utilizadas.

En un estudio realizado durante un kilómetro vertical (desnivel positivo acumulado de 794 m, con pendientes de 2 – 40 % y llegando a una cota máxima de 2824 m) se observó que en las pendientes por encima del 30 %, la inclinación de la caja torácica aumentó, lo que indica una reducción en la coordinación torácico abdominal, que se relacionó con un patrón respiratorio menos eficiente y una saturación de oxígeno más baja, lo que podría tener un efecto negativo en el rendimiento (Bernardi et al., 2017).

1.3.5. Factores relacionados con el uso del material

La elección del material por parte de los corredores está condicionada, por un lado, por el reglamento de cada competición y por otro lado por las preferencias y características del propio corredor. En este último caso está en función de la meteorología del día de la prueba (Puigarnau et al., 2020). Pese a que la preparación del equipamiento para el entrenamiento de la forma más parecida a la competición es considerada como un factor determinante para identificar los problemas que pueden surgir durante el día de la prueba, en un estudio realizado al respecto se obtuvo que solo el 50 % de los corredores lo hacen así (Puigarnau et al., 2020). Tampoco tenían en cuenta el peso del material de competición para sus entrenamientos, aspecto que puede afectar a su fatiga, su rendimiento físico, así como a su técnica de carrera en competición.

Recientemente se tiende más que antes al uso de calzado minimalista, más ligero que el calzado tradicional. Anteriormente ya se había establecido que, por cada 100 gr de peso extra en cada pie, la economía de carrera se deteriora un 1 % (Franz et al., 2012) por lo que el uso de este tipo de calzado podría considerarse beneficioso. Al comparar los efectos en corredores por montaña cuando corrían en test de laboratorio en llano y en pendiente con calzado normal y calzado minimalista, se observaron mejoras metabólicas en condiciones de no fatiga a favor del calzado minimalista, aunque es necesario realizar más estudios para determinar si estas ventajas se mantienen en corredores con calzado minimalista entrenados y experimentados y en situaciones más reales en el medio natural (Vercruyssen et al., 2016). Estos estudios, además de los cambios agudos deberían estudiar los posibles cambios a largo plazo y la probabilidad de experimentar lesiones.

En las carreras por montaña está permitido el uso de bastones por parte de los corredores para ayudarse en sus desplazamientos. Es habitual

ver como muchos corredores los usan, aunque no hay demasiados estudios sobre sus supuestos beneficios. Se ha comparado el gasto energético durante el ascenso con y sin bastones con diferentes pendientes (Giovanelli et al., 2019), resultando que era ligeramente mayor la disminución en el gasto energético con el uso de bastones en base a parámetros cardiorrespiratorios y significativamente más beneficioso desde el punto de vista de la percepción subjetiva del esfuerzo en pendientes superiores a 15° de inclinación. Por ello podría ser importante su uso durante esfuerzos prolongados. Con los datos de este estudio, se podría recomendar el uso de bastones para optimizar el rendimiento en competición, siendo necesario aprender la técnica adecuada y entrenar la musculatura de la parte superior del cuerpo.

También ha sido motivo de estudio el uso de las prendas compresivas en las carreras por montaña (18.4 – 24 km) (Ehrström, Gruet, et al., 2018; Kerhervé et al., 2017; Vercruyssen et al., 2017). Estas prendas no tuvieron ningún efecto sobre la contracción muscular, oxigenación muscular y economía de carrera. Sin embargo, sí que se han observado cambios en la biomecánica de carrera (Kerhervé et al., 2017). Se ha observado que las prendas compresivas favorecen un aumento del tiempo de la fase área de la carrera y mejoran el stiffness muscular. Además, se ha sugerido que el uso de estas prendas podría tener un efecto beneficioso sobre el dolor del tendón de Aquiles (Kerhervé et al., 2017). Finalmente, en test realizados en el laboratorio en carreras con pendiente negativa (-8.5°) se ha encontrado que las prendas compresivas pueden tener beneficios sobre las vibraciones de los tejidos blandos, la función neuromuscular aguda y retardada y el dolor muscular percibido (Ehrström, Gruet, et al., 2018). Por todo ello, la utilización de las prendas compresivas puede favorecer una mayor recuperación del músculo en la carrera en pendiente negativa (Ehrström, Gruet, et al., 2018).

1.3.6. Factores ambientales

Al ser una modalidad deportiva practicada en espacios naturales al aire libre sobre diferentes superficies (e.g., pistas, senderos, caminos o terrenos similares) los factores ambientales y la alta incertidumbre del medio cobra una gran importancia. Así, en una misma carrera las condiciones ambientales pueden cambiar en muy poco tiempo en función de la altitud o con el paso de los días si se trata de una prueba por etapas. Esta modalidad implica diferentes contextos ambientales por el tipo de superficie por donde discurre y por los factores atmosféricos (Alvero-Cruz et al., 2019; Fornasiero et al., 2018). Además, de todos estos factores que condicionan el estrés térmico soportado por los corredores, la pérdida de masa corporal (>2 %) que conllevan las competiciones podría acentuar este estrés (Sawka et al., 2007).

Aunque podría ser pensado que los tramos de carrera en pendiente negativa, por la mayor velocidad que alcanzan los corredores, podrían facilitar la disipación del calor por convección, se ha analizado que el estrés térmico sigue siendo elevado (Giandolini, Vernillo, et al., 2016). El incremento del estrés térmico se ha vinculado a un menor rendimiento físico (Sawka et al., 2007), mayor fatiga central (Nielsen y Nybo, 2003; Sawka et al., 2007) y deshidratación (Giandolini, Vernillo, et al., 2016).

Por otro lado, las carreras por montaña habitualmente se llevan a cabo en zonas con una altitud moderada-alta, lo que podría condicionar el rendimiento de los sujetos. Bajo estas circunstancias la realización de ejercicio de alta intensidad podría verse condicionado. Se ha reportado que las demandas ventilatorias pueden aumentar a consecuencia de la combinación del ejercicio y la hipoxia, afectando significativamente a la función del sistema respiratorio por encima de 2000 – 2500 m (Bernardi et al., 2017). Además, el incremento de la altitud conlleva una mayor tensión en los sistemas osteo-articular y músculo-tendinoso lo que afectaría negativamente en los corredores (Yan, 2014). Por último, la altitud pudiera condicionar una

disminución cognitiva de los sujetos en función del tiempo de exposición (Yan, 2014). Además, la combinación de grandes altitudes y el tiempo de exposición pudiera desembocar en afecciones como el mal agudo de montaña, edema pulmonar y edema cerebral en algunos de los desafíos realizados actualmente (Schöffl et al., 2011).

Aunque puede pensarse que los cambios de altitud realizados en las carreras pudieran condicionar una deriva de la FC, este extremo no ha sido informado en esfuerzos máximos (Achten y Jeukendrup, 2003) ni en esfuerzos mantenidos por debajo de 2000 m de altitud (Rodríguez-Marroyo et al., 2003). Por ello, en la mayoría de las carreras realizadas en España no tendría mucha influencia. Factores como la temperatura tendrían un mayor efecto sobre la FC. Los cambios de temperatura suelen ser frecuentes en las carreras por montaña debido principalmente a la duración de estas, la exposición, o no, directa a los rayos de sol y las variaciones de altitud en el transcurso de las mismas. Así, altas o bajas temperaturas pueden ser soportadas por los corredores dentro de una misma carrera, lo que podrían condicionar el comportamiento de la FC (Achten y Jeukendrup, 2003). Durante el ejercicio en ambientes fríos se ha informado que la FC es similar a las alcanzadas en condiciones termoneutrales (Achten y Jeukendrup, 2003). Sin embargo, el VO_2 en estas condiciones es mayor, por lo tanto, la FC podría estar subestimando la intensidad del ejercicio realizado (Achten y Jeukendrup, 2003). Por el contrario, un incremento de la temperatura puede conllevar un aumento de la FC por el incremento del esfuerzo cardiaco para facilitar la disipación de calor (Achten y Jeukendrup, 2003).

En cuanto a condiciones extremadamente frías, hay un número limitado de estudios realizados en atletas de ultra resistencia que compiten en ambientes extremadamente fríos entre -21 y -2°C (Chlíbková, Žáková, et al., 2019). En estas condiciones durante una prueba de 24 h, se ha reportado una disminución significativa de la grasa corporal, mientras que la masa musculoesquelética y el agua corporal se mantuvieron estables tanto

en hombres como en mujeres. Además, se reportó un aumento del daño musculoesquelético debido al incremento de la concentración de creatinina y urea en plasma. Como se referenció anteriormente, bajo estas condiciones de carrera no se vio afectado en cuanto al estado de hidratación de los sujetos. Por ello, las recomendaciones actuales de hidratación en los deportes de resistencia deberían modificarse en aquellos atletas que compiten en condiciones extremadamente frías (Chlíbková, Nikolaidis, et al., 2019; Chlíbková, Žákovská, et al., 2019). La deshidratación (i.e., disminución del 3 % de peso corporal) tiene una influencia marginal en la disminución del rendimiento del ejercicio aeróbico cuando hay estrés por frío (Sawka et al., 2007)

1.3.7. Factores nutricionales

Múltiples estudios han demostrado la existencia de una relación positiva entre las recomendaciones dietéticas (e.g., ingestión calórica y macronutrientes) y el rendimiento deportivo (Drehmer et al., 2020). Además, estudios de caso recientes han analizado la importancia de la preparación dietético-nutricional en la prevención de problemas nutricionales como la deshidratación o hiponatremia, problemas gastrointestinales, fatiga e hipoglucemia (Drehmer et al., 2020; López-Gómez et al., 2016; Martínez et al., 2018). En estos estudios llegaron a la conclusión de que la planificación dietético-nutricional realizada había tenido una influencia positiva para mejorar el rendimiento en la prueba evitando riesgos nutricionales (deshidratación, fatiga, molestias gastrointestinales, etc.).

A través del AECM mencionado en líneas superiores se ha observado que, aunque la mayoría de los participantes realizan una planificación alimentaria, muchos de ellos no saben cuándo utilizar los suplementos deportivos, y tan sólo un 25 % tienen totalmente clara su estrategia nutricional, por lo que su rendimiento puede verse afectado (Puigarnau et al.,

2020). Otros estudios también han evaluado las ingestas de energía de los participantes en eventos de diferentes distancias (Martinez et al., 2018; Urdampilleta et al., 2020). La ingesta media de energía en un evento con dos carreras de diferentes distancias de (44.7 y 112 km) fue de 183 kcal/h, con una ingesta media de hidratos de carbono de 31 g/h (52.1 % de los participantes consumieron menos de 30 g/h). No se encontraron diferencias significativas entre las diferentes distancias en estos parámetros. Sin embargo, se encontró un porcentaje más alto de energía de lípidos en participantes en las pruebas más largas (67 y 112 km) (Martinez et al., 2018). En un maratón por montaña (42 km y 3980 m de desnivel acumulado) (Urdampilleta et al., 2020) se compararon los efectos en la carga interna de la ingesta de carbohidratos en diferentes cantidades (120, 90 y 60 g/h) la función neuromuscular post-ejercicio y la recuperación de la capacidad de carrera de alta intensidad. Se ha sugerido que la ingesta de 120 g/h puede limitar la fatiga neuromuscular y mejorar la recuperación de trabajo a alta intensidad 24 h después de un maratón por montaña (Urdampilleta et al., 2020). Además, la ingesta de 120 g/h de carbohidratos durante un maratón por montaña podría limitar el daño muscular inducido por el ejercicio y la carga interna en comparación con la ingestión de 60 y 90 g/h (Viribay et al., 2020). También se ha planteado la posibilidad de monitorizar la glucosa, para garantizar la toma óptima de carbohidratos de forma individualizada para cada corredor del ultramaratón por montaña (Ishihara et al., 2020). Los niveles de glucosa observados oscilaron entre 61.9 – 252.0 mg/dL, mientras que la concentración media de glucosa varió entre el principio y el final de la carrera (104 ± 15 vs. 164 ± 30 mg/dL). La cantidad total de ingesta de carbohidratos durante la carrera varió de 0.27 a 1.14 g/kg/h. Se observó una correlación positiva entre la glucosa y la ingesta de energía y carbohidratos y la velocidad de carrera. También ha sido motivo de interés el estudio de las moléculas Interleucinas-6 (IL-6), sHsp72 (Hsp72) e Interleucinas-15 (IL-15) debido a sus efectos en el metabolismo de la glucosa y de las grasas y la respuesta celular al estrés en una carrera por montaña (35 km con un

desnivel positivo acumulado de 940 m) observando que después de la carrera, las concentraciones medias de IL-6, IL-15 y Hsp72 aumentaron ~13, ~2 y ~2 veces, respectivamente, lo que podría tener beneficios para la salud debido a su influencia en el metabolismo de la glucosa y de las grasas (Yargic et al., 2019).

Sobre la ingesta de agua, se ha comparado la hidratación individualizada con la hidratación a voluntad y cómo ésta afecta a las respuestas fisiológicas y el rendimiento durante una carrera por montaña de 20 km (Casa et al., 2010). No se pudo determinar si un protocolo fue mejor que otro en cuanto a términos de rendimiento. Sin embargo, queda la duda de saber el efecto que podría haber tenido en una carrera de mayor duración o en condiciones ambientales más extremas. Por otro lado, sí que se han observado diferencias significativas en la ingesta de agua por hora de competición (Martinez et al., 2018). Los valores más bajos se analizaron en la prueba de 112 km frente a los analizados en 44 y 67 km (Martinez et al., 2018). Sin embargo, los autores reportaron que la ingesta de líquidos en todas las competiciones fue adecuada. Hay que reseñar que el nivel de hidratación previa a la competición puede ser un predictor del rendimiento en carreras de larga duración (>100 km) (Belinchón-deMiguel et al., 2019).

El uso de medicamentos, principalmente antiinflamatorios no esteroideos (AINE) entre corredores por montaña de diferentes distancias (42 - 112 km) ha sido estudiado (André et al., 2020; Didier et al., 2017; Souza et al., 2020). Entre un 10 y un 60 % de los corredores manifestaban haber tomado AINE antes, durante o después de la carrera encontrándose una correlación positiva entre consumo de AINE y distancia de la prueba. Otros medicamentos detectados fueron los analgésicos (6.7 %), principalmente debido al dolor osteo-articular (29.6 %) o para prevenir el dolor (28.2 %) (Didier et al., 2017). Sin embargo, no existen evidencias de que la toma de estos medicamentos suponga una reducción del daño muscular o un incremento relevante del rendimiento (Didier et al., 2017).

1.3.8. Factores psicológicos

Las tendencias recientes en investigación en el ámbito de la psicología en las carreras por montaña tratan diferentes temas. Por un lado, variables psicológicas, como la percepción subjetiva del esfuerzo, ha sido analizada a través de la competición (Gasser, 2016). Se ha comparado el esfuerzo desarrollado por los deportistas durante carreras de media maratón y ultramaratón por montaña en 3 momentos diferentes (i.e., primer tercio de la carrera, segundo tercio de la carrera y carrera completa) (Gasser, 2016) utilizando una escala de Borg de 6-20 puntos. En el primer tercio de la carrera se obtuvieron valores similares (14.2 y 14.7) para los corredores de media maratón y maratón respectivamente. En el segundo tercio de la carrera se obtuvieron valores de 16.3 y 18.6 para los corredores de media maratón y maratón respectivamente y para la carrera total los valores obtenidos fueron de 15.7 y 17.6 respectivamente. Tan sólo se obtuvieron diferencias significativas en los corredores de media maratón en el segundo tercio de carrera y la carrera completa (Gasser, 2016).

Así mismo se ha investigado la evaluación cognitiva en corredores de ultramaratón por montaña en competición a través de la función olfativa por ser este un biomarcador de deterioro cognitivo (Tonacci et al., 2016). Para evaluar la función olfativa se utilizó un test de identificación de olores (Burghart Medizintechnik GmbH, Wedel, Germany) (Tonacci et al., 2016). Se observó que la función olfativa disminuyó a lo largo de la carrera, y en la segunda mitad de la carrera existió una relación negativa entre el líquido corporal y el olfato. Pese a ello, no se observaron diferencias con el tiempo de carrera o la falta de sueño con el olfato, así como tampoco las hubo al comparar corredores ultramaratón por montaña con corredores de otras disciplinas o con personas sedentarias.

Otro aspecto que ha sido de interés para los investigadores fue la retirada de los corredores por montaña durante la competición desde

diferentes metodologías (Philippe et al., 2016; Rochat et al., 2017). A través del estudio de caso de 10 corredores que se retiraron durante un evento, se identificaron siete fases comunes en este proceso:

- Sentir dolor.
- Dar sentido a esos sentimientos.
- Ajustar el estilo de correr.
- Intentar superar el problema.
- Influencias de otros corredores.
- Evaluar la situación.
- Decidir retirarse.

De ello se desprende que es necesario llevar a cabo una preparación psicológica y un mejor manejo de la carrera (Philippe et al., 2016). Cuando se comparó los corredores que finalizaron la carrera y los que se retiraron a través de estados de vitalidad de los corredores y su evolución a lo largo de una carrera la principal diferencia entre ambos grupos fue que los que finalizaron estuvieron más tiempo en un estado de preservación de la vitalidad que los que se retiraron donde predominaron estados de pérdida de vitalidad. Además, los corredores que finalizaron fueron capaces de gestionar la salida de estados de pérdida de vitalidad, mientras que los que se retiraban no (Rochat et al., 2017).

Por otro lado, la relación entre la salud y los paisajes naturales y como estos últimos pueden afectar positivamente en las experiencias y las percepciones ha sido analizado a través del estudio de las conexiones entre salud y paisajes en dos eventos de carreras por montaña. Se ha encontrado que cuando los participantes dicen que el paisaje "importa" para la salud, se refieren a la estética y sentimientos, la flexibilidad y adaptabilidad y la exploración y aventura. (MacBride-Stewart, 2019).

También se ha llevado a cabo un análisis de las experiencias más significativas de los corredores por montaña desde un enfoque más holístico a través del aprendizaje sensitivo (gestalt) que surge en situaciones de carrera estableciendo las diferentes tipologías: procesos corporales (i.e., sensaciones y dolores) comportamientos (i.e., acciones y estrategias) y el medio ambiente (i.e., condiciones meteorológicas y perfil de carrera). Los resultados mostraron que los corredores suelen representar tres aprendizajes sensitivos fenomenológicos: controlar la facilidad global, soportar la fatiga general y experimentar situaciones difíciles, y sentir libertad en el ritmo de carrera. Establecieron propuestas de aplicaciones prácticas para intervenciones de preparación, gestión de carreras y psicología deportiva para enriquecer las recomendaciones existentes (Rochat et al., 2018).

1.4. Conclusiones

En conclusión, se ha revisado el estado del arte en los últimos años en relación a los factores que afectan al rendimiento en las carreras por montaña. En muchos casos, se parte del conocimiento en las carreras a pie y de otras modalidades deportivas de resistencia para realizar estudios aplicados a las especificidades de correr por la montaña.

La existencia de múltiples denominaciones, y de diferentes federaciones y asociaciones encargadas de regular y organizar el deporte genera cierta confusión. Nos encontramos ante una modalidad relativamente nueva que está creciendo de forma exponencial en los últimos años y que aún no ha llegado a su madurez deportiva.

Debido a la complejidad del deporte y de la disparidad entre las diferentes carreras (e.g., distancias, desniveles y condiciones ambientales) hacen que exista una gran heterogeneidad entre los estudios a la hora de poder comparar los resultados. Además, en la mayor parte de los estudios las muestras son pequeñas y principalmente formadas por hombres.

Desde el punto de vista fisiológico, se han observado correlaciones entre el rendimiento en carreras hasta 65 km y el VO_{2max} , la velocidad y la potencia aeróbica máxima. Del mismo modo, la economía de carrera parece ser un factor de rendimiento para las carreras por montaña ya que también se han observado relaciones entre el rendimiento de los corredores y estas variables, sobre todo cuando se valora en pendiente. La valoración de la velocidad en el umbral anaeróbico con metodología láctica sugiere que en las carreras de menos duración (32 km) un aumento de la velocidad del umbral supone un incremento del rendimiento.

Dentro de los factores antropométricos el IMC y la masa grasa (i.e., kg, %) han sido los más estudiados. En carrera de distancias inferiores a la maratón estas variables se han relacionado con el tiempo de prueba. Sin embargo, en carreras más largas (e.g., 100 km) únicamente el tiempo de prueba se ha relacionado con el IMC. Además, se ha informado que estas variables antropométricas podrían condicionar que los corredores tuvieran más opciones de finalizar o no este tipo de carreras (100 km)

Otros factores menos estudiados han sido los materiales, los aspectos ambientales, nutricionales (e.g., planificación dietético-nutricional, ingesta de energía, monitorización de la glucosa, moléculas Interleucinas, ingesta de agua y uso de medicamentos). Los estudios sobre los materiales utilizados se han centrado en el uso de calzado minimalista, bastones y prendas compresivas. Son necesarios más estudios que aporten mayores evidencias sobre el beneficio de estos materiales. Los factores ambientales, son una de las singularidades principales de esta modalidad deportiva donde los

cambios de temperatura y orográficos tienen una influencia decisiva en el desarrollo de las carreras. Factores nutricionales son determinantes para la obtención de un buen resultado y evitar riesgos nutricionales. Desde el punto de vista psicológico se ha estudiado la percepción del esfuerzo, los factores que condicionan la retirada de los deportistas de las competiciones y se ha analizado la relación entre salud y el medio natural.



2. OBJETIVOS GENERALES

El objetivo de la presente Tesis Doctoral fue incrementar el conocimiento científico en torno a una modalidad deportiva emergente y de reciente creación como son las carreras por montaña. Concretamente los objetivos generales establecidos fueron:

- Analizar las demandas fisiológicas del ejercicio durante las carreras por montaña.
- Valorar los niveles de resiliencia en un grupo de corredores por montaña.
- Estudiar la accidentabilidad en las carreras por montaña más habituales (20 - 42 km).

Para lograr cada uno de los objetivos reseñados anteriormente se ha planteado la realización de los siguientes estudios:

Primer estudio: Demandas fisiológicas de las carreras por montaña.

Segundo estudio: Análisis de la escala de resiliencia en corredores por montaña.

Tercer estudio: Lesiones musculoesqueléticas en competiciones de carreras por montaña: estudio de 5 temporadas.



3. PRIMER ESTUDIO

Demandas fisiológicas de las carreras
por montaña

3.1. Introducción

La participación en carreras por montaña ha experimentado un incremento significativo en los últimos años (Hoffman, Ong, et al., 2010). Este hecho ha motivado el interés de la comunidad científica por el estudio de estas pruebas (Clemente-Suárez, 2015; Ehrström, Tartaruga, et al., 2018; Fornasiero et al., 2018; Martínez et al., 2018; Ramos-Campo et al., 2016; Saugy et al., 2013; Vernillo et al., 2015; Wüthrich et al., 2015). Estas carreras consisten en correr o caminar sobre caminos por montaña con pendientes positivas y negativas sobre diferentes distancias. Los participantes pueden alcanzar un desnivel acumulado de ~24000 m durante las pruebas más extremas (Saugy, et al., 2013). La Federación Internacional de Skyrunning (<http://www.skyrunning.com/rules/>) clasifica las carreras por montaña de acuerdo con sus distancias (desde ~5 hasta 50 - 99 km) y desnivel (desde 1000 hasta más de 3200 m ascenso vertical). A pesar de la gran variedad de disciplinas, la mayoría de las investigaciones se han centrado en estudiar los eventos más desafiantes (e.g., ultramarathones por montaña) (Clemente-Suárez, 2015; Fornasiero et al., 2018; Martínez et al., 2018; Neumayr et al., 2001; Ramos-Campo et al., 2016; Saugy et al., 2013; Vernillo et al., 2015; Wüthrich et al., 2015). En conjunto, estos trabajos han demostrado un impacto significativo en los atletas que participan en ultramaratones por montaña: fatiga, daño muscular, consumo energético y alteraciones nerviosas. Sin embargo, hay un número menor de estudios realizados en carreras de menor duración (Ehrström, Tartaruga, et al., 2018; Giovanelli et al., 2016). Estos se han centrado en examinar el gasto metabólico de caminar o correr a través de una amplia gama de pendientes encontradas en carreras de kilómetros verticales. (i.e., 1000 m de ascenso vertical y ~5 km) (Giovanelli et al., 2016) y analizar las variables fisiológicas que contribuyen al rendimiento durante las carreras cortas por montaña (Ehrström, Tartaruga, et al., 2018).

El análisis de intensidad del ejercicio puede proporcionar información útil sobre la cual basar los programas de acondicionamiento (Rodríguez-Marroyo et al., 2011, 2012). Los datos derivados del análisis de las demandas en competición pueden ser usados como referencia para adaptar los programas de entrenamiento y ayudar a los entrenadores a desarrollar programas de entrenamiento más específicos y científicos. Este tipo de análisis ha sido realizado principalmente en eventos de resistencia (Lucia et al., 2007; Rodríguez-Marroyo et al., 2003, 2009, 2011). Sin embargo, hasta la fecha existe una escasez de investigaciones que analicen las demandas fisiológicas de las carreras por montaña (Clemente-Suárez, 2015; Fornasiero et al., 2018; Ramos-Campo et al., 2016). Hasta donde sabemos, estos estudios solo se han centrado en analizar la distribución de la intensidad del ejercicio y estimar la demanda energética durante las carreras de ultramaratón de montaña. Por lo tanto, utilizando diferentes zonas de intensidad establecidas de acuerdo con la frecuencia cardíaca (FC) de reserva (Clemente-Suárez, 2015; Ramos-Campo et al., 2016) o la FC en los umbrales ventilatorios (Fornasiero et al., 2018) la intensidad del ejercicio realizado por los corredores por montaña ha sido analizada durante eventos de 54 y 65 km. En general, estos trabajos han demostrado el alto tiempo relativo que se pasa en zonas de baja intensidad, es decir, por debajo del umbral ventilatorio (VT) o $<70\%$ de la FC de reserva. Sin embargo, se ha observado cómo la duración del ejercicio afecta el esfuerzo de los atletas, lo que puede alterar la distribución de la intensidad del ejercicio (Rodríguez-Marroyo et al., 2012). De esta manera, una disminución en el tiempo de carrera podría contribuir a mantener una mayor intensidad de ejercicio (Rodríguez-Marroyo et al., 2012).

3.2. Objetivos

Por lo tanto, los objetivos específicos de este estudio fueron:

- Analizar la intensidad del ejercicio realizado en función de la duración de la competición.
- Cuantificar la carga de trabajo en las competiciones de carreras por montaña.
- Estimar el gasto energético en los diferentes tipos de competiciones de los corredores por montaña.

3.2.1 Participantes

Siete corredores por montaña hombres (media \pm DE; edad, 33 ± 6 años; masa corporal, 74.4 ± 7.1 kg; altura, 177.6 ± 6.2 cm) participaron en este estudio. Cuatro de los sujetos tenían un alto nivel competitivo, por lo general terminaban entre las 20 primeras posiciones de las competiciones nacionales. Se clasificaron como corredores bien entrenados ($65 - 71$ ml/kg/min) (De Pauw, et al., 2013). Todos los sujetos eran corredores experimentados en carreras por montaña (7 ± 2 años) y tenían más de 10 años de experiencia entrenando. Entrenaban habitualmente 6.2 ± 1.9 veces por semana (entre 10 - 20 h semanales de entrenamiento) y generalmente competían una vez cada dos semanas durante el período de competición. Se obtuvo el consentimiento informado por escrito de todos los sujetos antes del comienzo del estudio. El protocolo fue aprobado por el Comité de Ética de la Universidad de León, España, y se ajustó a los principios identificados en la Declaración de Helsinki para investigación con humanos.

3.2.2 Procedimiento

El estudio se realizó durante una temporada. Los sujetos realizaron una prueba de esfuerzo máxima y progresiva durante el período de precompetición (febrero) para determinar su VO_{2max} y la FC en la que se identificaron los umbrales ventilatorios (VT) y de compensación respiratoria (RCT). En consecuencia, se analizó la intensidad del ejercicio durante las carreras por montaña en función de la FC (Lucia et al., 2007; Rodríguez-Marroyo et al., 2003, 2009).

3.2.3 Test progresivo

Las condiciones ambientales del laboratorio fueron estables (22 °C y 30 % de humedad relativa) y estandarizadas para todos los sujetos. Todas las pruebas fueron precedidas por un calentamiento de 10 minutos de carrera a 9 - 12 km/h y estiramiento libre durante 5 minutos. Se recomendó a los corredores tener una sesión de entrenamiento ligero el día anterior y seguir una dieta rica en carbohidratos. La prueba se realizó en un tapiz rodante (h/p/cosmos pulsar, h/p/cosmos sports y medical GMBH, Nussdorf-Traunstein, Germany) con un 1 % de pendiente (Jones y Doust, 1996). La velocidad inicial fue de 6 km/h y se incrementó 1 km/h cada minuto hasta el agotamiento. La velocidad máxima se determinó como la velocidad más alta mantenida para una etapa completa más la velocidad interpolada de las etapas incompletas (Kuipers et al., 1985). La respuesta de FC se midió teleméricamente cada 5 s (Polar Vantage NV, Polar Electro Oy, Kempele, Finland) y el intercambio de gases respiratorios se midió continuamente respiración por respiración (Medisoft Ergocard, Medisoft Group, Sorinnes, Belgium). El VO_{2max} y la FC máxima se registraron como los valores más altos obtenidos durante los últimos 30 s antes del agotamiento. El VT y el RCT se identificaron de acuerdo con los siguientes criterios (Davis, 1985): aumento tanto del VE/VO_2 y $PETO_2$ sin aumento acompañado de VE/VCO_2

para VT, y un aumento en ambos VE/VO y VE/VCO₂ y una disminución de PETCO₂ para RCT.

3.2.4 Carreras por montaña

Durante el período de competición (abril - agosto), se registró la FC utilizando el GPS de los corredores (Garmin Foreruner 405, Garmin International Inc., Olathe, EE. UU.; Suunto Ambit2 S, Suunto Oy, Vantaa, Finlandia) en diferentes carreras por montaña en con el objeto para analizar la intensidad del ejercicio y la carga de trabajo (TL). Posteriormente, utilizando un software de código abierto (GoldenCheetah, v3.3.0), los datos se analizaron de acuerdo con el tiempo acumulado en diferentes zonas de esfuerzo. Se establecieron tres zonas de intensidad de acuerdo con los valores de referencia de la FC correspondientes al VT y RCT (Lucia et al., 2007; Rodríguez-Marroyo et al., 2003, 2009, 2011): zona 1, debajo del VT (zona de baja intensidad); zona 2, entre TV y RCT (zona de intensidad moderada); y zona 3, por encima de RCT (zona de alta intensidad). Estas zonas se usaron para determinar la TL multiplicando el tiempo pasado en la zona 1, 2 y 3 por las constantes 1, 2 y 3, respectivamente. La puntuación total se obtuvo sumando los resultados de las 3 zonas (Foster et al., 2001). Finalmente, el gasto de energía durante las carreras por montaña se calculó por medio de la relación lineal individual entre VO₂ y FC obtenida durante la prueba de ejercicio progresivo. Se supuso un equivalente calórico de 4.875 kcal/IO₂ (Linderman y Laubach, 2004).

Las carreras por montaña se clasificaron en cuatro categorías, según las principales disciplinas de la *International Skyrunning Federation* (<http://www.skyrunning.com/rules/>), dependiendo de su distancia y desnivel acumulado: kilómetro vertical (KMV; carrera cuesta arriba, ~5 km y desnivel acumulado positivo de 1000 m), carrera de 10 – 25 km (carrera corta cuesta arriba/cuesta abajo, ~20 km y ~1000 m de desnivel acumulado positivo),

carrera de 25 – 45 km (carrera larga cuesta arriba/cuesta abajo, ~30 km y ~2000 m de desnivel acumulado positivo) y >45 km de carrera (carrera de ultramaratón cuesta arriba/cuesta abajo, ~3000 m de desnivel acumulado positivo). Los corredores compitieron principalmente en carreras de 10 – 45 km y participaron en al menos un KMV y una carrera de >45 km.

3.2.5 Análisis estadístico

Los resultados se expresan como media \pm desviación estándar (DE). La suposición de normalidad se verificó mediante la prueba de Shapiro-Wilk. Los datos se analizaron mediante un análisis de varianza (ANOVA) con medidas repetidas. El análisis post hoc de Bonferroni se utilizó para establecer diferencias significativas entre las medias. Los valores para $p < 0.05$ se consideraron estadísticamente significativos. La relación entre variables se determinó utilizando el coeficiente de correlación de Pearson (r). Se utilizó el software estadístico SPSS + v15.0 (Chicago, IL).

3.3. Resultados

Las características fisiológicas de los sujetos y las principales características de las carreras por montaña analizadas en este estudio se presentan en la Tabla 5 y 6, respectivamente. El tiempo total de carrera fue significativamente ($p < 0.05$) diferente (Tabla 6). La altitud acumulada y el cambio de altitud tanto positivo como negativo aumentaron con la duración de las carreras.

Tabla 5. Características fisiológicas de los sujetos

	media \pm DE
VO _{2max} (ml/kg/min)	59.3 \pm 5.5
FC _{max} (ppm)	186 \pm 9
VO ₂ RCT (ml/kg/min)	49.3 \pm 6.1
% VO _{2max} RCT	83.0 \pm 4.5
FC RCT (ppm)	167 \pm 9
VO ₂ VT (ml/kg/min)	36.4 \pm 3.4
% VO _{2max} VT	61.5 \pm 3.8
FC VT (ppm)	140 \pm 7

VO_{2max}, consumo máximo de oxígeno; FC_{max}, frecuencia cardíaca máxima; RCT, umbral de compensación respiratoria; VT, umbral ventilatorio; % VO_{2max}, porcentaje del VO_{2max} al que se identifica el RCT y el VT.

La FC máxima fue similar entre las diferentes carreras (181 \pm 9 ppm). Sin embargo, hubo diferencias significativas ($p < 0.05$) en la FC media entre KMV (171 \pm 13 ppm, 91.7 \pm 4.0 % de la FC máxima) y las carreras de 10 – 25 km (166 \pm 9 ppm, 89.5 \pm 4.3 % de la FC máxima) frente a las carreras de 25 – 45 km (155 \pm 12 ppm, 84.0 \pm 7.7 % de FC máxima) y las carreras >45 km (147 \pm 6 ppm, 78.6 \pm 3.8 % de FC máxima).

Tabla 6. Descripción de las características de las carreras por montaña (media \pm DE)

	KMV	10 – 25 km	25 – 45 km	>45 km
Tiempo (min)	50.9 \pm 7.4 ‡*	132.4 \pm 64.5 ‡*	230.3 \pm 52.9*	492.8 \pm 157.9
Distancia (km)	6.7 \pm 1.4 †‡*	20.1 \pm 4.1 ‡*	29.7 \pm 4.6*	67.4 \pm 15.3
Desnivel acumulado (m)	1043.4 \pm 82.6 ‡*	2020.9 \pm 524.8 ‡*	3596.5 \pm 593.9*	6411.4 \pm 2155.9
Desnivel positivo (m)	992.6 \pm 40.5 ‡*	1068.8 \pm 302.0 ‡*	1784.0 \pm 215.9*	3244.6 \pm 1123.4
Desnivel negativo (m)	51.0 \pm 38.1 §†‡*	1052.4 \pm 355.3 ‡*	1812.4 \pm 236.1*	3166.8 \pm 1035.9
Altitud máxima (m)	2055.3 \pm 131.1	1407.6 \pm 589.8*	1752.2 \pm 288.5	2188.6 \pm 347.3
Altitud mínima (m)	1107.0 \pm 133.4	762.2 \pm 424.0	862.6 \pm 191.1	487.6 \pm 342.9

KMV, kilómetro vertical. †, diferencia significativa con 10 – 25 km ($p < 0.05$). ‡, diferencia significativa con 25 – 45 km ($p < 0.05$). *, diferencia significativa con >45 km ($p < 0.05$).

El porcentaje de tiempo y el tiempo pasado en la zona 1 aumentó con la distancia de las carreras por montaña (Figuras 3 y 4). De manera similar, el porcentaje de tiempo más alto ($p < 0.05$) (Figura 3) y tiempo en zona 2 en carreras >45 km (Figura 4). Aunque se obtuvo un porcentaje de tiempo mayor en la zona 3 en KMV ($p < 0.05$) (Figura 3), cuando se analizó el tiempo dedicado a la intensidad de este ejercicio no se observaron diferencias significativas entre los diferentes tipos de carreras (Figura 4).

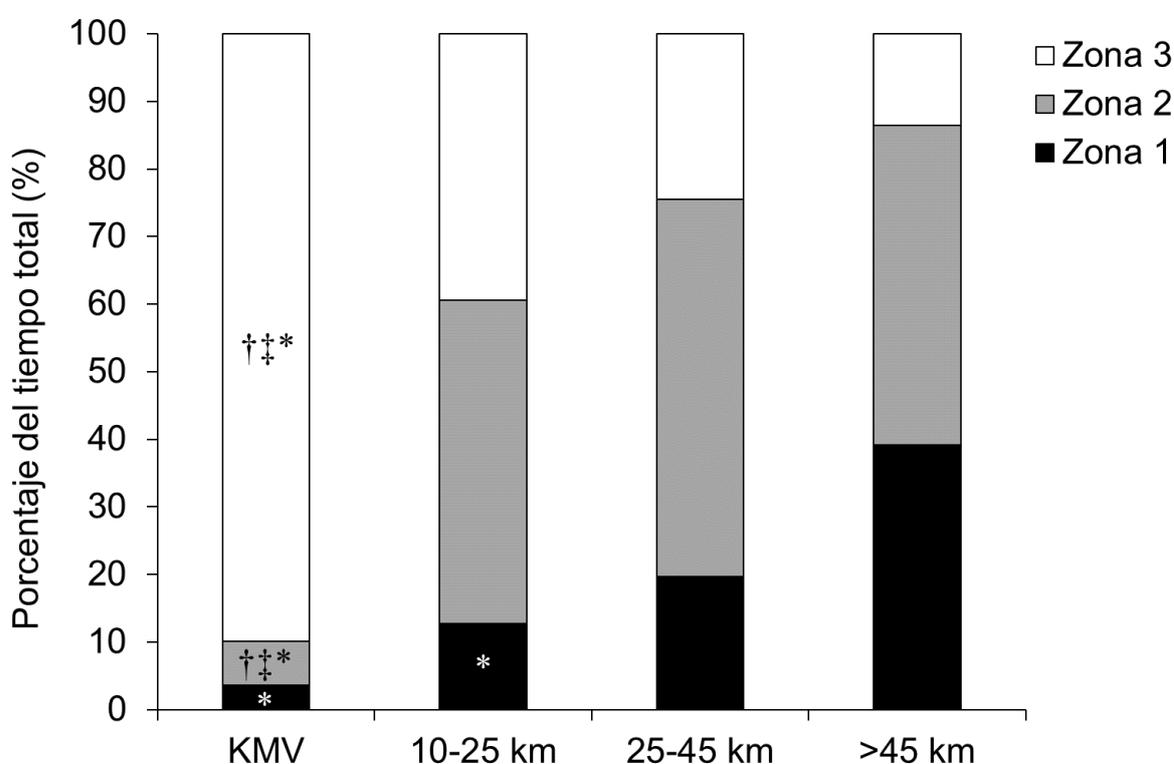


Figura 3. Porcentaje del tiempo de prueba en la que los sujetos permanecieron en las zonas de intensidad analizadas. Valores expresados como media \pm DE. Zona 1, intensidad del ejercicio por debajo del umbral respiratorio (VT); Zona 2, intensidad del ejercicio entre el VT y el umbral de compensación respiratoria (RCT); Zona 3, intensidad del ejercicio por encima RCT; KMV, kilómetro vertical. †, diferencia significativa con 10 – 25 km ($p < 0.05$). ‡, diferencia significativa con 25 – 45 km ($p < 0.05$). *, diferencia significativa con >45 km ($p < 0.05$).

Tabla 7. Carga de trabajo (TL) analizada en función de la distancia de la competición (media \pm DE)

	TL (AU)	TL·min ⁻¹ (AU·min ⁻¹)	TL·AAG ⁻¹ (AU·m ⁻¹)
KMV	145.0 \pm 18.4 †‡*	2.9 \pm 0.1‡*	0.16 \pm 0.01
10 - 25 km	288.8 \pm 72.5‡*	2.3 \pm 0.3*	0.17 \pm 0.03
25 - 45 km	467.3 \pm 109.9*	2.0 \pm 0.3	0.15 \pm 0.03
>45 km	820.8 \pm 147.0	1.7 \pm 0.4	0.15 \pm 0.03

KMV, kilómetro vertical; AU, unidades arbitrarias; AAG, ganancia de altitud acumulada. †, diferencia significativa con 10 – 25 km ($p < 0.05$). ‡, diferencia significativa con 25 – 45 km ($p < 0.05$). *, diferencia significativa con >45 km ($p < 0.05$).

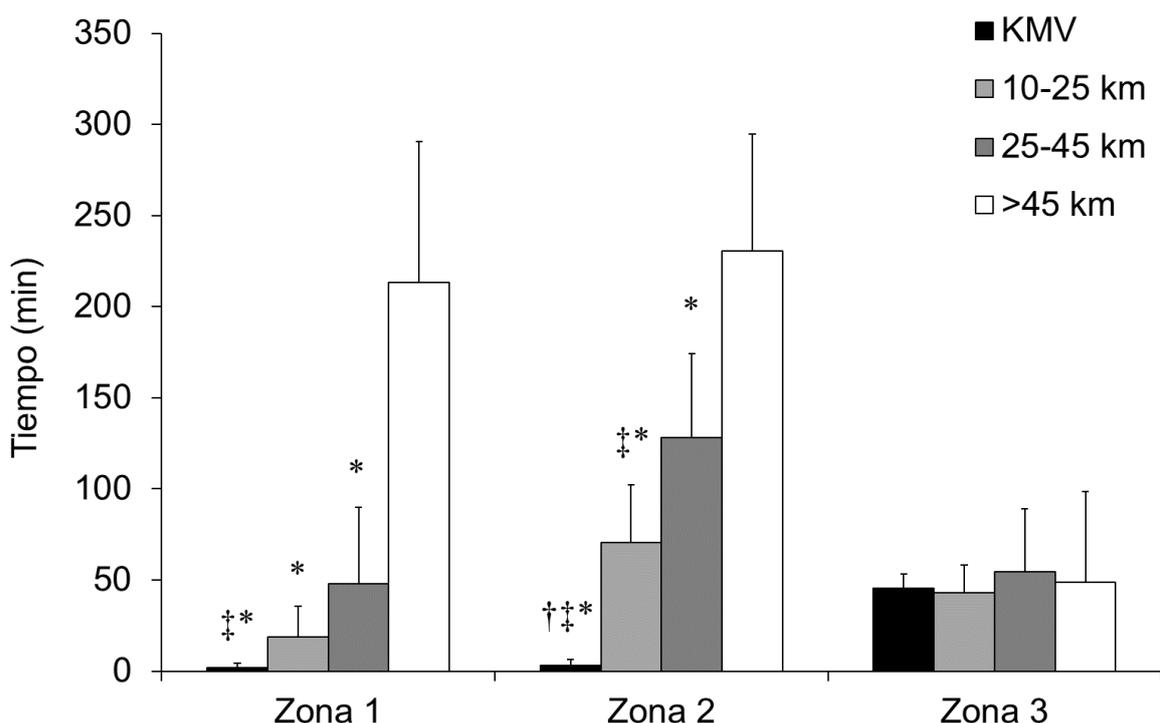


Figura 4. Tiempo medio transcurrido por debajo del umbral ventilatorio (Zona 1), entre los umbrales ventilatorio y de compensación respiratoria (Zona 2) y por encima del umbral de compensación respiratoria (Zona 3). Valores son media \pm DE. KMV, kilómetro vertical. †, diferencia significativa con 10 – 25 km ($p < 0.05$). ‡, diferencia significativa con 25 – 45 km ($p < 0.05$). *, diferencia significativa con >45 km ($p < 0.05$).

La TL absoluta fue significativamente mayor ($p < 0.05$) durante las carreras por montaña más largas (Tabla 7). Sin embargo, cuando la TL se normalizó por el tiempo de esfuerzo, se encontró un valor mayor ($p < 0.05$) en carreras más cortas. Finalmente, la relación entre TL y el desnivel acumulado máximo fue similar en todas las carreras (Tabla 7).

El gasto de energía estimado aumentó significativamente ($p < 0.05$) en el siguiente orden en función del tipo de carrera: KMV (886.2 ± 145.4 kcal), 10 – 25 km (2169.9 ± 1004.6 kcal), 25 – 45 km (3456.4 ± 905.0 kcal) y >45 km (6736.1 ± 1143.6 kcal). El gasto de energía por hora fue mayor en las carreras KMV (1050.0 ± 159.0 kcal/h) y 10 – 25 km (1004.2 ± 89.2 kcal/h) que 25 – 45 km (903.8 ± 162.9 kcal/h) y >45 km (820.6 ± 46.5 kcal/h). El tiempo de carrera se correlacionó con el porcentaje de tiempo que pasó en la zona 1 ($r = 0.49$, $p < 0.001$), zona 2 ($r = 0.35$, $p < 0.01$) y zona 3 ($r = -0.60$, $p < 0.001$) y con el tiempo pasado en la zona 1 ($r = 0.80$, $p < 0.001$) y zona 2 ($r = 0.84$, $p < 0.001$). Además, se encontraron relaciones negativas ($p < 0.001$) entre el tiempo de carrera con la TL normalizado por el tiempo de esfuerzo ($r = -0.64$) y el gasto de energía por hora ($r = -0.50$).

3.4. Discusión

Hay pocos estudios que analicen la intensidad del ejercicio durante las carreras por montaña (Clemente-Suárez, 2015; Fornasiero et al., 2018; Ramos-Campo et al., 2016). Hasta la fecha, estos estudios se han centrado en las carreras más exigentes, como los ultramaratones por montaña (Clemente-Suárez, 2015; Fornasiero et al., 2018; Ramos-Campo et al., 2016). Hasta donde sabemos, el presente estudio es el primero en analizar las demandas fisiológicas de las carreras por montaña en diferentes distancias. Como se ha demostrado anteriormente, la distribución de la

intensidad del ejercicio está condicionada por la duración de las carreras (Rodríguez-Marroyo et al., 2009, 2012). Un mayor porcentaje de tiempo pasado en la zona 1 y un menor porcentaje en la zona 3 fueron encontrados en carreras más largas (Figura 3). Posiblemente, la fatiga acumulada en el transcurso de las carreras más largas condicionó el rendimiento de los atletas en zonas de alta intensidad (Barrero et al., 2014; Rodríguez-Marroyo et al., 2009, 2011). En este sentido, se ha documentado el efecto de competir en un ultramaratón de montaña en el músculo de la pierna (Clemente-Suárez, 2015; Ramos-Campo et al., 2016; Saugy et al., 2013), músculo respiratorio (Vernillo et al., 2015; Wüthrich et al., 2015) y fatiga cardíaca (Neumayr et al., 2001; Ramos-Campo et al., 2016). En conjunto, estos factores podrían haber llevado a una disminución de la FC durante las carreras más largas. Podría pensarse que el aumento en el desnivel positivo acumulado asociado con carreras más largas (Tabla 6) conduciría a una mayor respuesta de FC (Barrero et al., 2014). Sin embargo, correr cuesta abajo podría haber acentuado el daño muscular de los sujetos (Giandolini, Vernillo, et al., 2016; Saugy et al., 2013), lo que limita su capacidad para mantener altas intensidades.

La intensidad del ejercicio analizada (>90 % de la FC máxima) durante los KMV fue similar a la obtenida durante las carreras de 10 min a 1 h, como el cross (Esteve-Lanao et al., 2005) o carreras de 10 km (Weston et al., 2000) y durante una competición de orientación simulada (Smekal et al., 2003). Se ha observado cómo los deportistas pasan por encima del RCT la mayor parte de la duración de la competición durante este tipo de eventos (Esteve-Lanao et al., 2005; Weston et al., 2000). Recientemente, se ha observado (Ehrström, Tartaruga, et al., 2018) una intensidad de ejercicio media durante una carrera por montaña de 27 km (~89 % de la FC máxima) muy cercana a la analizada en este estudio. Del mismo modo, los valores medios de FC encontrados durante las carreras >45 km estaban de acuerdo con investigaciones anteriores sobre carreras de ultramaratón (Fornasiero et al.,

2018; Ramos-Campo et al., 2016) o eventos de ultraresistencia (Barrero et al., 2014; Neumayr et al., 2002). Se han informado valores medios de ~82 y ~77 % de la FC máxima durante las carreras por montaña de 54 y 65 km, respectivamente (Fornasiero et al., 2018; Ramos-Campo et al., 2016). Estos datos fueron superiores a los analizados anteriormente por Clemente-Suárez (2015) (~64 % de la FC máxima) durante una carrera por montaña de 54 km y 6441 m de desnivel acumulado de altitud. Posiblemente, se debió al menor nivel competitivo de los sujetos de ese estudio. Neumayr y col. (2002) obtuvieron una relación negativa ($r = -0.73$) entre el tiempo de carrera y el porcentaje de FC máxima durante un evento de ciclismo de ultraresistencia (230 km, ~10 h). Del mismo modo, los resultados de este estudio mostraron la relación entre el rendimiento en las carreras y el esfuerzo realizado a alta intensidad.

La distribución de la intensidad del ejercicio obtenida en el estudio actual (Figura 3) durante la carrera de >45 km fue muy diferente de la descrita anteriormente durante una carrera por montaña de 65 km (Fornasiero et al., 2018). Encontramos porcentajes de tiempo más altos en las zonas 2 y 3 que los analizados por Fornasiero et al. (2017) (~47 vs. ~14 % y ~14 vs. ~0.5 %, respectivamente). Posiblemente, el alto nivel de rendimiento de cuatro sujetos involucrados en este estudio pudo determinar nuestros resultados. La mayor capacidad para realizar a altas intensidades de ejercicio se ha analizado previamente en atletas exitosos (Neumayr et al., 2002; Rodríguez-Marroyo et al., 2003). Además, se puede especular que las demandas técnicas de la ruta de alta montaña (Clemente-Suárez, 2015) o el mayor desnivel acumulado en este estudio (6400 vs. 4000 m) podrían aumentar la respuesta metabólica de los sujetos (Giandolini, Vernillo, et al., 2016). Finalmente, la prueba específica de test incremental en pendiente positiva utilizada por Fornasiero et al. (2017) para evaluar los umbrales ventilatorios podría conducir a un desplazamiento hacia la derecha de estos marcadores fisiológicos y, en consecuencia, analizar una mayor intensidad del ejercicio

en la zona 1. De hecho, el VT y el RCT se identificaron en ~80 y ~91 % del VO_{2max} en los corredores populares que participaron en ese estudio (Fornasiero et al., 2018). Los umbrales ventilatorios se han determinado previamente ~70 y ~90 % y de VO_{2max} en ciclistas profesionales de élite (Lucia et al., 2007) y ~65 y ~85 % de VO_{2max} en atletas subélite como ciclistas profesionales (Rodríguez-Marroyo et al., 2003, 2009) y corredores de media distancia (Esteve-Lanao et al., 2005).

Un hallazgo notable de este estudio fue el tiempo total similar en la zona 3 (~50 min) entre las diferentes modalidades de carreras (Figura 4). Este resultado fue coincidente con el encontrado por Ramos-Campo et al. (2016) durante un ultramaratón por montaña (~50 min, ~13 % del tiempo de carrera) cuando se analizó una zona de intensidad >90 % de la reserva de FC, que podría considerarse similar a la zona 3. Estos datos podrían sugerir la existencia de un patrón óptimo de esfuerzo en alta intensidad para optimizar el rendimiento en corredores por montaña. Se ha especulado que los sujetos podrían regular inconscientemente su esfuerzo para rendir ventajosamente (Ulmer, 1996). La existencia de este fenómeno estaría respaldada por el relativo a la TL analizada en este estudio (Tabla 7). Por lo tanto, los corredores por montaña regularían su esfuerzo durante las carreras para no exceder un límite superior de aproximadamente 0.16 UA por metro de desnivel acumulado.

Las TL registradas en este estudio en KMV y carreras de 10 – 25 km, 25 – 45 km y >45 km pueden compararse con las analizadas en ciclistas profesionales durante la contrarreloj, las etapas planas o de montaña, respectivamente (Rodríguez-Marroyo et al., 2009). Por otro lado, recientemente se analizó un TL de ~750 UA durante una carrera por montaña de 65 km (Fornasiero et al., 2018). Estos datos reflejan las altas demandas realizadas durante los eventos de carreras por montaña, principalmente en carreras >25 km (Tabla 7). La TL obtenido en estas carreras representaba la carga de entrenamiento semanal de corredores de

resistencia subélite bien entrenados (~365 UA) (Esteve-Lanao et al., 2005) o corredores de élite de Kenia (~800 UA) (Billat et al., 2003). Encontramos diferencias significativas en TL/min entre <25 km versus >25 km de carreras, con la mayor tasa de acumulación de TL que refleja la mayor intensidad durante las carreras relativamente más cortas. Se observó el mismo patrón cuando se analizó el gasto de energía por hora. Resultados similares (700 – 800 kcal/h) a los encontrados en carreras de >25 km se informaron previamente en ultramaratones por montaña (Clemente-Suárez, 2015; Ramos-Campo et al., 2016).

La estimación de la intensidad del ejercicio en función de la FC puede presentar diferentes limitaciones. Factores fisiológicos (e.g., estado de hidratación, agotamiento de glucógeno) y ambientales (e.g., altitud, temperatura) pueden aumentar las respuestas de FC durante el ejercicio (Achten y Jeukendrup, 2003). En consecuencia, la intensidad del esfuerzo realizada por nuestros sujetos podría haberse sobreestimado. Un balance energético negativo (Clemente-Suárez, 2015; Ramos-Campo et al., 2016) y una ingesta insuficiente de carbohidratos (Clemente-Suárez, 2015; Martínez et al., 2018) durante los ultramaratones de montaña han sido bien documentados. Esto podría causar hipoglucemia y agotamiento del glucógeno durante la última parte de las carreras más largas (Clemente-Suárez, 2015). Sin embargo, otros factores como el estado de hidratación o la altitud podrían haber tenido menos efecto sobre la FC. Se ha demostrado anteriormente que debajo de ~2000 m la altitud no parece tener una influencia significativa en la FC (Rodríguez-Marroyo et al., 2003). Asimismo, la ingesta de líquidos durante las carreras por montaña parece ser adecuada para prevenir la deshidratación (Martínez et al., 2018). Finalmente, un inconveniente metodológico de este estudio fue realizar una prueba de esfuerzo incremental única para analizar la intensidad del ejercicio durante el período de competición. En este sentido, se ha observado la estabilidad

de los valores de FC correspondientes a VT y RCT a lo largo del tiempo en atletas de resistencia (Rodríguez-Marroyo et al., 2011).

3.5. Conclusiones

En conclusión, el presente estudio muestra que las carreras por montaña son muy exigentes y que su intensidad y carga de ejercicio están relacionadas con la duración total de la carrera. Sin embargo, se observó un tiempo similar por encima del RCT durante todas las carreras por montaña (~50 min). Creemos que los corredores regulan su esfuerzo en alta intensidad para optimizar su rendimiento. Apoyando esta hipótesis, se obtuvo un límite superior de ~0.16 UA por metro de desnivel positivo acumulado durante todas las carreras. Aunque las cargas de competición más altas se encontraron en carreras de mayor duración, el ritmo de esfuerzo fue diferente entre <25 km (~2.5 AU·min⁻¹) frente >25 km (~2.0 AU·min⁻¹). Finalmente, los datos de este estudio pueden proporcionar información útil y práctica sobre la cual basar los programas de entrenamiento de los corredores por montaña. Además, el gasto de energía estimado en esta investigación podría ayudar a desarrollar planes nutricionales para la recuperación posterior a la carrera o para promover cambios en la composición corporal.



4. SEGUNDO ESTUDIO

Análisis de la escala de resiliencia en
corredores por montaña

4.1. Introducción

El concepto de resiliencia se refiere a las habilidades personales que permiten un funcionamiento saludable en la adaptación a un contexto adverso o a un acontecimiento disruptivo en la vida diaria (Connor y Davidson, 2003); conceptualizándose como la capacidad de adaptación individual al estrés, a los traumas o a la imprevisibilidad (Windle et al., 2011). Los primeros estudios sobre la resiliencia fueron llevados a cabo con niños que presentaban riesgo de esquizofrenia o situaciones muy adversas. El objetivo de estos estudios fue conocer el origen y el posible riesgo de desarrollar alguna psicopatología (Becoña, 2006). Otros estudios llevados a cabo en el ámbito de la resiliencia se han centrado, mayoritariamente, en adultos, familias y comunidades que han sido expuestas a circunstancias estresantes y que han tenido que reaccionar a eventos potencialmente traumáticos en sus vidas (García et al., 2014). Las personas con un alto nivel de resiliencia se adaptan con mayor éxito a una situación de estrés con respecto a aquellas con niveles más bajos (Becoña, 2006).

Si bien este constructo ha sido investigado ampliamente en una variedad de campos, como la psicología clínica y general, no ha existido tanto interés por parte de profesionales especializados en el rendimiento deportivo, lo cual es llamativo, ya que la adversidad y el estrés (en formas agudas y crónicas) son comunes en este contexto. La resiliencia es un aspecto importante dentro del contexto deportivo, que sin embargo, aún no ha sido estudiada de forma sistemática en este ámbito (Bretón et al., 2016). En el ámbito del deporte se ha demostrado que la resiliencia tiene una correlación positiva con el logro deportivo y el bienestar psicológico (Hosseini y Besharat, 2010), además de guardar relación con variables tales como los niveles de estrés-recuperación de los deportistas durante la competición (García et al., 2014). El estudio de la resiliencia podría suponer un avance en la mejora de la planificación y organización del entrenamiento y en el rendimiento competitivo del deportista. Los instrumentos más utilizados para llevar a cabo

estudios sobre resiliencia en el ámbito del deporte han sido la Resilience Scale (RS; Wagnild y Young, 1993) y la Connor-Davidson Resilience Scale (CD-RISC; Connor y Davison, 2003).

Diversos estudios han analizado el perfil resiliente en el ámbito del deporte mediante el uso de la Resilience Scale (RS; Wagnild y Young, 1993). Así, se ha utilizado en jóvenes futbolistas (Ruiz et al., 2012), deportistas con discapacidad física (Cardoso y Sacomori, 2014), judocas de competición (Reche et al., 2014), esgrimistas (Reche y Ortín, 2013) ex-deportistas (Cevada et al., 2012) y jugadoras de hockey sobre hierba (Vallarino y Reche, 2016), siendo adaptada al español con una muestra de jugadores de fútbol (Ruiz et al., 2012).

Hasta dónde se sabe, ningún otro estudio ha analizado la resiliencia en corredores por montaña, la cual podría condicionar su rendimiento debido a las características de las competiciones. Recientemente, se ha informado de las altas exigencias fisiológicas que conlleva la práctica de las carreras por montaña, dada la existencia de una amplia variedad de pruebas con duraciones que van desde menos de una hora (e.g., kilómetros verticales) hasta más de catorce horas de competición (e.g., ultra-maratones) tal y como han recogido diferentes estudios (Björklund et al., 2019; Clemente-Suárez, 2015; Rodríguez-Marroyo et al., 2018). Además de las dificultades orográficas (e.g., ganancia y pérdida de altura) que tienen que salvar los participantes su rendimiento se ve afectado por las condiciones ambientales como la temperatura y la altitud que pueden llegar a ser muy cambiantes a lo largo de la carrera y entre las carreras (Rodríguez-Marroyo et al., 2018). Bajo estas circunstancias, la competición supone un alto grado de estrés sobre los participantes, entre otras causas debido a la fatiga y el daño muscular que van acumulando (Björklund et al., 2019; Clemente-Suárez, 2015; Fornasiero et al., 2018; Martínez et al., 2018).

4.2. Objetivos

Por todo ello, los objetivos específicos del presente estudio fueron:

- Analizar la estructura factorial de la escala RS propuesta por Wagnild y Young (1993) adaptada al español (Ruiz et al., 2012).
- Describir los niveles de resiliencia en una muestra española de corredores por montaña.

4.3. Metodología

4.3.1. Participantes

La muestra obtenida por conveniencia estuvo formada por 400 corredores por montaña, donde el 17 % se correspondió a mujeres participantes en carreras por montaña oficiales de la Federación de Deportes de Montaña, Escalada y Senderismo de Castilla y León durante la temporada 2018. Las edades estuvieron comprendidas entre los 20 y los 60 años ($M = 38.70$; $DS = 7.40$). Se muestran las características en la Tabla 8.

Tabla 8. Distribución de la muestra por sexo y edad

	Mujeres	Hombres	Total
Frecuencia	67	333	400
Válido (%)	17	83	100
Media (edad)	37.39	38.97	38.70
Desv. estándar	7.86	7.29	7.40
Asimetría	0.11	-0.03	-0.02
Curtosis	-0.34	0.13	0.01

4.3.2. Procedimiento

La recogida de los datos se realizó mediante el envío a todos los participantes de un formulario on-line a través de correo electrónico. La participación en el estudio fue totalmente voluntaria, garantizando en todo momento el anonimato y la confidencialidad.

4.3.3. Instrumento

Se utilizó la escala RS de Wagnild y Young (1993) adaptada al español (Ruiz et al., 2012) (Anexo 8.1). La escala evalúa el grado de resiliencia individual como una característica de la personalidad que favorecería su adaptación ante situaciones adversas, moderando el efecto negativo al estrés y fomentando su adaptación. Consta de un total de 25 ítems escritos de forma positiva, los cuales son valorados del 1 (muy en desacuerdo) al 7 (muy de acuerdo), oscilando las puntuaciones de los 25 a los 175 puntos. Se considera que una persona tiene una alta resiliencia a partir de puntuaciones iguales o superiores a 147. La RS estaría estructurada a partir de dos factores, uno denominado “competencia personal” compuesto por 17 ítems y otro factor denominado “aceptación de uno mismo y de la vida” que comprendería los 8 ítems restantes.

4.3.4. Análisis estadístico

Se llevó a cabo un análisis de la estructura factorial de la escala en una muestra de corredores por montaña españoles mediante una validación cruzada. Primero, se realizó un (AFE), sobre una submuestra de 200 participantes, para estudiar la correlación de los ítems y de los posibles factores existentes. Dado que se ha detectado que en muestras de habla hispana o cultura mediterránea varios ítems muestran un mal ajuste (Castilla

et al., 2017; Rodríguez et al., 2009; Trigueros et al., 2017). A partir de los resultados del análisis paralelo (Figura 5) se hipotetizó que modelo podría ajustarse mejor según los datos. Posteriormente, se pusieron a prueba varios modelos factoriales mediante análisis factorial confirmatorio (AFC). Se estimó el ajuste de cuatro modelos AFC-Unidimensional, AFC con dos factores correlacionados, AFC con tres factores correlacionados y AFC con cuatro factores correlacionados y se comprobó el grado de adhesión de cada ítem a su factor a través de la matriz de configuración, además de analizar el porcentaje de varianza total explicada y la fiabilidad mediante el alfa de Cronbach.

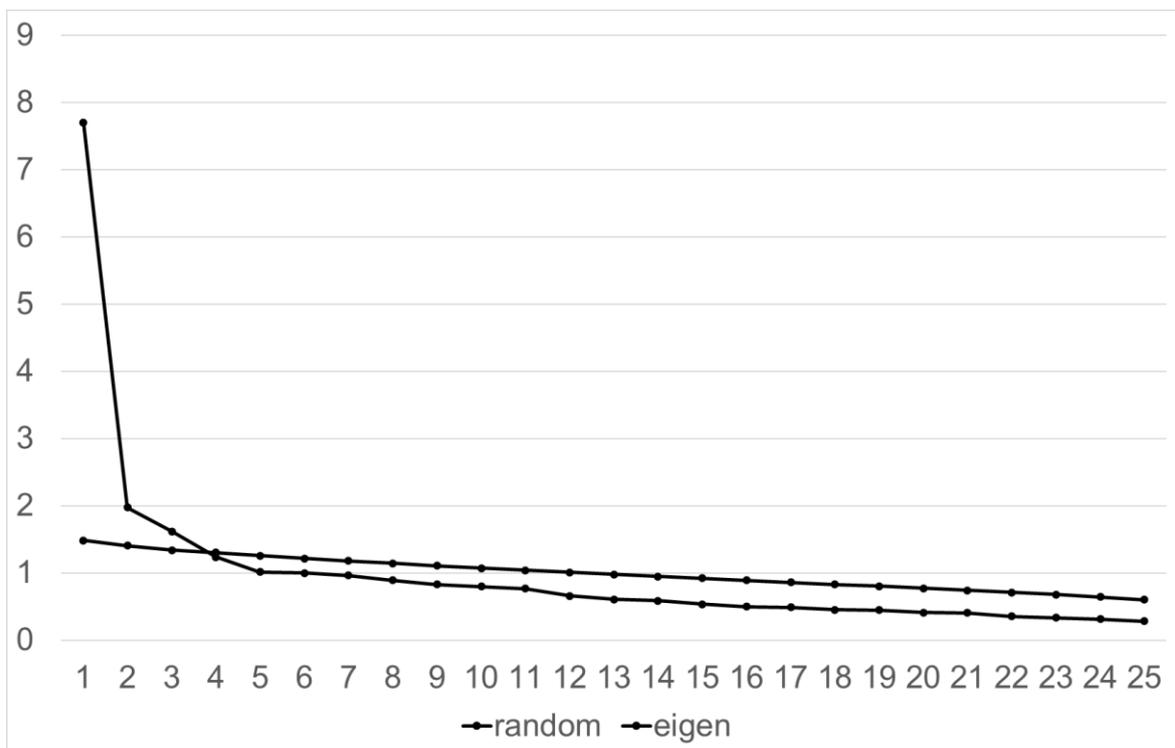


Figura 5. Análisis de datos paralelos

El análisis de los datos fue llevado a cabo mediante el programa FACTOR v.9.2 (Lorenzo-Seva y Ferrando, 2013). La adecuación muestral

para el análisis factorial se evaluó con el índice Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) y la prueba de esfericidad de Bartlett. Se usaron correlaciones policóricas y se utilizó Classical Parallel Analysis para determinar el número de dimensiones, lo que permitió seleccionar los componentes o factores comunes que presentaban valores propios mayores que los que se obtendrían por azar (Horn, 1965). El método de extracción fue mínimos cuadrados no ponderados, recomendado para variables categóricas. Se trata de un método de estimación de parámetros donde no se establece que las variables observables deban seguir una distribución determinada, lo que permite minimizar la suma de los cuadrados de las diferencias entre las matrices de correlación observadas y reproducidas, en vez de usar la matriz reducida como input, con las comunalidades estimadas en la diagonal (Batista-Foguet y Coenders, 2000; Flora et al., 2012). Además, este método se llevó a cabo con una rotación promax, dado que se hipotetiza que los factores están correlacionados. La comparación del nivel de resiliencia según el sexo de los corredores se realizó mediante la t de Student para muestras independientes.

4.4. Resultados

4.4.1. Análisis factorial exploratorio

Con el objetivo de determinar las propiedades psicométricas de la escala RS en corredores por montaña, se procedió al estudio de este instrumento atendiendo a los parámetros de validación usados en el estudio original (Resnick y Inguito, 2011). Los datos resultaron adecuados para el AFE (KMO = 0.918; χ^2 de Bartlett = 3187.4; $p = 0.000$). Para calcular el número posible de factores existentes se utilizó la representación de los autovalores de la matriz de correlaciones originales extraídos mediante mínimos cuadrados no ponderados y el programa Monte Carlo PCA for

Parallel Analysis para calcular los criterios de análisis paralelo (random value). En este caso, se determinaron tres factores como los necesarios para poder explicar el modelo factorial (Figura 5). Los resultados arrojados por el AFE mostraron hasta seis posibles factores. Sin embargo, los resultados de esta prueba fueron descartados ya que, en algunos casos, la carga factorial de los ítems era escasa y correlacionaba con más de un factor, lo cual dificultaba su interpretación teórica. Por otro lado, y teniendo en cuenta la Figura 5, se realizó un AFE con el modelo de tres factores correlacionados el cual se hipotetizó que mostraría el mejor ajuste. Se observó qué variables eran peor explicadas por el modelo, como es el caso de los ítems 8, 11, 20, 22 y 25; las cuales mostraron un bajo índice de correlación en todos los factores (inferior a 0.30), así como las que mostraron una alta correlación en dos factores distintos (ítems 3 y 21) (Tabla 9).

Tabla 9. Cargas Factoriales AFE 3 factores

Variable	F1	F2	F3
V1	0.018	0.647	0.016
V2	0.091	0.020	0.561
V3	- 0.324	0.159	0.735
V4	0.339	0.101	0.128
V5	- 0.003	0.021	0.856
V6	0.350	0.081	0.208
V7	0.136	0.167	0.351
V8	0.106	- 0.004	0.027
V9	0.071	0.034	0.715
V10	0.574	0.041	0.119
V11	0.114	- 0.044	0.216
V12	- 0.109	0.677	0.183
V13	0.102	0.113	0.576
V14	- 0.035	0.761	- 0.081
V15	0.123	0.687	- 0.076
V16	0.891	- 0.081	- 0.170
V17	0.658	- 0.092	0.148
V18	0.224	- 0.058	0.445
V19	0.266	- 0.194	0.486
V20	- 0.059	- 0.196	0.128
V21	0.759	0.200	- 0.407
V22	- 0.018	- 0.021	0.277
V23	0.044	- 0.102	0.580
V24	0.521	0.139	0.133
V25	0.225	- 0.020	0.149

Método de extracción: mínimos cuadrados no ponderados. Método de rotación: promax.

4.4.2. Análisis factorial confirmatorio

Una vez observados los datos del AFE y tomando en cuenta la tabla de saturaciones (Tabla 9), se decidió suprimir los cinco ítems que mostraban una correlación inferior a 0.30 a la hora de realizar los análisis AFC. Fue el caso de los ítems 8, 11, 20, 22 y 25. Según los resultados del análisis paralelo (Figura 5), para la submuestra analizada mediante AFE, se requeriría de un modelo de tres factores correlacionados, como aquel que se adecuase mejor a la representación los datos. Por tanto, para comprobar este supuesto, se pusieron a prueba cuatro modelos: uni, bi, tri y cuadrimensional mediante AFC en la otra submuestra; siendo el tridimensional aquel que mostró el mejor ajuste, según lo esperado (Tabla 10). En este modelo, los factores quedaron bien definidos, aunque hay que tener en cuenta las posibles cargas cruzadas por las cuales dos ítems pudieran interferir en más de una dimensión: la variable V3 (perteneciente a F2) que correlacionó de manera negativa con F1 y la variable V21 (perteneciente a F1) que cargó también en F3, según los datos anteriormente descritos por el AFE. Se podría considerar que la solución de tres factores reflejó más adecuadamente la estructura factorial de la escala en esta muestra de corredores por montaña.

A tenor de los resultados de este análisis factorial, se logró explicar el 55.56 % de la varianza. En la Tabla 11 se muestra un listado de autovalores de la matriz de varianzas-covarianzas y de los porcentajes de varianza representados en cada uno de ellos. Los autovalores indican la cantidad de la varianza total que está explicada por cada factor y los porcentajes explicados por la varianza asociados a cada factor.

Segundo estudio

Tabla 10. Modelos puestos a prueba

Modelo	Tipo	Estructura	Chi-sq	GI	RMSEA	CFI	TLI	SRMR
M1	AFC	Factor único	526.33	170	0.072	0.966	0.962	0.085
M2	AFC	Dos factores	331.02	151	0.055	0.983	0.979	0.062
M3	AFC	Tres factores	213.30	132	0.040	0.992	0.990	0.050
M4	AFC	Cuatro factores	177.16	116	0.036	0.990	0.989	0.045

RMSEA, Root mean square error of approximation; CFI, Comparative fit index; GFI, Tucker-Lewis index; gl, grados de libertad; SRMR, Standardized Root Mean Square Residual.

Tabla 11. Varianza total explicada

Componentes	Autovalores iniciales			Suma de las saturaciones al cuadrado de la extracción		
	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado
1	7.34	36.72	36.72	7.95	39.73	39.73
2	1.60	7.99	44.72	1.81	9.05	48.78
3	1.45	7.26	51.98	1.36	6.78	55.56

Método de extracción: mínimos cuadrados no ponderados.

Así, el Factor 1 (F1) quedaría constituido por siete ítems (4, 6, 10, 16, 17, 21, 24), explicando el 39.73 % de variación. El Factor 2 (F2) lo formarían cuatro ítems (1, 12, 14, 15) que explicarían el 9.05 % y, por último, el Factor

3 (F3) estaría compuesto por nueve ítems (2, 3, 5, 7, 9, 13, 18, 19, 23), siendo responsable del 6.78 % de la varianza total explicada. La correlación entre factores fue igual a 0.577 entre F1 y F2, 0.662 entre F1 y F3 y 0.473 entre F2 y F3.

También, se evaluó la consistencia interna de la RS con base al índice alfa de Cronbach, el cual arrojó para la escala total un valor de 0.906. Para el Factor 1 el alfa de Cronbach fue de 0.826; para el Factor 2 de 0.735 y para el Factor 3 de 0.836 (Tabla 12). Se observa que los Factores 1 y 3 presentan un alfa de Cronbach aceptable; mientras que el Factor 2, muestra menor consistencia interna. Por tanto, los intervalos de confianza de análisis de consistencia interna indicarían que la RS con 20 ítems y tres factores correlacionados presentaría una confiabilidad elevada, de acuerdo con el procedimiento utilizado, y se adecuaría a los datos aportados por la muestra seleccionada como se observa en la Tabla 12.

Tabla 12. Consistencia interna

	Alfa de Cronbach	Nº de elementos
Factor 1	0.826	7
Factor 2	0.735	4
Factor 3	0.836	9
Total	0.906	20

Por último, en la Tabla 13 se presentan los porcentajes de resiliencia analizados en la muestra general de 400 participantes, donde se observa como las corredoras obtienen un porcentaje ligeramente mayor de alta resiliencia, aunque no se hallaron diferencias significativas entre sexos.

Tabla 13. Distribución con baja y alta resiliencia

	Resiliencia		TOTAL
	Baja	Alta	
Corredoras	41 (61 %)	26 (39 %)	67 (100 %)
Corredores	215 (65 %)	118 (35 %)	333 (100 %)
Total	256 (64 %)	144 (36 %)	400 (100 %)

4.5. Discusión

El presente estudio analizó la estructura factorial y las propiedades psicométricas de la RS (Resnick y Inguito, 2011) en una muestra de corredores por montaña. Para ello, se siguieron los parámetros y criterios de validación utilizados por dichos autores en el estudio original del instrumento, además de los de Trigueros et al. (2017). Respecto a la validez factorial del instrumento, se identificaron en un primer momento hasta seis posibles dimensiones, pero dada la distribución de los ítems y la Figura 5 se consideró finalmente la existencia de tres factores correlacionados desde el punto de vista estadístico y teórico. Los resultados del análisis de las correlaciones bivariadas no mostraron puntuaciones muy altas entre ambos factores, apoyando la validez discriminante entre las diferentes subescalas.

Sin embargo, como ya se señaló anteriormente, hubo cinco ítems que manifestaron una escasa carga factorial (<0.30). Este es el caso de los ítems número 8, 11, 22 y 25 cuyo aporte factorial estaría vinculado al F2 y el ítem 20 que corresponde al F1 de la escala original de Wagnild y Young (1993). Probablemente, este hecho se deba a que los ítems contengan una traducción al español no literal de la original, lo que ha podido resultar como una interpretación del significado primigenio de la variable, llevando a una

comprensión compleja que pueda ser confusa, motivo por el cual esos ítems produzcan una relación baja con el factor. Si bien en la versión portuguesa (Pesce et al., 2005) se modificó también el contenido de tres ítems para facilitar su comprensión y en el caso de la versión argentina (Rodríguez et al., 2009) fueron cuatro, dichos ítems no coincidieron en ambos estudios.

Por otro lado, se analizaron las propiedades psicométricas de la versión española de la RS en una muestra de 315 mujeres (Heilemann et al., 2003). De acuerdo con la escala original, en esta versión fueron hallados dos factores y la consistencia interna arrojó un alfa de Cronbach de 0.93. Sin embargo, identificaron dos ítems complejos: el ítem 11 (“rara vez me pregunto sobre el objetivo de las cosas”) y el ítem 25 (“me siento cómodo si hay gente que no me agrada”). Ambos ítems fueron descartados en este estudio por su baja puntuación. Estos autores encontraron una correlación negativa entre resiliencia y síntomas depresivos. Pesca et al. (2005) realizaron la validación portuguesa del instrumento aplicándolo en una muestra heterogénea de estudiantes. Dichos investigadores hicieron la traducción y adaptación de la RS original al idioma, modificando para facilitar su comprensión el contenido de los ítems 7, 11, y 12. Al igual que en este estudio, en el análisis factorial se hallaron tres factores. El alfa de Cronbach para la muestra total fue de 0.85; inferior que en este caso. Además, encontraron una correlación positiva y significativa entre la capacidad de resiliencia con la autoestima (Rodríguez et al., 2009).

En lo referido al presente trabajo, al revisar el estado de arte de los resultados de la aplicación de la RS, se observó que la versión que mejor ajuste presentaba comprendía 20 ítems, descartando los ítems 8, 11, 20, 22 y 25. En el caso de las variables 8, 20 y 25 ya habrían dado problemas en estudios anteriores (Rodríguez et al., 2009; Rua y Andreu, 2011), lo cual cuestionaría la permanencia de dichos ítems en la escala. La no coincidencia de resultados en el caso de los ítems 11 y 22 puede sugerir que posibles factores culturales interfieran en las poblaciones estudiadas explicando esta

divergencia. Es importante señalar que mientras que en las dos versiones en español de la RS emergen ítems complejos, no ocurre así en las versiones de la escala en inglés y en portugués. Esto podría en parte interpretarse por la traducción de los ítems, lo cual puede implicar ciertas modificaciones en su comprensión.

Al realizar el análisis factorial de la escala, los resultados obtenidos fueron similares a los hallados por Pesce et al. (2005) y Rodríguez et al. (2009) en lo referido a los tres factores emergentes. La RS original distingue dos factores (Resnick y Inguito, 2011), al igual que la versión española de Trigueros et al. (2017). En cambio, en la versión sueca de la escala se extrajeron cinco factores, mientras que en la versión argentina y portuguesa de la escala emergieron tres factores. Por todo esto, sería probable que la influencia de componentes culturales esté condicionando los resultados de la aplicación del instrumento. Si bien el estudio psicométrico que se llevó a cabo nos conduce a eliminar cinco ítems y aunque las conclusiones de este trabajo no sean totalmente convergentes con estudios anteriores, se considera que la escala es un instrumento adecuado para su aplicación en población española, aunque convendría un estudio pormenorizado mediante Teoría de Respuesta al Ítem (TRI) para considerar la exclusión de aquellas variables discordantes.

Por último, no se hallaron diferencias significativas entre los valores de resiliencia analizados en función del sexo de los corredores, lo que coincide con los resultados obtenidos en estudios previos (Lundman et al., 2007). El valor medio analizado en los sujetos de este estudio fue de 142.1, siendo superior a los valores obtenidos en otros estudios previamente (136.8 – 131.4), (Cardoso y Sacomori, 2014; Reche y Ortín, 2013).

Al comparar nuestros resultados con los de otras investigaciones que han analizado el perfil resiliente en el ámbito del deporte utilizando la misma escala, observamos como en la muestra de nuestro estudio se obtienen los

mayores porcentajes de alta resiliencia (39 %). Este resultado fue similar al analizado en judocas de competición reflejándose un 38 % (Reche et al., 2014) y superior a los observados en deportistas con discapacidad física con un 32 % (Cardoso y Sacomori, 2014), al reflejado por futbolistas y esgrimistas con un 20 % (Reche y Ortín, 2013; Ruiz et al., 2012) o al de jugadoras de hockey sobre hierba con un 8 % (Vallarino y Reche, 2016).

4.6. Conclusiones

Los resultados de este estudio muestran un alto porcentaje de varianza explicado, un 55.56 %; posiblemente el más alto hasta el momento y una alta consistencia interna tanto en la dimensión general resiliencia ($\alpha = 0.903$), como en los factores específicos F1 ($\alpha = 0.826$), F2 ($\alpha = 0.735$), F3 ($\alpha = 0.836$). Estos dos hechos indicarían una alta bondad de ajuste respecto a la muestra analizada, suprimiendo los cinco ítems discordantes y manteniendo el modelo de tres factores correlacionados.



5. TERCER ESTUDIO

Lesiones musculoesqueléticas en
competiciones de carreras por
montaña: estudio de 5 temporadas

5.1. Introducción

Las carreras por montaña han crecido en popularidad en los últimos años (Hoffman, Ong et al., 2010). A causa de esto, varios estudios en el campo de la fisiología, biomecánica y psicología en relación con correr por montaña han sido publicados los años últimos años (Martinez et al., 2018; Wüthrich et al., 2015). Sin embargo, hay escasez de estudios sobre lesiones y ratios de lesiones. Además, estos estudios se han centrado en carreras de larga distancia como los ultramaratones (McGowan y Hoffman, 2015; Micklesfield et al., 2007; Reid y King, 2007; Vernillo, Savoldelli, La Torre, et al., 2016) y ultramaratones por etapas (Graham et al., 2012; Krabak et al., 2011; Scheer y Murray, 2011).

La Federación Internacional de Skyrunning clasifica las carreras por montaña de acuerdo con su distancia (hasta 99 km) y su altitud (2000 o más m). Aunque la mayoría de las investigaciones se han centrado en estudiar los eventos más desafiantes (e.g., ultramaratones de montaña), los corredores por montaña a menudo compiten en carreras de 20 – 42 km (Rodríguez-Marroyo et al., 2018) donde tienen que superar una desnivel positivo acumulado mínimo de 1300 m. Hasta donde sabemos, ningún estudio ha evaluado las lesiones MSK entre corredores por montaña en carreras entre 20 – 42 km. Es plausible que las diferentes características orográficas y demandas fisiológicas de las carreras más largas (Rodríguez-Marroyo et al., 2018) puedan afectar de manera distinta la incidencia de lesiones y su gravedad de manera diferente a las de las carreras más cortas.

5.2. Objetivos

Por lo tanto, los objetivos del presente estudio fueron:

- Analizar la gravedad, el tipo y la ubicación corporal de las lesiones MSK durante las carreras por montaña de 20 a 42 km.
- Determinar las tasas de lesiones de este tipo de carreras.

5.3. Metodología

Este fue un estudio retrospectivo basado en un formulario de participante autoinformado. El estudio se realizó durante 5 temporadas consecutivas, de 2015 a 2019. Durante este periodo se incluyeron todas las carreras oficiales de carreras por montaña aprobadas por la Federación de Deportes de Montaña, Escalada y Senderismo de Castilla y León (España) (n = 36) con un total de 6167 corredores. Todas las carreras se realizaron en el centro norte de España. Los participantes eran mayores de 18 años y la mayoría eran corredores por montaña aficionados. Aquellos corredores que sufrieron una lesión durante la carrera y requirieron atención médica tuvieron que presentar un formulario estandarizado a la federación para obtener asistencia de un médico. La información se anonimizó utilizando un código individual, y los corredores permanecieron anónimos durante todo el estudio. Todas las lesiones de MSK fueron tenidas en cuenta y clasificadas por su efecto en la capacidad de los corredores para continuar la carrera. Una lesión se clasificaba como mayor cuando el corredor no podía seguir corriendo o como menor cuando el corredor podía seguir corriendo. (Krabak et al., 2011; Vernillo, Savoldelli, La Torre, et al., 2016) Finalmente, el número de participantes y su rendimiento (es decir, tiempo individual) en cada carrera se obtuvieron a partir de la información oficial suministrada por la

organización de cada carrera. Esto nos permitió analizar el tiempo de exposición total de todos los participantes. El estudio fue aprobado por el órgano de gobierno de la Federación de Deportes de Montaña, Escalada y Senderismo de Castilla y León (España), con el requisito de consentimiento informado exento.

5.3.1. Análisis estadístico

Se utilizó un análisis descriptivo para describir la información recopilada, como la edad de los sujetos, los participantes lesionados, la gravedad de las lesiones MSK, la ubicación corporal de las lesiones y las características de las carreras. Los datos se presentaron como medias \pm DE. Además, las características de las carreras se acompañaron de intervalos de confianza del 95 % (IC del 95 %). Para comparar el riesgo de lesión en la carrera de montaña, se calculó un riesgo de lesión por exposición de 1000 h (Krabak et al., 2011; Schöffl et al., 2011) Además, se calculó una tasa de lesiones por cada 1000 participantes. (Krabak et al., 2011; McGowan y Hoffman, 2015). Todos los análisis estadísticos se realizaron utilizando el paquete estadístico SPSS para Windows (V.26.0, Chicago, Illinois, USA).

5.4. Resultados

En total, 4831 corredores de montaña participaron en el estudio. Las edades de los sujetos variaron de 18 a 72 años (40 ± 7 años) (Tabla 14).

La distancia media de las carreras fue de 28 ± 6 km (IC del 95 %, 26 – 30) y su desnivel positivo / negativo acumulado medio fue de 3497 ± 717 m (IC del 95 %, 3254 – 3740). La altitud máxima fue de 1810 ± 371 m (IC del 95 %, 1684 – 1935) (Tabla 15). Las condiciones ambientales de las carreras variaron según su ubicación y el mes en que se realizaron. La temperatura ambiente mínima y máxima fue de 7 ± 5 (IC del 95 %, 5 – 9) y 23 ± 7 °C (IC del 95 %, 20 – 25), respectivamente.

Tabla 14. Características de los corredores por montaña que participaron en el estudio

		%
Edad (años)	18 – 29	11
	30 – 39	41
	40 – 49	40
	50 – 59	8
Sexo	Hombres	91
	Mujeres	9

Tabla 15. Características de las carreras por montaña

Carrera (<i>temporada</i>)	Distancia (km)	Desnivel acumulado (m)	Altitud máxima (m)
Alto Sil (2019)	32	3800	1620
Arganza Trail-Cañón del Rio Lobos (2015, 2016, 2017, 2018, 2019)	32	3700	1270
Biosfera Trail (2017, 2019)	26	4030	1584
Carrera por Montaña de Sanabria (2017)	20	2056	1633
Carrera por Montaña Miranda de Ebro (2018, 2019)	27	2716	959
Carrera por Montaña Pico Zapatero (2016, 2017, 2018, 2019)	22	3300	2158
Desafío Urbión (2018)	36	4880	2192
Integral del Valdecebollas (2015, 2016)	42	4446	2131
K-2 Peñalara (2015, 2016, 2017, 2018, 2019)	23	3056	1837
Subida al San Millán (2015, 2016, 2017, 2018, 2019)	29	4000	2131
Trail Cueto del Oso (2019)	26	4010	1899
Transvaldeónica (2015)	28	4200	2160
Tres Valles (2016)	36	4240	1668
Villalfeide (2015, 2016, 2018)	25	3356	2007

Las características de los corredores lesionados y la gravedad de sus lesiones MSK se muestran en la Tabla 16. El número total de participantes lesionados fue de 28. La mayoría de las lesiones involucraron miembros inferiores (78 %) y la mayoría de ellas ocurrieron en el tobillo (32 %), seguido de la rodilla (14 %) y el pie / dedo del pie (11 %). Las lesiones de miembros superiores representaron el 18 %, mientras que las del tronco alcanzaron el 7 %.

Tabla 16. Características de los corredores lesionados

		%
Edad (años)	18 – 29	14
	30 – 39	39
	40 – 49	39
	50 – 59	7
Sexo	Hombres	79
	Mujeres	21
Severidad de la lesión	Mayor	25
	Menor	75

El tiempo acumulado de competición de todos los corredores por montaña fue de 19684 h. Las lesiones de MSK representaron una tasa general de lesiones de 1.6 lesiones por cada 1000 h corriendo y 5.9 lesiones por cada 1000 corredores. La tasa de letalidad fue de 0.

5.5. Discusión

Hasta donde sabemos, este es el primer estudio que se centra en la incidencia de lesiones de MSK en carreras por montaña de 20 a 42 km. Este tipo de carreras cuenta con un elevado número de participantes y eventos durante la temporada debido a su corta distancia. Se suelen utilizar como carreras de iniciación o entrenamiento para corredores amateurs y ultramaratonistas, respectivamente. A pesar de esto, estudios previos se han centrado en eventos de ultramaratonistas (Krabak et al., 2011; McGowan y Hoffman, 2015; Scheer y Murray, 2011; Vernillo, Savoldelli, La Torre, et al., 2016). Estos estudios han reportado tasas de lesiones MSK por tiempo de exposición (4.2 - 12.0 lesiones por 1000 h de carrera) (Krabak et al., 2011; Vernillo, Savoldelli, La Torre, et al., 2016) y por participante (26.1 – 716.2 lesiones por cada 1000 corredores) (Krabak et al., 2011; McGowan y Hoffman, 2015; Scheer y Murray, 2011; Vernillo, Savoldelli, La Torre, et al., 2016) superiores a las encontradas en el presente estudio (1.6 y 5.9 lesiones por 1000 h de carrera y por 1000 corredores, respectivamente). Las tasas más altas de lesiones MSK tanto por exposición (12.0 lesiones por 1000 h de carrera) como por corredor (716.2 lesiones por cada 1000 corredores) se han reportado en carreras de ultramaratón de varios días (Krabak et al., 2011). Por el contrario, las lesiones relacionadas con correr por cada 1000 h obtenidas en nuestro estudio fueron ligeramente inferiores a las encontradas en atletas de atletismo de larga distancia (2.5 lesiones por 1000 h de carrera) (Lysholm y Wiklander, 1987). En conjunto, los resultados de estos estudios destacan la influencia que la exposición de los corredores por montaña tiene en sus tasas de lesiones. Un aumento en la longitud de las carreras por montaña conlleva un aumento en la dureza del terreno y una mayor variación en la temperatura ambiental (Rodríguez-Marroyo et al., 2018), lo que podría afectar negativamente a la incidencia de lesiones en las carreras por montaña más largas (Krabak et al., 2011). Además, las diferencias entre los estudios podrían haberse acentuado por los diferentes niveles de

rendimiento de los participantes. Se ha informado previamente que los corredores novatos frente a los populares tienen una mayor incidencia de lesiones relacionadas con la carrera por cada 1000 h de carrera (17.8 frente a 7.7) (Videbæk et al., 2015).

Además de la baja incidencia de lesiones analizada en este estudio, el 75 % de los corredores por montaña lesionados experimentaron lesiones MSK menores (i.e., pudieron terminar sus carreras), que en su mayoría involucraron la extremidad inferior. Esto concuerda con estudios anteriores, donde la mayoría de los participantes con lesiones MSK pudieron terminar sus carreras (Krabak et al., 2011; McGowan y Hoffman, 2015; Scheer y Murray, 2011).

Al comparar el riesgo de lesiones entre los deportes al aire libre, la tasa de lesiones por exposición es un parámetro útil. Los métodos de nuestro estudio están en línea con los utilizados en otros estudios sobre deportes al aire libre. La tasa de lesiones observada fue de 1.6 por 1000 h de exposición, que es similar a la tasa de lesiones reportada de 1.5 lesiones por 1000 h en bicicleta de montaña (Aitken et al., 2011). Parece que la actividad en la montaña (tasa de lesiones de 0.005 a 0.013 lesiones por 1000 h) (Brustia et al., 2016), o marcha nórdica (0.9 lesiones por cada 1000 h) (Knobloch y Vogt, 2006), son menos peligrosas. Estas comparaciones, sin embargo, son limitadas debido al diferente diseño del estudio y a la definición de la lesión. En comparación con el riesgo de lesiones por 1000 h en otros deportes al aire libre, las tasas de lesiones en las carreras por montaña son más bajas que en la escalada y el boulder (2.71 lesiones por cada 1000 h) (Jones et al., 2018), escalada de competición (3.1 lesiones por 1000 h) (Schöffl y Kuepper, 2006) y barranquismo (4.2 lesiones por 1000 h) (Ernstbrunner et al., 2018).

Existen limitaciones relacionadas con este estudio, como que solo se recolectaron lesiones MSK, mientras que no se consideraron enfermedades médicas o trastornos de la piel. Este hecho podría llevar a perder algunas

lesiones menores y, en consecuencia, el número total de lesiones MSK podría subestimarse. Otra limitación es que fue un estudio retrospectivo basado en un formulario autoinformado por el participante.

5.6. Conclusiones

A pesar de la dureza del terreno de las carreras por montaña de 20 – 42 km, los hallazgos de este estudio muestran que la incidencia de lesiones MSK es baja. La incidencia general fue de 1.6 lesiones por exposición a 1000 h o 5.9 lesiones por cada 1000 participantes. Las localizaciones de lesiones más frecuentes fueron el tobillo, la rodilla y el pie / dedo del pie. Estos resultados proporcionan información útil como base para desarrollar programas de formación específicos en prevención de lesiones. Además, pueden ayudar a proporcionar una cobertura médica adecuada en este tipo de carreras por montaña.



Fotografía archivo FDMESCYL

6. CONCLUSIONES

CONCLUSIÓN PRIMERA

La competición en carreras por montaña es muy exigente. Tanto la intensidad como la carga de trabajo son dependientes de la duración de la prueba. Sin embargo, el tiempo de trabajo por encima del RCT fue similar en todas las carreras (~50 min). Esta circunstancia nos hace pensar que los corredores podrían regular su esfuerzo en alta intensidad para optimizar su rendimiento. Apoyando esta hipótesis se analizó un ritmo de trabajo de ~0.16 UA por metro de desnivel positivo acumulado durante todas las carreras. Por otro lado, se obtuvo un ritmo de competición diferente para carreras <25 km (~2.5 UA·m⁻¹) frente al analizado en las carreras de >25 km (~2.0 UA·m⁻¹).

CONCLUSIÓN SEGUNDA

El análisis de la estructura factorial de la Escala de Resiliencia de Wagnild y Young para una muestra española de corredores por montaña logró explicar el 55.6 % de la varianza. Posiblemente este dato sea el más alto publicado hasta este momento. Además, se obtuvo una alta consistencia interna tanto en la dimensión general resiliencia ($\alpha = 0.903$), como en los factores específicos F1 ($\alpha = 0.826$), F2 ($\alpha = 0.735$), F3 ($\alpha = 0.836$). Estos dos hechos indicarían una alta bondad de ajuste respecto a la muestra analizada, suprimiendo los cinco ítems discordantes y manteniendo el modelo de tres factores correlacionados. Estos resultados podrían contribuir a una valoración más precisa de la resiliencia en los corredores por montaña y con ello abrir caminos en la comprensión de este fenómeno emergente en nuestro campo, necesario tanto para la salud del deportista como para su rendimiento.

CONCLUSIÓN TERCERA

A pesar de la dureza que supone la competición y de las dificultades que presenta el terreno de las carreras, los hallazgos de nuestro trabajo muestran que la incidencia de lesiones MSK es baja. La incidencia general fue de 1.6 lesiones por exposición a 1000 h o 5.9 lesiones por cada 1000 participantes. Las localizaciones de lesiones más frecuentes fueron el tobillo, la rodilla y el pie / dedo del pie. Estos resultados podrían proporcionar información útil como base para desarrollar programas de formación específicos en prevención de lesiones. Además, pueden ayudar a proporcionar una cobertura médica adecuada en este tipo de carreras por montaña.



7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Achten, J. y Jeukendrup, A. E. (2003). Heart Rate Monitoring. *Sports Medicine*, 33(7), 517-538. <https://doi.org/10.2165/00007256-200333070-00004>
- Ackland, T. R., Lohman, T. G., Sundgot-Borgen, J., Maughan, R. J., Meyer, N. L., Stewart, A. D. y Müller, W. (2012). Current Status of Body Composition Assessment in Sport. *Sports Medicine*, 42(3), 227-249. <https://doi.org/10.2165/11597140-000000000-00000>
- Aitken, S. A., Biant, L. C. y Court-Brown, C. M. (2011). Recreational mountain biking injuries. *Emergency Medicine Journal*, 28(4), 274-279. <https://doi.org/10.1136/emj.2009.086991>
- Aloulou, A., Duforez, F., Bieuzen, F. y Nedelec, M. (2020). The effect of night-time exercise on sleep architecture among well-trained male endurance runners. *Journal of Sleep Research*, 29(6). <https://doi.org/10.1111/jsr.12964>
- Alvero-Cruz, J. R., Parent Mathias, V., Garcia Romero, J., Carrillo de Albornoz-Gil, M., Benítez-Porres, J., Ordoñez, F. J., Rosemann, T., Nikolaidis, P. T. y Knechtle, B. (2019). Prediction of Performance in a Short Trail Running Race: The Role of Body Composition. *Frontiers in Physiology*, 10, 1306. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.01306>
- André, C., Girard, J., Gautier, S., Derambure, P. y Rochoy, M. (2020). Training modalities and self-medication behaviors in a sample of runners during an ultratrail. *Science and Sports*, 35(1), 48.e1-48.e7. <https://doi.org/10.1016/j.scispo.2019.04.007>

- Babí-Lladós, J., Soler-Prat, S., Inglés-Yuba, E. y Labrador-Roca, V. (2021). Historia y proceso de ordenación de las carreras en la montaña en España. [History and planning process of trail races in Spain]. *RICYDE. Revista Internacional de Ciencias del Deporte*, 17(64), 140-159. <https://doi.org/10.5232/ricyde2021.06403>
- Baiget, E., Peña, J., Borràs, X., Caparrós, T., López, J. L., Marin, F., Coma, J. y Comerma, E. (2018). Effects of a trail mountain race on neuromuscular performance and hydration status in trained runners. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 58(1-2), 43-49. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.16.06792-X>
- Balducci, P., Clémençon, M., Morel, B., Quiniou, G., Saboul, D. y Hautier, C. A. (2016). Comparison of level and graded treadmill tests to evaluate endurance mountain runners. *Journal of Sports Science and Medicine*, 15(2), 239–246.
- Balducci, P., Clémençon, M., Trama, R., Blache, Y. y Hautier, C. (2017). Performance Factors in a Mountain Ultramarathon. *International Journal of Sports Medicine*, 38(11), 819-826. <https://doi.org/10.1055/s-0043-112342>
- Balducci, P., Clémençon, M., Trama, R. y Hautier, C. A. (2017). The Calculation of the Uphill Energy Cost of Running from the Level Energy Cost of Running in a Heterogeneous Group of Mountain Ultra Endurance Runners. *Asian Journal of Sports Medicine*, 8(1), 1-4. <https://doi.org/10.5812/asjasm.42091>
- Barrero, A., Chaverri, D., Erola, P., Iglesias, X. y Rodríguez, F. (2014). Intensity Profile during an Ultra-endurance Triathlon in Relation to Testing and Performance. *International Journal of Sports Medicine*, 35(14), 1170-1178. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1374601>

- Batista-Foguet, J. M. y Coenders, G. (2000). *Modelos de Ecuaciones Estructurales*. Madrid: La Muralla.
- Becoña, E. (2006). Resiliencia: definición, características y utilidad del concepto. *Revista de Psicopatología y Psicología Clínica*, 11(3). <https://doi.org/10.5944/rppc.vol.11.num.3.2006.4024>
- Belinchón-deMiguel, P., Tornero-Aguilera, J. F., Dalamitros, A. A., Nikolaidis, P. T., Rosemann, T., Knechtle, B. y Clemente-Suárez, V. J. (2019). Multidisciplinary Analysis of Differences Between Finisher and Non-finisher Ultra-Endurance Mountain Athletes. *Frontiers in Physiology*, 10(December), 1-8. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.01507>
- Bernardi, E., Pratali, L., Mandolesi, G., Spiridonova, M., Roi, G. S. y Cogo, A. (2017). Thoraco-abdominal coordination and performance during uphill running at altitude. *Plos One*, 12(3), e0174927. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0174927>
- Besson, T., Rossi, J., Le Roux Mallouf, T., Marechal, M., Doutreleau, S., Verges, S. y Millet, G. Y. (2020). Fatigue and Recovery after Single-Stage versus Multistage Ultramarathon Running. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 52(8), 1691-1698. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002303>
- Billat, V., Lepretre, P.-M., Heugas, A.-M., Laurence, M.-H., Salim, D. y Koralsztejn, J. P. (2003). Training and Bioenergetic Characteristics in Elite Male and Female Kenyan Runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35(2), 297-304. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000053556.59992.A9>
- Björklund, G., Swarén, M., Born, D.-P. y Stöggl, T. (2019). Biomechanical Adaptations and Performance Indicators in Short Trail Running. *Frontiers in Physiology*, 10(APR), 1-10. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00506>

- Bretón, S., Zurita, F. y Cepero, M. (2016). La resiliencia como factor determinante en el rendimiento deportivo. *E-balonmano.com Revista de Ciencias del Deporte*, 12(2), 79-88. <https://e-balonmano.com/ojs/index.php/revista/article/view/351>
- Brustia, R., Enrione, G., Catuzzo, B., Cavoretto, L., Pesenti Campagnoni, M., Visetti, E., Cauchy, E., Ziegler, S. y Giardini, G. (2016). Results of a Prospective Observational Study on Mountaineering Emergencies in Western Alps: Mind Your Head. *High Altitude Medicine and Biology*, 17(2), 116-121. <https://doi.org/10.1089/ham.2015.0110>
- Cardoso, F. L. y Sacomori, C. (2014). Resilience of athletes with physical disabilities: A cross-sectional study. *Revista de Psicologia del Deporte*, 23(1), 15-22. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=235129571003>
- Casa, D. J., Stearns, R. L., Lopez, R. M., Ganio, M. S., McDermott, B. P., Walker Yeargin, S., Yamamoto, L. M., Mazerolle, S. M., Roti, M. W., Armstrong, L. E. y Maresh, C. M. (2010). Influence of Hydration on Physiological Function and Performance During Trail Running in the Heat. *Journal of Athletic Training*, 45(2), 147-156. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-45.2.147>
- Castilla, H., Coronel, J., Bonilla, A., Mendoza, M. y Barboza, M. (2017). Validez y confiabilidad de la Escala de Resiliencia (Scale Resilience) en una muestra de estudiantes y adultos de la Ciudad de Lima. *Revista Peruana de Psicología y Trabajo Social*, 5(1), 121-136.
- Cevada, T., Cerqueira, L. S., Moraes, H. S. de, Santos, T. M. dos, Pompeu, F. A. M. S. y Deslandes, A. C. (2012). Relação entre esporte, resiliência, qualidade de vida e ansiedade. *Archives of Clinical Psychiatry (São Paulo)*, 39(3), 85-89. <https://doi.org/10.1590/S0101-60832012000300003>

- Chlíbková, D., Nikolaidis, P. T., Rosemann, T., Knechtle, B. y Bednář, J. (2019). Maintained Hydration Status After a 24-h Winter Mountain Running Race Under Extremely Cold Conditions. *Frontiers in Physiology*, 9. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01959>
- Chlíbková, D., Žáková, A., Rosemann, T., Knechtle, B. y Bednář, J. (2019). Body Composition Changes During a 24-h Winter Mountain Running Race Under Extremely Cold Conditions. *Frontiers in Physiology*, 10. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00585>
- Clemente-Suárez, V. J. (2015). Psychophysiological response and energy balance during a 14-h ultraendurance mountain running event. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 40(3), 269-273. <https://doi.org/10.1139/apnm-2014-0263>
- Clemente-Suárez, V. J. (2107). Cortical arousal and central nervous system fatigue after a mountain marathon. *Cultura, ciencia y deporte*, 12(35), 143-148. <https://doi.org/10.12800/ccd.v12i35.886>
- Clemente-Suarez, V. J. y Nikolaidis, P. T. (2017). Use of Bioimpedanciometer as Predictor of Mountain Marathon Performance. *Journal of Medical Systems*, 41(5), 73. <https://doi.org/10.1007/s10916-017-0722-7>
- Coates, A. M., King, T. J., Currie, K. D., Tremblay, J. C., Petrick, H. L., Slysz, J. T., Pignaneli, C., Berard, J. A., Millar, P. J. y Burr, J. F. (2020). Alterations in Cardiac Function Following Endurance Exercise Are Not Duration Dependent. *Frontiers in Physiology*, 11(September). <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.581797>
- Connor, K. M. y Davidson, J. R. T. (2003). Development of a new resilience scale: The Connor-Davidson Resilience Scale (CD-RISC). *Depression and Anxiety*, 18(2), 76-82. <https://doi.org/10.1002/da.10113>

- Consejo Superior de Deportes. (2019). *Modalidades, especialidades y pruebas de federaciones*. <https://www.csd.gob.es/es/federaciones-y-asociaciones/federaciones-deportivas-espanolas/modalidades-especialidades-y-pruebas-de-federaciones>
- Degache, F., Morin, J.-B., Oehen, L., Guex, K., Giardini, G., Schena, F., Millet, G. Y. y Millet, G. P. (2016). Running Mechanics During the World's Most Challenging Mountain Ultramarathon. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(5), 608-614. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2015-0238>
- Didier, S., Vauthier, J.-C., Gambier, N., Renaud, P., Chenuel, B. y Poussel, M. (2017). Substance use and misuse in a mountain ultramarathon: new insight into ultrarunners population? *Research in Sports Medicine*, 25(2), 244-251. <https://doi.org/10.1080/15438627.2017.1282356>
- Drehmer, E., Ángeles Navarro, M., Carrera, S., Herrera, R., Sanchis, C. y Moreno, M. L. (2020). Nutrition planning and hydration control during a six-stage Pirineos FIT Endurance trail-running race. A case report. *Progress in Nutrition*, 22(1), 343-350. <https://doi.org/10.23751/pn.v22i1.7691>
- Ehrström, S., Gruet, M., Giandolini, M., Chapuis, S., Morin, J.-B. y Vercruyssen, F. (2018). Acute and Delayed Neuromuscular Alterations Induced by Downhill Running in Trained Trail Runners: Beneficial Effects of High-Pressure Compression Garments. *Frontiers in Physiology*, 9(November), 1-18. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01627>
- Ehrström, S., Tartaruga, M. P., Easthope, C. S., Brisswalter, J., Morin, J.-B. y Vercruyssen, F. (2018). Short Trail Running Race: Beyond the Classic Model for Endurance Running Performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 50(3), 580-588. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001467>

- Ernstbrunner, L., Schulz, E., Ernstbrunner, M., Hoffelner, T., Freude, T., Resch, H. y Haas, M. (2018). A prospective injury surveillance study in canyoning. *Injury*, 49(4), 792-797. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2018.03.003>
- Esteve-Lanao, J., San Juan, A. F., Earnest, C. P., Foster, C. y Lucia, A. (2005). How Do Endurance Runners Actually Train? Relationship with Competition Performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37(3), 496-504. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000155393.78744.86>
- Europarc-España. (2016). *Guía de buenas prácticas para el desarrollo de carreras por montaña en espacios naturales protegidos*. [https://doi.org/10.1016/s0022-3182\(81\)80179-3](https://doi.org/10.1016/s0022-3182(81)80179-3)
- Flora, D. B., LaBrish, C. y Chalmers, R. P. (2012). Old and new ideas for data screening and assumption testing for exploratory and confirmatory factor analysis. *Frontiers in Psychology*, 3(MAR), 1-21. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2012.00055>
- Fornasiero, A., Savoldelli, A., Fruet, D., Boccia, G., Pellegrini, B. y Schena, F. (2018). Physiological intensity profile, exercise load and performance predictors of a 65-km mountain ultra-marathon. *Journal of Sports Sciences*, 36(11), 1287-1295. <https://doi.org/10.1080/02640414.2017.1374707>
- Foster, C., Florhaug, J. A., Franklin, J., Gottschall, L., Hrovatin, L. A., Parker, S., Doleshal, P. y Dodge, C. (2001). A New Approach to Monitoring Exercise Training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 15(1), 109-115. <https://doi.org/10.1519/00124278-200102000-00019>
- Franz, J. R., Wierzbinski, C. M. y Kram, R. (2012). Metabolic Cost of Running Barefoot versus Shod. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 44(8), 1519-1525. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3182514a88>

- García, X., Molinero, O., Ruíz, R., Salguero, A., Vega, R. de la y Márquez, S. (2014). La resiliencia en el deporte: fundamentos teóricos, instrumentos de evaluación y revisión de la literatura. *Cuadernos de Psicología del Deporte*, 14(3), 83-98. <https://doi.org/10.4321/S1578-84232014000300010>
- Gasser, B. (2016). Borg-Skala. *Sportwissenschaft*, 46(4), 287-293. <https://doi.org/10.1007/s12662-016-0422-3>
- Gatterer, H., Rauch, S., Procter, E., Strapazzon, G. y Schenk, K. (2020). Performance Determinants in Short (68 km) and Long (121 km) Mountain Ultra-Marathon Races. *Sportverletzung · Sportschaden*, 34(02), 79-83. <https://doi.org/10.1055/a-1028-8644>
- Giandolini, M., Gimenez, P., Temesi, J., Arnal, P. J., Martin, V., Rupp, T., Morin, J. B., Samozino, P. y Millet, G. Y. (2016). Effect of the Fatigue Induced by a 110-km Ultramarathon on Tibial Impact Acceleration and Lower Leg Kinematics. *Plos One*, 11(3), e0151687. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0151687>
- Giandolini, M., Horvais, N., Rossi, J., Millet, G. Y., Morin, J.-B. y Samozino, P. (2017). Effects of the foot strike pattern on muscle activity and neuromuscular fatigue in downhill trail running. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 27(8), 809-819. <https://doi.org/10.1111/sms.12692>
- Giandolini, M., Horvais, N., Rossi, J., Millet, G. Y., Samozino, P. y Morin, J.-B. (2016). Foot strike pattern differently affects the axial and transverse components of shock acceleration and attenuation in downhill trail running. *Journal of Biomechanics*, 49(9), 1765-1771. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2016.04.001>

- Giandolini, M., Vernillo, G., Samozino, P., Horvais, N., Edwards, W. B., Morin, J.-B. y Millet, G. Y. (2016). Fatigue associated with prolonged graded running. *European Journal of Applied Physiology*, 116(10), 1859-1873. <https://doi.org/10.1007/s00421-016-3437-4>
- Giovanelli, N., Biasutti, L., Salvadego, D., Alemayehu, H. K., Grassi, B. y Lazzer, S. (2020). Changes in Skeletal Muscle Oxidative Capacity After a Trail-Running Race. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 15(2), 278-284. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2018-0882>
- Giovanelli, N., Ortiz, A. L. R., Henninger, K. y Kram, R. (2016). Energetics of vertical kilometer foot races; is steeper cheaper? *Journal of Applied Physiology*, 120(3), 370-375. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00546.2015>
- Giovanelli, N., Sulli, M., Kram, R. y 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>
- Graham, S. M., McKinley, M., Chris, C. C., Westbury, T., Baker, J. S., Kilgore, L. y Florida-James, G. (2012). Injury Occurrence and Mood States During a Desert Ultramarathon. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 22(6), 462-466. <https://doi.org/10.1097/JSM.0b013e3182694734>
- Heilemann, M. V., Lee, K. y Kury, F. S. (2003). Psychometric Properties of the Spanish Version of the Resilience Scale. *Journal of Nursing Measurement*, 11(1), 61-72. <https://doi.org/10.1891/106137403780954976>
- Hoffman, M. D. (2008). Anthropometric Characteristics of Ultramarathoners. *International Journal of Sports Medicine*, 29(10), 808-811. <https://doi.org/10.1055/s-2008-1038434>

- Hoffman, M. D. (2010). Performance Trends in 161-km Ultramarathons. *International Journal of Sports Medicine*, 31(01), 31-37. <https://doi.org/10.1055/s-0029-1239561>
- Hoffman, M. D., Goulet, E. D. B. y Maughan, R. J. (2018). Considerations in the Use of Body Mass Change to Estimate Change in Hydration Status During a 161-Kilometer Ultramarathon Running Competition. *Sports Medicine*, 48(2), 243-250. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0782-3>
- Hoffman, M. D., Lebus, D. K., Ganong, A. C., Casazza, G. A. y Loan, M. V. (2010). Body Composition of 161-km Ultramarathoners. *International Journal of Sports Medicine*, 31(02), 106-109. <https://doi.org/10.1055/s-0029-1241863>
- Hoffman, M. D., Ong, J. C. y Wang, G. (2010). Historical Analysis of Participation in 161 km Ultramarathons in North America. *The International Journal of the History of Sport*, 27(11), 1877-1891. <https://doi.org/10.1080/09523367.2010.494385>
- Hoffman, M. D. y Stuempfle, K. J. (2014). Hydration Strategies, Weight Change and Performance in a 161 km Ultramarathon. *Research in Sports Medicine*, 22(3), 213-225. <https://doi.org/10.1080/15438627.2014.915838>
- Horn, J. L. (1965). A rationale and test for the number of factors in factor analysis. *Psychometrika*, 30(2), 179-185. <https://doi.org/10.1007/BF02289447>
- Hosseini, S. A. y Besharat, M. A. (2010). Relation of resilience whit sport achievement and mental health in a sample of athletes. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 5, 633-638. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2010.07.156>

- Hurdiel, R., Riedy, S. M., Millet, G. P., Mauvieux, B., Pez , T., Elsworth-Edelsten, C., Martin, D., Zunquin, G. y Dupont, G. (2018). Cognitive performance and self-reported sleepiness are modulated by time-of-day during a mountain ultramarathon. *Research in Sports Medicine*, 26(4), 482-489. <https://doi.org/10.1080/15438627.2018.1492401>
- International Skyrunning Federation. (2015). *ISF and UIAA Partnership*. <https://www.skyrunning.com/partner/>
- Ishihara, K., Uchiyama, N., Kizaki, S., Mori, E., Nonaka, T. y Oneda, H. (2020). Application of Continuous Glucose Monitoring for Assessment of Individual Carbohydrate Requirement during Ultramarathon Race. *Nutrients*, 12(4), 1121. <https://doi.org/10.3390/nu12041121>
- Jones, A. M. y Doust, J. H. (1996). A 1% treadmill grade most accurately reflects the energetic cost of outdoor running. *Journal of Sports Sciences*, 14(4), 321-327. <https://doi.org/10.1080/02640419608727717>
- Jones, G., Schöffl, V. y Johnson, M. I. (2018). Incidence, Diagnosis, and Management of Injury in Sport Climbing and Bouldering. *Current Sports Medicine Reports*, 17(11), 396-401. <https://doi.org/10.1249/JSR.0000000000000534>
- Kerhervé, H. A., Samozino, P., Descombe, F., Pinay, M., Millet, G. Y., Pasqualini, M. y Rupp, T. (2017). Calf Compression Sleeves Change Biomechanics but Not Performance and Physiological Responses in Trail Running. *Frontiers in Physiology*, 8. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00247>
- Knobloch, K. y Vogt, P. (2006). Nordic Walking Verletzungen - Der Nordic-Walking-Daumen als neue Verletzungsentit t. *Sportverletzung - Sportschaden*, 20(3), 137-142. <https://doi.org/10.1055/s-2006-926995>

- Krabak, B. J., Waite, B. y Schiff, M. A. (2011). Study of Injury and Illness Rates in Multiday Ultramarathon Runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43(12), 2314-2320. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318221bfe3>
- Kuipers, H., Verstappen, F., Keizer, H., Geurten, P. y van Kranenburg, G. (1985). Variability of Aerobic Performance in the Laboratory and Its Physiologic Correlates. *International Journal of Sports Medicine*, 06(04), 197-201. <https://doi.org/10.1055/s-2008-1025839>
- Linderman, J. K. y Laubach, L. L. (2004). Energy balance during 24 hours of treadmill running. *Journal of Exercise Physiology Online*, 7(2), 37-44.
- López-Gómez, J. A., Martínez-Sanz, J. M., Martínez-Rodríguez, A. y Ortiz-Moncada, R. (2016). Planificación dietético-nutricional para llevar a cabo una Ultramaratón, la Transvulcania: Informe de caso. *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*, 20(2), 120. <https://doi.org/10.14306/renhyd.20.2.205>
- Lorenzo-Seva, U. y Ferrando, P. J. (2013). FACTOR 9.2. *Applied Psychological Measurement*, 37(6), 497-498. <https://doi.org/10.1177/0146621613487794>
- Lucía, A., Hoyos, J., Carvajal, A. y Chicharro, J. (2007). Heart Rate Response to Professional Road Cycling: The Tour de France. *International Journal of Sports Medicine*, 20(03), 167-172. <https://doi.org/10.1055/s-1999-970284>
- Lundman, B., Strandberg, G., Eisemann, M., Gustafson, Y. y Brulin, C. (2007). Psychometric properties of the Swedish version of the Resilience Scale. *Scandinavian Journal of Caring Sciences*, 21(2), 229-237. <https://doi.org/10.1111/j.1471-6712.2007.00461.x>

- Lysholm, J. y Wiklander, J. (1987). Injuries in runners. *The American Journal of Sports Medicine*, 15(2), 168-171. <https://doi.org/10.1177/036354658701500213>
- MacBride-Stewart, S. (2019). Atmospheres, landscapes and nature: Off-road runners' experiences of well-being. *Health: An Interdisciplinary Journal for the Social Study of Health, Illness and Medicine*, 23(2), 139-157. <https://doi.org/10.1177/1363459318785675>
- Martinez-Navarro, I., Montoya-Vieco, A., Collado, E., Hernando, B. y Hernando, C. (2020). Inspiratory and Lower-Limb Strength Importance in Mountain Ultramarathon Running. Sex Differences and Relationship with Performance. *Sports*, 8(10), 134. <https://doi.org/10.3390/sports8100134>
- Martínez, N., Norte, A. y Martínez-Sanz, J. M. (2018). Planificación dietético-nutricional para un ultra-trail de 115 km: estudio de un caso. *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*, 22(3), 208. <https://doi.org/10.14306/renhyd.22.3.464>
- Martinez, S., Aguilo, A., Rodas, L., Lozano, L., Moreno, C. y Tauler, P. (2018). Energy, macronutrient and water intake during a mountain ultramarathon event: The influence of distance. *Journal of Sports Sciences*, 36(3), 333-339. <https://doi.org/10.1080/02640414.2017.1306092>
- Maufrais, C., Millet, G. P., Schuster, I., Rupp, T. y Nottin, S. (2016). Progressive and biphasic cardiac responses during extreme mountain ultramarathon. *American Journal of Physiology. Heart and Circulatory Physiology*, 310(10), H1340-H1348. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.00037.2016>
- McGowan, V. y Hoffman, M. D. (2015). Characterization of Medical Care at the 161-km Western States Endurance Run. *Wilderness and Environmental Medicine*, 26(1), 29-35.

<https://doi.org/10.1016/j.wem.2014.06.015>

Micklesfield, L. K., Hugo, J., Johnson, C., Noakes, T. D. y Lambert, E. V. (2007). Factors associated with menstrual dysfunction and self-reported bone stress injuries in female runners in the ultra- and half-marathons of the Two Oceans. *British Journal of Sports Medicine*, 41(10), 679-683. <https://doi.org/10.1136/bjism.2007.037077>

Millet, G. Y., Martin, V. y Temesi, J. (2018). The role of the nervous system in neuromuscular fatigue induced by ultra-endurance exercise. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 43(11), 1151-1157. <https://doi.org/10.1139/apnm-2018-0161>

Neumayr, G., Gaenzer, H., Pfister, R., Sturm, W., Schwarzacher, S. P., Eibl, G., Mitterbauer, G. y Hoertnagl, H. (2001). Plasma levels of cardiac troponin I after prolonged strenuous endurance exercise. *The American Journal of Cardiology*, 87(3), 369-371. [https://doi.org/10.1016/S0002-9149\(00\)01382-5](https://doi.org/10.1016/S0002-9149(00)01382-5)

Neumayr, G., Pfister, R., Mitterbauer, G., Gaenzer, H., Sturm, W., Eibl, G. y Hoertnagl, H. (2002). Exercise Intensity of Cycle-Touring Events. *International Journal of Sports Medicine*, 23(7), 505-509. <https://doi.org/10.1055/s-2002-35068>

Nielsen, B. y Nybo, L. (2003). Cerebral Changes During Exercise in the Heat. *Sports Medicine*, 33(1), 1-11. <https://doi.org/10.2165/00007256-200333010-00001>

Pesce, R. P., Assis, S. G., Avanci, J. Q., Santos, N. C., Malaquias, J. V. y Carvalhaes, R. (2005). Adaptação transcultural, confiabilidade e validade da escala de resiliência. *Cadernos de Saúde Pública*, 21(2), 436-448. <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2005000200010>

- Philippe, R. A., Rochat, N., Vauthier, M. y Hauw, D. (2016). The Story of Withdrawals During an Ultra-Trail Running Race: A Qualitative Investigation of Runners' Courses of Experience. *The Sport Psychologist*, 30(4), 361-375. <https://doi.org/10.1123/tsp.2016-0039>
- Poussel, M., Laroppe, J., Hurdiel, R., Girard, J., Poletti, L., Thil, C., Didelot, A. y Chenuel, B. (2015). Sleep Management Strategy and Performance in an Extreme Mountain Ultra-marathon. *Research in Sports Medicine*, 23(3), 330-336. <https://doi.org/10.1080/15438627.2015.1040916>
- Puigarnau, S., Roselló, L., Camerino, O. y Castañer, M. (2020). Creación y Validación del Instrumento "AECM" Análisis de la Estrategia en Carreras por Montaña. *Retos*, 2041(39), 177-181. <https://doi.org/10.47197/retos.v0i39.72111>
- Ramos-Campo, D. J., Ávila-Gandía, V., Alacid, F., Soto-Méndez, F., Alcaraz, P. E., López-Román, F. J., Rubio-Arias, J. Á., goleman, daniel; boyatzis, Richard; Mckee, A., Pie, F. y Schreiber, T. (2016). Muscle damage, physiological changes and energy balance in ultra-endurance mountain event athletes. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 41(9), 872-878. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Reche, C. y Ortín, F. J. (2013). Consistencia de la versión española de la escala de resiliencia en esgrima. *Avances de la Psicología del Deporte en Iberoamérica*, 2(2), 49-57.
- Reche, C., Tutte, V. y Ortín, F. J. (2014). Resiliencia, optimismo y burnout en judokas de competición Uruguayos. *Revista Iberoamericana de Psicología del Ejercicio y el Deporte*, 9(2), 19-31. <https://accedacris.ulpgc.es/handle/10553/12055>

- Reid, S. A. y King, M. J. (2007). Serum Biochemistry and Morbidity Among Runners Presenting for Medical Care After an Australian Mountain Ultramarathon. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 17(4), 307-310. <https://doi.org/10.1097/JSM.0b013e31804c77da>
- Resnick, B. A. y Inguito, P. L. (2011). The Resilience Scale: Psychometric Properties and Clinical Applicability in Older Adults. *Archives of Psychiatric Nursing*, 25(1), 11-20. <https://doi.org/10.1016/j.apnu.2010.05.001>
- Rochat, N., Gesbert, V., Seifert, L. y Hauw, D. (2018). Enacting Phenomenological Gestalts in Ultra-Trail Running: An Inductive Analysis of Trail Runners' Courses of Experience. *Frontiers in Psychology*, 9. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02038>
- Rochat, N., Hauw, D., Antonini Philippe, R., Crettaz von Roten, F. y Seifert, L. (2017). Comparison of vitality states of finishers and withdrawers in trail running: An enactive and phenomenological perspective. *Plos One*, 12(3), e0173667. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0173667>
- Rodríguez-Marroyo, J. A., Garcia-Lopez, J., Ávila, C., Jiménez, F., Córdova, A. y Villa, J. G. (2003). Intensity of Exercise according to Topography in Professional Cyclists. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35(7), 1209-1215. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000074562.64053.4F>
- Rodríguez-Marroyo, J. A., Garcia-Lopez, J., Juneau, C.-E. y Villa, J. G. (2009). Workload demands in professional multi-stage cycling races of varying duration. *British Journal of Sports Medicine*, 43(3), 180-185. <https://doi.org/10.1136/bjism.2007.043125>

- Rodríguez-Marroyo, J. A., González-Lázaro, J., Arribas-Cubero, H. F. y Villa, J. G. (2018). Physiological demands of mountain running races. *Kinesiology*, 50(1), 60-66. <https://hrcak.srce.hr/ojs/index.php/kinesiology/article/view/6409>
- Rodríguez-Marroyo, J. A., López-Satue, J., Pernía, R., Carballo, B., García-López, J., Foster, C. y Villa, J. G. (2012). Physiological work demands of Spanish wildland firefighters during wildfire suppression. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 85(2), 221-228. <https://doi.org/10.1007/s00420-011-0661-4>
- Rodríguez-Marroyo, J. A., Pernía, R., Cejuela, R., García-López, J., Llopis, J. y Villa, J. G. (2011). Exercise Intensity and Load During Different Races in Youth and Junior Cyclists. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(2), 511-519. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181bf4426>
- Rodríguez, M., Pereyra, M. G., Gil, E., Jofré, M., De Bortoli, M. y Labiano, L. M. (2009). Propiedades psicométricas de la escala de resiliencia versión argentina. *Revista Evaluar*, 9(1), 72-82. <https://doi.org/10.35670/1667-4545.v9.n1.465>
- Rosado, J., Duarte, J. P., Sousa-e-Silva, P., Costa, D. C., Martinho, D. V., Valente-dos-Santos, J., Rama, L. M., Tavares, Ó. M., Conde, J., Castanheira, J., Soles-Gonçalves, R., Courteix, D. y Coelho-e-Silva, M. J. (2020). Body composition among long distance runners. *Revista da Associação Médica Brasileira*, 66(2), 180-186. <https://doi.org/10.1590/1806-9282.66.2.180>
- Rousanoglou, E. N., Noutsos, K., Pappas, A., Bogdanis, G., Vagenas, G., Bayios, I. A. y Boudolos, K. D. (2016). Alterations of Vertical Jump Mechanics after a Half-Marathon Mountain Running Race. *Journal of Sports Science and Medicine*, 15(2), 277-286.

- Rua, M. C. y Andreu, J. M. (2011). Validación psicométrica de la Escala de Resiliencia (RS) en una muestra de adolescentes portugueses. *Psicopatología Clínica, Legal y Forense*, 11(1), 51-65.
- Ruiz, R., De La Vega, R., Poveda, J., Rosado, A. y Serpa, S. (2012). Análisis psicométrico de la escala de resiliencia en el deporte del fútbol. *Revista de Psicología del Deporte*, 21(1), 143-151. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=235124455018>
- Sanz de la Garza, M., Grazioli, G., Bijnens, B. H., Pajuelo, C., Brotons, D., Subirats, E., Brugada, R., Roca, E. y Sitges, M. (2016). Inter-individual variability in right ventricle adaptation after an endurance race. *European Journal of Preventive Cardiology*, 23(10), 1114-1124. <https://doi.org/10.1177/2047487315622298>
- Saugy, J., Place, N., Millet, G. Y., Degache, F., Schena, F. y Millet, G. P. (2013). Alterations of Neuromuscular Function after the World's Most Challenging Mountain Ultra-Marathon. *Plos One*, 8(6), e65596. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0065596>
- Sawka, M. N., Burke, L. M., Eichner, E. R., Maughan, R. J., Montain, S. J. y Stachenfeld, N. S. (2007). Exercise and Fluid Replacement. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(2), 377-390. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e31802ca597>
- Scheer, V., Basset, P., Giovanelli, N., Vernillo, G., Millet, G. P. y Costa, R. J. S. (2020). Defining Off-road Running: A Position Statement from the Ultra Sports Science Foundation. *International Journal of Sports Medicine*, 41(05), 275-284. <https://doi.org/10.1055/a-1096-0980>

- Scheer, V., Janssen, T. I., Vieluf, S. y Heitkamp, H.-C. (2019). Predicting Trail-Running Performance With Laboratory Exercise Tests and Field-Based Results. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 14(1), 130-133. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2018-0390>
- Scheer, V. y Murray, A. (2011). Al Andalus Ultra Trail: An Observation of Medical Interventions During a 219-km, 5-Day Ultramarathon Stage Race. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 21(5), 444-446. <https://doi.org/10.1097/JSM.0b013e318225b0df>
- Scheer, V., Vieluf, S., Janssen, T. I. y Heitkamp, H.-C. (2019). Predicting Competition Performance in Short Trail Running Races with Lactate Thresholds. *Journal of Human Kinetics*, 69(1), 159-167. <https://doi.org/10.2478/hukin-2019-0092>
- Scheer, V., Vieluf, S., Cramer, L., Jakobsmeier, R. y Heitkamp, H.-C. (2018). Changes in Running Economy During a 65-km Ultramarathon. *Frontiers in Physiology*, 9. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01809>
- Schöffl, V., Morrison, A., Hefti, U., Ullrich, S. y Küpper, T. (2011). The UIAA Medical Commission Injury Classification for Mountaineering and Climbing Sports. *Wilderness and Environmental Medicine*, 22(1), 46-51. <https://doi.org/10.1016/j.wem.2010.11.008>
- Schöffl, V. R. y Kuepper, T. (2006). Injuries at the 2005 World Championships in Rock Climbing. *Wilderness and Environmental Medicine*, 17(3), 187. <https://doi.org/10.1580/PR26-05>
- Seguí, J. y Faria, E. I. (2017). El trail running (carreras de o por montaña) en España. Inicios, evolución y (actual) estado de la situación (Trail running in Spain. Origin, evolution and current situation; natural áreas). *Retos*, 33(33), 123-128. <https://doi.org/10.47197/retos.v0i33.56462>

- Segui, J., Inglés, E., Labrador, V. y Faría, E. I. (2016). Carreras (de o por) montaña o trail running. El reconocimiento de la modalidad deportiva: una visión jurídica (Mountain or trail running. The process of recognition as a new sports modality: a legal vision). *Retos*, 30(30), 162-167. <https://doi.org/10.47197/retos.v0i30.39868>
- Smekal, G., Von Duvillard, S. P., Pokan, R., Lang, K., Baron, R., Tschan, H., Hofmann, P. y Bachl, N. (2003). Respiratory Gas Exchange and Lactate Measures during Competitive Orienteering. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35(4), 682-689. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000058358.14293.DE>
- Souza, R. F., Matos, D. G., Ferreira, A. R. P., Chilibeck, P., Barros, N. de A., Oliveira, A. S., Cercato, L. M., da Silva, D. S. y Aidar, F. J. (2020). Effect of Ibuprofen on Muscle, Hematological and Renal Function, Hydric Balance, Pain, and Performance During Intense Long-Distance Running. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 34(7), 2076-2083. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002502>
- Spanidis, Y., Stagos, D., Orfanou, M., Goutzourelas, N., Bar-or, D., Spandidos, D. y Kouretas, D. (2017). Variations in Oxidative Stress Levels in 3 Days Follow-up in Ultramarathon Mountain Race Athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(3), 582-594. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001584>
- Suter, D., Sousa, C. V., Hill, L., Scheer, V., Nikolaidis, P. T. y Knechtle, B. (2020). Even Pacing Is Associated with Faster Finishing Times in Ultramarathon Distance Trail Running—The “Ultra-Trail du Mont Blanc” 2008–2019. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(19), 7074. <https://doi.org/10.3390/ijerph17197074>

- Svenningsen, F. P., Pavaiiler, S., Giandolini, M., Horvais, N. y Madeleine, P. (2020). A narrative review of potential measures of dynamic stability to be used during outdoor locomotion on different surfaces. *Sports Biomechanics*, 19(1), 120-140. <https://doi.org/10.1080/14763141.2019.1642953>
- Tonacci, A., Billeci, L., Tartarisco, G., Mastorci, F., Borghini, A., Mrakic-Sposta, S., Moretti, S., Vezzoli, A., Faraguna, U., Pioggia, G., Guido, G. y Pratali, L. (2016). A Novel Application for Cognitive Evaluation in Mountain Ultramarathons: Olfactory Assessment. *Wilderness and Environmental Medicine*, 27(1), 131-135. <https://doi.org/10.1016/j.wem.2015.11.013>
- Trigueros, R., Álvarez, J. F., Aguilar-Parra, J. M., Alcaráz, M. y Rosado, A. (2017). Validación y adaptación española de la escala de resiliencia en el contexto deportivo (ERCD). *Psychology, Society, and Education*, 9(2), 311. <https://doi.org/10.25115/psyse.v9i2.864>
- Ulmer, H. V. (1996). Concept of an extracellular regulation of muscular metabolic rate during heavy exercise in humans by psychophysiological feedback. *Experientia*, 52(5), 416-420. <https://doi.org/10.1007/BF01919309>
- Urdampilleta, A., Arribalzaga, S., Viribay, A., Castañeda-Babarro, A., Seco-Calvo, J. y Mielgo-Ayuso, J. (2020). Effects of 120 vs. 60 and 90 g/h Carbohydrate Intake during a Trail Marathon on Neuromuscular Function and High Intensity Run Capacity Recovery. *Nutrients*, 12(7), 2094. <https://doi.org/10.3390/nu12072094>

- Vallarino, T. y Reche, C. (2016). Burnout, resiliencia y optimismo en el hockey sobre hierba femenino. *Cuadernos de Psicología del Deporte*, 16(3), 73-78. <https://revistas.um.es/cpd/article/view/278451>
- Vaquero-Cristobal, R., García-Roca, J. A., Albadalejo, M., Fernández-Alarcón, M. y Esparza-Ros, F. (2019). Evolución de las variables antropométricas en relación con los parámetros de entrenamiento y nutricionales en corredores de ultrarresistencia de montaña. *Nutricion Hospitalaria*, 36(3), 706-713. <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.20960/nh.2333>
- Vercruyssen, F., Gruet, M., Colson, S., Ehrstrom, S. y Brisswalter, J. (2017). Compression Garments, Muscle Contractile Function, and Economy in Trail Runners. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(1), 62-68. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0035>
- Vercruyssen, F., Tartaruga, M., Horvais, N. y Brisswalter, J. (2016). Effects of Footwear and Fatigue on Running Economy and Biomechanics in Trail Runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 48(10), 1976-1984. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000981>
- Vernillo, G., Aguiar, M., Savoldelli, A., Martinez, A., Giandolini, M., Horvais, N., Edwards, W. B. y Millet, G. Y. (2020). Regular changes in foot strike pattern during prolonged downhill running do not influence neuromuscular, energetics, or biomechanical parameters. *European Journal of Sport Science*, 20(4), 495-504. <https://doi.org/10.1080/17461391.2019.1645212>
- Vernillo, G., Brighenti, A., Limonta, E., Trabucchi, P., Malatesta, D., Millet, G. P. y Schena, F. (2017). Effects of Ultratrail Running on Skeletal-Muscle Oxygenation Dynamics. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(4), 496-504. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2015-0745>

- Vernillo, G., Rinaldo, N., Giorgi, A., Esposito, F., Trabucchi, P., Millet, G. P. y Schena, F. (2015). Changes in lung function during an extreme mountain ultramarathon. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 25(4), e374-e380. <https://doi.org/10.1111/sms.12325>
- Vernillo, G., Savoldelli, A., La Torre, A., Skafidas, S., Bortolan, L. y Schena, F. (2016). Injury and Illness Rates During Ultratrail Running. *International Journal of Sports Medicine*, 37(07), 565-569. <https://doi.org/10.1055/s-0035-1569347>
- Videbæk, S., Bueno, A. M., Nielsen, R. O. y Rasmussen, S. (2015). Incidence of running-related injuries per 1000 h of running in different types of runners: a systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*, 45(7), 1017-1026. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0333-8>
- Viribay, A., Arribalzaga, S., Mielgo-Ayuso, J., Castañeda-Babarro, A., Seco-Calvo, J. y Urdampilleta, A. (2020). Effects of 120 g/h of Carbohydrates Intake during a Mountain Marathon on Exercise-Induced Muscle Damage in Elite Runners. *Nutrients*, 12(5), 1367. <https://doi.org/10.3390/nu12051367>
- Wagnild, G. M., and Young, H. M. (1993). Development and psychometric evaluation of the Resilience Scale. *Journal of nursing measurement*, 1(2), 165–178.
- Weston, A. R., Mbambo, Z. y Myburgh, K. H. (2000). Running economy of African and Caucasian distance runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(6), 1130-1134. <https://doi.org/10.1097/00005768-200006000-00015>
- Windle, G., Bennett, K. M. y Noyes, J. (2011). A methodological review of resilience measurement scales. *Health and Quality of Life Outcomes*, 9(1), 8. <https://doi.org/10.1186/1477-7525-9-8>

World Athletics. (2018). *IAAF, ITRA and WMRA forge new partnership to host combined trail and mountain running world championships*. <https://worldathletics.org/news/press-release/iaaf-itra-wmra-new-partnership?type=press-release&type=press-release&type=press-release&type=press-release&urlslug=iaaf-itra-wmra-new-partnership&urlslug=iaaf-itra-wmra-new-partnership&urlslug=iaaf-itra-wmra-n>

Wüthrich, T. U., Marty, J., Kerherve, H., Millet, G. Y., Verges, S. y Spengler, C. M. (2015). Aspects of Respiratory Muscle Fatigue in a Mountain Ultramarathon Race. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 47(3), 519-527. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000449>

Yan, X. (2014). Cognitive Impairments at High Altitudes and Adaptation. *High Altitude Medicine and Biology*, 15(2), 141-145. <https://doi.org/10.1089/ham.2014.1009>

Yargic, M. P., Torgutalp, S., Akin, S., Babayeva, N., Torgutalp, M. y Demirel, H. A. (2019). Acute long-distance trail running increases serum IL-6, IL-15, and Hsp72 levels. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 44(6), 627-631. <https://doi.org/10.1139/apnm-2018-0520>



Fotografía archivo FDMESCYL

8. ANEXOS

8.1 Escala de resiliencia

Escala RS de Wagnild y Young (1993) adaptada al español (Ruiz et al., 2012).	Muy en desacuerdo	Bastante en desacuerdo	Algo en desacuerdo	Ni de acuerdo ni en desacuerdo	Algo de acuerdo	Bastante de acuerdo	Muy de acuerdo
1. Cuando me planteo planes, sigo adelante con ellos.							
2. De una u otra forma puedo resolver problemas.							
3. Puedo depender de mí más que nadie.							
4. Para mí es importante mantener el interés en las cosas.							
5. Puedo afrontar problemas yo solo, si es necesario.							
6. Me siento orgulloso de haber superado problemas en la vida							
7. Suelo afrontar problemas con calma.							
8. Soy amigo de mí mismo.							
9. Siento que puedo manejar varios problemas a la vez.							
10. Soy decidido.							
11. Rara vez pienso en el porqué de las cosas.							

12. Realizo las cosas a su debido tiempo.							
13. Puedo lidiar con situaciones difíciles, porque he pasado por dificultades antes.							
14. Soy disciplinado.							
15. Tiendo a mantener el interés por las cosas.							
16. Por lo general encuentro muchas razones para reírme.							
17. Creer en mí mismo me ayuda a superar tiempos difíciles.							
18. En caso de emergencia, soy alguien en quién pueden confiar de la gente							
19. Por lo general, veo una misma situación de diversas formas.							
20. A veces me obligo a hacer cosas que no se si quiero hacer.							
21. Mi vida tiene sentido.							
22. Suelo no insistir en cosas que no puedo cambiar.							
23. Cuando me encuentro en una situación difícil, por lo general se encontrar una salida.							
24. Tengo energía suficiente para hacer lo que tengo que hace							
25. No hay problema si hay gente que no es de mi agrado.							

8.2 Artículo I

Rodríguez-Marroyo, J. A., González-Lázaro, J., Arribas-Cubero, H. F., y Villa, J. G. (2018). Physiological demands of mountain running races. *Kinesiology*, 50(1), 60–66. <https://hrcak.srce.hr/ojs/index.php/kinesiology/article/view/6409>

8.3 Artículo II

González-Lázaro, J., Frutos de Miguel, J., Arribas Cubero, H. F., y Rodríguez-Marroyo, J. A. (2021). Análisis de la escala de resiliencia en corredores por montaña. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y del Deporte*, 21(84), 699–711. <https://doi.org/10.15366/rimcafd2021.84.005>

8.4 Artículo III

González-Lázaro, J., Arribas-Cubero, H. F., y Rodríguez-Marroyo, J. A. (2021). Musculoskeletal injuries in mountain running races: A 5 seasons study. *Injury*, 52(4), 747–749. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2020.10.045>

