

Víctor Luis Escamilla Galindo

Demandas físicas determinantes  
en el rendimiento de un equipo  
profesional de fútbol.  
Determining physical demands in  
the performance of a professional  
soccer team

Director/es

Casajús Mallén, José Antonio

<http://zaguan.unizar.es/collection/Tesis>

© Universidad de Zaragoza  
Servicio de Publicaciones

ISSN 2254-7606



**Universidad**  
Zaragoza

Tesis Doctoral

DEMANDAS FÍSICAS DETERMINANTES EN EL  
RENDIMIENTO DE UN EQUIPO PROFESIONAL DE  
FÚTBOL.

DETERMINING PHYSICAL DEMANDS IN THE  
PERFORMANCE OF A PROFESSIONAL SOCCER  
TEAM

Autor

Víctor Luis Escamilla Galindo

Director/es

Casajús Mallén, José Antonio

**UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA**  
**Escuela de Doctorado**

Programa de Doctorado en Ciencias de la Salud y del Deporte

2022



Tesis Doctoral Curso Académico 2021-2022



**Universidad**  
Zaragoza

**DEMANDAS FÍSICAS DETERMINANTES EN EL  
RENDIMIENTO DE UN EQUIPO PROFESIONAL DE  
FÚTBOL**

*DETERMINING PHYSICAL DEMANDS IN THE  
PERFORMANCE OF A PROFESSIONAL SOCCER TEAM*

**Víctor-Luis Escamilla Galindo**

---

Departamento de Fisiatría y Enfermería

Facultad de Ciencias de la Salud

Universidad de Zaragoza



**Demandas físicas determinantes en el  
rendimiento de un equipo profesional de  
fútbol**

*Determining physical demands in the performance of  
a professional soccer team*

**Víctor-Luis Escamilla Galindo**



*A mis padres, hermana y familia  
por haberme querido enseñar más,  
por hacerme crítico y por querer lo mejor para mí.*

*A Julia,  
por ser y estar incondicionalmente.*

*A mis amigos que me retan.*

*A mi director, José Antonio por facilitarme el camino  
Gracias por tu ayuda, es muy importante estar bien rodeado.*

“In today’s fast-changing world, it’s not so much what you know anymore that counts,  
because often what you know is old. It is how fast you learn. That skill is priceless.”

— Robert T. Kiyosaki





**Demandas físicas determinantes en el rendimiento de un equipo  
profesional de fútbol**

*Determining physical demands in the performance of a professional soccer  
team.*



DIRECTORES DE TESIS:

**Dr. José A. Casajús Mallén**

*Facultad de Medicina*

Universidad de Zaragoza

MIEMBROS DEL TRIBUNAL:

**Presidente**

**Miembro 1**

*Facultad*

Universidad

**Secretaria**

**Miembro 2**

*Facultad*

Universidad

**Vocal**

**Miembro 3**

*Faculty*

University

**Suplente 1º**

**Dr.**

*Facultad*

Universidad

**Suplente 2º**

**Dr.**

*School*

University





**Universidad  
Zaragoza**

**Prof. Dr. JOSÉ ANTONIO CASAJÚS MALLÉN**

Catedrático de Universidad

-----

Departamento de Fisiatría y Enfermería

Facultad de Ciencias de la Salud

Universidad de Zaragoza

**JOSÉ ANTONIO CASAJÚS MALLÉN, CATEDRÁTICO DE LA UNIVERSIDAD  
DE ZARAGOZA, CERTIFICA:**

Que la Tesis Doctoral titulada “*Demandas físicas determinantes en el rendimiento de un equipo profesional de fútbol*” que presenta D. **VÍCTOR-LUIS ESCAMILLA GALINDO** al superior juicio del Tribunal que designe la Universidad de Zaragoza, ha sido realizada bajo mi dirección durante los años 2016-2022, siendo expresión de la capacidad técnica e interpretativa de su autor en condiciones tan aventajadas que le hacen merecedor del Título de Doctor, siempre y cuando así lo considere el citado Tribunal.

Fdo. José A. Casajús Mallén



## Tabla de contenido

<b>Listado de publicaciones</b> .....	<b>15</b>
<b>Listado de abreviaturas</b> .....	<b>18</b>
<b>Listado de tablas y figuras</b> .....	<b>19</b>
<b>Resumen general</b> .....	<b>22</b>
<b>Capítulo 1.</b> .....	<b>24</b>
<b>1. Introducción</b> .....	<b>24</b>
<b>1.1 El fútbol en la sociedad</b> .....	<b>25</b>
<b>1.2 El fútbol es un juego condicional</b> .....	<b>27</b>
<b>1.3 El fútbol se desarrolla a alta intensidad de carrera</b> .....	<b>35</b>
<b>1.4 Las categorías de alta intensidad de carrera</b> .....	<b>36</b>
<b>1.5 Otros marcadores de alta intensidad en el fútbol</b> .....	<b>54</b>
<b>1.6 La importancia de la alta intensidad en el fútbol</b> .....	<b>87</b>
<b>1.7 Las demandas de alta intensidad en España</b> .....	<b>94</b>
<b>1.8 La epidemiología de las lesiones en el fútbol español</b> .....	<b>98</b>
<b>2. Hipótesis</b> .....	<b>105</b>
<b>3. Objetivos</b> .....	<b>106</b>
<b>Capítulo 2.</b> .....	<b>108</b>
<b>1. Métodos</b> .....	<b>108</b>
<b>1.1 Comité de ética</b> .....	<b>108</b>
<b>1.2 Diseño del plan de investigación</b> .....	<b>109</b>
<b>1.3 Muestra</b> .....	<b>110</b>
<b>1.4 Procedimientos</b> .....	<b>111</b>
<b>1.4.1 Salto con contramovimiento</b> .....	<b>112</b>
<b>1.4.2 Test de Esprint de 30 metros</b> .....	<b>113</b>
<b>1.4.3 Termografía</b> .....	<b>114</b>
<b>1.4.4 Lunge Test</b> .....	<b>116</b>
<b>1.4.5 Datos físicos durante la competición</b> .....	<b>117</b>
<b>1.4.6 Registro de las lesiones</b> .....	<b>121</b>
<b>1.5 Análisis estadísticos</b> .....	<b>122</b>
<b>Capítulo 3.</b> .....	<b>124</b>
<b>1. Introducción</b> .....	<b>124</b>
<b>2. Metodología</b> .....	<b>126</b>

2.1	<i>Procedimientos</i> .....	126
2.2	<i>Participantes</i> .....	126
2.3	<i>Ejecución de los test</i> .....	127
2.4	<i>Los análisis estadísticos</i> .....	129
3.	<i>Resultados</i> .....	130
4.	<i>Discusión</i> .....	133
5.	<i>Conclusiones</i> .....	136
<b>Capítulo 4.</b>	.....	<b>137</b>
1.	<i>Introducción</i> .....	137
2.	<i>Metodología</i> .....	141
2.1	<i>Procedimientos</i> .....	141
2.2	<i>Participantes</i> .....	142
2.3	<i>Ejecución de los test</i> .....	142
2.5	<i>Los análisis estadísticos</i> .....	145
3.	<i>Resultados</i> .....	145
4.	<i>Discusión</i> .....	147
5.	<i>Conclusiones</i> .....	149
<b>Capítulo 5.</b>	.....	<b>151</b>
1.	<i>Introducción</i> .....	151
2.	<i>Metodología</i> .....	154
2.1	<i>Procedimientos</i> .....	154
2.2	<i>Participantes</i> .....	154
2.3	<i>Recogida de datos físicos</i> .....	154
2.4	<i>Análisis estadístico</i> .....	157
3.	<i>Resultados</i> .....	158
4.	<i>Discusión</i> .....	169
5.	<i>Conclusiones</i> .....	174
<b>Capítulo 6.</b>	.....	<b>176</b>
1.	<i>Introducción</i> .....	176
2.	<i>Metodología</i> .....	177
2.1	<i>Procedimientos</i> .....	177
2.2	<i>Participantes</i> .....	178
2.3	<i>Recogida de datos físicos</i> .....	178
2.4	<i>Análisis estadístico</i> .....	180
3.	<i>Resultados</i> .....	181

4. <i>Discusión</i> .....	183
5. <i>Conclusiones</i> .....	188
<b>Capítulo 7.</b> .....	<b>190</b>
1. <i>Discusión de los objetivos.</i> .....	190
<b>Capítulo 8.</b> .....	<b>192</b>
1. <i>Limitaciones y futuras líneas de investigación.</i> .....	192
2. <i>Conclusiones.</i> .....	196
<b>Capítulo 9.</b> .....	<b>198</b>
1. <i>Bibliografía</i> .....	198
<b>Capítulo 10.</b> .....	<b>225</b>
1. <i>Anexo I: Informe dictamen del Comité de Ética de Investigación</i> .....	225
2. <i>Anexo II: Ficha de información de la evaluación y consentimiento informado sobre las pruebas de termografía</i> .....	226
3. <i>Anexo III: Instrucciones de medida para el SMC</i> .....	228
4. <i>Anexo IV: Instrucciones de medida para el ES de 30 metros</i> .....	229
5. <i>Anexo V: Termograma de los protocolos inferiores con las regiones de interés analizadas</i> .....	230

## *Listado de publicaciones*

La siguiente tesis doctoral está formada por los artículos que se detallan a continuación:

- I. Escamilla-Galindo, V. L., Estal-Martínez, A., Adamczyk, J. G., Brito, C. J., Arnaiz-Lastras, J., & Sillero-Quintana, M. (2017). Skin temperature response to unilateral training measured with infrared thermography. *Journal of exercise rehabilitation*, 13(5), 526.  
<https://doi.org/10.12965/jer.1735046.523>
  
- II. Alfaro Santafé, J., Gómez Bernal, A., Alfaro Santafé, J., Lanuza Cerzócimo, C., Escamilla Galindo, V., & Almenar Arasanz, A. (1). Relación de Lunge y Jack Test en la apófisis calcánea (Talalgia de Sever) en futbolistas jóvenes. *Revista Internacional de Ciencias Podológicas*, 11(2), 117-123. 2017  
<https://doi.org/10.5209/RICP.56028>

Por un capítulo del libro: "Infrared Thermography for the Detection of Injury in Sports Medicine." en editorial Springer ISBN: 978-3-319-47409-0

Formato de presentación: Capítulo de libro

Título: Chapter 4 Infrared Thermography for the Detection of Injury in Sports Medicine. Autores: Ismael Fernández Cuevas, Javier Arnaiz Lastras, Victor Escamilla Galindo y Pedro Gómez Carmona.

<https://doi.org/10.1007/978-3-319-47410-6>

Además, con datos del proyecto de investigación que se han presentado como comunicaciones en los siguientes congresos de ámbito internacional:

- I. 2º Congreso Internacional en Ciencias de la Salud y del Deporte de la National Strength and Conditioning Association en Huesca entre los días 23 y 26 de mayo de 2019: Formato de presentación: Poster, Nombre de la sesión: Entrenamiento deportivo

Título: Relación entre los valores de rendimiento del salto y las lesiones a lo largo de una temporada profesional de fútbol.

Autores: Víctor Escamilla Galindo, Javier Luis Bail, Jorge Marco de Regil, Juan Carlos Galindo Lanuza

Institución: Sociedad Deportiva Huesca

- II. 6º Congreso Internacional de la National Strength and Conditioning Association en Madrid entre los días 26 a 29 de septiembre de 2018: Formato de presentación: Poster, Nombre de la sesión: Exercise physiology

Título: How thermography can monitoring different high intensity sprint training

Autores: Víctor Escamilla Galindo, Javier Arnaiz Lastras, Ismael Fernández Cuevas, Alejandro Del Estal Martínez

Institución: Universidad de Zaragoza

- III. 23rd Annual Congress of the European College of Sport Science entre el 4 y el 7 Julio 2018 en Dublín - Irlanda: Formato de presentación: Oral, Abstr.-ID: 1842, Nombre de la sesión: OP-PM79 - Sports medicine and orthopedics mixed

Título: High plantar pressure may positively affect bone geometry and strength in male adolescent football players

Autores: Lozano-Berges, G., Matute-Llorente, A., Gómez-Bruton, A., Escamilla-Galindo, V., Alfaro-Santafé, V., González-Agüero, A. Vicente-Rodríguez, G. Casajús, J.A.

Institución: Universidad de Zaragoza

- IV.** I International Congress on Application of Infrared Thermography in Sport Science en Valencia en noviembre de 2020. Formato de presentación: Poster, Nombre de la sesión: Exercise physiology

Título: "Pain as a mediator of thermal response to plyometric training on ankle strain rehabilitation: case study"

Autores: Víctor Escamilla Galindo, Alejandro Del Estal Martínez, Ismael Fernández Cuevas,

Institución: Universidad de Zaragoza

## Listado de abreviaturas

ACWR	<i>Ratio carga aguda-crónica</i>
ANOVA	<i>Análisis de varianza de medidas repetidas</i>
ATP	<i>Adenosina trifosfato</i>
CEICA	<i>Comité de Ética de Investigación Clínica de Aragón</i>
CK	<i>Creatina Kinasa</i>
COL	<i>Col.</i>
Dif. Dist. >21 km/h	<i>Diferencias en la distancia total recorrida por encima de 21 km/h</i>
Dist. 14-21 km/h +90	<i>Distancia total recorrida de 14 a 21 km/h +90</i>
Dist.pos >21km/h +90	<i>Distancia total por encima de 21 km/h con posesión del balón +90</i>
DE	<i>Desviación estandar</i>
ES	<i>Esprint</i>
F	<i>Fuerza</i>
FIFA	<i>FIFA "Fédération Internationale de Football Association"</i>
FL	<i>Force Load (carga de la fuerza)</i>
GPS	<i>Global position system (sistema de posicionamiento global)</i>
LCA	<i>Ligamento Cruzado Anterior</i>
LFP	<i>La Liga de Fútbol Profesional</i>
O2	<i>Oxígeno</i>
PL	<i>Premier League</i>
POT	<i>Potencia</i>
RFEF	<i>Real Federación Española de Fútbol</i>
RFpeak	<i>Máximo ratio de fuerza horizontal</i>
RM	<i>Repetición máxima</i>
RPE-sesión	<i>Escala de esfuerzo percibido de la sesión</i>
SCM	<i>Salto con contramovimiento</i>
TISEM	<i>Thermographic Imaging in Sports and Exercise Medicine</i>
UEFA	<i>Union of European Football Associations</i>
VEL	<i>Velocidad</i>
VO <sub>2</sub>	<i>Consumo de oxígeno</i>
VO <sub>2</sub> máx	<i>Consumo máximo de oxígeno</i>
VT2	<i>Segundo umbral ventilatorio (anaeróbico)</i>
+90	<i>Jugadores que disputaron más de 90 minutos</i>

## *Listado de tablas y figuras.*

**Tabla 1.** Datos de las diferencias posicionales en distancia cubierta a diferentes velocidades.

**Tabla 2.** Variables de rendimiento físico en función de la posición.

**Tabla 3.** Datos de potencia metabólica durante cinco partidos de pretemporada para las diferentes posiciones.

**Tabla 4.** Datos de distancia recorrida, alta intensidad de carrera, alta potencia metabólica, alta aceleración y alta deceleración entre posiciones y entre diferentes sistemas tácticos.

**Tabla 5.** Variables del ES divididos por los puestos específicos de los jugadores

**Tabla 6.** Variables del salto SCM divididos por los puestos de los jugadores.

**Tabla 7.** Diferencias entre lateralidades para la termografía y el test de Lunge.

**Tabla 8.** Correlación entre las variables del SCM y del ES

**Tabla 9.** Datos descriptivos de los valores del SCM y el tipo de lesión.

**Tabla 10.** Correlación entre los valores del salto y el tipo de lesión.

**Tabla 11.** Variables de rendimiento físico absolutas de las temporadas 2016/2017 – 2017/2018 en función del resultado para el equipo propio y el equipo rival.

**Tabla 12.** Variables de rendimiento absolutas para todos los equipos en conjunto en función del resultado.

**Tabla 13.** Datos de correlación entre la distancia por encima de 21 km/h y las variables de distancia del equipo propio

**Tabla 14.** Datos de correlación entre la distancia por encima de 21 km/h con posesión del balón y las variables de distancia del equipo propio

**Tabla 15.** Relación de las variables de diferencia entre los datos de rendimiento físico del equipo propio y el equipo rival en función del resultado.

**Figura 1.** Datos estadísticos obtenidos en Web of Science de las publicaciones con el tema “soccer”.

**Figura 2.** El continuo fuerza-resistencia describe la relación de los deportes según la demanda del metabolismo energético y el carácter de esfuerzo de la modalidad.

**Figura 3** La distribución del número de veces que ocurre una de las siguientes velocidades en el fútbol.

**Figura 4.** Periodización semanal determinada mediante el uso de la media de la carga obtenida por la escala de esfuerzo percibido de la sesión (RPE-sesión) en un periodo de siete días de entrenamiento de fútbol y partido.

**Figura 5.** Carrera a alta intensidad en cada parte del partido para las diferentes posiciones de los jugadores de diferentes estudios

**Figura 6.** Relación entre los valores del PlayerLoad y Potencia metabólica durante 12 partidos.

**Figura 7.** Aceleraciones máximas voluntarias desde diferentes fases de la carrera.

**Figura 8.** El número de aceleraciones máximas  $>2,78$  m/s y la aceleración máxima por posición

**Figura 9.** Tiempo y distancia total acumulada en cada categoría de aceleración y deceleración

**Figura 10.** Comparación de la estimación de la energía gastada (kJ) entre los cálculos del GPS y la calorimetría indirecta de  $VO_2$  para cada bloque de 15 minutos de ejercicios.

**Figura 11.** Distancia a alta intensidad en los periodos de 5 min.

**Figura 12.** Realización del Lunge test con sus dos correspondiente medidas.

**Figura 13.** Correlación entre el tiempo y la vel. máx. del ES y la Altura del SCM.

**Figura 14.** Modelo dinámico de la etiología de la lesión deportiva.

**Figura 15.** Diagrama de relación entre las cargas acumuladas y la capacidad de tolerar carga de una estructura específica en una sesión de entrenamiento.

**Figura 16.** Relación del tipo de lesión de los jugadores con los índices de fuerza (N) ejercidos en el SCM.

**Figura 17.** Relación del tipo de lesión con la fuerza ejercida en el SCM.

**Figura 18.** Demandas físicas en las victorias de los jugadores que jugaron al menos 90 minutos.

**Figura 19.** Variables de rendimiento físico absolutos según el resultado.

**Figura 20.** Correlación de la distancia por encima de 21 km/h con posesión del balón con la distancia total con balón; y la distancia por encima de 21 km/h con la distancia total.

**Figura 21.** Diferencias en las variables de rendimiento en función del resultado.

## *Resumen general.*

El objeto de estudio en el que se va a centrar este trabajo de investigación es el fútbol, deporte de masas, que engloba los mayores eventos deportivos: Mundial de Selecciones, Campeonato Europeo de Clubes, Ligas Nacionales, etc. Que se convierten en foco de interés social y cuyos órganos de gobierno se asemejan a grandes multinacionales.

El área de conocimiento de esta tesis doctoral son las manifestaciones físicas cuantitativas que se dan en un encuentro de fútbol y que son medidas a través de un sistema de posicionamiento local de vídeo, estas manifestaciones han sufrido una evolución con el desarrollo de la interacción ente los equipos y sus integrantes, y su estudio ha mejorado la comprensión del juego. Los jugadores deben ser entrenados para conseguir el óptimo desarrollo físico aplicable al fútbol y su contexto.

Por consiguiente, está tesis pretende aportar mayor descripción científica sobre los valores físicos que se transfieren al rendimiento, que pueden ser un factor determinante para la consecución de la victoria en un partido de fútbol, en dos temporadas diferentes del fútbol profesional.

La estructura de esta tesis doctoral está enmarcada por los siguientes epígrafes: introducción y contextualización; hipótesis y objetivos; material y métodos; discusión, limitaciones y futuras líneas de investigación; conclusiones y bibliografía.

La introducción tiene como finalidad encuadrar el marco teórico del fútbol con la representación de sus principales manifestaciones físicas, que caracterizan el esfuerzo durante un partido, las diferentes formas de clasificar esas capacidades y lo

que dice la evidencia de cuál puede ser la más eficiente a la hora de medir las demandas condicionales para su entrenamiento y esclarecer su importancia. Por último, la contextualización del fútbol en el ámbito competitivo español y su relación con los requisitos condicionales.

La parte experimental se compone del análisis de un equipo profesional de fútbol y su desarrollo temporal a lo largo de dos campañas ligueras, que se pueden considerar de éxito, al conseguir en la primera una posición para el playoff de ascenso y en la segunda un ascenso directo a la máxima categoría del fútbol español. Donde se analizan a través de los datos ofrecidos por un sistema de posicionamiento, las variables físicas de cada encuentro disputado, buscando extrapolar aquellos datos que se repiten en las victorias para determinar cuáles podrían ser los factores determinantes del rendimiento.

En las conclusiones y aplicaciones prácticas se pretende aportar y esclarecer los principales hallazgos de la investigación con futuras líneas de actuación para seguir desarrollando el conocimiento en un deporte tan estocástico.

# Capítulo 1.

## 1. *Introducción.*

La presente Tesis Doctoral tiene como objetivo analizar las variables físicas durante dos temporadas en la segunda división española, para determinar cuáles son las principales demandas físicas que podrían ser los factores determinantes del rendimiento en el fútbol. Por ello, la introducción se estructurará en los siguientes apartados: 1) El fútbol en la sociedad, 2) El fútbol es un juego condicional, 3) El fútbol se desarrolla a alta intensidad de carrera, 4) Otros marcadores de alta intensidad en el fútbol, 5) La importancia de la alta intensidad en el fútbol, 6) Las demandas de alta intensidad en el fútbol español, y 7) La epidemiología lesional del fútbol en España.

El fútbol es el deporte más popular del mundo, practicado por más de 265 millones de personas y reglado por los más de 5 millones de licencias de árbitros que regulan la normativa del juego, hacen que la suma de practicantes de actividad física alrededor del fútbol sea de 270 millones (1).

Concediéndole el meritorio nombre de “deporte rey”, el primer reglamento reconocido se recoge en 1848, cuando en la Universidad de Cambridge se reúnen diferentes escuelas para crear el código Cambridge, que será la antesala del reglamento del fútbol moderno. Finalmente, en Londres se conforma la “Football Association” oficializándose las primeras reglas del fútbol en 1863.

Tras la formalización de este tratado, el primer partido oficial entre selecciones tardaría en llegar y no se disputaría hasta el 30 de noviembre de 1872, que enfrentaría

a Escocia e Inglaterra y acabaría en empate sin goles, un encuentro que congregó a 4000 espectadores.

La evolución de este deporte ha elevado a 700 millones de personas, un gran contraste con los inicios, el número de espectadores, en vivo y por televisión, que asistieron a una de las últimas citas mundialistas donde se enfrentaban la Selección Española contra la holandesa en la Final de la Copa del Mundo de Sudáfrica de 2010.

### *1.1 El fútbol en la sociedad*

Por tanto, el impacto de este deporte en la sociedad se hace evidente. En la actualidad el órgano de gobierno más importante que gestiona las federaciones de los diferentes países es la FIFA “Fédération Internationale de Football Association”, la cual promueve los valores del fútbol, así como sus programas sociales, y aporta una gran inversión en investigaciones sobre medicina deportiva y parámetros de rendimiento. En la actualidad, el número de federaciones que están afiliadas a la FIFA son 211.

En España existe una diferenciación entre La Liga de Fútbol Profesional (LFP) y la Real Federación Española de Fútbol (RFEF). La RFEF rige las federaciones a nivel estatal y de ella depende la Selección Española de Fútbol, representante absoluta en los torneos internacionales organizados por la FIFA, y a la cual está adscrita como una de las 211 federaciones. La RFEF depende del Consejo Superior de Deportes (CSD) que a su vez depende de la Administración General del Estado.

Por el contrario, la LFP, es una asociación deportiva de carácter privado y que está compuesta por todos los clubes y sociedades anónimas deportivas de Primera y

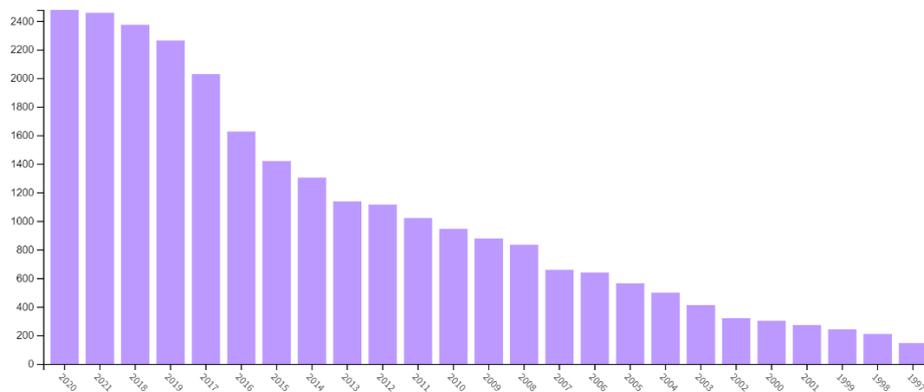
Segunda División, esta tiene los derechos televisivos de estos equipos y conforma una empresa con intereses propios.

Las licencias federativas que están registradas en el CSD desde 1941 hasta el 2016 muestran al fútbol como el deporte más practicado en España. Analizando en profundidad estos datos, encontramos que para los hombres las licencias son 898.551, mientras que las mujeres sólo registran 44.123, lo que representan sólo un 5% con respecto a las licencias totales, por lo tanto en cifras relativas al sexo, los hombres siguen practicando más este deporte mientras que las mujeres eligen otras alternativas haciendo que el fútbol descienda hasta la quinta posición en sus preferencias, viéndose superado por deportes como el baloncesto o el golf.

Aunque estas cifras seguro varíen en los sucesivos informes de la RFEF, se considera al fútbol el deporte más influyente de España con un progresivo incremento en el interés por parte de la comunidad femenina.

Gracias al gran desarrollo social y profesional del deporte y a la inversión, tanto de federaciones como de estamentos privados, se ha favorecido el creciente interés de la comunidad científica en este deporte, pasando de 209 investigaciones con el tema “soccer” en el año 1998 a 2265 investigaciones en el 2022, como así lo reflejan las estadísticas de la Web Of Science (**Figura 1**).

**Figura 1.** Datos estadísticos obtenidos en Web of Science de las publicaciones con el tema “soccer”.



Fuente: Web of Science

## 1.2 *El fútbol es un juego condicional.*

El desarrollo del fútbol ha necesitado de una evaluación de las demandas condicionales. El fútbol profesional se desarrolla en dos periodos de 45 minutos a tiempo corrido, separados por un descanso de 15 minutos. La dimensión mínima del terreno de juego según la FIFA en partidos oficiales es de 100-110 metros de largo y 64-75 metros de ancho.

Este espacio de juego es el que va a determinar la praxeología motriz y es de suma importancia para entender los tipos de esfuerzo que se van a desarrollar, ya que los desplazamientos se ven delimitados por el área de juego, el espacio de interacción y la lógica interna del juego, entre otros (2).

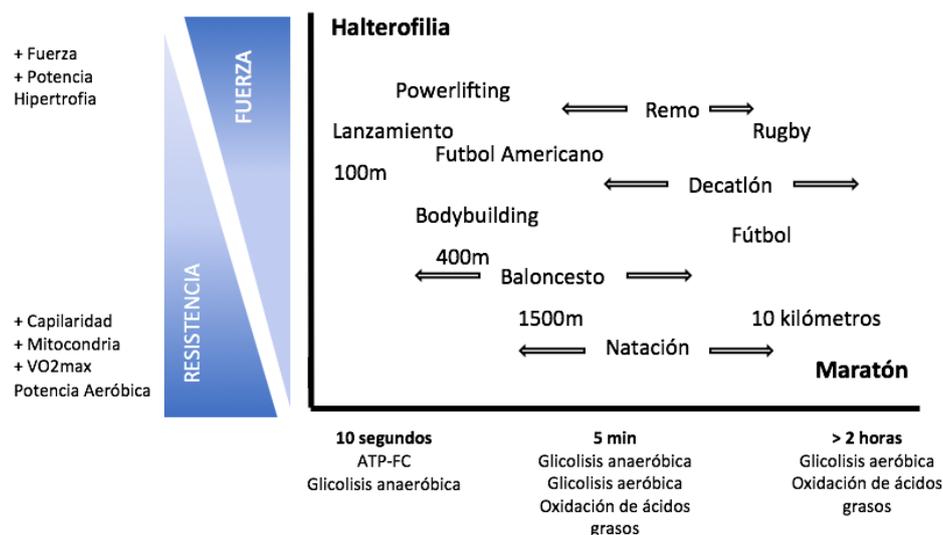
En la literatura científica, el fútbol se define como un deporte colectivo de naturaleza intermitente en sus acciones de mayor esfuerzo (3-5). El juego, por su idiosincrasia,

demanda durante su práctica períodos de acción interrumpidas por periodos de recuperación, ambos tipos de actividad varían en su intensidad y duración (6).

Es por ello por lo que se hace necesario el estudio de las demandas condicionales que afectan al futbolista, con el objetivo de poder desarrollar las capacidades que den soporte a las manifestaciones motoras durante el juego (7). Con el principal objetivo de desarrollar aquellas capacidades que les permitan realizar todas las habilidades técnico-tácticas, para el desempeño del juego con la máxima eficacia posible (8).

Debido al carácter intermitente de sus acciones en competición (4), el fútbol requiere de una combinación de fuerza y resistencia, donde se mezclan los diferentes recursos bio-energéticos para obtener energía. Según su continuo fuerza-resistencia es una modalidad mixta (**Figura 2**) (9,10).

**Figura 2.** El continuo fuerza-resistencia describe la relación de los deportes según la demanda del metabolismo energético y el carácter de esfuerzo de la modalidad.



Nota: Los escenarios de mayor dificultad en la elaboración de programas de entrenamiento son aquellos como el fútbol, que van a requerir de la combinación de fuerza y resistencia. (Modificado de Nader (10))

El metabolismo aeróbico cobra gran importancia para permitir una mejor recuperación entre esfuerzos, (5,9) mientras que el anaeróbico se necesita para sustentar los periodos de actividad a alta intensidad (8,9,11) ambas capacidades requieren una óptima planificación del entrenamiento, para conjugar el desarrollo de la fuerza y la resistencia cardiovascular(9).

Las primeras investigaciones acerca del tipo de esfuerzo que los jugadores desarrollaban en los partidos, datan de 1976 cuando Reilly y col. (12) investigaron en 51 encuentros de fútbol lo que ocurría con el ratio de trabajo según los diferentes perfiles y roles dentro del juego. Los investigadores encontraron que los jugadores llegaban a realizar aproximadamente 900 acciones independientes. La distancia media recorrida variaba según el rol posicional, donde los mediocentros eran los que mayor distancia cubrían, mientras que los defensas centrales eran los que menos. Además, en la investigación se estimaba que en torno al 80-90% de las acciones eran de baja o moderada intensidad, mientras que solo entre el 10-20% de ellas representaban acciones de alta intensidad.

En ese sentido, los roles posicionales de los jugadores parecen tener una relación directa con el total de acciones realizadas durante el partido, la intensidad y la energía total gastada, sugiriendo diferencias en los requerimientos de la condición física, psicológica y bio-energética empleada por los jugadores en las diferentes posiciones (12-14).

Las sucesivas investigaciones sobre los movimientos atléticos dentro del terreno de juego, durante los 90 minutos de partido, mostraron nuevos resultados sobre los valores físicos desarrollados por los jugadores.

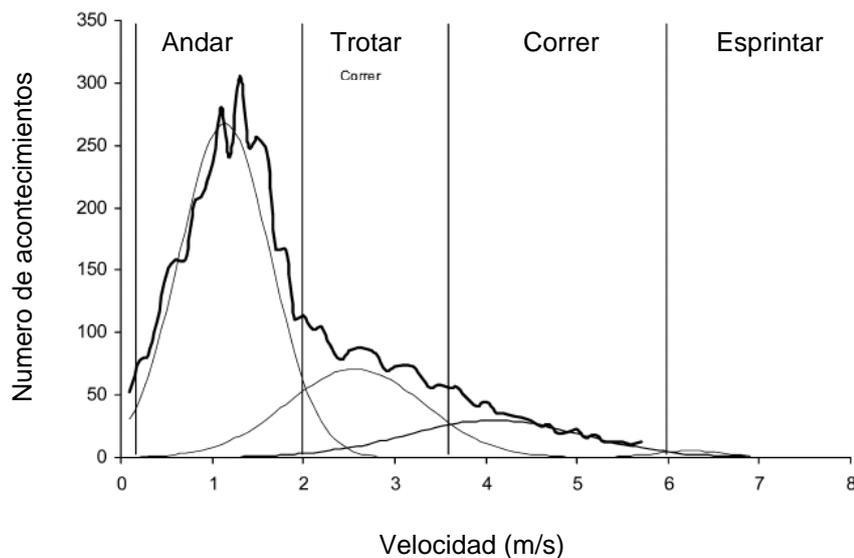
La distancia cubierta durante un partido por jugadores de élite está en torno a 10-12 kilómetros, o lo que es lo mismo, alrededor de 130 metros/minuto recorridos, lo que se define como ritmo de desplazamiento. Las posiciones más influidas por estas variables son los mediocentros, que recorren las mayores distancias durante el partido (4,15).

La intensidad de las acciones y la distancia recorrida disminuyen entre un 5 y un 10% en la segunda parte con respecto a la primera mitad de juego (4,16-18).

Bradley y col. (19) investigaron en la Premier League (PL), usando el método de posicionamiento en vídeo ProZone® (ProZone Version 3.0, ProZone Sports Ltd, Leeds, UK), qué formato de intensidades era el desarrollado durante esa distancia recorrida, demostrando que los jugadores se pasaban el  $5,6\% \pm 2,4$  del tiempo parados. Las actividades de baja intensidad representaron el 85,4% del tiempo (compuestas por caminar, que representó un  $59,3\% \pm 4,8$  del tiempo, y trotar un  $26,1\% \pm 3,8$  del tiempo). Las acciones de alta intensidad supusieron un 9% del tiempo total (estaban conformadas por carrera, un  $6,4\% \pm 1,6$  del tiempo, carrera a alta velocidad un  $2\% \pm 0,6$  del tiempo y sprint un  $0,6\% \pm 0,2$  del tiempo total del partido). Cabe destacar, que los umbrales que se asignaron para la siguiente categorización fueron los siguientes: estar de pie (de 0 a 0,6 km/h), andar (0,7 a 7,1 km/h), trotar (7,2 a 14,3 km/h), correr (14,4 a 19,7 km/h), carrera a alta velocidad (19,8 a 25,1 km/h) y

sprint (>25,1 km/h) y los tiempos de estancia variaban según cada categoría (**Figura 3**). Estas categorías de umbral para la velocidad eran muy similares a las usadas en investigaciones previas (15,18,20).

**Figura 3** La distribución del número de veces que ocurre una de las siguientes velocidades en el fútbol.



Nota: la actual distribución media se calculó y mostró en series de curvas de distribución normal, representando cuatro rangos de velocidad para la mejor comprensión. La curva negra es el sumatorio de las acciones y los puntos de intersección representan los cambios de un rango a otro de andar, trotar, correr y esprintar. Adaptado de Dwyer y col. (21).

Además, demostraron que no había diferencias entre el tiempo que pasaban a alta velocidad o esprintando (alta velocidad:  $58 \text{ s} \pm 19$  vs.  $56 \text{ s} \pm 18$  ( $p=0,06$ ); esprintando  $16 \text{ s} \pm 8$  vs.  $17 \pm 9$  ( $p=0,07$ )) en los dos periodos de juego, primera mitad y segunda mitad. Por el contrario, lo que sí ocurría es que los jugadores realizaban en la primera parte más bloques de tiempo a alta intensidad que en la segunda parte ( $279\text{s} \pm 66$  vs.  $267\text{s} \pm 67$  ( $p=0,01$ )) y que durante los 5 minutos siguientes al bloque de mayor distancia cubierta a alta intensidad del partido (las fases más exigentes), se producía

un descenso del rendimiento del 6%, entorpeciendo la realización de acciones a alta intensidad (19).

Asimismo, los periodos de recuperación entre esfuerzos se hacían más largos conforme iba avanzando el partido y se realizaban menos acciones a alta intensidad. Tanto la cantidad de esfuerzos a alta intensidad, disminuidas después de esas fases más exigentes (sugiriendo una forma temporal de fatiga), como el incremento progresivo del tiempo entre acciones a alta intensidad (sugiriendo una forma más permanente de fatiga) eran marcadores de fatiga, lo que se puede interpretar como un limitante del rendimiento (15,19).

Como se ha visto, la posición es un factor determinante del tipo de esfuerzo que se va a desarrollar durante el partido. Di Salvo y col. (4) realizaron una investigación en 30 encuentros de fútbol (nacionales e internacionales) disputados en el estadio Santiago Bernabéu, con más de 300 jugadores de élite, para entender las diferencias en los valores de rendimiento físico de los jugadores.

Los análisis de los partidos se llevaron a cabo distinguiendo las siguientes cinco categorías, focalizándose en la intensidad de los movimientos: de 0 a 11 km/h se identificó la categoría de estar parado, andar o trotar; a partir de 11,1 hasta 14 km/h la carrera a baja intensidad; de 14,1 a 19 km/h la carrera de moderada intensidad; de 19,1 hasta 23 km/h la carrera de alta intensidad y por encima de 23 km/h el sprint (4).

Cuando se comparaban los roles en las posiciones tácticas, se demostró que los jugadores que se distribuían por el centro del campo (mediocentros y extremos), probablemente por su vinculación durante el juego, eran los que significativamente

cubrían mayores distancias durante el partido, por encima de los defensas, que eran los que menos distancia recorrían, y los delanteros. Los centrales por su parte, eran los que más tiempo pasaban andando y trotando (0-11 km/h) y cubrían las mayores distancias en estas categorías de actividad. Por otro lado, los centrales en otras intensidades eran los que menos tiempo y distancias recorrían, lo que suponía que cubrían menores distancias a alta intensidad. Por otro lado, los mediocentros eran los que menor tiempo pasaban andando o trotando, pero su tipo de esfuerzo más desarrollado era a baja-moderada velocidad. Los extremos eran los que pasaban más porcentaje, del tiempo y de la distancia, a altas velocidades de carrera y sprint. Los centrales hacían significativamente menores valores de distancia a sprint con respecto a los delanteros. Además, fue la primera investigación donde se encontró que los laterales y los extremos realizaban significativamente mayores esfuerzos a alta intensidad y sprint que sus compañeros del sector central del campo (4).

Asimismo, Di Salvo y col. (4) calcularon el tiempo y la distancia que el jugador pasaba en disposición del balón, con solo entre un 1,2 y un 2,4% (119 – 286 m) del tiempo del encuentro, la mayoría de los esfuerzos los hacían sin el balón. Los extremos eran los jugadores que cubrían distancias significativamente mayores en posesión del balón sobre todas las demás posiciones.

Estos datos eran comparables con los de otras publicaciones que investigaban la influencia de la posición táctica como un factor de modificación de la distancia recorrida, donde los mediocentros eran los jugadores con mayor distancia recorrida por encima de los delanteros y siendo los defensas los que menos distancias recorrían (15,18).

La **Tabla 1** muestra las diferencias que existen por rango de velocidades según la demarcación que se emplee en el sistema de juego durante el partido, entendiendo que a mayores velocidades, mayores intensidades de trabajo está desarrollando el jugador.

**Tabla 1.** Datos de las diferencias posicionales en distancia cubierta a diferentes velocidades.

Distancia cubierta a diferentes intensidades de velocidad					
	0 – 11 km/h	11,1 – 14 km/h	14,1 – 19 km/h	19,1 – 23 km/h	>23 Km/h
Centrales	7080 ± 420 m	1380 ± 232 m <sup>+</sup>	1257 ± 244 m	397 ± 114 m	215 ± 100 m
Laterales	7012 ± 377 m	1590 ± 257 m <sup>+</sup>	1730 ± 262 m	652 ± 179 m	402 ± 165 m <sup>§</sup>
Mediocentros	7061 ± 272 m	1965 ± 288 m	2116 ± 369 m <sup>*</sup>	627 ± 184 m	248 ± 116 m
Extremos	6960 ± 601 m	1743 ± 309 m	1987 ± 412 m <sup>*</sup>	738 ± 174 m <sup>#</sup>	446 ± 161 m <sup>§</sup>
Delanteros	6958 ± 438 m	1562 ± 295 m <sup>+</sup>	1683 ± 413 m	621 ± 161 m	404 ± 140 m <sup>§</sup>

Nota: (+) Significativamente menores que los mediocentros y los extremos. (\*) Significativamente mayores que los centrales, los laterales y los delanteros. (#) Significativamente mayores que las demás posiciones. (§) Significativamente mayores que los datos de los mediocentros y los centrales. Adaptado de Di Salvo y col. (4).

Uno de los factores limitantes a todas estas variables es que están calculadas sobre el tiempo total de juego, lo que no representa una medida real de las acciones técnicas, que sólo se dan durante el tiempo efectivo de juego donde el balón está en movimiento. Aunque, si informan sobre los valores absolutos de los esfuerzos a alta intensidad, ya que los jugadores sólo van a desempeñar acciones de alta intensidad cuando el balón está en juego, buscando mejores oportunidades para recibir, creando situaciones de ataque o presionando al oponente con el objetivo de provocar errores y poder recuperar la posesión (19).

Las variables que se van a ver distorsionadas son aquellas que tienen que ver con la densidad de trabajo. Es decir, los ratios esfuerzo/recuperación entre acciones y, sobre todo, como establecer las fases más exigentes del juego. Por lo tanto, a la hora de analizar demandas físicas durante una temporada por partido, los valores absolutos son fiables (22). Mientras que, si quisiéramos analizar fases del juego para encontrar momentos de alta densidad de acciones a alta intensidad, para valorar las fases más exigentes deberíamos tener en cuenta el tiempo efectivo (22).

Castellano y col. (22) sugieren que se debe considerar el tiempo de juego efectivo como una variable que aporta más precisión sobre las demandas físicas competitivas, para poder aplicarlas al contexto de la preparación física y adaptar las fases más exigentes de la competición a tareas del entrenamiento. Además, resaltan las variables que podrían influir en las cargas físicas para desarrollar un modelo predictivo de actividad física durante la competición. Sugiriendo que un análisis efectivo del comportamiento necesitaría tener en cuenta las variables situacionales, por ejemplo, si el partido es fuera o en casa, si se va ganando, empatando o perdiendo, etc.

### *1.3 El fútbol se desarrolla a alta intensidad de carrera.*

Las acciones que se realizan durante un partido por cada jugador a una intensidad elevada son, alrededor de 1000-1400 acciones cortas cambiando de estado cada 4-6 segundos. El descriptivo de las actividades que se realizan por partido y por jugador a alta intensidad son: 10-20 esprints (ES), un periodo de acciones de carrera de alta intensidad cada 70 segundos aproximadamente, 15 disputas de balón, 10 remates de cabeza, 50 acciones en las que se ve envuelto con el balón, alrededor de 30 pases

con una distancia media de 15 metros y 30 acciones de cambios de ritmo y de protección del balón frente a la presión del rival (23).

Dentro de las acciones de alta intensidad se debe distinguir cuales son las actividades que la configuran, algunas de ellas están más claras y en otras existe una falta de consenso en la literatura para establecer los puntos de corte y su comparación entre estudios, y con ello determinar qué variables van a afectar más al rendimiento.

#### *1.4 Las categorías de alta intensidad de carrera.*

Durante un partido se producen esfuerzos de sprint cada 90 segundos, suele durar de 2-4 segundos de media (18).

Cuando se fragmentaba el análisis de los ES, los jugadores realizaban más acciones en el rango de 0-10 metros que en el de 20-30 metros, con alguna diferencia según posición en la PL (24). Conjuntamente, las duraciones de las acciones a alta intensidad eran muy cortas, normalmente el 90% de ellas no duraban más de 5 segundos. Además, el fenómeno de la velocidad máxima necesita de al menos 20 metros para ser alcanzada (24). Esprintar supone entre un 1 y un 11% de la distancia total cubierta durante el partido, lo que corresponde al 0,5 al 3% del tiempo efectivo de juego (23).

El estudio de Di Salvo y col. (24) tenía como objetivo analizar en profundidad las acciones de alta intensidad usando una muestra muy amplia de jugadores profesionales de élite. La clasificación que se propuso para identificar estas acciones

fue la siguiente: la distancia total de carrera a alta intensidad se estableció a partir de un punto de corte que estaba marcado en 19,8 km/h y que tenía que mantenerse más de 0,5 segundos en ese intervalo, y la distancia total a sprint a partir de 25,2 km/h mantenida más de 0,5 segundos. También tenía en cuenta, si esa distancia se recorría con el equipo en posesión del balón o sin posesión del balón. Asimismo, identificaban los ES por la distancia total que recorrían cuando la velocidad ya era mayor de 25,2 km/h, entre 0-5 metros, entre 5,1 – 10 metros, 10,1 – 15 metros, 15,1 – 20 metros, >20 metros.

Por último, diferenciaron el tipo de sprint entre explosivo y gradual. El explosivo, caracterizado por una rápida aceleración, se definía como conseguir la velocidad de sprint >25,2 km/h desde las actividades de estar parado, andar < 7.2 km/h, trotar <14,4 km/h o correr <19.8 km/h pasando por la categoría de alta intensidad de carrera desde 19,8 km/h hasta alcanzar los 25,2 km/h con un tiempo inferior a 0,5 segundos. Mientras que, los ES graduales, se determinaron como aquellos que partiendo de alguna de las anteriores condiciones: parado, andando, trotando o corriendo se mantenían más de 0,5 segundos en la categoría de carrera a alta intensidad (24).

La distancia cubierta a alta intensidad de carrera durante la investigación fue de  $908 \pm 189$  metros, mientras que para la distancia a ES fue de  $229 \pm 71$  metros. El número medio de bloques de esprint que se contabilizaron fue de  $32 \pm 8$  por partido y por jugador. Como consecuencia de las cortas distancias recorridas, de entre 0 y 10 metros durante los ES, este tipo de esfuerzo suele ser breve en los partidos de fútbol (24).

Los datos mostraban que no solo las posiciones del campo influían sobre la distancia total recorrida a alta intensidad de carrera, sino que también dependían del éxito del equipo. La habilidad de realizar este tipo de esfuerzo intenso se veía reducida a medida que avanzaba el partido (24).

La otra taxonomía, que más adelante en el apartado referente a la metodología de adquisición de datos se volverá a tratar, es la que hace referencia a la clasificación propuesta por Dellal y col. (25); y apoyada en Di Salvo y col. (4) que está dividida en dos dependiendo de la intensidad de la velocidad. El primer umbral se determinaba por las distancias a partir de 21 km/h, denominándose carrera a alta intensidad y el segundo umbral para las distancias con una velocidad superior a 24 km/h denominados ES.

La literatura científica señala la falta de consenso en establecer esos tiempos o distancias pasadas en los diferentes umbrales de velocidad, cómo una de las principales limitaciones en los dispositivos de medida para poder comparar los datos entre estudios (26).

En la actualidad, no existe un acuerdo en qué umbrales se deben usar en el fútbol. Por ejemplo, la velocidad de ES se ha marcado en >30 km/h; > 23 km/h y >24 km/h en diferentes investigaciones (15,27,28).

Cabe destacar que los anteriores marcadores no tienen una justificación fisiológica para el uso de esas zonas de alta intensidad. Algunos estudios que medían el rendimiento físico en los partidos delimitaban los umbrales de velocidad para calcular

la distancia a alta intensidad a partir de 13 km/h (29), de 14,4 km/h (20), de 15 km/h (18,30), de 18,1 km/h (31), de 19,1 km/h (4), de 19,8 km/h (32) y de 21 km/h (25).

El umbral de velocidad para la alta intensidad configurado de fábrica por el software Prozone con el objetivo de analizar los partidos, es un valor absoluto de 19,8 km/h (5,5 m/s), mientras que para el sistema Mediacoach es de 21 km/h (5,83 m/s). Debido a la naturaleza individual de la adaptación al ejercicio según la intensidad percibida por cada individuo (33), se puede entender que se incurre en un potencial error de medida cuando se establecen umbrales absolutos de velocidad a alta intensidad, ya que para algunos jugadores ese valor podría estar sobreestimado o infraestimado en su defecto.

La alternativa que proponen Abt y col. (34) es el uso de umbrales de velocidad diseñados individualmente por las características fisiológicas, que corresponden a la transición entre los ejercicios de moderada y alta intensidad. El segundo umbral ventilatorio (VT2) ha sido descrito como un identificador para delimitar las zonas de entrenamiento. Por debajo del VT2 se encuentran las acciones de moderada intensidad y por encima del VT2 las actividades alta intensidad de entrenamiento (35). La justificación del uso del VT2 para delimitar las acciones de alta intensidad se basa en las condiciones inestables sistémicas que se producen a partir de ese punto (36,37). Por lo tanto, un atleta ejercitándose por encima de esa intensidad no podrá mantener el ejercicio en un periodo amplio de tiempo (36,37). Consiguientemente, el VT2 representa un umbral objetivo e individualizable para medir la intensidad a partir de la cual el jugador se ejercitará a alta intensidad (34)

La media de los jugadores para la velocidad de alta intensidad a partir del VT2 fue de 15,3 km/h  $\pm$  0,7 con una mediana de 15 km/h y una moda de 14-16 km/h. Cuando se comparaban las distancias recorridas en los umbrales de velocidad, la distancia recorrida en el umbral por defecto de Prozone era de 845 m  $\pm$  296 m, mientras que para la distancia en VT2 era de 2258 m  $\pm$  707 m, con una diferencia significativa de 1413 m ( $P \geq 0,01$ ; 95% IC: 1037 a 1789 m). Lo que representaba un incremento del 167% de la distancia recorrida a alta intensidad si se calculaba por el método de VT2 (34).

Estos resultados muestran que el umbral fijado en 15 km/h para calcular la distancia a alta intensidad en estudios previos (38,39), es el más apropiado de entre todos los umbrales propuestos previamente, y es el mismo que la mediana de la velocidad en VT2 (34). Además, las distancias encontradas en los estudios de Mohr y col.(15) informaban de que se hacían 2165 m de acciones a alta intensidad, que son muy parecidas a las encontradas cuando el umbral es personalizado al VT2, 2258 m  $\pm$  707 m. Dadas las limitaciones técnicas de algunos clubes para individualizar los umbrales, en base a una prueba de esfuerzo que calcule la VT2, las investigaciones recomiendan fijar el umbral para la alta intensidad en un valor absoluto de 15 km/h (4,16 m/s) que estará más cerca de la realidad que el propuesto por defecto (34). Además, con el objetivo de poder comparar entre jugadores, clubes, campeonatos y partidos, se debería usar el umbral absoluto de 15 km/h frente al individualizado (34).

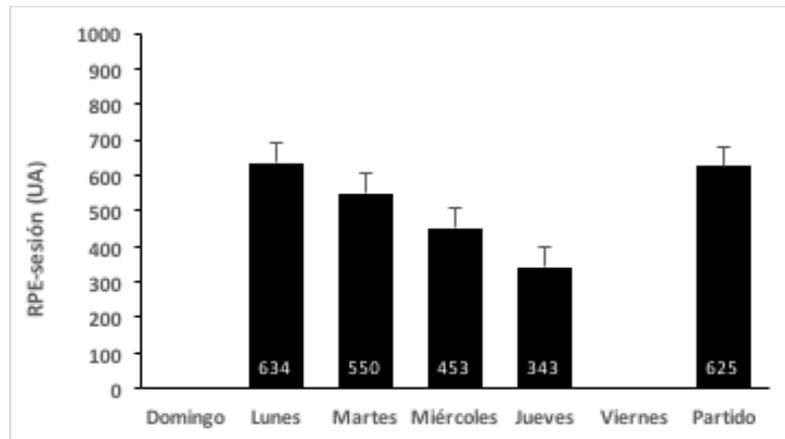
Para la prescripción de ejercicio de forma individual es mejor el VT2, mientras que para comparar entre jugadores es mejor el umbral absoluto ajustado a la mediana de 15 km/h. Debido a que si no se individualiza, los jugadores con peor condición

aeróbica recorrerán mayores distancias a alta intensidad. Mientras que, los que tengan mejor condición aeróbica recorrerán menos distancias, sobre-estimulando a unos e infra-entrenando a otros, sin programar la dosis correcta de ejercicio. Esto se demuestra por la relación inversa que existe entre el VO<sub>2</sub>max y la distancia recorrida a alta intensidad basada en el VT<sub>2</sub> ( $r = -0,68$   $p = 0,03$ ) (34).

Los autores proponen que este umbral absoluto sea definido como un umbral de rendimiento físico más que como un umbral de velocidad a alta intensidad, ya que eso podría eliminar el hecho implícito de que los jugadores se están ejercitando en diferentes perfiles de intensidad según su condición física individualizada (34,35)

Al individualizar el umbral de velocidad de alta intensidad, esta distancia y tiempo recorridos a alta intensidad, se pueden observar con precisión durante el partido. Estas demandas ofrecerán una medida de carga física para establecer la “dosis” que se realiza de este tipo de actividades durante un encuentro de fútbol, y así poder programar una dosis efectiva semanal de carga física. Esta “dosis de entrenamiento” va a condicionar al futbolista en relación al tipo de estímulo que se encuentra durante la competición (34). El partido puede suponer un 25% de la dosis de carga física semanal teniendo que programar las sucesivas cargas durante el microciclo competitivo (**Figura 4**) (40).

**Figura 4.** Periodización semanal determinada mediante el uso de la media de la carga obtenida por la escala de esfuerzo percibido de la sesión (RPE-sesión), en un periodo de siete días de entrenamiento de fútbol y partido.



Fuente: Modificado de Impellizzeri y col. (40)

Las principales diferencias entre métodos ponen de manifiesto la necesidad de individualizar los umbrales de velocidad para distinguir las distancias a alta intensidad, basándose en conceptos fisiológicos que no infraestiman las acciones de alta intensidad, frente a los umbrales por defecto de fábrica de los software de análisis de partidos. De lo anterior, se puede intuir que la justificación de estas clasificaciones es más por un motivo de programación de software que por motivos fisiológicos, ya que como se verá en la metodología, los softwares Amisco (AMISCO Pro, Sport-Universal Process, Niza, Francia) y Mediacoach (MediaPro, Barcelona, España) tienen mayor relación en las variables entre sí que con Prozone (26,34).

Harley y col (41) investigaron las posibilidades de intercambio entre el método de posicionamiento en vídeo de Prozone y los GPS de Catapult (Catapult, Australia) para las variables de distancia total y las diferentes zonas de alta intensidad de carrera. Los resultados sugerían que las distancias totales eran un 7% mayor para los

sistemas GPS, mientras que las distancias a alta intensidad de carrera, por encima de 4 m/s, eran un 14% mayores en el sistema Prozone. Las diferencias relativas entre las medidas pueden reflejar un error de medida entre sistemas, que podrían considerarse aceptables para monitorizar las variables de rendimiento en el campo teniendo en cuenta los sesgos que se presentan. Ya que las pequeñas diferencias sin significancia de los valores de alta velocidad de carrera del 9%, entre 4 m/s y 5,5 m/s, y de muy alta velocidad de carrera del 16%, entre 5,5 m/s y 7 m/s, entre los sistemas indican que ambos métodos pueden ser intercambiables. Mientras que las diferencias para los valores de ES, por encima de 7 m/s, entre dispositivos no se deberían comparar. En términos prácticos, las diferencias encontradas del 40% entre sistemas para las variables de ES durante el partido podrían mostrar rangos desde 60 hasta 138 metros.

En otras investigaciones cuando comparaban las variables de rendimiento físico entre cuatro sistemas de análisis incluyendo el sistema semiautomático de vídeo Amisco (Amisco SL, Niza, Francia), un análisis de vídeo en movimiento y dos sistemas de GPS con 5 Hz y 1 Hz de frecuencia de registro respectivamente, se encontraban que los sistemas multi-cámara semiautomáticos median significativamente más acciones a alta intensidad que los otros tres sistemas, un 39% más que el análisis de vídeo, un 24% más que los GPS de 5 Hz y un 37% más que el GPS de 1 Hz. La velocidad máxima también era diferente entre dispositivos, siendo el GPS de 5 Hz quien media las velocidades más altas. Las distancias cubiertas a alta intensidad, registradas por Amisco, fueron entre 0,6 y 1 km mayores que los otros tres dispositivos, Amisco registraba una media de 2,65 km en alta intensidad de carrera al marcar el umbral de 18 km/h. No encontraron diferencias significativas entre las distancias totales y los

valores de ES, marcados en velocidades por encima de 22 km/h. Los autores señalaban que los cuatro métodos son aptos para detectar las variables de rendimiento físico en el fútbol de élite, pero debido a sus diferencias entre valores, las comparaciones se deberían hacer con mucha cautela (42).

Por otro lado, el sistema Mediacoach lleva registrando datos desde 2011 en las competiciones de La Liga, primera y segunda división, lo que permitiría un estudio longitudinal de las demandas físicas de la competición y una comparación entre competiciones. Esto podría ayudar a los profesionales del deporte a mejorar su conocimiento del fútbol, permitiéndoles monitorizar las demandas físicas a lo largo de la temporada (43).

Otra alternativa propuesta en la literatura es la de individualizar el análisis de las demandas físicas por medio de umbrales que consideren en fracciones del 10% la velocidad máxima alcanzada por el jugador durante un partido. Núñez-Sánchez y col. (44) valoraron el pico máximo de los jugadores por medio de un sprint de 40 m y analizaron las demandas físicas de los subsiguientes 4 partidos amistosos. Para la comparación de los métodos, las demandas se establecieron entre cinco umbrales de velocidad absolutos y diez umbrales individualizados. Los absolutos se establecieron de la siguiente manera, carrera de muy baja intensidad (0-7 km/h), carrera de baja intensidad (7-13 km/h), carrera de intensidad media (13-18 km/h), carrera de alta intensidad (18-21 km/h) y carrera de muy alta intensidad (>21 km/h) basándose en la literatura científica (45,46). Los umbrales designados con respecto a la velocidad máxima individual fueron: <10%, 10-20%, 20-30%, 30-40%, 40-50%, 50-60%, 60-70%, 70-80%, 80-90%, >90% (44). Estos umbrales estaban basados en la literatura

científica que marcaban los ES como el 61% de la velocidad a los 10 metros en un test de 40 metros (47). Además, apoyados en otras investigaciones donde usaban la tecnología GPS para categorizar las demandas físicas mediante umbrales individualizados, mostrando que las zonas de velocidad a baja intensidad se encontraban por debajo del 34% de la velocidad máxima, las zonas de media intensidad se encontraban entre el 34% y el 61% y las zonas de alta intensidad por encima del 61% de la velocidad máxima de los jugadores, en el corte de 30 – 40 m de un test de sprint de 40 metros, y que fueron comparados con datos de carga interna individualizada, proporcionados por el tiempo que pasaron en diferentes zonas de la frecuencia cardiaca durante el partido (48).

Finalmente, los resultados de Núñez-Sánchez y col. (44) muestran que sólo los umbrales individualizados en porcentaje de la velocidad máxima tienen diferencias de rendimiento físico según la posición en el campo cuando se analizan las acciones por encima de 18 km/h. Los roles tácticos en un sistema 4-4-2 para los extremos y los delanteros, hacen que tengan grandes demandas de carrera en el umbral de 60-70% de la velocidad máxima, pero sólo el delantero tiene demandas de esfuerzo en el umbral del 70-80% de la velocidad máxima, condición que el umbral absoluto de 18 km/h no puede discriminar para este jugador y para este sistema. El umbral absoluto entre los 13 y los 18 km/h es muy similar al rango de 40-60% de la velocidad máxima, donde los mediocentros y los extremos son los que más distancias recorren en ambos umbrales. La carrera a baja intensidad en el umbral absoluto de 7 a 13 km/h está relacionado con los valores obtenidos entre el 30 y el 40% de la velocidad máxima.

Como ya se ha visto, el uso de umbrales absolutos puede sobreestimar o infra-estimar la intensidad del esfuerzo de la posición en el campo durante el partido. Analizar las demandas físicas mediante umbrales individualizados de porcentaje de la velocidad de los jugadores, podría ofrecer datos de las demandas específicas de carrera entre diferentes roles del sistema táctico. Además, podría ayudar a reducir el error de analizar las variables de rendimiento, y es adaptable a cualquier test fisiológico, para diferenciar las intensidades de esfuerzo de cada jugador (44).

Di Salvo y col. (24) destacan en su investigación el siguiente párrafo traducido al castellano: “Una evaluación de la actividad de alta intensidad en relación con la posición final de la liga proporciona una indicación de hasta qué punto el rendimiento físico de los jugadores puede influir en el resultado del partido. Estas tendencias en una gran cantidad de partidos pueden proporcionar información más útil que investigar relaciones basadas en partidos individuales como resultado de la naturaleza impredecible del resultado de los juegos discretos.” Donde se pone de manifiesto la necesidad de investigar la tendencia de la alta intensidad durante un periodo de tiempo para buscar un indicador de rendimiento.

#### *1.4.1 . La alta intensidad de carrera por posiciones.*

Las posiciones que mayores distancias a alta intensidad recorrían durante los partidos, por encima de 19,8 Km/h, eran los extremos, además eran los que mayor velocidad alcanzaban (**Tabla 2**) (19).

**Tabla 2.** Variables de rendimiento físico en función de la posición.

Variables de rendimiento	Centrales (n=92)	Laterales (n=84)	Mediocentros (n=80)	Extremos (n=52)	Delanteros (n=62)
<b>Distancias cubiertas</b>					
<b>Total (m)</b>	9885 ± 555	10710 ± 589	11450 ± 608 <sup>a</sup>	11535 ± 933 <sup>a</sup>	10314 ± 1175
<b>Carrera a alta intensidad (m)</b>	1834 ± 256	2605 ± 387	2825 ± 473	3138 ± 565 <sup>b</sup>	2341 ± 575
<b>Carrera a muy alta intensidad (m)</b>	603 ± 132	984 ± 195	927 ± 245	1214 ± 251 <sup>b</sup>	955 ± 239
<b>Sprint (m)</b>	152 ± 50	287 ± 98 <sup>c</sup>	204 ± 89	346 ± 115 <sup>c</sup>	264 ± 87
<b>Otras variables</b>					
<b>Velocidad máxima (m/s)</b>	7,31 ± 0,30	7,74 ± 0,24 <sup>d</sup>	7,52 ± 0,30	7,93 ± 0,31 <sup>d</sup>	7,76 ± 0,28 <sup>d</sup>
<b>Tiempo de recuperación (s)</b>	101 ± 15	74 ± 23	62 ± 19 <sup>a</sup>	51 ± 16 <sup>a</sup>	73 ± 22

Nota: Total: distancia recorrida en metros; Carrera a alta intensidad: distancia recorrida en metros por encima de 14,4 km/h; Carrera a muy alta intensidad: distancia recorrida por encima de 19,8 km/h; Sprint: distancia recorrida por encima de 25,1 km/h; Velocidad máxima: media de las máximas velocidades alcanzada durante el partido por los jugadores; Tiempo de recuperación: la media de los tiempos de recuperación entre bloques de acciones a muy alta intensidad. <sup>a</sup> Diferencias con los centrales, los laterales y los delanteros ( $p < 0,05$ ). <sup>b</sup> Diferencias con todas las demás posiciones ( $p < 0,05$ ). <sup>c</sup> Diferencias con los centrales, los mediocentros y los delanteros ( $p < 0,05$ ). <sup>d</sup> Diferencias con los centrales y los mediocentros ( $p < 0,05$ ). Adaptado de Bradley (19)

Las posiciones que más acciones de sprint realizaban eran los delanteros, mientras que los mediocentros y los extremos esprintaban más que los centrales, que eran los que menos ES realizaban (15). Estas diferencias eran probablemente debidas a una consecuencia directa del rol táctico de estas posiciones en el juego (49). Un alto requerimiento de estos patrones de movimientos en los jugadores de ataque (delanteros y extremos), pueden deberse a la necesidad de completar movimientos rápidos lejos de los defensores, para generar espacio o ganar ventaja, para tener una oportunidad de gol. Las investigaciones de Faude y col. (50) observan que el 75% de

los ES de un delantero y el 36% de las acciones a alta intensidad de un asistente antes de meter un gol fueron sin el balón.

Los perfiles posicionales de los laterales demuestran que recorren las mayores distancias sin posesión del balón, en alta intensidad, como consecuencia de la necesidad de maniobrar tanto en contextos de ataque como de defensa. De forma similar, las menores distancias recorridas a alta intensidad sin el balón están asociadas con el defensa central como resultados de su desenvolvimiento en el juego limitado a las acciones defensivas (24).

Las posiciones laterales del campo (laterales y extremos) y los delanteros, representaban los porcentajes significativamente más altos de ES graduales. Los jugadores que mostraban una tendencia mayor de ES más explosivos eran los que ocupaban las posiciones centrales (mediocentros y defensas centrales).

Probablemente esta naturaleza de las acciones es dependiente de las acciones técnico-tácticas que se les requieren a cada posición. La característica más explosiva del trabajo realizado en el centro del campo puede estar relacionada con las acciones reactivas de los jugadores a los movimientos del rival. Mientras que, los jugadores más orientados al ataque pueden producir más ES graduales, debido a la necesidad de crear acciones entrópicas que progresen su situación táctica, con el objetivo de iniciar movimientos para crear oportunidades de ataque (24)

La distancia cubierta a alta intensidad en los últimos quince minutos del juego es menor para todas las posiciones, con las siguientes variaciones: los extremos sufrían

una reducción del 21% en estos minutos finales con respecto a los primeros quince minutos ( $467 \text{ m} \pm 106$  vs.  $589 \text{ m} \pm 134$   $p > 0,01$ ), los mediocentros del 20% ( $429 \text{ m} \pm 106$  vs.  $534 \text{ m} \pm 99$   $p > 0,01$ ), los laterales de un 19% ( $389 \text{ m} \pm 95$  vs.  $481 \text{ m} \pm 114$   $p > 0,01$ ), los delanteros de un 21% ( $348 \text{ m} \pm 105$  vs.  $438 \text{ m} \pm 129$   $p > 0,01$ ) y por último los centrales, que veían reducidas sus altas intensidades un 20% en los últimos quince minutos ( $276 \text{ m} \pm 93$  vs.  $344 \text{ m} \pm 80$   $p > 0,01$ ) (19).

El declive en la distancia recorrida a alta intensidad inmediatamente después del bloque de tiempo, en un rango de cinco minutos, con acciones más intensas (denominado como “las fases más exigentes”), fue más evidente en los centrales ( $182 \text{ m} \pm 26$  vs.  $96 \text{ m} \pm 39$   $p > 0,01$ ) y los delanteros ( $216 \text{ m} \pm 50$  vs.  $113 \text{ m} \pm 47$   $p > 0,01$ ), que para los laterales ( $243 \text{ m} \pm 39$  vs.  $137 \text{ m} \pm 53$   $p > 0,01$ ), los extremos ( $282 \text{ m} \pm 49$  vs.  $162 \text{ m} \pm 56$   $p > 0,01$ ), y los mediocentros ( $251 \text{ m} \pm 46$  vs.  $137 \text{ m} \pm 50$   $p > 0,01$ ). Aunque sin significancia entre posiciones. Los extremos y los mediocentros demostraron menos tiempo de recuperación entre los bloques de esfuerzo a alta intensidad que los laterales, los centrales o los delanteros (19)

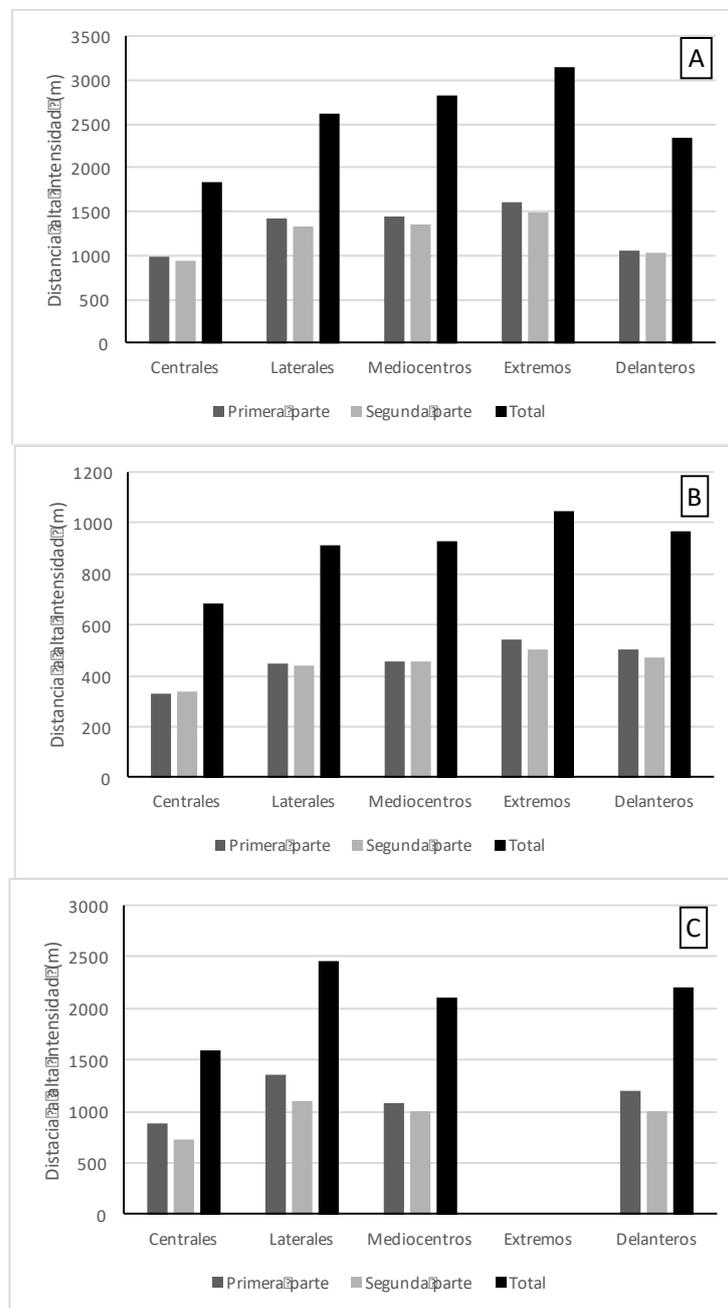
Estos resultados nos indican que las velocidades alcanzadas durante el partido fueron entre un 6 y un 8% superiores para los delanteros y los mediocentros que para los centrales. Esto se podría deber al rol posicional que desempeñan y a las características de su posición dentro de la lógica interna del juego. Dado que, el espacio que tienen los extremos les permite realizar carreras de mayor espacio y acelerar durante más tiempo para alcanzar las velocidades máximas (19).

Además, estas posiciones han demostrado las mayores velocidades, posiblemente por una predisposición genética de base en estos roles tácticos (51,52).

Los tiempos de recuperación entre los periodos de bloques de alta intensidad divididos en 5 minutos, mostraron diferencias entre los primeros y los últimos 15 minutos, siendo un 28% más largos en los momentos finales de los partidos para todas las posiciones, y no solo en la cantidad si no también en la frecuencia con que se manifestaban, lo que podría indicar que la fatiga afecta a los movimientos de los jugadores y como se relacionan entre ellos. La mayor necesidad de recuperación entre acciones de alta intensidad podría indicar que el juego se beneficiaría de cambios que introdujeran jugadores que pudieran realizar alta intensidad (19)

La **Figura 5** muestra diferentes estudios que han analizado las acciones a alta intensidad de carrera entre posiciones.

**Figura 5.** Carrera a alta intensidad en cada parte del partido para las diferentes posiciones de los jugadores de diferentes estudios



Nota: comparando los estudios de (A) Bradley (19) donde la actividad a alta intensidad estaba por encima de 14,4 km/h. (B) Di Salvo (24) donde la alta intensidad estaba marcada por encima de 19,1 Km/h. (C) Mohr (15) donde la alta intensidad estaba marcada por encima de 18 km/h y no contabilizó las acciones de los extremos y las incluyo en las de los laterales. Figuras adaptadas de las anteriores investigaciones.

### *1.4.2 La evolución de las demandas físicas de alta intensidad de carrera.*

La literatura científica reporta una evolución desde el mundial de 1966 al mundial de 2010, donde la RFEF resultó campeona del mundo. Se examinaron los partidos retransmitidos por televisión para analizar la estructura y los patrones del juego. Se analizaron los 90 minutos de juego, sin contar las prórrogas. Se observó que la velocidad de la pelota y el número de pases que se realizaban aumentaron significativamente. La velocidad del balón en el partido está relacionada con la velocidad del movimiento del jugador y con la rapidez en la toma de decisiones. La velocidad del juego desde 1966 hasta 2010 ha aumentado en un 15%. Existe evidencia que sugiere que hay una ventaja en el juego cuando se utiliza un estilo de presión rápida, particularmente cuando se juega cerca de la portería y durante las fases de transición de defensa a ataque. La necesidad de realizar acciones a alta intensidad de carrera y ES repetidos en el juego moderno y, como estas acciones, comparadas con el desarrollo del juego de décadas previas han incrementado. Los movimientos de alta intensidad impactan en las demandas del juego y requieren a jugadores rápidos que se puedan adaptar a los requerimientos de la velocidad del juego para acoplarse a las demandas de la competición (53).

En relación con el juego en competiciones ligueras, la alta intensidad y las distancias a ES han aumentado del 30-50% en la PL, con un aumento concomitante del número de pases total del 40% durante el desarrollo de siete ligas consecutivas (54).

Los laterales eran los que mostraban el mayor cambio en distancia a alta intensidad de carrera, un 36% por encima de 19,8 km/h, aunque todas las posiciones mostraron

un incremento moderado de las distancias a alta intensidad de carrera, centrales un 33%, extremos un 27%, mediocentros un 30% y delanteros un 24% de incremento de estas acciones. Los centrales, los laterales y los extremos demostraron un incremento moderado en las distancias a alta intensidad cubiertas en posesión del balón, de 355 + 159m a 503+181 m para los laterales, por ejemplo. Todas las posiciones mejoraron sus valores cuando no tenían la posesión del balón. Las distancias a ES aumentaron para todas las posiciones siendo los laterales, con un 62% los que sufrieron mayor cambio, mientras que los delanteros sufrieron el menor cambio, un 36% (54).

El número de ES explosivos, los que entraban en la categoría de ES por encima de 25,1 Km/h sin pasar más de 0,5 segundos en las otras categorías, aumentaron para todas las posiciones de forma muy significativa, por ejemplo, los extremos pasaron de 14+7 a 33+11 acciones explosivas en el transcurso de las siete temporadas. Mientras que los ES graduales, los que estaban más de 0,5 en la categoría de alta velocidad de carrera antes de entrar a la de ES, mostraron un incremento moderado. Por ejemplo, los extremos pasaron de 27+9 a 41+11 acciones. Los jugadores en las posiciones de extremo o lateral y los atacantes cubrieron un mayor porcentaje de la distancia total esprintando, de un 3,5 a un 4,2%, que los centrales o los mediocentros con un 2,3 y un 2,9% respectivamente. Esto puede deberse a que los patrones del juego y los requisitos físicos se incrementaron para cubrir las necesidades tácticas del deporte (55).

## 1.5 *Otros marcadores de alta intensidad en el fútbol.*

Hasta ahora se han analizado las variables de alta intensidad que correspondían al patrón motor del desplazamiento, pero en el fútbol se manifiestan otras acciones que se relacionan con valores de alta intensidad. Ya sea por su naturaleza locomotora (las velocidades y las distancias podrían entrar en este grupo) por su naturaleza mecánica (que representan demandas neuromusculares de impacto como las aceleraciones o las deceleraciones) o por su naturaleza de impacto metabólico (que serían las derivadas de una mezcla de las anteriores), todas estas variables tienen una ponderación dentro de las acciones a alta intensidad desarrolladas en el juego (56).

Además, la evidencia científica destaca las limitaciones de estimar la carga de trabajo solo con las acciones locomotoras, porque podría dejar sin contabilizar muchas acciones de alta intensidad, debido a las características en las que se producen (21).

Así pues, por ejemplo, las variables de naturaleza mecánica, se pueden definir como aquellas que van a suponer una carga neuromuscular o del aparato músculo esquelético, por la acción del impacto sobre sus estructuras produciendo una señal de mecano-transducción al sistema que va a tener que desarrollar una fuerza opuesta de la misma magnitud, ya sea como consecuencia de la reacción de las fuerzas del suelo o de la acción contra el suelo y sus fuerza derivadas de reacción (57).

Dentro de este grupo se encuentran las acciones de aceleración, las desaceleraciones, los impactos y las métricas propias que cada marca comercial ofrece como puede ser el PlayerLoad (utilizado por marcas como WIMU (Realtrack

Systems, Almería, España) o Catapult (Catapultsports, Melbourne, Australia)) o el Dynamic Stress Load (utilizado por la marca Apex Statsport (STATSports Group Limited, Newry, Irlanda)) (58).

### 1.5.1 PlayerLoad

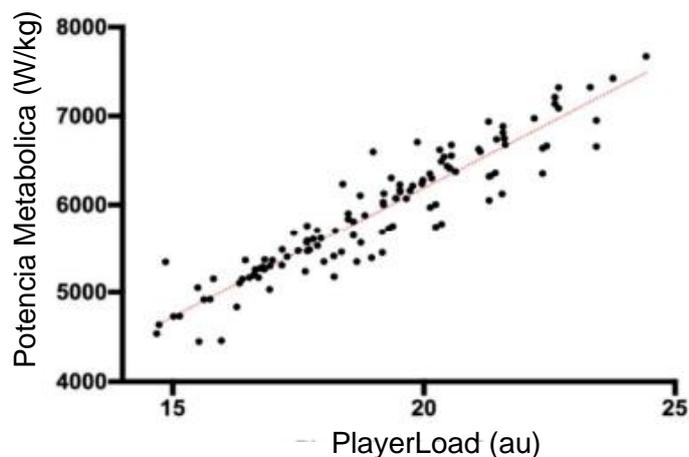
En ese aspecto, el PlayerLoad es uno de los indicadores de carga externa más utilizado (59). Se obtiene a partir de la suma de las aceleraciones producidas en los tres ejes de movimiento, registrados por el acelerómetro triaxial del GPS, realizando una estimación de la carga total en unidades arbitrarias (60). Tiene en cuenta el ratio de cambio de aceleración instantáneo y lo divide por un factor escala de 100 para hacer más comprensible sus valores, la fórmula es la siguiente:

$$PLn = \sqrt{\frac{(Xn - Xn-1)^2 + (Yn - Yn-1)^2 + (Zn - Zn-1)^2}{100}}$$

Según el dispositivo, también se puede definir como Body Load (61). Es un factor de esfuerzo acumulado, representando un volumen total de acciones que permiten evaluar la carga neuromuscular en diferentes deportistas (62). La literatura muestra como está relacionado con las variables cardiovasculares del deportista (63) y la percepción del esfuerzo de la sesión (64). A la hora de evaluar acciones multidireccionales como cambios de dirección laterales, el PlayerLoad se muestra con un intervalo de confianza ICC= 0,806–0,949 muy alto para este tipo de tarea, conjuntamente su variable expresada por minuto ( $PL \cdot \text{min}^{-1}$ ) está muy relacionada con la velocidad de carrera desempeñada en la tarea (65). Además, tiene una relación directa con la potencia metabólica en la práctica de fútbol (**Figura 6**) (66)

Estas variables encontraron diferencias entre posiciones para los atacantes en comparación con los defensores. Las mismas dinámicas mostradas, revelaron que los extremos eran los que tenían unos valores más altos (PL =  $21.3 \pm 3.45$ ; MP =  $6682.95 \pm 786.23$ ) y los laterales unos valores más bajos (PL =  $17.7 \pm 3.76$ ; MP =  $5979.6 \pm 567.79$ ). En esta investigación los extremos y los delanteros tenían la misma potencia metabólica, pero diferente PlayerLoad. Los delanteros tenían más PlayerLoad, esto se puede deber a que cubren la misma distancia, pero los delanteros tienen más contacto físico y más saltos. Estos resultados muestran como cada posición está determinada por el perfil individual físico de los jugadores (66).

**Figura 6.** Relación entre los valores del PlayerLoad y Potencia metabólica durante 12 partidos.



Nota: La relación muestra una correlación de  $r=0,918$ . Adaptado de (66)

Por su parte, el Dynamic Stress load no tiene base científica registrada en la literatura, lo que sus creadores proponen es un cálculo en base a los impactos generados contra el suelo durante las acciones que estén por encima de 2 G. La fórmula que usa para contabilizar los impactos utiliza una función convexa con el concepto de que un impacto de 4 G es más del doble que 2 G. Incluyendo las colisiones y los impactos de

cada paso cuando corres. La variable se individualiza con respecto al estilo de carrera de cada individuo. Pudiendo ser una unidad de medida para la respuesta fisiológica, mediante las fuerzas que recibe el cuerpo, si a cada paso durante la sesión se produce un aumento de la variable a lo largo del tiempo puede ser un indicador de fatiga. Cada jugador tiene una técnica biomecánica, una historia de lesión y unos procesos de fatiga diferentes que juegan un rol determinante, a la hora de lidiar con la carga de cada entrenamiento.

### *1.5.2 Impacto*

Otra medida que puede incluirse dentro de las variables de naturaleza mecánica es el impacto. Russell y col. (67) definen el impacto contándolo de forma unitaria, no como magnitud, a todas las acciones que registren en el acelerómetro un valor por encima de 2 G en un periodo de 0,1 segundo. Asimismo, definen los impactos de alta intensidad, como aquellos que exceden de una magnitud de 9 G en un periodo de 0,1 segundos. En un partido se dan aproximadamente  $3271 \pm 845$  impactos en la primera parte y sufriendo una reducción significativa ( $p > 0,02$ ) de  $2901 \pm 648$  impactos en la segunda parte. Mientras que los impactos de alta intensidad en la primera parte  $65 \pm 31$  y en la segunda parte  $58 \pm 22$  no mostraban diferencias significativas. En el bloque de 15 minutos iniciales del partido se dan  $22 \pm 12$  impactos de alta intensidad, mientras que en los 15 minutos finales se dan  $17 \pm 7$ . Se podrían relacionar estos parámetros con los mostrados por la variable Dynamic Stress Load, con la diferencia de que los impactos registran el número de acciones dentro de un umbral mientras que la Dynamic stress load pondera cada impacto dentro de una función polinómica. Este valor puede ser interesante por su relación con el desempeño de la pliometría y

el número de contactos y su densidad, que deberían tenerse en cuenta en el proceso de entrenamiento.

### *1.5.3 Aceleraciones*

Muchos autores señalan la necesidad de monitorizar, tanto la aceleración como la deceleración, dentro de las actividades de naturaleza mecánica, en los deportes intermitentes con el objetivo de obtener una visión realista de la carga fisiológica. Particularmente por ser una actividad exigente que genera fatiga neuromuscular, aumentando el gasto energético, incluso si se producen aceleraciones o desaceleraciones a velocidades de carrera bajas o moderadas (68-70)

La aceleración y la desaceleración son dos de las variables más estudiadas en la literatura científica, por su simplicidad en el análisis y su facilidad de extracción de datos durante el proceso competitivo y de entrenamiento (71)

Acelerar, se define como la capacidad del individuo para aumentar de velocidad en el tiempo ( $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ ). Se suelen realizar los mayores incrementos de velocidad al inicio de la acción locomotora. Por lo tanto, las mayores aceleraciones se dan desde una posición de parado para adquirir la velocidad máxima deseada que se estabilizará. Por lo tanto, la aceleración disminuirá a medida que nos acercamos a la velocidad máxima (68).

Sonderegger y col. (68) asumen por lo tanto que la aceleración máxima voluntaria cuando se está en movimiento, desde carrera a baja o moderada intensidad, será menor que la iniciada desde parado.

Como se ha visto con la velocidad de carrera, los valores absolutos pueden dar lugar a errores metodológicos. En este caso, asumir valores absolutos, por ejemplo los valores de aceleración que plantea la literatura científica recogidos en los estudios de Aughey y col. (72) que solo contabilizaban las aceleraciones que se producen por encima del umbral de  $2,78 \text{ m/s}^2$ , o los estudios de Bradley y col. (73) que dividía las aceleraciones entre intensidades medias ( $2,5$  a  $4,0 \text{ m/s}^2$ ) e intensidades altas ( $>4,0 \text{ m/s}^2$ ), o los estudios de Hodgson y col. (74) que establecían aceleraciones de alta intensidad a partir de  $3 \text{ m/s}^2$ , o los de Buttcheit y col. (75) a partir de  $4 \text{ m/s}^2$  o los estudios de Akenhead y col. (76) que dividía los umbrales en tres zonas (baja intensidad de aceleración:  $1$  a  $2 \text{ m/s}^2$ , media intensidad:  $2$  a  $3 \text{ m/s}^2$  y alta intensidad de aceleración:  $>3 \text{ m/s}^2$ ), podrían subestimar las aceleraciones cuando se parte desde una velocidad de alta intensidad o sobreestimar las acciones desde posiciones más estáticas. Además, como pasaba con la alta intensidad a medida que avanza el partido las acciones de aceleración van reduciendo su intensidad y su frecuencia. Por lo tanto, umbrales adaptados deberían ser más perceptivos de los acontecimientos durante el encuentro.

Bradley y col. (73) observaron que los valores absolutos de aceleración fueron estadísticamente mayores ( $p < 0,01$ ) para los futbolistas cuando pasaban de velocidades bajas de carrera directamente a la categoría de sprint (acelerando una media de  $3,8 \text{ m/s}^2 \pm 0,3$ ), comparados con alcanzar la categoría de alta intensidad de

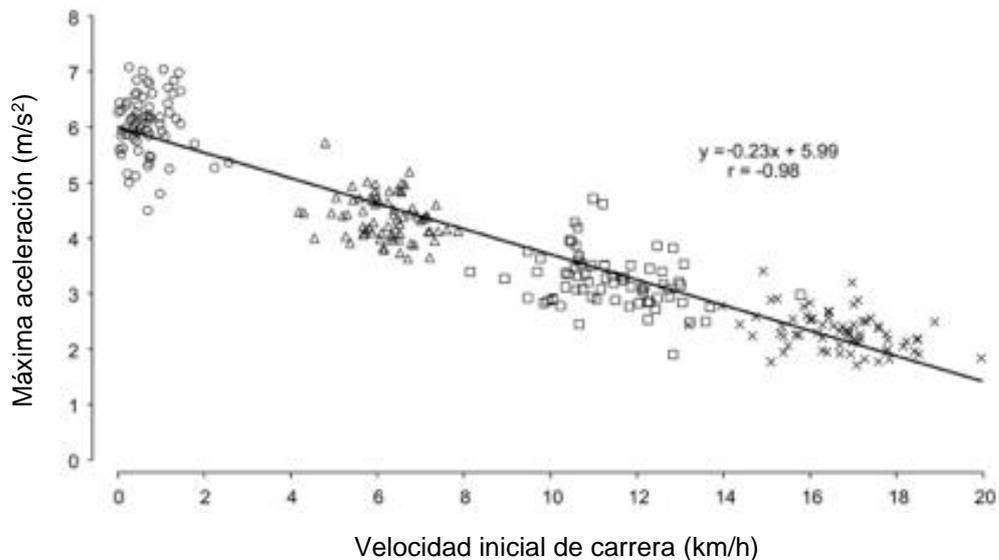
carrera (que aceleraban hasta ella  $3,1 \text{ m/s}^2 \pm 0,5$ ) o alcanzar la categoría de carrera (que aceleraban  $2,2 \text{ m/s}^2 \pm 0,2$ ). Se debería tener en cuenta, que el desplazamiento a alta velocidad no siempre viene precedido de una aceleración de alta intensidad, puesto que el deportista puede acelerar de forma progresiva como ocurría con la diferencia entre los ES explosivos y ES graduales (77).

Las diferencias que pueden presentar la misma aceleración en valor absoluto, pero con diferente contexto de velocidad inicial lo describe (64) en el siguiente extracto citado: “De forma más concreta, si consideramos como umbral para categorizar las acciones como de alta intensidad el valor de  $>2.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ , este umbral representa un esfuerzo máximo si la velocidad inicial es cercana a  $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , pero sin embargo, representa un umbral por debajo del 50% de las posibilidades máximas del deportista ante un esfuerzo de aceleración desde parado”.

Con motivo de clasificar las intensidades de las aceleraciones en base a un perfil individualizado, los autores propusieron una clasificación de cuatro zonas: acciones con un alto porcentaje de aceleración (aceleración  $>75\%$  de la aceleración máxima), acciones con moderado porcentaje de aceleración (aceleración  $>50\%$  de la aceleración máxima), acciones con bajo porcentaje de aceleración (aceleración  $>25\%$  de la aceleración máxima) y las acciones con muy poco porcentaje de aceleración (aceleración  $<25\%$  de la aceleración máxima). Por lo tanto, una acción con una aceleración por encima de  $4,51 \text{ m/s}^2$  desde parado,  $>3,25 \text{ m/s}^2$  desde el trote,  $>2,40 \text{ m/s}^2$  desde la carrera y  $>1,72 \text{ m/s}^2$  desde carrera a media velocidad. La carga física del entrenamiento de fútbol debería cuantificar el número de acciones a alto, moderado, bajo y muy bajo porcentaje de la aceleración. Los autores advierten que

la muestra de estudio eran jugadores de fútbol sub-18 y que para otras poblaciones se deberían adecuar las ecuaciones de regresión de una forma más adecuada (68)

**Figura 7.** Aceleraciones máximas voluntarias desde las diferentes fases de la carrera

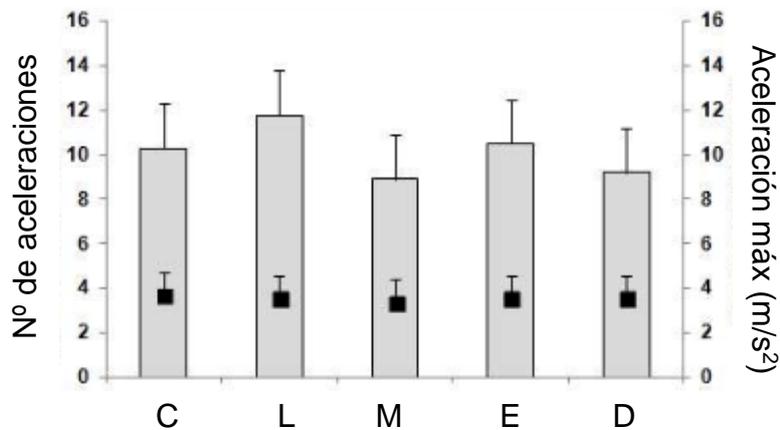


Nota: Aceleraciones saliendo de parado (círculos), trotando (triángulos) corriendo (cuadrados) y corriendo a media intensidad (cruces) de 72 jugadores de fútbol. Adaptado de Sonderegger (68)

Una revisión reciente de la literatura estableció los perfiles de aceleración de la forma más habitual presentada en las investigaciones, donde la alta intensidad de aceleraciones se estableció en 3 m/s<sup>2</sup> (58% de las investigaciones). Además, otros seis estudios establecieron las muy altas intensidades en los umbrales por encima de 3,5 m/s<sup>2</sup> y 4 m/s<sup>2</sup> (78).

La influencia que tienen las variables locomotoras sobre la aceleración muestra, que cuando se recorren distancias a alta intensidad de carrera, y con una frecuencia alta durante el partido, pueden ocasionar descensos en la habilidad de producir fuerzas horizontales cuando se acelera al máximo (79). La **figura 8** muestra la diferencia de aceleraciones por posición.

**Figura 8.** El número de aceleraciones máximas >2,78 m/s y la aceleración máxima por posición.



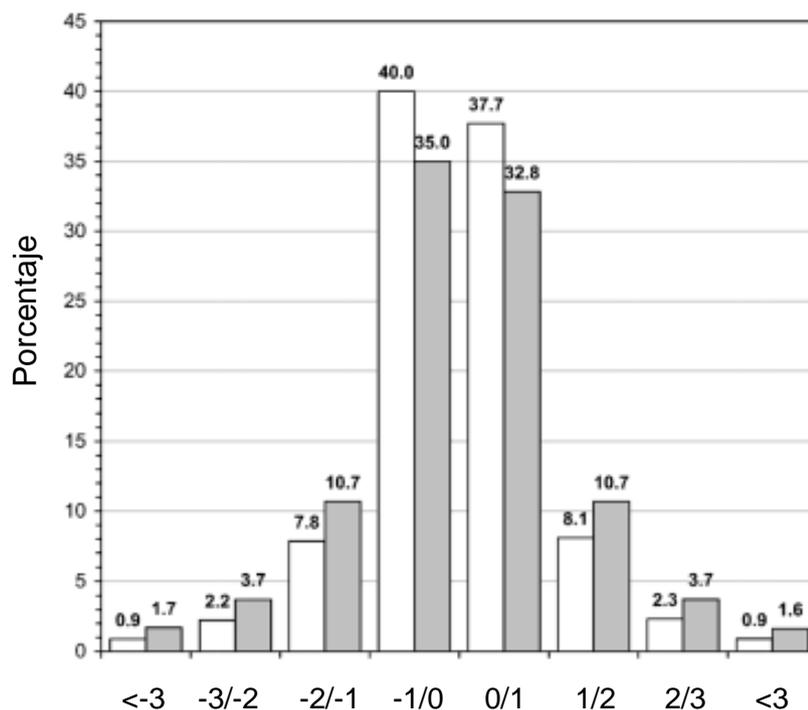
Nota: el diagrama de barras representa el número de aceleraciones y el punto representa el valor de la aceleración máxima. C: central; L: lateral; M: mediocentro; E: extremo; D: delantero. Adaptado de (80)

La frecuencia con la que en el fútbol se presentan las aceleraciones de muy alta intensidad, por encima de  $4,13 \text{ m/s}^2$ , en un 85% de las veces no alcanzan velocidades de carrera elevadas (81). Si las sometiéramos a un análisis tradicional de las variables condicionales, evaluando sólo las variables locomotoras de carrera a alta intensidad, se estarían subestimando las acciones a alta intensidad de aceleración realizadas a baja velocidad por el futbolista. Las aceleraciones de alta intensidad, por encima de  $2,78 \text{ m/s}^2$ , se dan ocho veces más que las acciones de ES (81). Como se observa en la **Figura 7**, a medida que la velocidad aumenta es difícil encontrar aceleraciones a alta intensidad, siendo la capacidad posible de acelerar una determinante de la demanda física (68).

En relación con el número de aceleraciones y deceleraciones que ocurren durante un partido (**Figura 9**), en la segunda parte se produce un descenso de las métricas de estos valores, sobre todo en periodos transitorios después de las fases más exigentes

(76). Reducir la capacidad de acelerar podría aumentar la necesidad de cubrir más distancia antes de alcanzar la velocidad deseada, produciendo aumentos más graduales de la velocidad y menores desempeños (67).

**Figura 9.** Tiempo y distancia total acumulada en cada categoría de aceleración y deceleración.



Nota: las barras blancas representan el porcentaje del tiempo en esa categoría. Las barras grises representan el porcentaje de la distancia en cada categoría. Las categorías están en m/s<sup>2</sup>. Adaptado de (69).

Por último, acelerar tiene un coste metabólico mayor que correr a una velocidad constante o incluso decelerar. Este alto coste metabólico, viene acompañado de una gran activación neural, que se puede explicar en parte por la gran contribución de fibras musculares tipo II y la baja contribución de la energía elástica que se solicitan durante este movimiento (82).

### 1.5.4 Deceleraciones

Decelerar se estima a nivel matemático como la relación inversa de la aceleración,  $decelerar = \frac{\nabla v}{\Delta t}$ . Mientras que acelerar tenía un alto coste energético (acelerar por encima de  $3 \text{ m/s}^2$  supone un trabajo mayor a  $17,28 \text{ J/kg/m}$ , decelerar a esa intensidad supone un trabajo de  $3,31 \text{ J/kg/m}$  (69)), decelerar supone una alta carga mecánica sobre la musculatura, probablemente debido a las fuerzas de reacción con el suelo (83). Debido a que se producen un 65% de magnitudes de alta carga mecánica por metro cuando se decelera y solo un 28% magnitudes de alta carga mecánica por metro cuando se acelera (59).

Decelerar supone un estímulo fisiológico de carácter excéntrico, por eso tiene poco gasto energético pero gran implicación neuromuscular, causando un gran daño estructural a los tejidos musculares, especialmente si la técnica de absorción no es buena o se está sometido a altas fuerzas de reacción (84).

Las deceleraciones en los deportes de equipo son necesarias para realizar ciertas habilidades como cambiar de dirección. Decelerar eficazmente es la clave para la velocidad multidireccional y la agilidad. El estiramiento de la musculatura durante la contracción excéntrica puede ayudar a generar una producción de fuerza en la siguiente acción concéntrica. Este fenómeno se denomina ciclo de estiramiento-acortamiento, que se estimula por norma general en el entrenamiento pliométrico y que puede mejorar la producción de fuerza. Está influenciado por la magnitud y la frecuencia de la carga y depende del tiempo que transcurre entre la acción excéntrica y concéntrica (85).

El daño muscular producido por las deceleraciones intensas repetidas es causado por los mecanismos de contracción excéntrica antes descritos, que elonga la fibra produciendo una disrupción de la integridad celular (86). La tasa de desarrollo de la fuerza se ve particularmente afectada por el daño muscular, que podría incapacitar a absorber en poco tiempo las fuerzas impuestas o incluso producir fuerza, ambas relacionadas con el rendimiento deportivo y con el riesgo de lesión (87,88)

Sin embargo, cuantitativamente los efectos de decelerar en el coste energético son mucho más pequeños que aquellos descritos para la fase de aceleración (89).

Cuando se requieren altas intensidades de deceleración después de acciones de sprint, tanto la recuperación como el rendimiento del sprint se ven mermados en comparación con el sprint ejecutado de manera aislada. Además, el daño muscular producido por la repeticiones de deceleraciones podría afectar a la producción de fuerza y provocar una disminución en el desempeño de las subsecuentes actividades de carrera o cambio de dirección (90,91)

Las deceleraciones completadas durante un partido están asociadas con un descenso en el rendimiento en la capacidad neuromuscular, debido a la repetida absorción de altas fuerzas de frenado, que producen una fatiga acumulada asociada con el daño muscular del partido (92-94). Además, se producen déficits en las siguientes variables: el salto con contramovimiento, tanto en sus variantes concéntricas como en las excéntricas (92), y en la fuerza isométrica desarrollada por el isquiosural en un test analítico (95), que podrían durar hasta las 64 horas después del partido (78).

Las acciones, tanto de aceleración como desaceleración de alta intensidad, sufren un descenso en la frecuencia en la que acontecen y en la distancia en la que se producen en las segundas partes de los partidos (76). Sugiriendo que estas variables son sensibles al desarrollo de fatiga y al riesgo de lesión (96). Cuando se comparaba el fútbol con otras disciplinas era la que más metros durante un partido se acumulaban decelerando a alta intensidad con el umbral establecido en  $> 2,5 \text{ m/s}^2$  y una distancia total de 162 metros (78). Las deceleraciones de alta intensidad han mostrado una duración de ejecución muy corta, la mayoría de ellas duran menos de un segundo (97).

En relación a los valores por posición, los mediocentros fueron los que completaron las deceleraciones de mayor intensidad comparados con las demás posiciones. Además, fueron los que tenían un ratio más alto de desaceleraciones frente a aceleraciones. Estos resultados están asociados a las demandas de movimiento posicional, que requieren esfuerzos de cambios de dirección para solucionar los escenarios técnico-tácticos del partido (98). Los sistemas tácticos tienen una implicación directa sobre las fluctuaciones de aceleración y desaceleración, Tierney y col. (99), mostraban como los extremos realizaban un 20% más de acciones de desaceleración de alta intensidad cuando jugaban con el sistema 3-4-3 comparados con el sistema 4-4-2. Estos cambios estratégicos se deben tener en cuenta a la hora de diseñar el microciclo competitivo, ya que jugadores que están expuestos a realizar un alto número de deceleraciones de gran intensidad en un periodo prolongado de tiempo, pueden estar en riesgo de lesión mientras que una moderada frecuencia de este tipo de estímulo puede proveer de un efecto protector reduciendo el riesgo lesional (100). Se conoce el agente protector que supone el efecto repetido de los

bloques de entrenamiento excéntrico, al incrementar la resistencia al daño muscular ante un estímulo decelerativo repetido (101). Implementar estas estrategias en la preparación de los partidos podría atenuar la cantidad de daño acumulado por los esfuerzos decelerativos, resultando en menor fatiga mecánica y una reducción en el riesgo de fallo del tejido (102).

La redundancia de las métricas podría ser uno de los factores, a la hora de elegir con que métricas establecer una toma de decisiones eficaz en el proceso de entrenamiento, para mejorar el rendimiento y reducir el riesgo lesional de los jugadores. En este sentido, simplificar las variables mecánicas podría ser una estrategia adecuada, estableciendo las variables de aceleración y desaceleración como las más simples y las más útiles. Ya que las variables mecánicas han mostrado una relación con el riesgo de lesión de los tejidos (96), y con el daño muscular producido por el esfuerzo del partido (103)

### *1.5.5 Potencia metabólica*

Una variable que ha adquirido gran protagonismo con la popularización del uso del GPS ha sido la potencia metabólica, esta variable relaciona las métricas locomotoras con las mecánicas, aportando una relación de demanda metabólica para estimar el coste energético de las acciones a alta intensidad. Relaciona la velocidad en m/s y la aceleración en  $m/s^2$  para obtener una medida en vatios por kilogramo (W/kg).

En el estudio de Di Prampero y col. (89) se evaluaron 12 sujetos durante una prueba máxima de sprint de 100 m, obteniendo los tiempos cada 10 metros mediante dos métodos: un radar y la medición con un sistema de fotocélulas con un coeficiente de

correlación de  $r^2=0,99$  ( $p<0,01$ ). La velocidad máxima registrada en la prueba fue de  $9,46 \pm 0,19$  m/s que se alcanzaba alrededor de los 5 s desde la salida. La mayor aceleración se producía en los primeros instantes, a los 0,2 segundos, alcanzando un valor positivo de  $6,42$  m/s<sup>2</sup>. El coste energético de esprintar obtiene su pico de potencia metabólica de  $50$  J/kg/m en los primeros instantes, para ir reduciéndose progresivamente hasta obtener, después de los primeros 30 metros, un valor constante de  $3,8$  J/kg/m de potencia metabólica a una velocidad de carrera constante. Esto muestra una relación de la aceleración con el gasto en carrera. El factor más responsable del incremento del coste energético es el equivalente de la pendiente, mientras que el equivalente de la masa del sujeto juega un rol marginal.

Para los primeros 30 metros, el coste energético medio de un sprint máximo es de  $11,4$  J/kg/m, alrededor de tres veces más que el coste a la velocidad constante. El pico de potencia se obtenía en los momentos iniciales, a los 0,5 segundos, con un valor de  $91,9 \pm 20,5$  W/kg y la potencia metabólica media en los primeros 4 segundos es de  $65$  W/kg si evaluamos un ES máximo (89).

Es importante resaltar que el mayor coste energético ocurre inmediatamente después del esfuerzo de aceleración máximo a baja velocidad y que cuando alcanza su meseta coincide con el gasto energético de correr a una velocidad constante (89).

Por lo tanto, la potencia metabólica es el resultado de multiplicar el coste energético de esprintar por la velocidad que se esté ejerciendo en el suelo para acelerar la masa del cuerpo:  $\text{Potencia. Metabólica.} = C_{\text{sr}} \cdot \text{Velocidad.}$  Donde  $C_{\text{sr}} = (155.4\text{ES}^5 - 30.4\text{ES}^4 -$

$43.3ES^3 + 46.3ES^2 + 19.5ES + 3.6) EM + k'v$ , ES representa el equivalente de pendiente y EM el equivalente de la masa del sujeto (89).

Osgnach y col. (69) en una revisión de su aplicación en el fútbol argumentaban que, si los dispositivos de medición conocían la velocidad y la aceleración en cualquier momento, se podía calcular la potencia metabólica de cada atleta de forma fácil. Se establecieron las siguientes 5 categorías de potencia: baja potencia (de 0 a 10 W/kg), potencia intermedia (desde 10 a 20 W/kg), alta potencia metabólica (desde 20 a 35 W/kg), potencia elevada (desde 35 a 55 W/kg) y máxima potencia (>55 W/kg). Para cada una de las categorías de potencia, se analizó el tiempo, la distancia y la energía gastada neta. Los modelos teóricos estaban calculados en base a correr en cinta. Por ello, los autores proponían multiplicar el coste energético por la constante ( $k = 1,29$ ) para tener en cuenta el mayor coste, casi de un 30% más, que supone correr en césped. El gasto energético de correr en la cinta a ritmo constante cada metro es 3,6 J/kg/m, que multiplicados por la constante del césped 1,29 daría un resultado de 4,64 J/kg/m, que sería el resultado de correr en césped a un ritmo constante. Además, los autores señalan que la potencia metabólica en el umbral anaeróbico estará en 20 W/kg, que corresponde a un consumo de oxígeno de 57 ml/kg/min.

La energía que se consume en un partido de fútbol de media es de  $61,12 \pm 6,7$  kJ/kg ( $14,60 \pm 1,57$  kcal/kg). Este nuevo paradigma del rendimiento del jugador por su potencia desarrollada demuestra que la velocidad a la que se suele clasificar la alta intensidad de carrera está sobrestimada, cuando se corre de manera constante a 15 km/h en el césped, la potencia metabólica que se está exacerbando es 20 W/kg. Sin embargo, una potencia similar puede conseguirse cuando se acelera desde

velocidades más bajas, por ejemplo, si a una velocidad constante de 9 km/h se consumen alrededor de 13 W/kg, si intentamos acelerar desde esa baja velocidad a 1 m/s la potencia metabólica ascendería a los 20 W/kg. Este análisis metabólico es una forma más precisa de analizar el estado del jugador durante el partido (69).

Si seleccionamos el umbral de velocidad >16 km/h (4,4 m/s) obtendremos un 18% de la distancia total recorrida durante el partido. Si calculamos la potencia metabólica a esa velocidad:  $Potencia\ Metabólica = EC * vel * k = 3,6 * 4,44 * 1,29 \cong 20 W \cdot kg^{-1}$ , donde la potencia está expresada en watts por kilogramo (W/kg), vel. (velocidad) expresada en metros por segundo al cuadrado (m/s<sup>2</sup>), el coste energético se expresa en julios por kilogramo por metro (J/kg/m), y el factor constante de correr en césped (*k*). Seleccionando el umbral teniendo en cuenta la potencia metabólica, 20 W/kg, donde se incluyen las aceleraciones y deceleraciones, la distancia recorrida a esa intensidad supone, entonces, el 26% del total de la distancia (69).

La alta intensidad metabólica, medida como la distancia o el tiempo que se pasa por encima de 20W/kg durante un partido, ha demostrado que se producen entre 2 y 3 veces más actividades dentro de su categoría, mediante este método lo que significa que el modelo tradicional subestima las demandas condicionales del partido. Además, Gaudino y col. (70) han demostrado que el grado de subestimación es mayor durante los procesos de entrenamiento y en las diferentes posiciones que alcanzan menos velocidades, como los mediocentros.

Los estudios muestran que sería ideal ajustar por individuos el umbral de alta potencia metabólica, acorde al perfil aeróbico de cada jugador, ya que 20 W/kg equivale a un jugador con un consumo máximo de oxígeno de 57 ml/kg/min (69)

Las limitaciones que muestran estos modelos teóricos, es que obvian ciertas variables que también tienen protagonismo en el desarrollo del fútbol, como son los saltos, los golpes de balón, las entradas o la conducción del balón. Incluso la resistencia del aire está obviada, si se tiene en cuenta que la resistencia del aire se incrementa con la velocidad, en velocidades de 21 km/h el coste energético total aumenta un 10% por esta variable. Aunque, como durante un partido no se pasan más de 2 minutos a esas velocidades, se estima que obviar esa variable no introduciría un gran error. Así como, en condiciones meteorológicas adversas donde el terreno de juego está en malas condiciones, la constante de 1,29 debería ser mayor (69).

Los autores proponen redefinir el concepto de alta intensidad al introducir el gasto energético, sobre todo, ajustando el tiempo que pasan a esa intensidad, ya que el 42% de la energía gastada en el tiempo total proviene de acciones de alta intensidad metabólica, > 20 W/kg, mientras que solo el 18% del tiempo total se registra en acciones por encima de 16 km/h. Los autores señalan que se necesitan más investigaciones que relacionen el modelo con posiciones en el campo, el ranking del equipo y la fatiga durante la temporada (69).

Se han seguido estableciendo modelos del cálculo del gasto energético de las diferentes actividades que desempeña un jugador de fútbol durante un partido y que no están incluidas dentro de la fórmula de la potencia metabólica, como es el caso de

un cambio de dirección frente a la carrera, donde los mejores modelos para representar su fórmula de coste energético eran los modelos cuadráticos ( $y = -0,012 + 0,66 \cdot x + 0,008 \cdot x^2$ ). Además, cuanto mayor era la frecuencia de los cambios de dirección sin recuperación, mayor era el gasto que estos generaban (104).

Además, mientras que las deceleraciones producen una carga neuromuscular alta, el coste metabólico es bajo, incluso comparado con la velocidad constante. Esto es debido a que correr con pendiente positiva incrementa la ventilación y la frecuencia cardíaca, aumentando el gasto, mientras que bajar una pendiente solicita más las estructuras tendinosas y elásticas, señalando que esa discrepancia puede ser producto de la eficiencia de la contracción excéntrica (105).

El método de evaluación mediante la potencia metabólica ha sido cuestionado por su validez y su fiabilidad aplicada a las tareas que se planifican en el entrenamiento de fútbol, se discute su poca fiabilidad por encima de 20 W/kg, señalando que subestima alrededor de un 20% de la energía gastada, en comparación con la calorimetría indirecta (106).

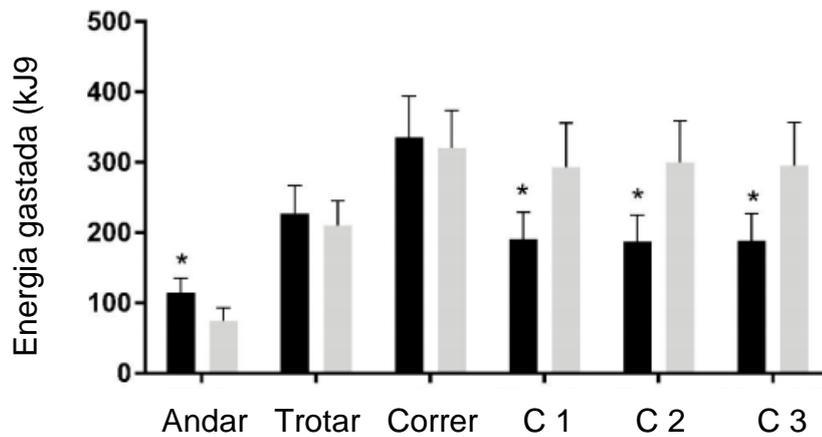
Otra acción, como la carrera cambiando frecuentemente de dirección, ha servido para discutir el método de análisis de las demandas físicas mediante la potencia metabólica. Stevens y col. (107) evaluaron mediante la estimación teórica y la calorimetría indirecta varios tipos de actividades, concluyendo con las siguientes ecuaciones lineales para los diferentes tipos de actividad: las estimaciones teóricas para la carrera constante ( $4,67 + 0,08 \cdot \text{Vel}$ ), las medidas de calorimetría para la carrera constante ( $3,64 + 0,37 \cdot \text{Vel}$ ), las estimaciones teóricas para la frecuencia de

cambios de dirección ( $2,25 + 1,34 * \text{Vel}$ ) y las medidas de calorimetría para la frecuencia de cambios de dirección ( $2,19 + 1,78 * \text{Vel}$ ).

Los resultados también mostraban que el coste energético de correr cambiando frecuentemente de dirección y aumentando la velocidad, aumenta linealmente, indicando que la economía de carrera disminuye con el incremento de la velocidad. Este estudio fue el primero en comparar las medidas teóricas con la calorimetría indirecta, y observó que el modelo teórico sobreestima aproximadamente un 8% el gasto en la carrera constante, lo cual, podría ser explicado en parte porque la carrera no mantiene un ciclo constante de velocidad en la vida real. Los valores del estudio mostraban que durante la calorimetría el gasto obtenido a 9 km/h era de media de 4,88 J/kg/min, mientras que, para la estimación teórica, a la misma velocidad, era de 5,41 J/kg/m.

El hecho de contabilizar las aceleraciones y las deceleraciones sobre la base constante, podría suponer ese incremento a la hora de sobreestimar el gasto. Las diferencias a medida que se aumenta la velocidad se reducen, eso podría estar explicado por la exclusión del metabolismo de reposo en el cálculo del coste energético (**Figura 10**), porque la contribución del metabolismo basal aumenta, conforme la velocidad y la intensidad del ejercicio se reducen (107).

**Figura 10.** Comparación de la estimación de la energía gastada (kJ) entre los cálculos del GPS y la calorimetría indirecta de VO<sub>2</sub> para cada bloque de 15 minutos de ejercicios.



Nota: las barras negras representan las medidas del GPS, las barras grises a la calorimetría indirecta. C 1: Circuito 1; C 2: Circuito 2; C 3: Circuito 3. Los datos son la media para cada actividad con el nivel de significancia fijado en \* ( $p < 0,01$ ). Adaptado de (108).

Hoppe y col (109) encontraron que los defensas eran los que tenían mayores gastos metabólicos totales, por encima de los mediocentros y los delanteros.

Además, las medidas de gasto total energético obtenidos a través de la potencia metabólica se correlacionaban, en un alto nivel, con las habilidades explosivas de los miembros inferiores (**Tabla 3**).

**Tabla 3.** Datos de potencia metabólica durante cinco partidos de pretemporada para las diferentes posiciones.

<b>Variables de rendimiento</b>	Todos (n=12)	Defensas (n=4)	Mediocentros (n=5)	Delanteros (n=3)
Distancia total (m)	5137 ± 356	4997 ± 381	5221 ± 354	5118 ± 411
Energía total gastada (kJ)	1936 ± 162	2103 ± 69*	1854 ± 116	1849 ± 160
Energía gastada por peso (kJ/kg)	24,2 ± 1,4	24 ± 1,1	24,3 ± 1,6	24,1 ± 2,0
Coste energético (J/kg/m)	4,7 ± 0,1	4,8 ± 0,2	4,7 ± 0,1	4,7 ± 0,0
Potencia metabólica (W/kg)	8,5 ± 0,6	8,3 ± 0,6	8,6 ± 0,6	8,5 ± 0,7
Alta intensidad metabólica >20 W/kg (s)	206 ± 34	196 ± 35	212 ± 33	209 ± 45
Potencia metabólica máxima (W/kg)	161,6 ± 29,9	145,7 ± 20,1	157,7 ± 26,7	189,4 ± 34,3
Alta velocidad de carrera > 15,5 km/h (s)	128 ± 27	114 ± 29	135 ± 22	138 ± 37
Alta aceleración > 3 m/s <sup>2</sup> (s)	16 ± 2	17 ± 2	15 ± 1	14 ± 1
Alta deceleración < -3 m/s <sup>2</sup> (s)	15 ± 2	16 ± 1	15 ± 2	15 ± 2

Nota: Distancia total, tiempo total a alta velocidad, aceleración y deceleración. \* Diferencias significativas ( $p < 0,01$ ) (s) tiempo en segundos en esa categoría. Adaptado de Hoppe (109).

El tiempo en alta intensidad metabólica es alrededor de un 41% mayor que el tiempo en alta intensidad de carrera durante las condiciones multidireccionales del deporte, mostrando una correlación entre las dos medidas de  $r = 0,85$ . Esa correlación se puede deber a la similitud de las variables en el estado constante, donde los participantes realicen pocas aceleraciones o deceleraciones, ya que el coste energético de correr a 14 km/h es aproximadamente de 20 W/kg. Durante las acciones multidireccionales existen un gran número de aceleraciones y deceleraciones que limitan la habilidad de alcanzar umbrales altos de velocidad (**Tabla 4**).

**Tabla 4.** Datos de distancia recorrida, alta intensidad de carrera, alta potencia metabólica, alta aceleración y alta deceleración entre posiciones y entre diferentes sistemas tácticos.

<b>Posiciones y sistemas tácticos</b>	Distancia total (m)	Alta intensidad de carrera (m)	Alta intensidad metabólica (m)	Alta aceleración > 3 m/s <sup>2</sup> (n)	Alta deceleración < -3 m/s <sup>2</sup> (n)
Laterales (n=10)	10152 ± 714	660 ± 117	1850 ± 200	34 ± 6	56 ± 14
Centrales (n=9)	9696 ± 454	396 ± 76	1527 ± 192	27 ± 7	45 ± 8
Extremos (n=9)	10523 ± 456	636 ± 172	1912 ± 366	35 ± 5	62 ± 9
Mediocentros (n=10)	10395 ± 619	429 ± 133	1781 ± 345	33 ± 10	53 ± 12
Delanteros (n=8)	10502 ± 778	690 ± 186	2476 ± 1339	38 ± 8	55 ± 2
4-4-2 (n=9)	10131 ± 583	497 ± 175	1568 ± 257	33 ± 10	49 ± 14
4-3-3 (n=7)	10284 ± 879	514 ± 204	1828 ± 518	32 ± 8	50 ± 12
3-5-2 (n=10)	10528 ± 565	642 ± 215	2025 ± 304	34 ± 7	57 ± 10
3-4-3 (n=6)	10168 ± 449	551 ± 171	1855 ± 301	28 ± 7	51 ± 10
4-2-3-1 (n=11)	10044 ± 538	538 ± 174	1849 ± 301	38 ± 8	61 ± 12

Nota: Media y desviación estándar de distancia total en metros, distancia total a alta velocidad en metros, aceleración y deceleración en número de acciones realizadas. Adaptado de Tierney (99).

Las medidas de carga externa deberían estar relacionadas con acciones mecánicas específicas de los jugadores, que solicitan patrones de activación muscular concretos de los movimientos propios del fútbol. Obtener métricas de patrones motores sobresolicitados tiene una implicación directa con la programación del entrenamiento, la recuperación y la disminución del riesgo lesional. El hecho de poder conocer qué acciones mecánicas han sobrecargado los principales grupos musculares de ese patrón motor específico del fútbol, nos permite tomar decisiones acerca del manejo

de la carga para disminuir el riesgo de lesión y mejorar los procesos de recuperación con trabajos complementarios. Sin embargo, la potencia metabólica no consigue distinguir qué patrones motores han sido sobresolicitados y esté desvinculada de la carga muscular específica impuesta, como se demuestra por la gran variación del ratio de electromiografía entre las aceleraciones y las deceleraciones (110).

Si quiere usarse la potencia metabólica teórica como marcador global de trabajo mecánico, no debería obviar sobre qué patrones se están trabajando. Por otro lado, usando la distancia de aceleración, la distancia de deceleración y la distancia a alta velocidad de carrera, si podemos conocer qué patrones han sido sobresolicitados por su relación directa con la carga de los grupos musculares específicos, y además esas variables han demostrado una relación con las lesiones debido a un volumen inapropiado de aceleración o carrera a alta velocidad (111,112), que bajo condiciones de alto gasto metabólico no han demostrado tener un rol en la etiología lesional.

Buchheit y col. (113) proponen dos alternativas al uso de la potencia metabólica, que presentan una ventaja en términos de carga externa y monitorización de la fatiga. La diferencia beneficiosa de estas variables es que no son dependientes del ritmo de carrera o de la actitud del deportista, no se necesitan realizar esfuerzos máximos para que sean útiles. Las variables son: la carga de fuerza (FL), que depende de un software de análisis externo (ADI, Sídney, Australia) y calcula la suma de la fuerza de reacción del suelo durante los impactos de los pies, registrada mediante el vector derivado del acelerómetro. A diferencia del Playerload, mide la actividad total del acelerómetro para la carga del cuerpo o la distancia total. La carga de fuerza sólo refleja los impactos de la locomoción estimando de mejor forma el trabajo del pie y

los impulsos, especialmente cuando la sesión incluye movimientos estáticos o poco desplazamiento.

En relación a la distancia cubierta (TD/FL) o a la media de la velocidad (V/FL) durante una tarea, la FL puede usarse para dos propósitos. El primero para evaluar la eficiencia neuromuscular o de carrera (cuanto mayor es el ratio mayor la eficiencia). Y en segundo lugar, ofrecer una visión de las demandas mecánicas de las tareas de campo, como la dirección de la aplicación de la fuerza. (Por ejemplo, un amplio ratio significará mayor aplicación de fuerza vertical en el suelo mientras que un ratio pequeño significará mayor aplicación horizontal en el suelo, el ratio de velocidad/fuerza decrece a medida que la producción neta de fuerza horizontal aumenta). Por otro lado, la FL puede compararse entre piernas y entre zancadas durante cualquier acción de desplazamiento, relevante para encontrar debilidades entre grupos musculares, valorar déficits musculares en jugadores sanos o en la rehabilitación.

La otra variable que se presenta es la característica de la zancada, que incluye el tiempo de contacto y el tiempo de vuelo derivados del acelerómetro, pudiendo calcular la rigidez vertical, la cual ha mostrado que se disminuye sustancialmente con la fatiga (114). La evaluación continua de las características de la zancada en los bloques de carrera es una alternativa al FL para valorar el estatus neuromuscular.

En 2018 Di Prampero y col. (115) presentan una actualización de los modelos teóricos, donde suman a la ecuación ya existente del modelo teórico de estimación de la potencia metabólica, una estimación del coste energético de andar o estar

parado,  $EC_{wves} = EC_w VLES + \Delta EC_{wv} * \frac{(ES-LES)}{(HES-LES)}$ , y cómo los dispositivos tienen que intercambiar las funciones de andar y correr, para estimar la potencia metabólica total. Calcularon que la energía media gastada durante un partido de 90 minutos alcanzaba aproximadamente los 47,5 kJ/kg (11,3 kcal/kg), lo que corresponde a un consumo de oxígeno de media de alrededor de 25,2 ml/kg/min. Lo que implica que los jugadores que quieren tener éxito no deberían solo caracterizarse por tener habilidades técnicas, sino también tener un apropiado nivel físico. Además, la formula estaba más cerca de la estimación del coste de las medidas directas, asumiendo que el error de la anterior ecuación se daba por una subestimación de los periodos estáticos donde la formula, asumía implícitamente que solo existía gasto cuando se corría. Por otro lado, tampoco contabilizaban la resistencia del aire y los cálculos se realizaban sobre los valores brutos de consumo de O<sub>2</sub> mientras que la potencia metabólica era sobre el coste energético neto.

Los autores establecen que los periodos de alta intensidad metabólica se deberían considerar cuando la integral del tiempo para la variable de la potencia metabólica, exceda el umbral correspondiente al VO<sub>2</sub>max del sujeto (unos 18 W/kg). Además, se contabilizará la duración que existe desde que se entra en ese umbral, hasta que la acción sale de ese umbral. Se obtiene también la media de potencia metabólica y el pico para esa acción. Si el tiempo que pasa entre dos bloques de acciones de alta intensidad es menor a un valor predefinido se contabilizara como uno. La baja intensidad metabólica se corresponderá entonces a las medias del tiempo que la potencia metabólica instantánea no entre dentro de la categoría de alta intensidad.

El número de acciones que se contabilizan dentro de la potencia metabólica disminuye a medida que el partido avanza, siendo una medida de fatiga, desde las 30

acciones en los primeros 15 minutos de partido a las 23 acciones en los últimos 15 minutos de partido, así como la energía consumida en los bloques de alta potencia metabólica. Pero no se producen cambios en la media total de la potencia metabólica que está alrededor de 22 W/kg. Por el contrario, no existe una disminución tan pronunciada en los valores de baja potencia metabólica, debido a que se incrementa el tiempo que se transcurre en estos periodos, pasando de una media de 5,8 W/kg en los primeros 15 minutos a 4,8 W/kg en los últimos 15. Es decir, la disminución de los episodios de alta intensidad podría deberse al aumento de la fatiga y a la necesidad de tener periodos más largos de recuperación. Se sigue discutiendo sobre la idoneidad del método teórico para evaluar las demandas energéticas del fútbol (115).

Las equivalencias para transformar el consumo de oxígeno a potencia metabólica, asumen que el coeficiente respiratorio de 0,96 para la actividad intermitente corresponde a 20,9 kJ por litro de O<sub>2</sub>, 1 W/kg, se convierte entonces a 2,87 ml/kg/min, teóricamente la potencia mecánica derivada de la velocidad instantánea y la masa del cuerpo se obtienen de la fuerza (masa por aceleración) y la potencia (fuerza por velocidad), pero esta aproximación pasa por alto los procesos fisiológicos del cambio de velocidad y dirección, sobre todo, la diferenciación entre el trabajo excéntrico y concéntrico (116). Tradicionalmente, se había considerado por separado la aceleración y la velocidad, y actualmente con la potencia metabólica se evalúa la interacción entre ambas para determinar sus demandas energéticas, incorporando la magnitud, la duración y si es aceleración o deceleración, en conjunto con la velocidad inicial, para estimar la energía demandada de forma instantánea y acumulada, midiendo la intensidad, en valores de potencia metabólica, y el volumen, en valores de coste energético. Además, las medidas tradicionales clasificaban las

aceleraciones ajustándolas a valores fijos, ignorando que la alta aceleración no se puede alcanzar con velocidades elevadas, la magnitud de la aceleración disminuye si la velocidad se incrementa, aunque se siga acelerando y el esfuerzo se siga manteniendo alto (116). Esto se demuestra en el fútbol, donde el 98% de las aceleraciones a alta intensidad, por encima de 2,78 m/s<sup>2</sup>, comienzan por debajo del umbral de velocidad de alta intensidad, y el 85 % no alcanza ese umbral (81). Esta consideración de la aceleración es lo más beneficioso del cálculo de la potencia metabólica.

Mientras que el VO<sub>2</sub> es una medida de energía requerida por el cuerpo, la potencia metabólica representa una demanda instantánea impuesta sobre el cuerpo, por ello no tendrían por qué corresponderse entre ambos, en acciones intermitentes. Debido a que la potencia metabólica va a representar una variable de fatiga (116).

### *1.5.6 Potencia metabólica crítica*

La última variable de medición de la intensidad es derivada de la potencia metabólica, y se denomina como potencia crítica. Se define como el límite entre el estado estable y el estado inestable del ejercicio (117) y podría determinar un umbral más apropiado para la intensidad en los deportes de equipo. El ejercicio por debajo del umbral de potencia crítica se puede realizar de forma ilimitada, pero con velocidad limitada. Es decir, que los atletas se supone que pueden ejercitarse por debajo de ese umbral, pero si lo sobrepasan, solo una cantidad limitada de ejercicio se puede mantener antes de que aparezca la fatiga.

Cuando la intensidad del ejercicio sobrepasa la potencia crítica, es posible estimar el tiempo hasta la extenuación para tareas de resistencia cardiovascular (118). El tiempo actual para la intolerancia al ejercicio continuo se calcula por medio de la siguiente ecuación:  $Timp = \frac{W'}{(P-CP)}$  donde  $W'$  es una constante de la potencia, que se expresa hasta la máxima potencia posible a desarrollar,  $P$  es la potencia que se está desarrollando y  $CP$  es la potencia crítica, a mayor distancia de la potencia crítica menor será el tiempo que se pueda sustentar (119)

Para los deportes intermitentes, donde la potencia crítica es una función de la duración y la intensidad de los periodos de recuperación y trabajo, normalmente se van a solicitar potencias externas más bajas. Por lo tanto, los valores del ejercicio continuo, no se pueden aplicar a los deportes intermitentes (118). La potencia crítica podría ser una herramienta de control de la intensidad en deportes de equipo, aunque su evidencia es baja (120). Medir la potencia metabólica para derivar la potencia crítica puede ser una alternativa apropiada para evaluar la intensidad durante las actividades de velocidad variable. En la actualidad, sólo existe un test de campo que permite establecer la potencia crítica, de manera precisa para los deportes estocásticos (120).

Al mismo tiempo, se muestra una alta correlación entre el tiempo pasado en la potencia crítica desarrollada en los partidos y el tiempo por encima del 85% de la frecuencia cardíaca (120). Además, cuando se comparan los valores durante un partido, la potencia crítica es un umbral más bajo que otras variables que se usan para determinar las actividades a alta intensidad. Por ejemplo, los puntos de corte para estimar la alta potencia metabólica la igualan al consumo máximo de oxígeno,

que se corresponde alrededor de 20 W/kg para el fútbol que derivan de pruebas de velocidad constantes (69). Por ello, establecer los umbrales de alta intensidad de potencia metabólica en esos marcadores, podría resultar excesivo y subestimar el trabajo de alta intensidad. Además, como ya se ha expuesto anteriormente, los modelos locomotores marcados en umbrales por encima de 19,8 km/h o 15 km/h que corresponden a 25,5 W/kg y 19,3 W/kg de potencia metabólica respectivamente, serían excesivos igualmente.

Durante la disputa del encuentro, la media de los jugadores en la frecuencia cardíaca y en la potencia metabólica están por encima de sus respectivos umbrales, indicando que los jugadores pasan un tiempo amplio a una intensidad que es difícil de sustentar. Dado que los periodos de juego son relativamente breves, menos de 7 minutos, con frecuentes intercambios de trabajo y recuperación, no sorprende que los jugadores puedan realizar esfuerzos por encima de la potencia crítica, permitiendo que en los momentos de pausa la capacidad se restablezca para poder acometer de nuevo los esfuerzos de la competición (120)

Consecuentemente, debido a los cálculos de la potencia metabólica, es necesario establecer la variabilidad inter e intrasujeto de la potencia derivada del GPS a lo largo de una temporada y compararla con la variabilidad de la alta potencia metabólica, la velocidad, la aceleración y la deceleración para detectar qué umbrales son más significativos (121).

### *1.5.7 Adaptaciones a las demandas de alta intensidad*

Se debe tener en cuenta que todos estos factores van a ser dependientes de los niveles fisiológicos del sujeto, ya que tanto la fuerza como la resistencia cardiovascular son dos variables dependientes del rendimiento y modifican la adaptación al estímulo que se impone al sujeto (9). Un jugador de fútbol realiza alrededor de 50 cambios de dirección, que requieren de una contracción pronunciada para mantener el equilibrio y el control del balón ante la presión defensiva del rival, durante el partido (122). La fuerza máxima está relacionada con la habilidad del salto y el rendimiento del ES, la altura del salto,  $56,4 \pm 4$  cm, el tiempo de ES para los 10 metros es de  $1,82 \pm 0,3$  segundos,  $3,0 \pm 0,83$  para los 20 metros y 4 segundos a los 30 metros. Lo que corresponde una correlación de  $r = 0.78$  ( $p < 0.02$ ) para la altura del salto con la repetición máxima (RM), de un  $r = 0,94$  de correlación para los 10 metros con la 1 RM, y de  $r = 0,71$  entre la 1 RM y el tiempo en los 30 metros de ES (123).

Los factores neurales del desarrollo de la fuerza facilitan la producción intencionada de una contracción a alta velocidad, que es el factor crucial para aplicar la máxima velocidad en un gesto específico, además, el desarrollo de la coordinación intermuscular es un factor importante en la especificidad de la velocidad (124)

Hoff y col. (125) mostraron que con el entrenamiento de fuerza se mejoraban los ratios de desarrollo de la fuerza en un 52% y los tiempos en completar un ES se disminuían para cada bloque de 10 y 40 m. Estos resultados se corresponden con los datos de Wisløff y col. (126), donde la fuerza máxima en la media sentadilla tiene una

fuerte correlación con el rendimiento en todos los valores del ES de 30 metros, las carreras con frecuentes cambios de dirección y con la altura del salto en jugadores de fútbol.

El incremento de la potencia y el ratio de desarrollo de la fuerza, mas allá del incremento de la 1 RM “per se”, podrían ser las variables que causan la mejora de la resistencia cardiovascular, debido a que se pueden desarrollar velocidades más altas ante la misma carga. Asimismo, se podría mejorar la economía del gesto reduciendo el trabajo relativo realizado (127).

Asimismo, los jugadores de fútbol más fuertes producen menor daño muscular durante el partido, debido a sus medidas más bajas en Creatina Quinasa (CK), lo que les permitiría recuperar mejor entre los partidos (128). Además, los atletas mejor condicionados aeróbicamente recuperan mejor entre esfuerzos, debido a su mejor taponamiento del lactato y a la regeneración de fosfocreatina (129). Ambos estímulos, el entrenamiento de largos intervalos de alta intensidad y el entrenamiento de fuerza, se pueden entrenar de forma concurrente para obtener una mejora en variables como la economía de carrera que mejoraron un 4,7% (130).

Las intervenciones con entrenamientos que consisten en intervalos de trabajo aeróbico, han demostrado tener un impacto en el rendimiento del jugador de fútbol. Una intervención de cuatro series de 4 minutos al 90-95 % de la frecuencia cardíaca máxima, separados de descansos de 3 minutos de trote al 50-60% de la frecuencia cardíaca máxima, realizado dos veces por semana conjuntamente con el entrenamiento típico de fútbol, durante 8 semanas dentro de la temporada, ha

demostrado que mejora la velocidad a la que se alcanza el umbral de lactato, la economía de carrera, y permite estar aproximadamente 19 minutos más a alta intensidad, por encima del umbral de 90% de la frecuencia cardiaca máxima, que el grupo de control, no hizo. La media de la intensidad del esfuerzo medida como porcentaje de la frecuencia cardiaca máxima, durante el partido, esta cercana al umbral de lactato o lo que es lo mismo al 80-90% de la frecuencia cardiaca máxima. Para determinar el umbral de lactato se realiza en un test incremental de 1 km/h durante 5 minutos por bloque desde el 60% del VO<sub>2</sub>max al 95% VO<sub>2</sub> máx. durante 20 minutos. El umbral de lactato lo determinaron como el incremento por encima de 1,5 mmol/L del estado basal al 50-60% del VO<sub>2</sub>max (131).

Otro estudio comparó la idoneidad de entrenar mediante partidos reducidos en lugar de carrera interválica, demostrando que las intensidades de ejercicio alcanzaban el 91,3% de la frecuencia cardiaca máxima y el 84,5% del VO<sub>2</sub> máx. durante los partidos reducidos, así como la mayor motivación y adherencia producida por la reproducción del juego, hace más idóneo este tipo de entrenamiento (132)

Un razonamiento lógico derivado del principio de especificidad podría sugerir que el entrenamiento de fuerza y de resistencia cardiovascular más efectivo es el juego del fútbol por sí mismo. Pero las investigaciones de las respuestas al entrenamiento muestran que no es el caso, y que las modestas capacidades de los jugadores de fútbol de élite tienen un potencial de mejora para aumentar el rendimiento. Las investigaciones fisiológicas han señalado al consumo de oxígeno máximo como el factor más importante del rendimiento cardiovascular en fútbol, mostrando que la carrera interválica de 3 a 8 minutos al 90-95% de la frecuencia cardiaca máxima con

recuperaciones que ayudan a tamponar al lactato permiten mejorar el rendimiento. Además, el entrenamiento de fuerza usando alta cargas, por encima del 85% de la RM, con la intención de desarrollar la máxima velocidad concéntrica, ayuda en gran medida a mejorar el salto y el ES de los futbolistas, y este mismo entrenamiento ayuda a mejorar el rendimiento cardiovascular, debido a la mejora de la economía del trabajo (9).

### *1.6 La importancia de la alta intensidad en el fútbol.*

Como se ha venido discutiendo, la alta intensidad es un factor clave del rendimiento en el fútbol, que se ha usado como la medida más apropiada para medir el rendimiento físico en un partido, cuando sus estimaciones en las zonas de alta intensidad se han determinado con precisión (34)

Las demandas a alta intensidad son capaces de diferenciar a los jugadores de mayor nivel de los de menor nivel, debido a que los atletas con más desempeño atlético son más capaces de mantener la frecuencia y la magnitud de las aceleraciones y las deceleraciones durante el partido, comparados con sus compañeros con menos desempeño atlético, lo que podría contribuir a mejorar su habilidades dentro del juego, sobre todo, las más relacionadas con cambios rápidos de velocidad o dirección, al mismo tiempo podría ser una medida de detección de talento (133,134).

Además, los jugadores de fútbol que compiten en las ligas más importantes realizan más esfuerzos a alta intensidad durante los partidos que los jugadores de menor nivel.

Sugiriendo que existe una necesidad de realizar altas demandas físicas cuanto mayor es el nivel de la competición (15).

En ese sentido, en la misma competición, los datos mostraron que la alta intensidad se veía afectada por la posición del equipo en la liga, donde los equipos menos exitosos de las principales ligas cubrían más distancia a alta intensidad y ES que sus homólogos más exitosos. Un análisis más exhaustivo de las diferencias entre las distancias a alta intensidad entre los equipos menos exitosos y los más exitosos, mostraron una mayor diferencia en las distancias que se recorrían sin la posesión del balón, esta distancia significativamente mayor para los equipos en las últimas posiciones en la liga, podría ser una consecuencia de su intento por recuperar la posesión de la pelota (15).

Los equipos con un éxito moderado en la liga solían experimentar las mayores disminuciones de distancia a alta intensidad conforme avanzaba el partido, mientras que los mayores decrementos durante las fases finales de los partidos en la distancia total a ES se daban en los equipos que ocupaban las últimas posiciones en la tabla de clasificación (24).

La relación de las demandas competitivas y el nivel del oponente explica que las medias de las distancias totales y a alta velocidad (14,4 km/h) fueran mayores, cuando los equipos se enfrentaba a los oponentes con mayor status en la competición, recorriendo  $2770 \pm 528$  m, 140 metros más por posición en esta categoría de velocidad. Por lo tanto, existe una relación entre los valores físicos que hace un equipo y los que hace su oponente (135).

Estos análisis indican que no es solamente la realización de carrera a alta intensidad “per se” lo que es un importante indicador del rendimiento del equipo, sino que se necesita conocer las variables físicas en relación con su función en el juego. Además, existe una variación por temporada que parece indicar que los ES van aumentando con el desarrollo del fútbol y la subsecuente necesidad de producir esfuerzos intensos, los patrones de estos esfuerzos se vieron también alterados en su escala tiempo-dependiente siendo los ES más frecuentes, más cortos y de naturaleza más explosiva al final de la temporada (24).

El fútbol tiene un carácter multidireccional e intermitente de alta intensidad. Sin embargo, la media de los números de ES durante un partido es  $17,3 \pm 7,7$ , además esta condición de alta velocidad raramente se da por encima de los 20 metros (4). Otro *estudio* mostraba que el 96% de los bloques de ES durante un partido, eran menores de 30 metros y el 49% por debajo de 10 metros (126). Lo que implica que las capacidades de aceleración son de gran importancia para los jugadores (4).

Los estudios muestran que los jugadores de fútbol realizan una media de 54,1 deceleraciones y 558 movimientos de cambios de dirección, con un propósito claro durante el desarrollo del encuentro, con gran importancia en el desarrollo de las sesiones de entrenamiento de este tipo de esfuerzo (26).

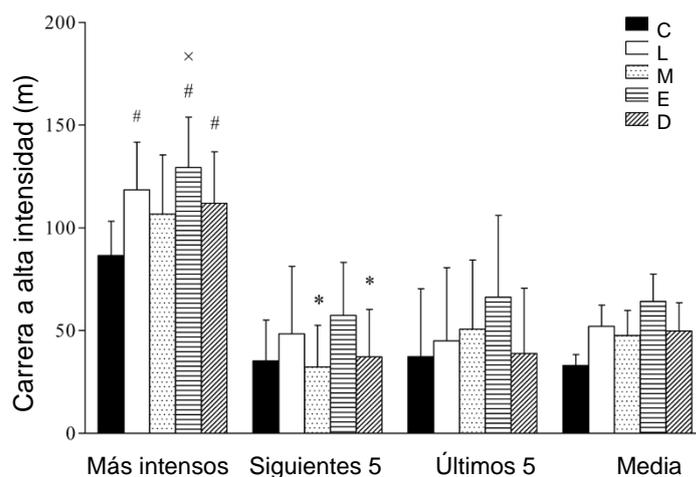
Para completar esas acciones a alta intensidad, se necesita una capacidad de resistencia anaeróbica elevada, sobre todo cuando aparecen las fases más exigentes de la competición, normalmente establecidos en 5 minutos. La cantidad de carrera a alta intensidad en los periodos más intensos del partido, están relacionados con la

capacidad física de los jugadores, a mayor capacidad, mayor distancia recorrida, pudiendo llegar alrededor de 231 metros a alta intensidad, cuando el valor de alta intensidad estaba colocado a 14,4 km/h como punto de corte en esos 5 minutos (19). La necesidad de recuperar después de las fases más exigentes del partido se vuelve crucial y el entrenamiento debe ir enfocado a lidiar con las exigencias de los esfuerzos intensos intermitentes. Durante el juego, la cantidad de carrera a alta intensidad disminuye gradualmente. Sin embargo, donde se producen los mayores cambios son en el déficit de carrera a alta intensidad de los últimos 15 minutos, que resulta entre un 18 y un 21% inferiores a los del inicio del partido, indicando un estado de fatiga (19).

Durante los periodos más exigentes del juego, donde la alta intensidad de carrera medida a partir de los 19,8 km/h se exagera, el número total de acciones de alta intensidad se incrementan en un 125% con respecto a la media del partido, realizando una media de 110 metros a alta intensidad. Este incremento tiene un efecto sobre la habilidad de los jugadores para continuar realizando alta intensidad. Además, el tiempo recuperando después de las fases más exigentes, es decir el tiempo entre poder volver a realizar actividades a alta intensidad, se incrementaba en un 12% comparado con los tiempos de recuperación del partido. Conjuntamente, el rendimiento del ES se reducía temporalmente. El ratio de densidad trabajo: descanso, que durante el partido es de 1:12 se convierte en 1:2 en los momentos más exigentes (136) Además, el entrenamiento debería incluir acciones en periodos de 5 minutos con el objetivo de solicitar el 90-95% de la frecuencia cardiaca máx.(9).

Parece interesante remarcar que, durante los periodos más exigentes, los jugadores realizan aproximadamente un 10% más de acciones a alta intensidad cuando su equipo está en posesión de la pelota. Siendo casi igual de importante esta capacidad en posesión del balón o sin ella. Sin embargo, una mayor disminución, se produce después de las fases más exigentes cuando se está en posesión del balón, porque se descansa con el balón, más que sin tener la posesión, un 64% menos frente a un 60% respectivamente. Además, los jugadores alcanzan velocidades más altas, de  $8,4 \pm 0,6$  m/s, en las fases más exigentes, comparadas con el  $7,6 \pm 0,3$  m/s, en los periodos de 5 minutos durante el partido (136).

**Figura 11.** Distancia a alta intensidad en los periodos de 5 min.



Nota: C: central; L: lateral; M: mediocentro; E: extremo; D: delantero. \*Diferencias con la media ( $p = 0.05$ ). # Mayor distancia a alta velocidad de carrera que los centrales ( $p = 0.05$ ). x Mayor diferencia en distancia a alta intensidad que los mediocentros ( $p = 0.05$ ). Adaptado de Di Mascio (136)

La media de las aceleraciones de alta intensidad es de  $19 \pm 7$ , donde los extremos son los que más influidos se ven por esta condición, aunque los centrales son los que en total de movimientos de aceleración tienen unos valores significativamente mayores, acumulando la mayoría de ellos por debajo de  $1 \text{ m/s}^2$ . Los autores resaltan

que la precisión en las medidas de los GPS podrían suponer un problema metodológico aunque el desarrollo está permitiendo cálculos más precisos (80)

Como se ha visto, la capacidad de acelerar y decelerar juega un rol importante en el fútbol de élite, representando un alto porcentaje de sus acciones de alta intensidad, esto ha supuesto un cambio en la definición de las variables, incluyendo la potencia metabólica destacándola antes que la velocidad como variable aislada (80).

Independientemente, la potencia metabólica ha representado una medida sensible a la cuantificación de la intensidad y la fatiga, y puede usarse para configurar un umbral individual a través de la potencia crítica o la potencia aeróbica máxima de cada jugador, con ello detectar los esfuerzos a alta intensidad y los bloques de esfuerzos de alta intensidad repetidos, con el objetivo de controlar la carga del deporte. Así, han demostrado las incongruencias entre carga interna y carga externa, estimada por el método tradicional durante los juegos reducidos en el fútbol, donde los jugadores obtienen valores de frecuencia cardiaca alta, pero que no alcanzan velocidades de desplazamiento altas, subrayando la importancia de usar otras variables complementarias como la potencia metabólica. Parece improbable que un jugador complete un 10% de la actividad a alta intensidad, cuando pasa aproximadamente el 60% del partido por encima del 85% de la frecuencia cardiaca.

Los esfuerzos de alta intensidad en los deportes son normalmente de carácter breve, por lo que no acumulan mucha distancia o velocidad, pero el requerimiento del metabolismo de la adenosina trifosfato (ATP) y su turnover puede ser extremadamente alto. La expresión de la intensidad en términos de energía permite una conexión entre la potencia metabólica y el suministro de ATP para la contracción

muscular, permitiendo valorar las demandas metabólicas de los deportes estocásticos (116).

En general, la literatura científica muestra que los jugadores de mayor nivel cubren más distancias a alta intensidad de carrera que los jugadores con peor nivel (135). Eso podría sugerir que los jugadores de mejor nivel están físicamente mejor preparados, y que desarrollar las cualidades físicas para permitir que los jugadores cubran mayores distancias a alta intensidad, hará factible competir con equipos mejores en niveles de rendimiento físico.

La alta intensidad se vuelve importante cuando hablamos de las fases del juego que determinan el resultado. Son las acciones a alta intensidad, las que están presentes y se relacionan con las oportunidades de marcar gol durante el encuentro (50).

El fin último del deporte competitivo es la victoria, por lo tanto, todos aquellos esfuerzos que nos acerquen a la consecución de la victoria, mediante la anotación de goles, cobrarán una gran importancia en el desarrollo estocástico del encuentro. El estudio de Faude y col. (50), que analizaba las acciones previas a un gol, observó que el 83% de las veces que se marcaban goles, las acciones anteriores habían sido una o varias acciones a alta intensidad de carrera, ejecutadas o bien por los goleadores o por los asistentes. El esfuerzo más repetido por los jugadores que anotaban el gol, fueron los ES lineales sin oposición del rival y la mayoría de ellos, un 75% de las veces de esos goles, se producían sin posesión del balón. Mientras que los jugadores que asistían al goleador también completaban en la mayoría de casos un ES lineal, pero en posesión del balón y con oposición del rival, un 64% en posesión

del balón y un 60% con oposición. A estas acciones de ES, le seguían los saltos y los cambios de dirección como acciones más frecuentes para marcar un gol.

En las situaciones en la que los goles ocurrían, el atacante había propiciado una situación de ventaja al haberse movido más rápido, tanto antes como después de recibir el balón, que su oponente inmediato (137). Además, los defensas que tenían éxito en las jugadas eran los que se habían movido a mayores velocidades para interceptar la trayectoria del balón (138). El número de acciones de carrera a alta intensidad está relacionado con el éxito global del equipo (24,135).

### *1.7 Las demandas de alta intensidad en España.*

La comparación de los valores de alta intensidad entre los campeonatos de los diferentes países es un análisis que puede permitirnos entender los contextos donde se desarrollan las demandas físicas y las diferencias entre las formas de competición, estructura táctica y modelo de juego.

Esta comparación ha resultado difícil, debido a que los métodos de registro entre las diferentes competiciones y las diferencias en los umbrales usados dificultaban la relación entre las ligas (25). El uso del mismo sistema de análisis del movimiento, para comparar las actividades físicas durante el partido, puede facilitar la precisión y la objetividad de los datos obtenidos (6)

Dellal y col. (25) compararon las diferencias entre todas las posiciones de los jugadores en el campo entre la PL y la Liga y encontraron que no existen diferencias

en las distancias recorridas totales. Aunque los mediocentros en la PL cubrían alrededor de un 6,6%, unos 775 m, más que sus homólogos en La Liga. Pese a que, la distancia total no está considerada un discriminador importante en el rendimiento en diferentes ligas. Asimismo, los investigadores fueron los primeros en discriminar las posiciones de mediocentro con rol defensivo y con rol ofensivo, y encontraron que los mediocentros defensivos, corrían significativamente más distancia que los que tenían un rol ofensivo, especialmente en la PL. Las obligaciones del mediocentro defensivo en la PL debido a los estilos de juego o al modelo táctico, le obligan a recorrer mayores distancias y necesitan de un mayor condicionamiento físico para cubrir esas demandas.

El análisis de los esfuerzos a alta intensidad de carrera, dependiendo de si tenían la posesión del balón o no, mostró diferencias entre las acciones para las diferentes posiciones. Mientras que, en la Liga, los centrocampistas con rol ofensivo eran los que más distancias a alta intensidad de carrera cubrían cuando su equipo estaba en posesión del balón, en la PL eran los extremos los que tenían esa característica. Sin embargo, existen patrones comunes entre los campeonatos, por ejemplo los centrales o los delanteros, tanto en el juego de ataque como en el defensivo tenían un perfil similar (25).

Además, los jugadores sin importar su posición en el campo, corrían mayores distancias a alta intensidad de carrera en la PL que los jugadores de La Liga (25). Aunque otras investigaciones habían observado que no existían diferencias en los jugadores de élite profesional para los esfuerzos a alta intensidad entre la PL, La Liga y el fútbol italiano (19,20). Esto podría ser porque el sistema táctico empleado en España permite a los centrales mayor movilidad, o porque las diferencias tácticas en

el estilo de juego entre las competiciones describen a España como un juego más técnico, el italiano más táctico y el fútbol inglés más directo (139).

La evolución del fútbol es un hecho constatable, investigaciones como la de Barnes y col. (54) han demostrado un incremento en el número de esfuerzos físicos y en los aspectos técnicos, donde uno de los factores que más ha evolucionado, son las acciones de alta intensidad, que han sufrido un aumento del 25%, mientras que el número de pases entre compañeros, se ha incrementado en un 40%. Según relatan otros autores, se ha visto que los esfuerzos de alta intensidad son cada vez más determinantes y el nivel técnico de los futbolistas es cada vez mayor, dando lugar a mayores velocidades del balón y aumentando la frecuencia de pases por minuto (140).

La evolución del fútbol como ya se ha demostrado y la diferencia entre los métodos de evaluación podrían explicar la discrepancia entre las investigaciones. Aunque, se necesitan más investigaciones, para determinar si otros elementos de alta intensidad podrían ser diferentes entre los jugadores de diferentes ligas.

Un estudio más reciente de Rivilla y col. (141) analizaron un total de 230 jugadores, durante una media de  $22 \pm 7,16$  partidos en La Liga para determinar, mediante el análisis semiautomático de múltiples cámaras de Mediacoach, cuáles eran los valores de rendimiento físico de los partidos. Encontraron que los jugadores españoles de campo, excluyendo a los porteros recorrían una distancia de  $9268 \pm 960$  m (IC95% = 9137 – 9399 m), cubrieron por encima de 21 km/h, donde el software marca las acciones de alta intensidad de carrera, una distancia de  $448 \pm 156$  m (IC95% = 427 –

469 m). Las distancias durante la primera parte eran  $4729 \pm 566$  mientras que en la segunda parte eran  $4537 \pm 480$  m, una diferencia que resultaba significativa. Además, los mediocentros y los centrales cubrían menores distancias a alta intensidad que los delanteros, los extremos y los laterales en línea con las investigaciones previas.

El calendario de una temporada de fútbol es muy amplio, un campeonato liguero puede extenderse hasta los 10 – 11 meses. Por norma general se juega un partido semanal, pero en periodos congestionados pueden llegar a jugar dos partidos por semana (142), lo que puede limitar el tiempo para realizar entrenamientos de condicionamiento, ya que la mayoría estarán dedicados a la recuperación del jugador. Aunque se conozca que el entrenamiento condicional sea importante para mantener y mejorar el rendimiento físico durante los partidos (15). Algunos jugadores internacionales llegan a completar más de 60 partidos por periodo competitivo (143). En España, la primera división se disputa entre 20 equipos profesionales mientras que la segunda división se disputa entre 22 equipos profesionales. Lo que supone, un campeonato de 38 o 42 partidos respectivamente, organizados a través de un calendario competitivo que suele empezar a finales de agosto y terminar en junio. En primera división, los 6 primeros clasificados optan a jugar un campeonato internacional, Champions League o UEFA League, mientras que los tres últimos clasificados descienden a la segunda división. Por su parte, en la segunda división los dos primeros clasificados ascienden de categoría de forma inmediata, mientras que del tercero al sexto tienen que jugar una liga de eliminaciones para ver quién es el tercero en subir a primera división, en las cuatro últimas posiciones de la tabla se encuentran los equipos que descenderán de categoría.

Cuando se compara a un equipo de jugadores de élite a lo largo de una temporada, se ha visto que estos cubren las mayores distancias a alta intensidad de carrera hacia el final de la temporada, cuando los encuentros son más decisivos en relación a la posición de la tabla, siendo un factor de rendimiento en el partido (15).

### *1.8 La epidemiología de las lesiones en el fútbol español.*

Los estudios epidemiológicos en el fútbol de élite masculino han reportado una incidencia total de lesiones de entre 6 y 8 lesiones por cada 1000 horas de exposición. Las regiones corporales más afectadas son los miembros inferiores, particularmente el tobillo, la rodilla y el muslo (144).

Las lesiones que más han aumentado con el desarrollo del fútbol moderno han sido las lesiones de isquiosurales, que incrementan en cada año en un 4% su incidencia, es decir que cada año se producen más lesiones de isquiosural, aunque existan protocolos específicos para su prevención (145,146). Los factores de riesgo para este tipo de lesión están relacionados con el incremento del número de acciones a alta intensidad y la necesidad de repetir esas acciones frecuentemente durante el juego, el 70% de las lesiones de isquiosural en el fútbol se producen esprintando o corriendo a alta intensidad (147).

Con relación a las lesiones de cadera un club profesional con una plantilla de 25 jugadores puede sufrir durante la temporada una media de seis lesiones de cadera/pubis (148) Aunque los autores señalan que debido a las características de esta lesión el índice de ocurrencia probablemente sea mayor ya que no limita la

participación en la competición. El hecho de que sea una lesión que presenta un dolor difuso que puede desaparecer con la práctica hace que los jugadores jueguen con cierto grado de incomodidad. Estas variables podrían subestimar la incidencia total de esta lesión (148). Los factores de riesgo que pueden desencadenar las lesiones en cadera o pubis se pueden deber a las fuerzas excéntricas que estresan el complejo músculo-tendón de la cadera y el pubis cuando se realiza un cambio de dirección o cuando se golpea un balón (149). Además, las debilidades en la fuerza de aducción de cadera representan un factor de riesgo para esta lesión (150).

Respecto a las lesiones de rodilla, la estructura más afectada es el ligamento cruzado anterior (LCA), donde también existe un incremento del 6% en la incidencia de esta lesión para los futbolistas profesionales, con el agravante de la severidad y el tiempo de baja que supone esta lesión, aunque existan protocolos de prevención específicos (151). El 79% de las lesiones de LCA ocurrieron en la primera parte del partido, particularmente el 26% de ellas en los primeros 9 minutos de partido, por lo que se podría entender que no está relacionada con la fatiga causada por el partido, sino más bien una fatiga central acumulada (152). Además, del total de esas lesiones el 62,5% se produjeron sin contacto y la mayoría afectó a la pierna dominante, por lo que se especula que los mecanismos centrales de control neuromuscular intervienen en este tipo de lesión(153).

Los factores de riesgo de rotura de LCA sin contacto, están relacionados con las acciones de alta intensidad que se producen de forma repetida y que van a inducir en un estado de fatiga neuromuscular. Las lesiones de LCA normalmente suceden durante una desaceleración mientras se intenta cambiar de dirección o durante un

aterrizaje tras un salto, los análisis cuantitativos demuestran que el evento desencadenante requiere de una rápida abducción de rodilla con una rotación interna del fémur y la tibia fija o en rotación externa durante las fases de apoyo del pie. (154).

En España, Noya y col. (155) realizaron un estudio epidemiológico de la primera división española durante la temporada 2008/2009 incluyendo la pretemporada, donde establecían 12 categorías de localización de las lesiones que estaban en relación a los consensos científicos (156) pie, tobillo, pantorrilla, rodilla, muslo, cadera/pubis, extremidades superiores, hombro/clavícula, lumbar/sacro/pelvis, cabeza/cara/cuello/cervicales, abdomen y esternón/costillas. El tipo de lesión que se podía producir se estipuló también con respecto al consenso científico (156) fracturas y síndromes de estrés, articulares que no influían al hueso y ligamentosas, tendones y músculos, contusiones, laceraciones y lesiones de la piel, sistema nervioso central/periférico y otras lesiones. Además, también se establecieron clasificación según si eran traumáticas o por sobreuso. La severidad de las lesiones se calculó en relación al número de días de ausencia desde que se producía la lesión hasta que el jugador volvía a participar en un entrenamiento o competición de forma completa, y se dividió en cinco categorías: mínima < 3 días, medias de 4 a 7 días, moderadas de 8 a 28 días y severas por encima de 28 días. Por último, la recurrencia de las lesiones también se tuvo en cuenta si los jugadores se lesionaban en la misma zona y del mismo tipo de lesión.

Lo que los autores encontraron fue que las lesiones más comunes fueron: las lesiones musculares en el muslo, los esguinces de tobillo y las lesiones musculares en cadera. Los jugadores se lesionaban más en competición que en entrenamiento. La

incidencia de lesión durante los entrenamientos disminuía a medida que avanzaba la temporada, mientras que la incidencia en competición aumentaba, los valores mostraban que la incidencia de lesión en competición era 12,3 veces mayor que en entrenamientos. Debido a que la intensidad de la competición es mayor que la de los entrenamientos, lo que genera un mayor riesgo de lesión (155).

En relación a la naturaleza, las lesiones por sobreuso fueron un 66% más prevalentes con un ratio de incidencia de 3,7 veces frente a las traumáticas que se produjeron con mayor frecuencia durante las competiciones que durante el entrenamiento. El 11% de las lesiones fueron recurrentes. Por último, la severidad de las lesiones mostró como las mínimas y las medias por debajo de 7 días fueron las más prevalente un 63% de las veces, mientras que las severas por encima de 28 días de baja sólo representaron el 8% del total del número de lesiones (155). Estos datos se contrastan con los obtenidos en la PL donde las lesiones que duraban más de 8 días fuera de la competición ocurrían el 68% de las veces (157). Esto se puede deber al estilo y la intensidad de juego de los diferentes países que puede disminuir la severidad para el fútbol español.

Además, la mayor incidencia de lesiones se produjo durante la pretemporada (155), probablemente debido a un desajuste en la carga de trabajo impuesta sobre los jugadores, al intercalar periodos de bajo volumen de entrenamiento a baja intensidad durante las vacaciones con retomar los entrenamientos con altos volúmenes e intensidades mayores en el periodo de pretemporada, lo que supone un aumento en la probabilidad de sufrir una lesión (158). Se ha definido que el ratio ideal de cambio semanal de carga para intentar disminuir el riesgo de lesión debe estar por debajo de

un 10% de cambio en las cargas de trabajo, y que cuando superan el 15% las probabilidades de sufrir una lesión se aumentan de forma exponencial (159).

Se ha observado que el sistema Mediaccoach puede ser una herramienta útil para el control de las variables físicas relacionadas con la carga de trabajo a lo largo de las semanas de la competición española, pudiendo auxiliar en el control de las cargas de entrenamiento, programando las sesiones con el objetivo de exponer a los jugadores a una adaptación de las demandas de competición, para reducir el riesgo de lesión gracias a la gestión adecuada de la carga (160).

Igualmente, se ha visto como las lesiones tienen un impacto tanto económico como de rendimiento sobre el equipo y la categoría (161). Si existe una mayor disponibilidad de todos los jugadores de la plantilla para alinearlos en el partido y existe una menor incidencia de lesiones, ambas variables van a estar asociadas a un aumento de los puntos conseguidos durante los partidos en la liga y una mejor clasificación final (162). Por otro lado, el éxito en el campeonato determina en parte el perfil económico de los equipos de esa liga, por lo que mantenerse en la categoría y conseguir mejores puestos en el campeonato estipulará el presupuesto económico del equipo para la siguiente campaña.

La Liga dedica recursos económicos, entre otros ámbitos, para desarrollar el área de análisis de las demandas físicas, que se realizan en los encuentros de sus respectivas ligas profesionales, y en la prevención de las lesiones de sus jugadores de primera y segunda división. En colaboración con Mediapro, disponen de un servicio de análisis de vídeo posicional durante el partido, que ofrece métricas de las principales variables

de rendimiento de carga externa de todos los jugadores que disputan el partido, el servicio se llama Mediacoach, que ha mostrado su validez para evaluar el rendimiento (28), y sólo está disponible para los trabajadores de los cuerpos técnicos de esas competiciones, para que realicen un perfil físico de sus jugadores y puedan desarrollar investigaciones acerca de las demandas condicionales de sus equipos.

Además, las facultades de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte españolas cada vez desarrollan programas formativos con especialidades centradas en el rendimiento y en la prevención de lesiones en el fútbol, ampliando sus ofertas con mayor cantidad de alumnos interesados en una salida laboral ya reconocida en los organigramas de los clubes deportivos.

Por su parte los cuerpos técnicos de todos los equipos de primera y segunda división, no se permiten el lujo de no disponer entre sus filas a profesionales formados en preparación física específica a su área, el fútbol. Así como, analistas, entrenadores y readaptadores físico-deportivos que completan el elenco de recursos humanos cualificados, con conocimientos científicos sobre el entrenamiento de las capacidades físicas, la planificación deportiva y la disminución del riesgo lesional.

Estas elevadas exigencias competitivas hacen necesario que profesionales especializados como los preparadores físicos o los analistas del fútbol, deban incorporar a sus competencias profesionales, tareas relacionadas con el control de la carga de entrenamiento, de las lesiones producidas durante la temporada y el análisis de las demandas físicas de la competición.

Analizando los estudios que han evaluado las demandas de alta intensidad durante los partidos profesionales de fútbol hasta el inicio de esta Tesis Doctoral, se han identificado las siguientes necesidades:

- Estudios que relacionen a lo largo de una temporada las demandas físicas de alta intensidad en todos sus formatos con las probabilidades de éxito durante la competición.
- Estudios que contextualicen las demandas físicas de un equipo frente a las de su rival para obtener que variables mejoran el éxito en la competición.
- Estudios que relacionen a lo largo de una temporada las demandas físicas de alta intensidad con las lesiones producidas durante el periodo competitivo.
- Estudios que analicen y relacionen las variables metabólicas como indicador de fatiga durante la temporada y el ranking del equipo en la competición.
- Estudios que analicen y comparen las demandas competitivas de la segunda liga española.
- Un mayor número de estudios longitudinales para las variables mecánicas y metabólicas de la alta intensidad.

## 2. *Hipótesis.*

El rendimiento de un equipo profesional de fútbol va a estar valorado según el objetivo principal, la victoria. Para la consecución de la victoria, primero el equipo tiene que disponer de los mejores jugadores en plantilla. Para ello, conocer las demandas físicas que condicionen y protejan a los jugadores para disminuir el riesgo de lesión podría ser determinante de ese rendimiento.

En segundo lugar, cuando el equipo participa en la competición, las demandas físicas que manifiesta sobre esta podrían tener un impacto sobre el rendimiento. En la literatura se han investigado aquellas acciones a alta intensidad en equipos de las primeras ligas del mundo, pero no existe conocimiento de lo que ocurriría en las ligas de segundo nivel. Conocer las demandas físicas en función del resultado para un equipo profesional de segunda división durante dos temporadas podría ser útil para determinar el rendimiento.

Además, relacionar estas demandas físicas con respecto a las ejecutadas por el rival, para conocer qué acciones se realizan en mayor o menor magnitud en función del resultado, podría ser determinante para mejorar el rendimiento de un equipo profesional de fútbol.

### 3. *Objetivos.*

Los objetivos generales de la presente Tesis Doctoral pretenden relacionar que variables físicas registradas durante los partidos, mediante un sistema de análisis de vídeo durante dos temporadas en la segunda división de fútbol, tienen mayor probabilidad de influir en el rendimiento de un equipo profesional:

- Evaluar las temperaturas de las regiones corporales y las capacidades a los jugadores del equipo propio para establecer un perfil condicional basal de la plantilla.
- Relacionar los perfiles condicionales con la incidencia de lesión durante la temporada 2017/2018.
- Evaluar las demandas físicas del juego que han sido más determinantes para obtener los resultados en la segunda división española.
- Comparar las diferencias que se encuentran en las demandas físicas de un equipo con respecto al otro en función del resultado.
- Analizar las acciones a alta intensidad del equipo durante los partidos disputados en la segunda división contextualizados a su rival.
- Ampliar el conocimiento científico sobre las demandas físicas que se presentan en las victorias en la segunda división española.

Los objetivos específicos de los artículos:

- Capítulo 3: Establecer los perfiles condicionales iniciales mediante una batería de pruebas. Donde se analizan las temperaturas de las regiones corporales, el rango de movimiento de la extremidad inferior, la fuerza y la potencia del SCM y la fuerza y la velocidad del ES de los jugadores en la temporada 2017/2018 y relacionar las variables del salto SCM con la del ES.
- Capítulo 4: Describir la epidemiología lesional de la temporada 2017/2018 y analizar su relación con las cualidades físicas del salto SCM de los jugadores, analizadas en el perfil condicional inicial.
- Capítulo 5: Establecer y analizar las demandas físicas determinantes en el rendimiento de ambas temporadas en segunda división.
- Capítulo 6: Analizar y relacionar las variables físicas en función del comportamiento del rival, para identificar que demandas son determinantes para el rendimiento del equipo durante la competición.

## Capítulo 2.

### 1. *Métodos.*

A continuación, se detalla la metodología general de esta Tesis Doctoral adscrita al plan de investigación de Víctor Luis Escamilla Galindo "Demandas físicas determinantes en el rendimiento de un equipo profesional de fútbol" presentado a la escuela de doctorado de la Universidad de Zaragoza en 2016. Sin embargo, en cada artículo o capítulo aparece una descripción específica de la metodología utilizada en el mismo.

#### 1.1 *Comité de ética*

Esta Tesis Doctoral se ha realizado siguiendo los consensos para el respeto de los principios éticos para las Investigaciones médicas en seres humanos reconocidas por la Declaración de Helsinki de 1975 (revisado en las 64<sup>o</sup> Asamblea General en Fortaleza 2013, Brasil), y cumpliendo con la ley en su aplicación de la normativa legal española (ley 14/2007, de 3 de Julio, de Investigación Biomédica). Además, el Comité de Ética de la Investigación de la Comunidad Autónoma de Aragón (CEICA) en la reunión celebrada el día 25 de julio de 2018, Acta N<sup>o</sup> 14/2018 emitió un dictamen favorable para la realización de los estudios de este proyecto (C.P. - C.I. PI18/212) **(Anexo I)**.

Previo a la realización del proyecto se realizaron reuniones con el cuerpo médico y el cuerpo técnico de la Sociedad Deportiva Huesca (Primer equipo profesional de la entidad) para explicar los procesos de evaluación y tratamiento de los datos, con el

ánimo de explicar los objetivos y los procedimientos de la investigación. Todos los participantes del primer equipo profesional de fútbol fueron informados de las pruebas a realizar durante el estudio, así como los posibles riesgos y beneficios derivados de la participación. Finalmente, los jugadores tuvieron que dar su asentimiento para confirmar su participación en la investigación (**Anexo II**). Todos los datos se trataron de forma anónima cambiando el nombre por la demarcación a la que correspondía su posición en el campo: defensa central, defensa lateral, mediocentro, extremo o delantero.

## *1.2 Diseño del plan de investigación*

La presente investigación tiene un diseño controlado y aleatorizado. En el primer corte transversal se analizaron las capacidades físicas durante la pretemporada de 2017/2018, para evaluar la condición física de los jugadores del primer equipo de la Sociedad Deportiva Huesca durante su fase de preparación a la temporada. Posteriormente se fueron recabando los datos de demandas físicas durante los partidos oficiales para el estudio longitudinal, con inicio el 18 de agosto de 2017 y final de la temporada regular para la competición en segunda división el 2 de junio de 2018. Para la anterior temporada se obtuvieron los datos desde el inicio el 20 de agosto de 2016 hasta el final, el 10 de junio de 2017, de las jornadas regulares de la segunda división española. Las lesiones durante la temporada 2017/2018, se contabilizaron desde el inicio del campeonato regular hasta el final de la temporada. La obtención y tratamiento de los datos se realiza por parte del autor principal de esta Tesis Doctoral, ejerciendo las funciones de readaptador físico-deportivo dentro del primer equipo profesional del club. Para los datos de las demandas físicas durante las temporadas

2016/2017 y 2016/2018, con una muestra de 42 partidos para cada temporada de la segunda división respectivamente, se necesitó la plataforma Mediacoach (Mediapro SLU, España). Los datos se obtenían semanalmente después de los partidos disputados, se excluyeron los datos para los partidos que Mediacoach no ofrecía variables o los datos que habían sufrido alguna modificación posterior. Quedando una muestra definitiva de 38 partidos en la temporada 2016/2017 y 36 partidos en la temporada 2017/2018.

### 1.3 *Muestra*

Las características de la muestra durante la Tesis Doctoral hacen necesario complementar a las variables absolutas con las de los jugadores que completaron la totalidad de los 90 minutos de cada partido. Es decir, se estableció una nueva categoría para todas las variables solo con los jugadores que jugaron más de 90 minutos (+90), debido a la influencia que tienen los suplentes en los datos, la fatiga generada por la segunda parte y las muestras de rendimiento físico previo (24). Por lo tanto, la muestra de jugadores profesionales de fútbol durante la temporada 2017/2018 era de 19 jugadores profesionales de fútbol de 27,05 años  $\pm$  4,36 con una estatura de 1,80 cm  $\pm$  6,26 y un peso de 74,05 kg  $\pm$  6,4, mientras que para la temporada 2016/2017 los jugadores tenían 27,38 años  $\pm$  4,7 con una estatura de 1,79 cm  $\pm$  6,22 y un peso de 72,27 kg  $\pm$  4,8. Los jugadores fueron divididos por su demarcación en el campo: defensa central, defensa lateral, mediocentro, extremo o delantero.

En el Capítulo 3 la muestra durante el análisis de las capacidades físicas de los jugadores en la pretemporada 2017/2018 mediante la evaluación de termografía, el test de Lunge, los test de SCM y ES lineal de 30 metros, era de 19 jugadores de 27,05 años  $\pm$  4,36 con una estatura de 1,80 cm  $\pm$  6,26 y un peso de 74,05 kg  $\pm$  6,4.

En el Capítulo 4 para el análisis de las lesiones se tuvo en cuenta la muestra para la temporada 2017/2018, de 19 jugadores de 27,05 años  $\pm$  4,36 con una estatura de 1,80 cm  $\pm$  6,26 y un peso de 74,05 kg  $\pm$  6,4, en la segunda división española. Determinando las lesiones de los jugadores según el consenso científico (156).

En el Capítulo 5 para el análisis físico retrospectivo y longitudinal con el objetivo de relacionar las demandas físicas con el éxito en la competición (ganar, empatar o perder) durante las dos campañas se determinaron los participantes según las posiciones en el campo.

En el Capítulo 6 para relacionar las demandas físicas contextuales del equipo se realizó una resta de las variables de cada jornada entre el equipo propio y el equipo rival para ver qué equipo había efectuado más acciones dependiendo del contexto del partido (ganar, empatar o perder).

#### *1.4 Procedimientos*

En este apartado se van a exponer y explicar las pruebas y procedimientos, que se han llevado a cabo durante la realización de la Tesis Doctoral.

### *1.4.1 Salto con contramovimiento.*

El salto con contramovimiento (SCM), con las manos en la cintura, ha sido investigado en la literatura científica por ser un predictor sensible y fiable para medir el estatus neuromuscular de los jugadores de fútbol, pudiendo detectar las fases de fatiga y de sobrecompensación inducidas por el entrenamiento (163). Además, los valores obtenidos por medio de este test consiguen clasificar a los atletas según su desempeño atlético y permiten llevar a cabo la programación del entrenamiento en base a las necesidades individuales de los deportistas (164,165). Por otro lado, existe una relación entre el rendimiento del salto y los tiempos conseguidos durante un ES, además la asociación que presenta la relación entre ambas variables es elevada (166-169). Por ello, los datos obtenidos durante la ejecución de un SCM se pueden transferir al rendimiento que se va a conseguir durante las acciones a alta intensidad en un partido de fútbol, como pueden ser los ES (170).

La metodología de evaluación del SCM durante las pruebas de pretemporada está expuesta con más detalle en el Capítulo 3 de esta Tesis Doctoral. Para el análisis del SCM se utilizó la aplicación móvil de My Jump que ha demostrado su validez para medir las variables de altura máxima del salto (cm), fuerza pico (N), la potencia pico (W), el tiempo de vuelo (s) y la velocidad de despegue (m/s) (171) Los jugadores fueron valorados según los criterios de Gallardo y col. (172) calculando para cada jugador las medidas de distancia desde el trocánter mayor al suelo desde la posición de media sentadilla con el ángulo de la rodilla a 90° y las medidas desde el trocánter mayor al Hallux, con el tobillo en posición de flexión plantar (**Anexo III**). Además, se midió el peso y la altura del sujeto. Con estas medidas la aplicación calcula mediante

las fórmulas de Samozino y col (173) las variables. En la ejecución del salto se instruyó a los jugadores a realizar un salto máximo con las manos apoyadas en las caderas y partiendo de la posición de bipedestación. para poder realizar un movimiento con el componente completo del ciclo acortamiento-estiramiento de los miembros inferiores, con el objetivo de evaluar la capacidad neuromuscular de las piernas. Los jugadores realizaron tres intentos con dos minutos de descanso entre ellos.

#### *1.4.2 Test de Esprint de 30 metros.*

El ES se puede considerar como la habilidad atlética más determinante del fútbol (50). La habilidad de esprintar está relacionada con las necesidades de acelerar el cuerpo, lo que implica que se deben desarrollar grandes cantidades de trabajo horizontal ejerciendo fuerzas de acción contra el suelo (174).

La importancia de los ES lineales en el fútbol ha sido investigada para desarrollar planes de entrenamiento efectivos, que mejoren el rendimiento de los jugadores de fútbol. Incorporar ejercicios de fuerza, acciones pliométricas y entrenamiento aislados de ES a los entrenamientos específicos de fútbol parece ser efectivo para mejorar el rendimiento (175,176). La evaluación de los ES en fútbol se ha realizado midiendo el tiempo que se tarda en recorrer una determinada distancia por lo general 20 metros (176). Recientemente Morin y col. (177) han mostrado la necesidad de valorar todo el espectro de la curva fuerza-velocidad durante el ES, para obtener una información más completa del comportamiento mecánico del jugador durante toda la fase acelerativa hasta alcanzar la meseta de velocidad. Estas informaciones podrían ser

determinantes para comprender el rendimiento en el ES. Los autores señalan que para los jugadores de fútbol se necesitan de al menos 30 metros para evaluar las variables de ES, donde se les permita alcanzar las máximas velocidades que les concede su capacidad (178). Para analizar los ES de los jugadores se utilizó la aplicación móvil My Sprint (**Anexo IV**) que ha demostrado su validez para medir las siguientes variables que tienen una influencia en el rendimiento de ES: la máxima capacidad de producción de fuerza muscular ( $F_0$ ), la velocidad teórica máxima ( $V_0$ ), la potencia máxima ( $P_{max}$ ), la disminución del ratio de fuerza horizontal resultante a los 10 metros ( $DRF_{10}$ ) y el máximo ratio de fuerza horizontal ( $RF_{peak}$ ) (171) Los jugadores facilitaron el peso en kg y la altura en metros para que la aplicación, mediante las fórmulas de Samozino y col. (179), pudiera calcular las variables descritas. En la ejecución se instó a los jugadores a completar un ES de 30 metros a su máxima velocidad saliendo de una posición de partida baja con las manos apoyadas en el suelo en el campo de entrenamiento de césped natural con el equipamiento de juego. Solo se realizó un ES máximo por sus altas demandas físicas.

### *1.4.3 Termografía.*

La termografía infrarroja es una técnica no invasiva que se realiza de forma rápida, para obtener los datos de temperatura de la piel. Estos datos ofrecen un mapa detallado del cuerpo humano en el que cada píxel equivale a un dato de temperatura. Cuando los atletas compiten o entrenan, se exponen a un estrés físico, el cual causa un cambio en la perfusión de la circulación sanguínea, influyendo a la temperatura corporal (180,181). Estos cambios están relacionados con la respuesta de los tejidos al ejercicio, particularmente del tejido muscular, haciendo que la herramienta tenga

una sensibilidad alta a los cambios producidos por el entrenamiento (180). Esos procesos suelen estar relacionados con un patrón de asimetrías entre los hemisferios, causado por procesos inflamatorios de fatiga o de sobrecarga. Por lo tanto, una asimetría térmica podría representar un riesgo potencial de lesión relacionado con la sobrecarga propia de la participación en el deporte (181).

El análisis de termografía se realizó por medio de un dispositivo de captación de la radiación infrarroja (FLIR T530, FLIR Systems AB, Danderyd, Suecia) con una resolución de 240 x 320 píxeles, una precisión de  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  y una sensibilidad de  $< 30$  30mK a los  $30^{\circ}\text{C}$ ; y el software para el análisis de las imágenes capturadas ThermoHuman (ThermoHuman, España) validado científicamente para el análisis de las temperaturas (182), que divide las regiones corporales según el interés del investigador mediante procedimiento de algoritmos de aprendizaje automático (183). Los protocolos de toma de imagen siguieron los protocolos TISEM (Thermographic Imaging in Sports and Exercise Medicine) para evitar los posibles factores de influencia de la termografía, registradas en la ficha de termografía (**Anexo II**) (184).

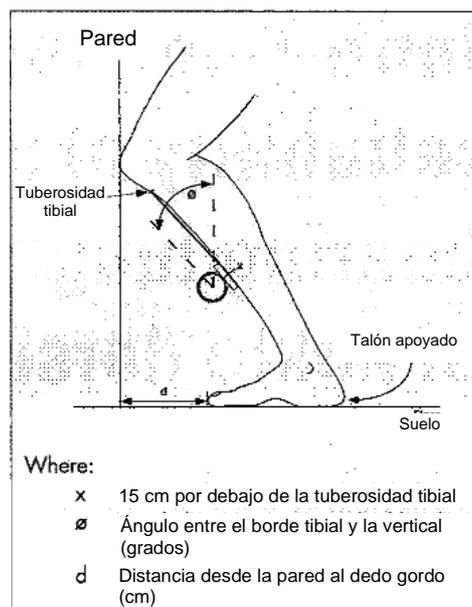
Los termogramas se registran en una posición de bipedestación, a una distancia entre el cuerpo del jugador y la cámara de 2,5 a 3 metros, dependiendo de la altura. Se capturan dos imágenes, la imagen frontal del miembro inferior y la imagen posterior del miembro inferior para cada evaluación. El autor de la tesis doctoral fue el técnico que tomó y procesó las imágenes termográficas, esas imágenes en formato .JPG fueron introducidas en el software de ThermoHuman (Versión 2.0, ThermoHuman, España) que permitió seleccionar las regiones de interés (**Anexo V**).

La termografía infrarroja ofrece a los entrenadores y al cuerpo médico una información cuantitativa sobre las diferencias bilaterales de la temperatura de la piel que podría ser útil para la prevención de lesiones (181).

#### 1.4.4 Lunge Test

Comúnmente los fisioterapeutas han utilizado la prueba de zancada a un apoyo, o Lunge testm para evaluar la dorsiflexión del tobillo

**Figura 12.** Realización del Lunge test con sus dos correspondiente medidas.



Fuente: Adaptado de Bennel K y col (185) 05).

Para este test, se le pide al paciente que coloque un pie perpendicular a la pared y que la intente alcanzar con la rodilla con un movimiento de aproximación delantero. Progresivamente, ese pie se va moviendo hacia atrás alejándolo de la pared hasta que se alcanza el máximo grado de dorsiflexión, que se consigue sin separar el talón del suelo mientras se aproxima hacia delante la rodilla, y ya no se contacta con la

pared. La medida más frecuente que se ha utilizado es la distancia que separa el dedo más cercano y la pared o el ángulo que forma el eje de la tuberosidad tibial con la vertical utilizando un goniómetro de gravedad (**Figura 12**).

Este test descrito por Bennel. y col (185) para valorar la dorsiflexión del tobillo se puede calcular en cm o en grados y tiene una gran fiabilidad para valorar la limitación en la dorsiflexión, que está relacionada como un factor predisponente a lesiones de sobreuso en la pierna y el pie, en deportistas y futbolistas (186,187)

#### *1.4.5 Datos físicos durante la competición.*

Los datos de rendimiento físico se obtenían a través de la plataforma de Mediacoach, accediendo por su portal web: <https://portal.mediacoach.es/> al cual solo tienen acceso los trabajadores en nómina de los clubes de primera y segunda división adscritos al campeonato nacional de Liga. Este servicio es proporcionado gracias a la colaboración de Mediapro (Mediaproducción, S.L.U, Barcelona, España) con La Liga (La Liga Nacional de Fútbol Profesional Asociación Deportiva de derecho privado, Madrid, España) en el que se analizan mediante un sistema de posicionamiento semiautomático en vídeo a los jugadores para obtener las variables situacionales, tácticas, técnicas y físicas durante el desarrollo de los partidos.

Desde 2011, La Liga cuenta con el sistema de análisis de Mediacoach que monitoriza los movimientos de los jugadores y del balón mediante 16 cámaras con las siguientes especificaciones: super 4K-HDR, a través de un sistema de posicionamiento de vídeo semiautomático (Tracab-ChyronHego, Suecia) recogen la información en una

frecuencia de muestreo de 25 Hz, las cámaras están posicionadas estratégicamente para cubrir todo el terreno de juego, desde todos los ángulos, con el objetivo de registrar los movimientos de los 22 jugadores.

Mediacoach desde la grabación de varios ángulos analiza la posición en el eje "X" y en el eje "Y" para cada jugador, existe la posibilidad de corregir el registro ya que el sistema es controlado por dos técnicos en cada partido de la primera y segunda división, para asegurar un registro correcto y configurar si fuera necesario el sistema durante el encuentro. Las correcciones se realizan sobre la superposición de la coordenada "X" proporcionada automáticamente por el sistema, cuando el técnico observa que los datos son erróneos porque se alejan de la posición del jugador al que siguen (43).

Mediacoach presenta ciertas limitaciones cuando se comparan con los sistemas de posicionamiento GPS de la marca Wimu (Realtrack system, Almería, España), ya que se ha observado que el posicionamiento semiautomático sobreestima sistemáticamente los valores de distancias recorrida, excepto para la distancia entre 0 km/h y 6 km/h. Por el contrario, la velocidad media y los valores de velocidad máxima están subestimados cuando se comparan con los GPS (43).

Pons y col. (43) destacan los errores sistemáticos de esta tecnología en la sobre estimación de las distancias recorridas, apuntando como novedoso el hecho de ser el primer estudio que se realiza con los valores de rendimiento de los futbolistas profesionales durante un partido oficial. Además, enfatizan en el hecho de que los errores son relativamente pequeños y predictivos, lo que permite el uso de

Mediacoach como una tecnología apta para monitorizar los movimientos de los jugadores, debido a que los riesgos de sesgo son triviales para todas las variables con errores de desviación estándar pequeños, además los índices de correlación son casi perfectos entre el GPS y Mediacoach (43).

Establecer los perfiles del VT2 recomendados por Abt y col. (34) para individualizar las velocidades de carrera a alta intensidad a través de su identificación y su modificación en el software, no es una opción plausible, ya que los datos vienen ofrecidos por defecto marcados en los umbrales que se establecerán más adelante en la metodología, ya que es una empresa externa al club que tiene un convenio con La Liga para ofrecer los servicios de análisis.

El sistema ha sido validado para la monitorización de las variables físicas en la investigación de Felipe y col. (28) en su comparación con el Sistema Apex® GPS (STATSportsTM, Newry, Irlanda) donde encontraron que tiene una correlación de  $r = 0,99$  con un intervalo de confianza de 0,99 para la variable de distancia total. Para las demás variables: velocidad entre 14 km/h y 21 km/h; velocidad entre 21 km/h y 24 km/h; velocidad >24 km/h; máxima velocidad alcanzada por el jugador medida en km/h y número de ES, medidos como las acciones por encima de 24 km/h, mostraban unos intervalos de confianza ( $> 0,75$ ) y unas correlaciones muy elevadas ( $r > 0,70$ ). Estos datos de correlación muestran al Sistema de Mediacoach tan confiable y válido como los sistemas de GPS, además de demostrar su alta precisión para el seguimiento de los movimientos específicos del fútbol de élite. Por tanto, el Sistema puede ser usado por los entrenadores, preparadores físicos y científicos del deporte

para obtener variables objetivas en tiempo real de los rendimientos de los jugadores (28).

Rivilla y col. (141) usaban el Sistema Mediacoach para analizar las características físicas de los futbolistas españoles durante la campaña 2013/2014, distribuyendo a los jugadores por su posición en el campo, para calcular las acciones de alta intensidad, que para estos autores suponían probablemente el factor más importante para ganar partidos, ya que permite a los jugadores desmarcarse del rival. Para calcular los datos de alta intensidad se contempló el umbral de carrera a alta velocidad por encima de 21 km/h, se contabilizó la distancia por encima de ese umbral y el número de acciones por encima del umbral. Los autores obtuvieron una distancia media de alta intensidad de  $448 \pm 156$  m y el número de acciones era de alta intensidad era de  $25.27 \pm 7.3$ . La investigación mostraba como las acciones a alta intensidad disminuían de la primera a la segunda parte para todos los jugadores en todas las posiciones del campo, excepto para los centrales. Además, los mediocentros y los extremos eran los jugadores que más distancias recorrían durante el partido. En relación a las demandas de alta intensidad los delanteros los externo y los mediocentros eran los jugadores que realizaban mayor número de acciones a alta intensidad, al mismo tiempo, la distancia a alta intensidad también tenía como protagonistas a estas tres posiciones siendo los jugadores que más distancia a alta intensidad recorrían.

En el registro de la toma de datos para esta Tesis doctoral se establecieron las mismas posiciones del campo que en los estudios previos con este sistema (141),

donde se establecía la siguiente taxonomía de posiciones: centrales, laterales, mediocentros, extremos y delanteros, representados en la **Figura 13**.

**Figura 13.** Posiciones de registro para los datos de Mediacoach.



Fuente: elaboración propia

#### *1.4.6 Registro de las lesiones.*

El registro de las lesiones se llevó a cabo según marcan las directrices de los consensos científicos (156), donde se establecía la localización: pie, tobillo, pantorrilla, rodilla, muslo, cadera/pubis, extremidades superiores, hombro/clavícula, lumbar/sacro/pelvis, cabeza/cara/cuello/cervicales, abdomen y esternón/costillas. El tipo de lesión que se podía producir se estipuló también con respecto al consenso científico (156): fracturas y síndromes de stress, articulares que no influían al hueso y ligamentosas, tendones y músculos, contusiones, laceraciones y lesiones de la piel, sistema nervioso central/periférico y otras lesiones.

Además, también se establecieron clasificación según si eran traumáticas o por sobreuso. La severidad de las lesiones se calculó en relación al número de días de ausencia desde que se producía la lesión hasta que el jugador volvía a participar en

un entrenamiento o competición de forma completa, y se dividió en cinco categorías: mínima < 3 días, medias de 4 a 7 días, moderadas de 8 a 28 días y severas por encima de 28 días. Por último, la recurrencia de las lesiones también se tuvo en cuenta si los jugadores se lesionaban en la misma zona y del mismo tipo de lesión.

### *1.5 Análisis estadísticos*

Los métodos estadísticos utilizados en la presente Tesis Doctoral son comunes en la mayoría de los capítulos por lo que se ha optado por describir las pruebas estadísticas en este apartado conjunto, y señalar también aquellas pruebas que solo hacen referencia a capítulos concretos. No obstante, en cada capítulo se incluye una descripción de las técnicas estadísticas empleadas para la consecución de los objetivos.

El programa informático que se utilizó para las pruebas estadísticas fue: Statistical Package for the Social Sciences (SPSS Inc., versión 22.0, Chicago, Illinois, Estados Unidos). El nivel de significación estadística se fijó en  $\alpha < 0,05$ .

Para evaluar la distribución de las variables se realizó la prueba de normalidad de las variables cuantitativas para determinar en los sucesivos contrastes de hipótesis si debemos aplicar test paramétricos o no paramétricos.

Si el número de datos es mayor de 50 debemos considerar para la prueba de normalidad el test estadístico de Kolmogorov-Smirnov y si es menor de 50 el de Shapiro-Wilk.

En este caso para las hipótesis del capítulo 3, 4 y 6 se comprobó el test de Shapiro-Wilk para obtener las pruebas de normalidad con un resultado superior a ( $p > 0,05$ ). Para el capítulo 5, el test estadístico de Kolmogorov-Smirnov mostraba un resultado superior a ( $p > 0,05$ ) aceptando que las variables si tienen distribución normal.

Por lo tanto, como la distribución de las variables era normal en el capítulo 3 se utilizó la correlación de Pearson, que establece una relación lineal entre dos variables. Del mismo modo, para la relación de las variables en el capítulo 5 se utilizó la correlación de Pearson al demostrarse una distribución normal.

Mientras que en el capítulo 4 las variables no seguían una distribución normal por lo que se realizó la prueba la correlación de Spearman.

Las relaciones de correlación si tienen significancia, establecida en los párrafos anteriores, van a demostrar el tipo de relación entre ambas variables: si el coeficiente de correlación  $r$  es positivo, la correlación entre las variables es positiva o directa (cuando una variable aumenta la otra también ( $0 < r < 1$ )), además cuanto más cerca este de 1 más fuerte es la correlación. Por otro lado, si el coeficiente de correlación  $r$  es negativo, la correlación es negativa o inversa (cuando una variable aumenta la otra disminuye ( $-1 < r < 0$ )), además cuanto más cerca este de -1 más fuerte es la correlación que hay entre las variables.

Además, para los capítulos 5 y 6 se emplearon los test paramétricos al haberse confirmado la normalidad. Cuando la variable categórica tenía 2 categorías se utilizó la prueba de la T de Student. Mientras que, si tenía 3 o más categorías la comparación de medias se realiza a través del análisis de la varianza (ANOVA).

## Capítulo 3.

### 1. *Introducción.*

El análisis de las capacidades de los futbolistas se basa en la necesidad de crear un perfil basal sobre el que programar los entrenamientos para mejorar el rendimiento físico. El ES se convierte en la principal manifestación física de las capacidades a mejorar en los futbolistas, ya que como se vio en apartados anteriores las acciones previas que más predominaban a la consecución de un gol eran estas acciones (50).

Cuando se fragmentaba el análisis de los ES, los jugadores realizaban más acciones en el rango de 0-10 metros que en el de 20-30 metros, con alguna diferencia según posición en la PL (4). Además, las duraciones de las acciones a alta intensidad eran muy cortas, normalmente el 90% de ella no duraban más de 5 segundos (188).

El análisis de los jugadores de fútbol españoles en un ES de 30 metros demostró que los delanteros corren más rápido que los defensas y que los porteros (189). Resultados similares se obtuvieron con jugadores junior españoles, donde los delanteros fueron los más rápidos seguidos de los mediocentros, los laterales y por último las defensas centrales (190). Cuando se analizaron las ligas de mayor nivel se identificó que los extremos eran los que más acciones de ES corto realizaban, en una distancia de 10 m, seguidos por los atacantes y por laterales. Además, los centrales realizaban mayores porcentajes de acciones en la categoría de 0 a 5 metros y pocas acciones en la categoría de 15 a 20 metros. Los resultados mostraban que los

jugadores de fútbol realizaban más ES sobre distancias cortas, de 0 a 10 metros, que sobre largas distancias (77).

La segunda acción motriz más importante después de los ES lineales son las acciones de alta intensidad más frecuentes y dominantes en el fútbol, los saltos (50).

La relación que existe entre el rendimiento en el salto y los valores de rendimiento en el ES han sido demostrados con anterioridad (166). La asociación que existe entre la velocidad en el ES y el rendimiento alcanzado en los saltos es elevada (167-169). Por ello, los valores obtenidos tras realizar acciones de salto se pueden transferir en acciones de alta intensidad como los ES en el fútbol (170).

Además, evaluar un salto es mucho menos costoso a nivel neuromuscular que un ES máximo (166).

Por otro lado, la evaluación de las asimetrías térmicas mediante la termografía ha demostrado su validez para identificar el estado de fatiga de los tejidos y prevenir lesiones (180,181). La termografía es una herramienta no invasiva que de forma rápida permite conocer la fisiología muscular debido a su relación con la temperatura de la piel (180,181)

La dorsiflexión del tobillo en futbolista es una medida que debe considerarse por su relación con el desarrollo de patologías del miembro inferior en los test de evaluación de las capacidades (187).

Basados en las investigaciones previas, el objetivo de este capítulo fue evaluar las capacidades para identificar que variables físicas son representativas en función de: los perfiles de la temperatura de las extremidades, la dorsiflexión del tobillo, el ES de 30 m y el salto SCM. Además, comprobar la relación del ES de 30 m con las variables de SCM en los jugadores profesionales de fútbol de segunda división durante la pretemporada de 2017/2018.

## 2. *Metodología.*

### 2.1 *Procedimientos*

Se realizó un estudio transversal comparativo con el objetivo de identificar las diferencias entre las capacidades en un equipo profesional de fútbol de la segunda división española en la pretemporada 2017/2018, y la relación del SCM y el ES de 30 m.

### 2.2 *Participantes.*

19 jugadores profesionales de fútbol de 27,05 años  $\pm$  4,36 con una estatura de 1,80 cm  $\pm$  6,26 y un peso de 74,05 kg  $\pm$  6,420 pertenecientes al mismo equipo participaron en el estudio, todos ellos fueron informados del procedimiento y consintieron su participación, el estudio fue aprobado por el comité de ética de Aragón (CEICA) Acta número: 14/2018 bajo los estándares de la declaración de Helsinki (2013). Los jugadores fueron divididos según su demarcación en el campo en: delanteros, extremos, mediocentros, laterales o defensas centrales. Las diferencias entre la heterogeneidad de las edades en los individuos no suponen ninguna limitación, ya

que de acuerdo con Mujika y col (191) no existen diferencias en el rendimiento de las tareas neuromusculares del salto o el ES entre futbolistas U20 y senior. El estudio se realizó en la pretemporada de 2017/2018 en las instalaciones del club.

### *2.3 Ejecución de los test.*

Durante la tercera sesión de la pretemporada, en el horario de entrenamiento matinal se realizaron los test de evaluación de las capacidades físicas del equipo de fútbol, incluyendo a todos los integrantes disponibles de la primera plantilla.

La primera evaluación consistió en un análisis de termografía por medio de un dispositivo de captación de la radiación infrarroja (FLIR T530, FLIR Systems AB, Danderyd, Suecia) con una resolución de 240 x 320 píxeles, una precisión de  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  y una sensibilidad de  $< 30\text{ mK}$  a los  $30^{\circ}\text{C}$ ; y el software para el análisis de las imágenes capturadas ThermoHuman (ThermoHuman, España) validado científicamente para el análisis de las temperaturas (182) que divide las regiones corporales según el interés del investigador mediante procedimiento de algoritmos de aprendizaje automático (183) Los protocolos de toma de imagen siguieron los protocolos TISEM para evitar los posibles factores de influencia de la termografía (184) obteniendo un perfil basal de las temperaturas por regiones corporales de los jugadores de la primer plantilla que se dividieron en las siguientes variables: el muslo por la vista anterior (derecha e izquierda); el muslo por la vista posterior (derecha e izquierda); la pierna por la vista anterior (derecha e izquierda) y la pierna por la vista posterior (derecha e izquierda). Para evaluar si existía una asimetría que pudiera

aumentar el riesgo de lesión, como se ha demostrado en investigaciones previas (181).

Después se realizó un calentamiento: esta sesión se caracterizó por un calentamiento general con una duración de 10 minutos donde los jugadores realizaban acciones de carrera lineal, movilidad general, desplazamientos con cambios de dirección, seguidos por una fase de calentamiento específico con acciones de pase entre compañeros, rondos y desplazamientos en largo con una duración de 10 minutos, tras lo cual se disponían a realizar los test de evaluación.

El segundo test fue el descrito por Bennel, K. y col (185) para valorar la dorsiflexión del tobillo, este test tiene una gran fiabilidad para valorar la limitación en la dorsiflexión, que está relacionada como un factor predisponente a lesiones de sobreuso en la pierna y el pie (186) Obteniendo los grados de dorsiflexión para la pierna derecha y la pierna izquierda.

El tercer test en evaluar fue el salto SCM que se realizó bajo las indicaciones de previos estudios (172) con la aplicación móvil de My Jump (172,192,193). Se midieron a cada jugador desde la posición de media sentadilla con el ángulo de la rodilla a 90° la distancia del trocánter al suelo y en posición decúbito prono la distancia del trocánter a la punta de los pies con el tobillo en flexión plantar. En el salto SCM los sujetos realizaron un salto vertical máximo empezando desde la posición de estancia en bipedestación y sin realizar la ayuda del balanceo de brazos. Los jugadores realizaron tres SCM sin la acción de los brazos con 2 minutos de descanso entre ellos, mientras se les grababa desde la aplicación, se analizaba en el momento y se les

informaba del resultado, el mejor de ellos fue seleccionado para el estudio con las siguientes variables: altura máxima del salto (cm), fuerza pico (N), la potencia pico (W), el tiempo de vuelo (s) y la velocidad de despegue (m/s). Además, se calculó con el peso de cada sujeto la potencia relativa al peso (W/kg), a través de la siguiente fórmula: potencia relativa = potencia pico/peso del sujeto. Después del último salto los jugadores descansaban 3 minutos para prepararse para el ES de 30 metros, que se realizaba sobre el césped con la equipación de entrenamiento.

El test de ES 30 metros se realizó bajo las indicaciones del estudio de Romero y col (194) donde los jugadores empezaban el ES desde una posición de salida de tacos, para cubrir corriendo los 30 metros del test, en un espacio donde estaba colocado el material para analizar los tiempos a los 5, 10, 15, 20, 25 y 30 metros y grabando con la aplicación My Sprint a una distancia de 10 metros perpendicular al punto medio que coincide con los 15 metros desde la salida. Solo se realizó un ES por la exigencia que supone para la consecución del entrenamiento, fueron instruidos para realizar el test al máximo de sus capacidades, los datos fueron analizados con dicha aplicación. Las variables resultantes del ES están descritas en Morin y col. (177) y ofrecen información sobre el perfil de potencia-fuerza-velocidad. Estas variables son: tiempo (s); vel. Máx. (m/s) y pot. Máx. (W/kg)

## *2.4 Los análisis estadísticos*

Las variables de normalidad fueron evaluadas usando el test de Shapiro-Wilk. Debido al resultado de la distribución normal de las variables, los datos se describen como medias y desviaciones estándar. Se realizó una T student para valorar las diferencias

en las temperaturas medias de las regiones del lado derecho comparadas con el lado izquierdo de los valores del análisis termográfico. También se realizó una T student para valorar las diferencias en los grados de dorsiflexión de una pierna con respecto a la contralateral. La correlación de Pearson fue calculada para la relación de las variables entre el salto vertical y las obtenidas durante el ES. Se estableció la significancia en ( $p = 0,05$ ).

### 3. Resultados

Los estadísticos descriptivos se muestran en las **tablas 5 y 6**, donde se recogen los valores medios y su desviación estándar, para las variables del salto y del ES según la posición.

**Tabla 5.** Variables del ES divididos por los puestos específicos de los jugadores

ES	Tiempo (s)			Vel. máx. (m/s)			Pot. máx. (W/kg)		
	N	Media	D.E.	N	Media	D.E.	N	Media	D.E.
Central	4	5,07	,15	4	7,04	,40	4	15,43	2,09
Lateral	3	4,89	,33	3	7,53	,31	3	16,30	4,00
Mediocentro	4	5,21	,08	4	6,91	,11	4	12,97	1,94
Extremo	4	5,00	,16	4	7,31	,25	4	14,84	1,81
Delantero	4	4,96	,25	4	7,33	,46	4	15,40	1,93
Total	19	5,03	,21	19	7,21	,36	19	14,92	2,34

Nota: (Tiempo), es el tiempo en realizar el ES de 30 metros; (Vel. máx.), es la velocidad máxima alcanzada durante el ES; (Pot. máx.), potencia máxima desarrollada durante el ES relativa al peso.

**Tabla 6.** Variables del salto SCM divididos por los puestos de los jugadores.

Salto	Altura SCM (cm)			Pot. Relativa. (W/kg)			V despegue (m/s)		
	N	Media	D.E.	N	Media	D.E.	N	Media	D.E.
Central	4	38,60	5,98	4	25,01	3,69	4	1,37	,10
Lateral	3	41,41	2,23	3	26,82	9,03	3	1,42	,04
Mediocentro	4	35,39	2,91	4	23,63	6,63	4	1,32	,05
Extremo	4	36,59	4,77	4	29,34	5,33	4	1,34	,08
Delantero	4	40,91	6,34	4	23,66	8,31	4	1,41	,11
Total	19	38,34	4,92	19	25,82	6,33	19	1,37	,08

Nota: (Altura SCM), altura en cm del salto; (Pot. Relativa), potencia máxima desarrollada en salto relativa al peso del jugador; (Vel. despegue), velocidad de despegue.

La **tabla 7** muestra los resultados de la prueba de termografía y el test de Lunge.

**Tabla 7.** Diferencias entre lateralidades para la termografía y el test de Lunge.

Ju g.	Región del muslo (vista anterior) (°C)		Región del muslo (vista posterior) (°C)		Región de la pierna (vista anterior) (°C)		Región de la pierna (vista posterior) (°C)		Lunge test: grados de dorsiflexión (°)	
	Derecha	Izquierda	Derecha	Izquierda	Derecha	Izquierda	Derecha	Izquierda	Derecha	Izquierda
1	30,00	30,50	31,00	31,23	30,34	30,23	30,89	30,78	38,20	38,67
2	31,30	31,50	31,60	31,79	30,59	30,43	30,76	30,81	40,00	39,56
3	31,00	31,30	32,34	32,07	30,45	30,50	30,68	30,72	39,00	40,01
4	32,00	31,79	32,10	32,24	30,27	30,33	30,65	30,70	38,70	39,43
5	31,50	31,70	31,89	31,98	30,68	30,54	30,71	30,65	36,00	36,13
6	31,70	31,60	31,80	31,78	30,89	30,73	30,92	30,99	36,70	36,89
7	31,04	30,80	32,60	32,45	31,05	30,94	30,84	31,04	40,12	39,87
8	31,60	30,97	30,80	30,89	30,00	30,12	30,97	31,10	37,56	37,76
9	30,29	30,40	30,92	30,93	30,30	30,42	31,06	30,89	36,97	36,56
10	30,67	30,50	31,56	31,45	30,46	30,54	31,45	31,20	38,90	37,69
11	31,09	30,98	31,46	31,54	30,79	30,91	31,54	31,32	37,45	38,12
12	31,60	32,00	31,78	31,62	31,20	31,30	31,06	31,05	41,02	40,67
13	31,93	32,00	31,02	31,40	31,05	30,96	30,96	31,07	40,30	40,78
14	31,48	31,20	31,04	31,30	30,75	30,58	30,64	30,78	38,45	37,84
15	30,49	30,60	32,05	31,89	30,51	30,27	30,73	30,65	35,67	36,02
16	30,50	30,45	32,40	32,12	30,78	30,67	30,86	30,96	36,78	37,02
17	30,90	30,49	32,34	32,07	30,21	30,33	30,97	30,83	39,56	39,78
18	31,34	31,54	32,10	32,00	30,23	30,29	31,00	30,87	41,00	40,40
19	31,56	31,43	31,05	31,15	30,79	30,65	30,12	30,23	39,56	41,00
M edi a	31,15	31,14	31,67	31,67	30,59	30,56	30,88	30,87	38,52	38,64
D E	0,56	0,55	0,57	0,44	0,32	0,30	0,30	0,24	1,63	1,65
t	0,19		-0,05		1,09		0,29		-0,81	
sig	0,84		0,95		0,28		0,77		0,42	

Nota: Prueba T-student (grado de significancia marcado en P= 0,05).

No existe ninguna variable significativa en las evaluaciones con la herramienta de termografía, ni en el test de dorsiflexión (Lunge test) realizados a los jugadores durante esta evaluación de las capacidades.

La **tabla 8** muestra las correlaciones que existen entre las variables del ES de 30 metros con los datos obtenidos para la altura del salto SCM.

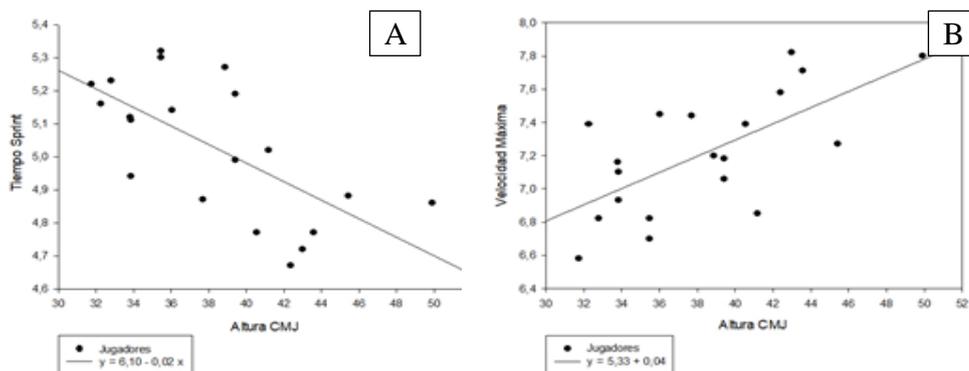
**Tabla 8.** Correlación entre las variables del SCM y del ES

SCM		ES.	T(s)	Vel. Max	Pot. Max
Altura SCM	r	-0,67*	0,66*	0,41	
	Sig.	0.00	0.00	0.76	
Pot.Relativa	r	-0,41	0,29	0,47*	
	Sig.	0.60	0.02	0.45	
V. Despegue	r	-0,43	0,29	0,48*	
	Sig.	0.98	1.02	0.047	

Nota: datos de correlación de Pearson (r) para las variables comparadas de salto y ES. (Altura SCM): altura en cm del salto; (Pot. Relativa): potencia máxima desarrollada en salto relativa al peso del jugador; (Vel. despegue): velocidad de despegue. (T): tiempo total del ES de 30 metros; (Vel. máx.): velocidad máxima alcanzada durante el ES; (Pot. máx.): potencia máxima desarrollada durante el ES relativa al peso. \*( $p < 0.05$ ).

Existe una correlación lineal negativa simple entre la altura del salto SCM con el tiempo en completar el ES ( $r = -0,67$ ;  $p < 0,01$ ) y la vel. máx. ( $r = -0,66$ ;  $p < 0,01$ ).

**Figura 13.** Correlación entre el tiempo y la vel. máx. del ES y la Altura del SCM.



Nota: A) Muestra la línea de regresión para la correlación existente entre los tiempos de ES de los jugadores y la altura obtenida en el salto SCM. B) Muestra la línea de regresión para la correlación existente entre la velocidad máxima alcanzada en el ES de los jugadores y la altura obtenida en el salto SCM.

Además, existe una correlación positiva simple para las variables de velocidad de despegue ( $r= 0,48$ ;  $p< 0,05$ ) y potencia relativa al peso ( $r= 0,47$ ;  $p= 0,05$ ) en el salto en relación a la potencia máxima ejercida durante el ES.

#### 4. *Discusión.*

El estudio estaba diseñado para explorar las relaciones que existen entre las variables en una evaluación de las capacidades. Se analizaron la temperatura de las regiones musculares, el grado de dorsiflexión del tobillo, el desempeño del ES y las capacidades mecánicas del salto obtenidos durante el procedimiento de un test de SCM sin la ayuda de las manos por medio de nuevas tecnologías de fácil uso y fiabilidad.

No se encontró una diferencia significativa ni en el grado de asimetría de las temperaturas, ni en los grados de movimiento del tobillo en su dorsiflexión.

Las asimetrías en las temperaturas de las regiones corporales se han venido estudiando en la literatura científica como un factor de riesgo de lesión debido a su relación con el metabolismo de los tejidos (180). Pero si bien es cierto que esa asimetría está relacionada con las lesiones, se necesita una carga de trabajo para afectar la temperatura de forma asimétrica (180).

Además, en un estado basal sin ningún condicionante de carga impuesta, ya que los jugadores estaban en la pretemporada, las temperaturas van a tender a tener un grado de equilibrio. Estas afirmaciones están en línea con las propuestas en la literatura científica (195-197). Se necesita de una aplicación continuada de trabajo y

una sucesión de medidas repetidas de la termografía para su empleo en el control del entrenamiento (182).

En relación con los valores de dorsiflexión existe una discusión similar siendo la aplicación de entrenamientos el factor que modifica el grado de libertad de movimiento del tobillo, sobre todo para la pierna dominante a lo largo de una temporada regular de fútbol (198). Por lo que una única evaluación no es representativa de como esta variable puede verse modificada e influir en las lesiones (198).

Las relaciones del salto y el ES van en línea con las demostradas en investigaciones previas, donde evaluaban la asociación entre la velocidad en el ES y el rendimiento alcanzado en los saltos, mostrando una relación elevada (166-170).

Los futbolistas con mayores valores de altura en salto fueron los que alcanzaron mayores velocidades durante el ES. Además, los que tenían mayor altura en el salto también tenían mejores marcas en el tiempo de ES. Estos hallazgos van en línea con investigaciones previas en futbolistas jóvenes (160).

Estos valores de rendimiento físico relacionan dos tipos de esfuerzos que demandan la aplicación de fuerza ante cargas externas bajas a altas velocidades, obligando al sujeto ejercer la máxima potencia que sea capaz de realizar para obtener el mayor desempeño durante el movimiento. Para ello la potencia relativa a su peso debe expresar el valor más alto posible, debido a su relación con la velocidad (199).

La relación directa de la potencia relativa al peso durante el salto vertical y la potencia relativa durante el ES, indica que cuando el jugador equipara su potencia con respecto

a su peso los vectores de fuerza de ambos movimientos, están relacionados (170,200).

Las manifestaciones de potencia que se dan en ambos movimientos tienen una similitud en el empleo del tren inferior a la hora de extender la cadera, eso puede hacer que las potencias tengan esa relación directa a altas velocidades. Como también demuestran investigaciones previas que observaron que, a alta velocidad durante el ES, el tiempo de contacto con el suelo es menor aumentando las fuerzas verticales pico, que están relacionadas con el desarrollo de potencia en el salto (170, 200).

La relación obtenida entre las potencias relativas de ambos gestos específicos, también se ha visto demostrada en las jugadoras femeninas en un estudio reciente de Marcote y col. (201) donde la correlación entre el salto y el ES para la Pot máx. fue de ( $r = 0.75$ ).

La inexistencia de correlación entre los metros iniciales del ES y la altura del salto puede ser debida a la orientación del vector de fuerzas que se produce cuando se acelera, que es más predominantemente horizontal y no demanda la aplicación de fuerzas a alta velocidad y si una gran aplicación de fuerzas a baja velocidad para conseguir acelerar el centro de masas desde la posición de velocidad cero, estática, al inicio del movimiento. Al contrario, cuando el ES empieza a demandar la aplicación de fuerza a mayor velocidad y el gesto se vuelve más vertical la correlación con el salto se vuelve significativa. Otros autores han relacionado las acciones de aceleración con los momentos de aplicación de mayor fuerza, mientras que los

momentos de mayor velocidad en el ES están más relacionados con la aplicación de la potencia máxima (202,203).

## 5. Conclusiones.

Existe una relación entre el SCM y el rendimiento en el ES, tanto en tiempo como en la manifestación de la potencia que se demanda en ambos movimientos, como así lo manifiesta la relación entre las potencias relativas de ambos. Por el contrario, no existen diferencias en las pruebas de termografía o el test de Lunge.

Gracias a la evolución del fútbol las demandas de las acciones a alta intensidad, como ES y saltos se han incrementado en el modelo actual de este deporte, siendo necesario su desarrollo durante el entrenamiento.

Obtener los valores del ES y el SCM es una información valiosa para prescribir de manera personalizada el entrenamiento con el fin estimular las capacidades físicas del jugador orientadas a mejorar el rendimiento y prevenir lesiones.

Debido a la importancia del vector horizontal en las fases iniciales del ES, que no se relacionan con el salto, se deberán atender a ambos vectores de movimiento considerando un entrenamiento multiplanar. Buscando la transferencia del salto (patrón de triple extensión vertical) a los momentos de máxima velocidad durante el ES, en conjunto con patrones de extensión de cadera horizontal por su importancia en la aceleración del movimiento tan importante en ES cortos.

## Capítulo 4.

### 1. *Introducción.*

El análisis de las capacidades de los futbolistas que se realizó en el anterior capítulo sirve como base de este capítulo, ya que pone de manifiesto el marco conceptual de las capacidades de los jugadores durante la temporada 2017/2018.

Se sabe que el entrenamiento adecuado de las capacidades, sobre todo desde la estimulación del desarrollo de la capacidad de la fuerza, es la mejor herramienta para disminuir el riesgo de lesión (204).

Como veíamos en el capítulo uno, el fútbol debido a su carácter intermitente donde se tienen que desempeñar múltiples acciones (4), requiere de una combinación de fuerza y resistencia, convirtiéndolo en una modalidad mixta a la hora de demandar la expresión de las capacidades de fuerza-resistencia (9,10).

El metabolismo aeróbico cobra gran importancia para permitir una mejor recuperación entre esfuerzos, mientras que el anaeróbico sirve para sustentar los periodos de actividad a alta intensidad (9). Ambas capacidades requieren una óptima planificación del entrenamiento para conjugar el desarrollo de la fuerza y la resistencia cardiovascular (9).

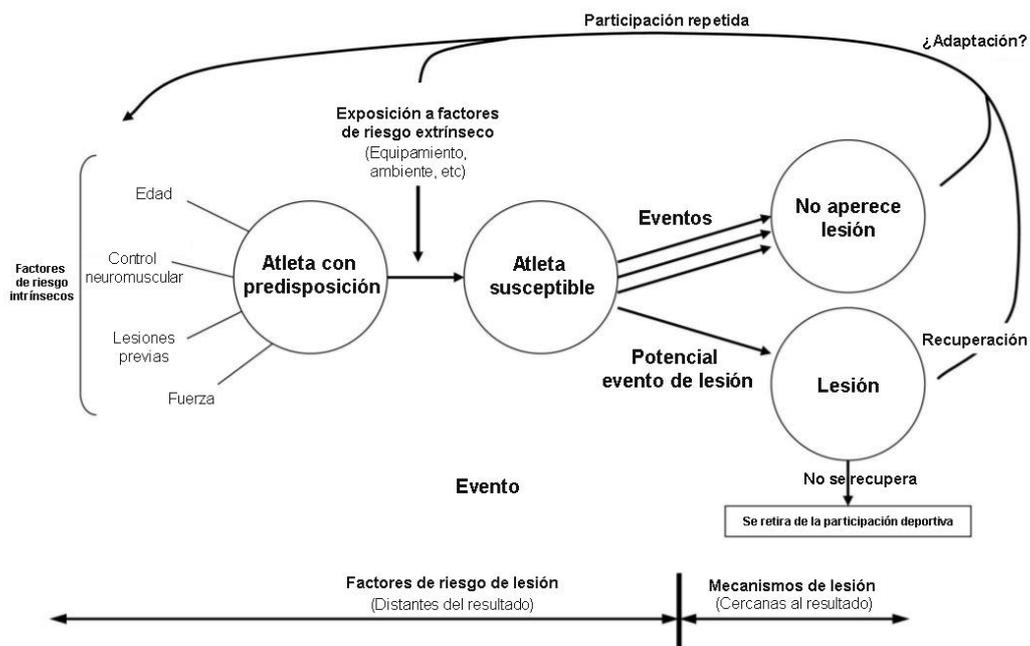
Por lo que la planificación deportiva y la estructura metodológica del entrenamiento van a ser relevantes en la periodización de las cargas de entrenamiento y por consiguiente es un factor determinante en la incidencia de lesiones (205).

Podlog y col. (206) sugieren en sus estudios que las lesiones ocurren debido a un fallo en la tolerancia del tejido por la carga de trabajo impuesta sobre este, donde interactúan múltiples factores.

Estos factores han sido divididos en la literatura en dos grupos (205,207):

- **Intrínsecos:** los que dependían de las cualidades del sujeto y que iban a determinar las capacidades que este podía desarrollar. Por ejemplo, la anatomía del deportista, la predisposición genética, el control neuromuscular, etc.
- **Extrínsecos:** los que dependían del ambiente en el que el deportista ejecutaba sus acciones motrices. Por ejemplo, la naturaleza del deporte, las reglas del deporte, la presencia de público, etc.

**Figura 14.** Modelo dinámico de la etiología de la lesión deportiva.



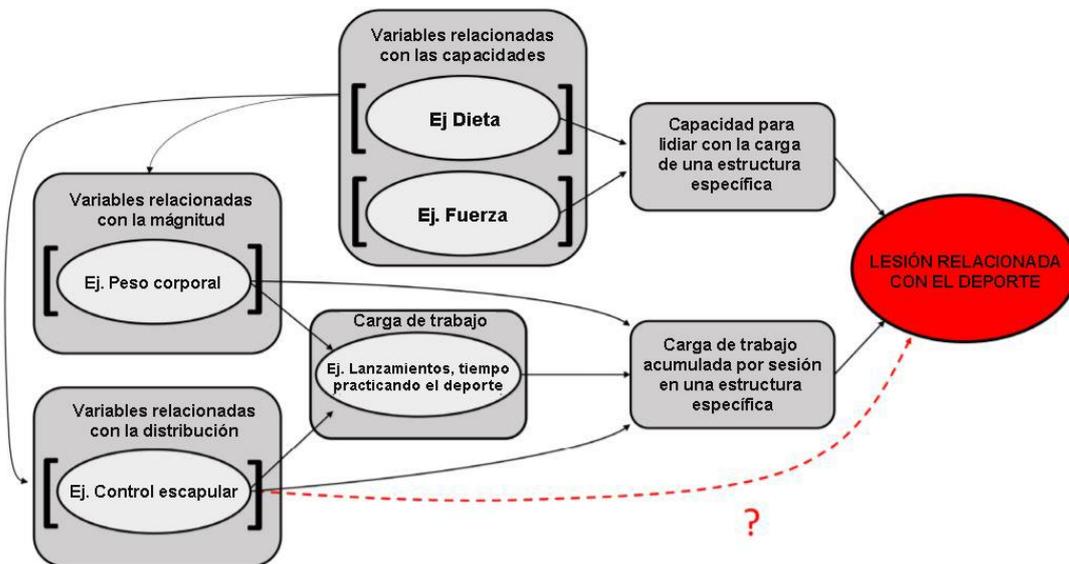
Fuente: Adaptado de Meeuwisse y col (205)

El modelo dinámico de lesiones en el deporte propuesto por Meeuwisse y col (205) contemplaba los factores anteriores como cambiantes, ya que un potencial evento de lesión podría alterar a los factores intrínsecos modificándolos, cambiando la subsecuente predisposición a la lesión. Lo que derivaría a que un atleta expuesto ante el mismo factor extrínseco podría tener diferentes respuestas susceptibles a causar lesión (**Figura 14**).

Un ejemplo de cómo los factores extrínsecos modifican a los factores intrínsecos acercando o alejándolos de la lesión, podría ser la adaptación a las cargas de entrenamiento. Pues, un atleta expuesto a una carga de entrenamiento dentro de los parámetros de adaptación condicionará al atleta para las siguientes demandas competitivas, mientras que si esa carga de entrenamiento o competición supera a las cargas de trabajo aumentaría el riesgo de lesión. En particular, los atletas con un alto ratio entre la carga aguda y la crónica (ACWR) aumentaban su riesgo de lesión si superaban un valor de 1.6 (159). Es decir, aquella carga media que en la semana anterior había superado en un 160% los esfuerzos medios realizados por los jugadores en las cuatro semanas anteriores, tienen mayor probabilidad de lesionarse que aquellos con un valor de 1 en el ratio ACWR (159).

Además de los factores extrínsecos e intrínsecos, de las cargas de trabajo a las que los atletas están expuestos y los programas preventivos a los que los atletas tienen que estar adscritos para disminuir el riesgo de lesión; las capacidades van a ser determinantes en el propósito de lidiar frente a los potenciales eventos de lesión, debido a que son esas capacidades específicas de la estructura del sujeto las que van a soportar las fuerzas impuestas (**Figura 15**) (208).

**Figura 15.** Diagrama de relación entre las cargas acumuladas y la capacidad de tolerar carga de una estructura específica en una sesión de entrenamiento.



Fuente: Adaptado de Nielsen y col (208)

En los estudios epidemiológicos no han podido medir con exactitud las capacidades de las estructuras, pero estas variables son importantes en los modelos de riesgo de lesión deportiva. Por ejemplo, la fuerza está relacionada con la capacidad de soportar una carga en las sesiones de entrenamiento y es una variable que se podría medir (208).

En ese sentido, como se enunciaba en el primer capítulo, el salto es un predictor sensible y fiable para medir el estatus de fuerza (163). Además, los valores obtenidos por medio de este test consiguen clasificar a los atletas según su desempeño atlético y permiten llevar a cabo la programación del entrenamiento en base a las necesidades individuales de los deportistas (164,209).

Por último, como se describía en el capítulo 1 las lesiones están altamente ligadas con el rendimiento del equipo y del atleta, si el equipo tiene una menor incidencia de lesiones que le permita una mayor disponibilidad de todos los jugadores de la plantilla para alinearlos en el partido, van a conseguir alinear a los jugadores más convenientes para ese momento del juego y se ha demostrado que se consigue una mejor clasificación final (162).

Basados en las investigaciones previas, el objetivo de este capítulo es relacionar las lesiones del equipo durante la temporada 2017/2018 con la evaluación de las capacidades realizadas en el capítulo 3, en concreto con las variables derivadas del salto con contramovimiento (SCM) por su relación con la fuerza (163), con el propósito de identificar que capacidades están relacionadas con las lesiones y por lo tanto con la disminución del rendimiento del equipo.

## 2. *Metodología.*

### 2.1 *Procedimientos*

Se realizó un estudio longitudinal retrospectivo con el objetivo de relacionar las variables del salto SCM en un equipo profesional de fútbol de la segunda división española en la pretemporada 2017/2018 y las lesiones producidas durante la misma temporada.

## 2.2 *Participantes.*

19 jugadores profesionales de fútbol de 27,05 años  $\pm$  4,36 con una estatura de 1,80 cm  $\pm$  6,26 y un peso de 74,05 kg  $\pm$  6,420 pertenecientes al mismo equipo participaron en el estudio, todos ellos fueron informados del procedimiento y consintieron su participación, el estudio fue aprobado por el comité de ética de Aragón (CEICA) Acta número: 14/2018 bajo los estándares de la declaración de Helsinki (2013). Los jugadores fueron divididos según su demarcación en el campo en: delanteros, extremos, mediocentros, laterales o defensas centrales. Las diferencias entre la heterogeneidad de las edades en los individuos no suponen ninguna limitación, ya que de acuerdo con Mujika y col (191) no existen diferencias en el rendimiento de las tareas neuromusculares del salto o el ES entre futbolistas U20 y senior. El estudio se realizó en la pretemporada de 2017/2018 en las instalaciones del club.

## 2.3 *Ejecución de los test.*

Los datos de temperatura y de dorsiflexión del tobillo no se incluyeron en este apartado debido a su nula significancia y a los razonamientos de la discusión del capítulo anterior, donde se explica que los valores de temperatura y de dorsiflexión sufren unos cambios considerables con el paso de las jornadas y que hay muchos factores que afectan a su resultado (181,198). Por lo que una evaluación puntual no es muy representativa de estas métricas y se debería tener una muestra de medidas repetidas (181,198).

Los datos del perfil de velocidad-potencia durante la prueba de 30 metros a ES no se incluyeron en este capítulo, debido a que la fuerza es la cualidad que se pretende analizar por su relación con la prevención de lesiones y no se obtiene de las ecuaciones derivadas del ES de 30 metros. Además, el SCM es un test más rápido y con menor coste neuromuscular para evaluar las capacidades que ha demostrado su alta correlación con el test de ES (166,192).

Durante la tercera sesión de la pretemporada, en el horario de entrenamiento matinal se realizaron los test de evaluación de las capacidades físicas del equipo de fútbol, incluyendo a todos los integrantes disponibles de la primera plantilla.

Se realizó un calentamiento: esta sesión se caracterizó por un calentamiento general con una duración de 10 minutos donde los jugadores realizaban acciones de carrera lineal, movilidad general, desplazamientos con cambios de dirección, seguidos por una fase de calentamiento específico con acciones de pase entre compañeros, rondos y desplazamientos en largo con una duración de 10 minutos, tras lo cual se disponían a realizar los test de evaluación.

El salto SCM que se realizó bajo las indicaciones de previos estudios (172) con la aplicación móvil de My Jump (172,192,193). Se midieron a cada jugador desde la posición de media sentadilla con el ángulo de la rodilla a 90° la distancia del trocánter al suelo y en posición decúbito prono la distancia del trocánter a la punta de los pies con el tobillo en flexión plantar. En el salto SCM los sujetos realizaron un salto vertical máximo empezando desde la posición de estancia en bipedestación y sin realizar la ayuda del balanceo de brazos. Los jugadores realizaron tres SCM sin la acción de los

brazos con 2 minutos de descanso entre ellos, mientras se les grababa desde la aplicación, se analizaba en el momento y se les informaba del resultado, el mejor de ellos fue seleccionado para el estudio con las siguientes variables: altura máxima del salto (cm), fuerza pico (N), la potencia pico (W), el tiempo de vuelo (s) y la velocidad de despegue (m/s). Además, se calculó con el peso de cada sujeto la potencia relativa al peso (W/kg), a través de la siguiente fórmula: potencia relativa = potencia pico/peso del sujeto.

Las lesiones se registraron según el consenso de Fuller y col (156) donde se establecían 12 categorías de localización de las lesiones que estaban en relación a los consensos científicos (156): pie, tobillo, pantorrilla, rodilla, muslo, cadera/pubis, extremidades superiores, hombro/clavícula, lumbar/sacro/pelvis, cabeza/cara/cuello/cervicales, abdomen y esternón/costillas. El tipo de lesión que se podía producir se estipuló también con respecto al consenso científico (156): fracturas y síndromes de stress, articulares que no influían al hueso y ligamentosas, tendones y músculos, contusiones, laceraciones y lesiones de la piel, sistema nervioso central/periférico y otras lesiones. Además, también se establecieron clasificación según si eran traumáticas o por sobreuso. La severidad de las lesiones se calculó en relación con el número de días de ausencia desde que se producía la lesión hasta que el jugador volvía a participar en un entrenamiento o competición de forma completa, y se dividió en cinco categorías: mínima < 3 días, medias de 4 a 7 días, moderadas de 8 a 28 días y severas por encima de 28 días. Por último, la recurrencia de las lesiones también se tuvo en cuenta si los jugadores se lesionaban en la misma zona y del mismo tipo de lesión.

## 2.5 Los análisis estadísticos

Las variables de normalidad fueron evaluadas usando el test de Shapiro-Wilk. El resultado no presentaba una distribución de normal de las variables, los datos se describen como medias y desviaciones estándar. La correlación de Spearman fue calculada para la relación de las variables entre el salto vertical y tipo de lesión lesiones, debido a ser un test no paramétrico. Además, se realizó la prueba de Kruskal-Wallis para identificar las diferencias significativas entre las variables Se estableció la significancia en ( $p=0,05$ ).

### 3. Resultados

Los estadísticos descriptivos se muestran en la **tabla 9**, donde se recogen los valores medios y su desviación estándar, para las variables del salto y el tipo de lesión durante la temporada 2017/2018.

**Tabla 9.** Datos descriptivos de los valores del SCM y el tipo de lesión.

Jugadores (n = 19)		Altura SCM (cm)		Potencia SCM. (W)		Fuerza SCM (N)		Tipo de lesión			Kruskal-Wallis Fuerza SCM – Tipo de lesión		Kruskal-Wallis Pot. SCM – Tipo de lesión	
		Media	D.E.	Media	D.E.	Media	D.E.	0	1	2	(H)	Sig	(H)	Sig
Central	4	38,60	5,98	1475,41	635,06	1541,82	81,71	2	0	2				
Lateral	3	41,41	2,23	2075,77	296,71	1090,44	441,32	2	3	2				
Mediocentro	4	35,39	2,91	1960,01	535,88	1388,49	377,99	1	1	1				
Extremo	4	36,59	4,77	2098,60	249,16	1536,02	152,72	1	2	0				
Delantero	4	40,91	6,34	2293,12	227,49	1601,89	41,51	1	1	0				
Total	19	38,34	4,92	1975,57	482,56	1425,84	315,95	7	7	5	6,8*	0,03	5,08	0,07

Nota: Para el tipo de lesión las abreviaturas corresponden (0: corresponde con no tener lesiones; 1: corresponde con tener lesiones musculares; 2: corresponde con tener lesiones articulares.)  
Significancia marcada en \*( $p=0,05$ )

Los resultados obtenidos en la prueba de Spearman muestran una asociación moderada negativa entre las variables de fuerza en el SCM y el tipo de lesión ( $\rho=0,53$ ;  $p=0,018$ ) siendo los jugadores con menores valores de fuerza los que presentan más lesiones articulares (**tabla 10**).

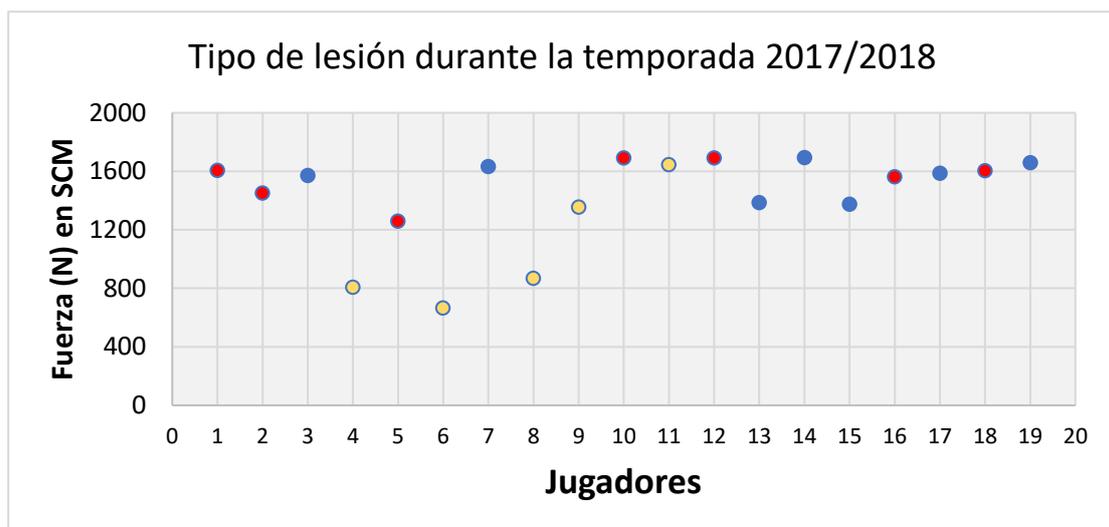
**Tabla 10.** Correlación entre los valores del salto y el tipo de lesión.

	F(N) SCM	Pot (W) SCM
Rho de Spearman para el tipo de lesión (n=19)	-0,53*	-0,37
Sig.	0,01	0,11

Nota: significación en \* ( $p=0,05$ )

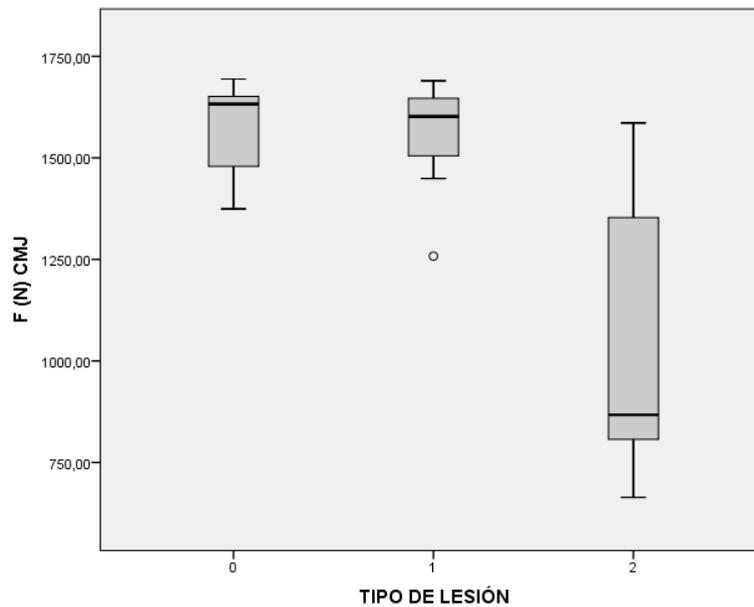
Las figuras 16 y 17 son una representación de las lesiones de los jugadores a lo largo de la temporada 2017/2018

**Figura 16.** Relación del tipo de lesión de los jugadores con los índices de fuerza (N) ejercidos en el SCM.



Nota: Fuerza ejercida en el SCM (N), total de los jugadores de la temporada, cada punto representa un jugador: rellenos en amarillo los jugadores con lesiones articulares, con relleno en rojo los jugadores con lesión muscular y con relleno azul los jugadores sin lesión durante la temporada.

**Figura 17.** Relación del tipo de lesión con la fuerza ejercida en el SCM.



Nota: Gráfico de cajas para las variables F(N) SCM: corresponde a la fuerza (n) en el SCM; 0: corresponde con no tener lesiones; 1: corresponde con tener lesiones musculares; 2: corresponde con tener lesiones articulares.

Además, las pruebas de Kruskal-Wallis mostraban una diferencia significativa entre la fuerza ejercida en el test de salto y el tipo de lesión para los valores de chi-cuadrado ( $H=6,8$ ;  $p= 0,033$ ).

#### 4. *Discusión.*

El estudio estaba diseñado para explorar las relaciones que existen entre las variables de desempeño del SCM y las lesiones a lo largo de la temporada 2017/2018 para determinar que variables del salto se asociaban significativamente de forma retrospectiva con una mayor incidencia de lesión.

Los resultados de este capítulo siguen la línea de investigaciones previas que mostraban como las lesiones más comunes eran las lesiones musculares en el muslo

seguidas de las lesiones articulares, como los esguinces de tobillo (155). En el mismo sentido, Chena y col. (210) encontraron que la mayoría de las lesiones eran de tipo muscular seguidas de las de tipo articular. Esto podría deberse a la disminución del control neuromuscular en movimientos deportivos específicos que aumentaría el riesgo de este tipo de lesiones (211).

El aumento de las demandas de alta intensidad de carrera en el fútbol moderno, unido al incremento de competiciones en calendario congestionado, podría ser una de las razones por las que las lesiones musculares son las más prevalentes en este grupo poblacional (212,213).

La diferencia significativa entre el tipo de lesión producida y los valores de fuerza, y su correlación negativa, demuestran que valores de fuerza bajos están relacionados con un aumento del riesgo de lesión articular. Esto se puede deber a dos factores: el primero está relacionado con la estabilidad y el control motor de las articulaciones por medio de la fuerza muscular (211). Unos valores elevados de fuerza relativas al peso corporal van a proteger a las estructuras frente a los incrementos en la tolerancia a la carga (214).

El grupo de Malone y col (212) han demostrado que cuando la fuerza relativa al peso era considerada como otro factor independiente, los jugadores que tenían mayores valores eran los que conseguían disminuir el ratio de lesión, comparados con sus compañeros con una cualidad menor. Estas cualidades son innatas al jugador y deben entrenarse para mejorarse.

El segundo factor se podría relacionar con la ventaja que supone el entrenamiento de fuerza como herramienta para disminuir el riesgo de lesión. Este entrenamiento se ha visto que es el más efectivo para disminuir el riesgo de lesión frente a otras estrategias (204). A este factor lo relacionamos con la estimulación de esas capacidades.

Dentro de los riesgos de lesión en el deporte, unos valores de fuerza bajos van a estar adscritos a los factores intrínsecos, dependientes de los condicionantes del sujeto. Por lo que, atletas más débiles serán menos capaces de tolerar las cargas de trabajo a las que están expuestos y sus programas preventivos deberán contemplar el entrenamiento de la fuerza para aumentar su rendimiento y disminuir el riesgo de lesión (204). El objetivo de esos programas de entrenamiento es mejorar las capacidades para que consigan lidiar con los potenciales eventos de lesión, debido a que son esas capacidades específicas del sujeto las que van a soportar las fuerzas impuestas (208).

La disminución de las lesiones en un equipo colectivo se ha visto como una ventaja frente al rival mejorando el rendimiento a final de liga, al conseguir un mejor puesto en la clasificación (162).

## 5. *Conclusiones.*

Las variables del salto, que están relacionadas con la fuerza producida durante su ejecución, están relacionadas negativamente con el tipo de lesión durante la temporada 2017/2018. Los menores valores de fuerza tienen una diferencia significativa con el incremento de lesiones articulares.

La fuerza es una cualidad intrínseca del atleta que le predispone según su índice relativo al peso a ser un agente protector frente a los incrementos de las cargas de trabajo. Por ello, la mejora de esta cualidad va a ser determinante en el rendimiento. Programas de entrenamiento de la fuerza que supongan un estímulo condicional repetido van a ser la mejor estrategia para mejorar esa variable y disminuir el riesgo de lesión.

Disminuir las lesiones en un equipo de fútbol mediante la comprensión y el análisis de las demandas físicas que están relacionadas con el incremento de estas, va a beneficiar en el rendimiento del equipo.

## Capítulo 5.

### 1. *Introducción.*

El fútbol moderno ha variado su estructura condicional. El juego ha sufrido una evolución física y técnica, la velocidad del juego desde 1966 hasta 2010 ha aumentado en un 15% (53). La velocidad del balón está relacionada con la velocidad del movimiento de los jugadores y con la rapidez en la toma de decisiones (53).

Uno de los movimientos que más han aumentado, han sido los de alta intensidad, que impactan en las demandas del juego y requieren a jugadores rápidos que se puedan adaptar a las exigencias del juego para acoplarse a las demandas competitivas (53).

Investigaciones recientes señalan como las acciones de alta intensidad y las distancias a ES han aumentado del 30-50% en la PL con respecto a los valores que se venían haciendo en la misma liga años anteriores (54).

La literatura científica señala que las acciones que se realizan durante un partido por cada jugador a una intensidad elevada son, alrededor de 1000-1400 acciones cortas cambiando de estado cada 4-6 segundos. Si se analizan en detalle, esas acciones incluyen: 10-20 ES, un periodo de acciones de carrera de alta intensidad cada 70 segundos aproximadamente, 15 disputas de balón, 10 remates de cabeza, 50 acciones en las que se ve envuelto con el balón, alrededor de 30 pases con una distancia media de 15 metros y 30 acciones de cambios de ritmo y de protección del balón frente a la presión del rival. (23). Además, la condición de alta velocidad

raramente se da por encima de los 20 metros. Donde el 96% de los bloques de ES durante un partido, eran menores de 30 metros y el 49% por debajo de 10 metros (4,126).

Dentro de las acciones de alta intensidad se debe distinguir cuales son las actividades que la configuran, algunas de ellas están más claras y en otras existe una falta de consenso en la literatura para establecer los puntos de corte y su comparación entre estudios, y con ello determinar que variables van a afectar más al rendimiento.

Como se ha venido discutiendo la alta intensidad de carrera es un factor clave del rendimiento en el fútbol, que se ha usado como la medida más apropiada para medir el rendimiento físico en un partido (34).

Las demandas a alta intensidad de carrera son capaces de diferenciar a los jugadores de mayor nivel de los de menor nivel, debido a que los atletas con más desempeño atlético son más capaces de mantener la frecuencia y la magnitud de estas, lo que podría contribuir a mejorar sus habilidades dentro del juego (133,134).

La alta intensidad de carrera se ha relacionado con el aumento de oportunidades de marcar gol durante el encuentro, son esas fases del juego las que determinan el resultado (50). En las situaciones en la que los goles ocurrían, el atacante había propiciado una situación de ventaja al haberse movido más rápido, tanto antes como después de recibir el balón, que su oponente inmediato (137).

El estudio de Faude y col (50) que analizaba las acciones previas a un gol, observaba que el 83% de las veces que se marcaban goles, las acciones anteriores habían sido una o varias acciones a alta intensidad de carrera, ejecutadas o bien por los goleadores o por los asistentes. El esfuerzo más repetido por los jugadores que anotaban el gol, fueron los ES lineales sin oposición del rival y la mayoría de ellos, un 75% de las veces de esos goles, se producían sin posesión del balón. Mientras que los jugadores que asistían al goleador también completaban en la mayoría de los casos un ES lineal, pero en posesión del balón y con oposición del rival, un 64% en posesión del balón y un 60% con oposición. A estas acciones de ES, le seguían los saltos y los cambios de dirección como acciones más frecuentes para marcar un gol.

Además, los defensas que tenían éxito en las jugadas eran los que se habían movido a mayores velocidades para interceptar la trayectoria del balón (138).

Basándonos en la literatura científica, existe una asociación entre la alta intensidad de carrera y los goles anotados, pero no existe una relación entre la distancia a alta intensidad de carrera y el resultado final del encuentro, sobre todo en divisiones de menor nivel. El objetivo de este capítulo es relacionar las demandas físicas del equipo obtenidas por un sistema de posicionamiento en vídeo durante las temporadas 2016/2017 y 2017/2018, con los resultados obtenidos en ambas temporadas debido a su asociación con el éxito del equipo. Además, evaluar que demandas físicas se dan más en la competición en función del resultado. Por último, relacionar las variables de alta intensidad de carrera con las demás demandas físicas para observar su comportamiento.

## 2. *Metodología.*

### 2.1 *Procedimientos*

Se realizó un estudio longitudinal retrospectivo con el objetivo de relacionar las variables obtenidas por medio del sistema Mediacoach, que registra los datos de magnitud de movimiento de los jugadores durante un partido, y los resultados obtenidos durante las temporadas 2016/2017 y 2017/2018 para un equipo profesional de fútbol de la segunda división española.

### 2.2 *Participantes.*

La muestra son todos los equipos participantes en la segunda división de fútbol durante la temporada 2016/2017 y la temporada 2017/2018 de los cuales se obtenían los datos mediante un proceso anónimo de recogida de datos durante las temporadas 2016/2017 y 2017/2018 en las instalaciones del club.

### 2.3 *Recogida de datos físicos.*

Los datos de rendimiento físico se obtenían a través de la plataforma de Mediacoach, accediendo por su portal web: <https://portal.mediacoach.es/> al cual solo tienen acceso los trabajadores en nómina de los clubes de primera y segunda división adscritos al campeonato nacional de Liga. Este servicio es proporcionado gracias a la colaboración de Mediapro (Mediaproducción, S.L.U, Barcelona, España) con La Liga (La Liga Nacional de Fútbol Profesional Asociación Deportiva de derecho privado,

Madrid, España) en el que se analizan mediante un sistema de posicionamiento semiautomático en vídeo a los jugadores para obtener las variables situacionales, tácticas, técnicas y físicas durante el desarrollo de los partidos.

Desde 2011, La Liga cuenta con el sistema de análisis de Mediacoach que monitoriza los movimientos de los jugadores y del balón mediante 16 cámaras con las siguientes especificaciones: super 4K-HDR, a través de un sistema de posicionamiento de vídeo semiautomático (Tracab-ChyronHego, Suecia) recogen la información en una frecuencia de muestreo de 25 Hz, las cámaras están posicionadas estratégicamente para cubrir todo el terreno de juego, desde todos los ángulos, con el objetivo de registrar los movimientos de los 22 jugadores.

Mediacoach desde la grabación de varios ángulos analiza la posición en el eje "X" y en el eje "Y" para cada jugador, existe la posibilidad de corregir el registro ya que el sistema es controlado por dos técnicos en cada partido de la primera y segunda división, para asegurar un registro correcto y configurar si fuera necesario el sistema durante el encuentro. Las correcciones se realizan sobre la superposición de la coordenada "X" proporcionada automáticamente por el sistema, cuando el técnico observa que los datos son erróneos porque se alejan de la posición del jugador al que siguen (43).

Las categorías de las variables estaban establecidas según la media total por partido del conjunto del equipo para las siguientes métricas: distancia total en metros recorrida (m), distancia total recorrida en metros entre el tiempo del encuentro en minutos (m/min), distancia total recorrida en metros con posesión del balón (m),

distancia total recorrida en metros con posesión del otro equipo del balón (m), distancia total recorrida de 14 a 21 km/h (m) , distancia total recorrida por encima de 21 km/h (m), distancia total recorrida por encima de 21 km/h con posesión del balón (m), distancia total recorrida por encima de 21 km/h con el otro equipo en posesión del balón (m), número total de ES por encima de 21 km/h (n), distancia total recorrida entre 21 y 24 km/h (m), distancia total recorrida por encima de 24 km/h (m).

Además, se tuvo en cuenta los jugadores que salían como titulares y participaban en todo el partido aislándolos de los que salían de suplentes o eran sustituidos, aislando las anteriores variables con solo esos jugadores que completaban más de 90 minutos (+90): distancia total en metros recorrida +90 (m), distancia total recorrida en metros entre el tiempo del encuentro en minutos +90 (m/min), distancia total recorrida en metros con posesión del balón +90 (m), distancia total recorrida en metros con posesión del otro equipo del balón +90 (m), distancia total recorrida de 14 a 21 km/h +90 (m), distancia total recorrida por encima de 21 km/h +90 (m), distancia total recorrida por encima de 21 km/h con posesión del balón +90 (m), distancia total recorrida por encima de 21 km/h con el otro equipo en posesión del balón +90 (m), número total de ES por encima de 21 km/h +90 (n), distancia total recorrida entre 21 y 24 km/h +90 (m), distancia total recorrida por encima de 24 km/h +90(m).

Estas variables se registraron durante las dos temporadas 2016/2017 y 2017/2018 en las instalaciones del club almacenándolas en un fichero de Excel (Microsoft Company, EEUU) y se establecieron sus valores absolutos para analizar las demandas físicas gracias a su fiabilidad para analizar el objetivo del capítulo (22).

El tratamiento se realiza por parte del autor principal de esta Tesis Doctoral, ejerciendo las funciones de readaptador físico-deportivo dentro del primer equipo profesional del club. Para los datos de las demandas físicas durante las temporadas 2016/2017 y 2016/2018, con una muestra de 42 partidos para cada temporada de la segunda división respectivamente, se necesitó la plataforma Mediacoach (Mediapro SLU, España). Los datos se obtenían semanalmente después de los partidos disputados, se excluyeron los datos para los partidos que Mediacoach no ofrecía variables o los datos que habían sufrido alguna modificación posterior. Quedando una muestra definitiva de 38 partidos en la temporada 2016/2017 y 36 partidos en la temporada 2017/2018.

Todos los datos se trataron de forma anonimizada de acuerdo con la declaración de Helsinki para asegurar la confidencialidad del jugador y del equipo.

#### *2.4 Análisis estadístico.*

Las variables de normalidad fueron evaluadas usando el test de Kolmogórov-Smirnov cuando la muestra superaba más de 50 tomas de datos y el de Shapiro-Wilk cuando la muestra era menor de 50. Los resultados mostraban que la muestra seguía una distribución de normal de las variables, los datos se describen como medias y desviaciones estándar.

Cuando la variable categórica tenía 2 categorías se utilizó la prueba de la T de Student. Mientras que, si tenía 3 o más categorías, la comparación de medias se realizó a través del análisis de la varianza (ANOVA). Se realizó la T de student para

analizar las diferencias entre el equipo propio y el equipo rival para las variables durante ambas temporadas en función del resultado (perder, empatar o ganar). Al mismo tiempo, se realizó el ANOVA de todas las variables indistintamente del equipo que las realizase en función del resultado (perder, empatar o ganar).

Por último, la correlación de Pearson fue calculada para analizar la relación de la distancia total recorrida por encima de 21 km/h (m) y con posesión (m) con las variables de distancia total recorrida (m), distancia total recorrida por encima de 21 km/h con el otro equipo en posesión del balón (m), estas correlaciones se calcularon en general y en función del resultado. Se estableció el grado de significancia para el p valor en ( $p < 0,05$ ).

### 3. *Resultados*

Los estadísticos descriptivos se muestran en **la tabla 11**, donde se recogen los valores medios y su desviación estándar, para las variables físicas obtenidas por medio del programa Mediacoch divididas según el equipo propio y rival en función del resultado (perder, empatar o ganar).

**Tabla 11.** Variables de rendimiento físico absolutas de las temporadas 2016/2017 – 2017/2018 en función del resultado para el equipo propio y el equipo rival.

	GANAR				t	sig.	EMPATAR				t	sig.	PERDER				t	sig.
	PROPIO		RIVAL				PROPIO		RIVAL				PROPIO		RIVAL			
	Media	DE	Media	DE			Media	DE	Media	DE			Media	DE	Media	DE		
Distancia Total (m)	110015,82	3318,04	108669,55	4018,97	1,30	0,19	107821,66	3492,27	107759,27	3282,48	0,06	0,95	108034,4	4271,59	107735,97	3890,79	0,25	0,79
Distancia entre tiempo (m/min)	1509,34	62,82	1502,26	76,96	0,36	0,72	1477,59	62,48	1473,03	63,92	0,24	0,8	1492,92	66,37	1476,04	59,5	0,95	0,34
Distancia Total CON Posesión (m)	38140,11	5156,56	35760,65	5142,33	1,60	0,11	38756,24	5540,64	35470,13	6475,88	1,84	0,07	39863,9	5703,07	38023,47	5217,37	1,19	0,23
Distancia Total OTRO Posesión (m)	41359,92	5489,46	42458,63	6011	-0,67	0,50	37954,09	6592,08	41354,58	5790,56	-1,85	0,07	38592,86	5517,5	40884,72	5416,19	-1,47	0,14
Distancia 14-21 km/h (m)	22634,51	1792,89	21768,5	2323,98	1,50	0,14	22165,71	1822,09	21872,66	1552,12	0,58	0,56	22398,74	2375,11	22118,96	2000,32	0,45	0,65
Distancia >21 km/h (m)	6100,82	683,02	5880,74	952,14	0,96	0,34	5839,11	683,78	5757,9	706,95	0,39	0,69	5854,5	917,54	5668,05	613,45	0,87	0,38
Distancia >21 km/h CON Posesión (m)	2853,6	504,29	2606,92	604,46	1,58	0,12	2782,12	554,94	2506,41	464,62	1,82	0,07	2582,19	712,17	2429,34	418,33	0,96	0,34
Distancia >21 km/h OTRO Posesión (m)	3083,82	600,5	2921,41	826,06	0,81	0,42	2912,11	566,92	3124,12	627,27	-1,2	0,23	3034,77	745,34	3115,82	539,03	-0,45	0,65
Nº Total Sprints >21 km/h (m)	434,23	50,95	422,14	59,62	0,77	0,44	413,13	40,94	408	42,36	0,41	0,67	413,57	56,42	407,93	41,85	0,41	0,68
Distancia 21-24 km/h (m)	3062,92	401,26	2961,11	460,12	0,84	0,40	2977,8	287,22	2914,57	296,47	0,73	0,46	2993,15	454,01	2912,26	317,71	0,7	0,48
Distancia >24 km/h (m)	3037,89	381,26	2919,63	533,51	0,92	0,36	2861,31	439,94	2843,33	465,88	0,13	0,89	2861,35	527,96	2755,8	392,85	0,81	0,41

Distancia Total (+90) (m)	<b>78002,48</b>	<b>2968,85</b>	<b>76096,16</b>	<b>3986,32</b>	<b>1,95*</b>	<b>0,04</b>	<b>75657,04</b>	<b>5156,48</b>	<b>76263,03</b>	<b>4374,9</b>	<b>-0,43</b>	<b>0,66</b>	<b>74260,65</b>	<b>5849,55</b>	<b>74288,2</b>	<b>5472,5</b>	<b>-0,01</b>	<b>0,98</b>
Distancia entre tiempo (+90) (m/min)	<b>822,22</b>	<b>31,14</b>	<b>802,37</b>	<b>46,78</b>	<b>1,69</b>	<b>0,09</b>	<b>796,9</b>	<b>63,33</b>	<b>802,92</b>	<b>51,64</b>	<b>-0,35</b>	<b>0,72</b>	<b>784,14</b>	<b>63,19</b>	<b>783,08</b>	<b>57,52</b>	<b>0,06</b>	<b>0,95</b>
Distancia Total CON Posesión (+90) (m)	<b>26704,27</b>	<b>3543,14</b>	<b>24675,54</b>	<b>4176,01</b>	<b>1,86*</b>	<b>0,04</b>	<b>26680,01</b>	<b>3522,45</b>	<b>24671,71</b>	<b>5007,63</b>	<b>1,57</b>	<b>0,12</b>	<b>27236,63</b>	<b>4385,55</b>	<b>25975,81</b>	<b>4198,3</b>	<b>1,03</b>	<b>0,3</b>
Distancia Total OTRO Posesión (+90) (m)	<b>29659,19</b>	<b>3816,57</b>	<b>29883,83</b>	<b>3777,32</b>	<b>-0,20</b>	<b>0,83</b>	<b>27219,93</b>	<b>5245,52</b>	<b>29618,34</b>	<b>4414,99</b>	<b>-1,67</b>	<b>0,1</b>	<b>26675,48</b>	<b>4160,75</b>	<b>28383,88</b>	<b>4013,56</b>	<b>-1,47</b>	<b>0,14</b>
Distancia Total 14-21 km/h (+90) (m)	<b>15581,94</b>	<b>1398,95</b>	<b>14372,25</b>	<b>1687,44</b>	<b>2,79*</b>	<b>0,00</b>	<b>15071,32</b>	<b>1384,99</b>	<b>14718,38</b>	<b>1403,26</b>	<b>0,85</b>	<b>0,39</b>	<b>14935,53</b>	<b>2141,69</b>	<b>14641,63</b>	<b>1527,49</b>	<b>0,57</b>	<b>0,56</b>
Distancia Total >21 km/h (+90) (m)	<b>4037,25</b>	<b>476,15</b>	<b>3774,83</b>	<b>613,66</b>	<b>1,71</b>	<b>0,09</b>	<b>3790,94</b>	<b>559,67</b>	<b>3741,68</b>	<b>575,53</b>	<b>0,29</b>	<b>0,77</b>	<b>3943,69</b>	<b>834,26</b>	<b>3729,53</b>	<b>559,58</b>	<b>1,09</b>	<b>0,27</b>
Distancia Total Recorrida >21 km/h CON Posesión (+90) (m)	<b>1706,3</b>	<b>290,22</b>	<b>1475,62</b>	<b>466,63</b>	<b>2,01*</b>	<b>0,04</b>	<b>1612,55</b>	<b>370,11</b>	<b>1423,57</b>	<b>430,64</b>	<b>1,59</b>	<b>0,11</b>	<b>1662,27</b>	<b>570,74</b>	<b>1509,84</b>	<b>417,78</b>	<b>1,1</b>	<b>0,27</b>
Distancia Total >21 km/h OTRO Posesión (+90) (m)	<b>2219,26</b>	<b>428,46</b>	<b>2063,28</b>	<b>582,8</b>	<b>1,10</b>	<b>0,27</b>	<b>2088,29</b>	<b>431,92</b>	<b>2237,28</b>	<b>485,08</b>	<b>-1,1</b>	<b>0,27</b>	<b>2127,78</b>	<b>596,27</b>	<b>2141,99</b>	<b>390,48</b>	<b>-0,1</b>	<b>0,91</b>
Nº Total Sprints >21 km/h (+90) (n)	<b>287,73</b>	<b>34,2</b>	<b>272,52</b>	<b>38,74</b>	<b>1,48</b>	<b>0,14</b>	<b>270,74</b>	<b>35,05</b>	<b>265,17</b>	<b>34,56</b>	<b>0,54</b>	<b>0,59</b>	<b>276,14</b>	<b>53,28</b>	<b>267,1</b>	<b>39,41</b>	<b>0,69</b>	<b>0,48</b>
Distancia Total 21-24 km/h (+90) (m)	<b>2058,08</b>	<b>278,76</b>	<b>1925,75</b>	<b>319,01</b>	<b>1,57</b>	<b>0,12</b>	<b>1943,68</b>	<b>202,89</b>	<b>1914,22</b>	<b>253,18</b>	<b>0,43</b>	<b>0,66</b>	<b>1981,98</b>	<b>412,65</b>	<b>1875,28</b>	<b>272,93</b>	<b>1,11</b>	<b>0,27</b>
Distancia Total >24 km/h (+90) (m)	<b>1979,17</b>	<b>306,4</b>	<b>1849,09</b>	<b>342,76</b>	<b>1,42</b>	<b>0,16</b>	<b>1847,26</b>	<b>390,08</b>	<b>1827,46</b>	<b>376,09</b>	<b>0,17</b>	<b>0,86</b>	<b>1961,71</b>	<b>473,34</b>	<b>1854,25</b>	<b>357,71</b>	<b>0,92</b>	<b>0,36</b>

Nota: (+ 90) variable independiente de los jugadores que jugaron al menos 90 minutos del partido. \*(p < 0.05)

Los resultados muestran cómo solo para la condición de ganar existen diferencias significativas con respecto de los equipos rivales para los valores de distancia total en metros recorrida +90 (m); distancia total recorrida en metros con posesión del balón +90 (m); Dist. 14-21 km/h +90 (m); Dist.pos >21km/h +90 (m) con los siguientes valores estadísticos respectivamente ( $t=1,95$ ;  $p=0,04$ ), ( $t=1,86$ ;  $p=0,04$ ), ( $t=2,79$ ;  $p=0,00$ ), ( $t=2,01$ ;  $p=0,04$ ). Mientras que las demás condiciones, tanto empatar como perder, no arrojaron ninguna diferencia significativa. La **figura 18** muestra los valores de rendimiento físico de los jugadores de más de 90 minutos cuando su equipo.

**Figura 18.** Demandas físicas en las victorias de los jugadores que jugaron al menos 90 minutos.



Nota: Sig. marcada en \*( $p < 0,05$ )

La **tabla 12** muestra los estadísticos descriptivos para todos los datos obtenidos del programa Mediacoach sin hacer una categoría de equipo propio o rival, es decir aglutinando todos los datos y representándolos según el resultado (ganar, empatar o perder).

**Tabla 12.** Variables de rendimiento absolutas para todos los equipos en conjunto en función del resultado.

	RESULTADO						F	Sig.
	Ganar		Empatar		Perder			
	Media	DE	Media	DE	Media	DE		
Distancia Total (m)	109461,47	3646,1	107790,46	3351,28	107858,85	4012,58	3,28 <sup>*</sup>	0,04
Distancia entre tiempo (m/min)	1506,43	68,34	1475,31	62,54	1482,99	62,33	3,11 <sup>*</sup>	0,04
Distancia Total CON Posesión (m)	37160,33	5234,36	37113,19	6186,31	38781,29	5443,81	1,43	0,24
Distancia Total OTRO Posesión (m)	41812,33	5677,05	39654,33	6371,24	39941,01	5521,7	1,99	0,14
Distancia 14-21 km/h (m)	22277,92	2051,83	22019,18	1680,13	22234,16	2143,96	0,23	0,79
Distancia >21 km/h (m)	6010,2	803,23	5798,51	688,91	5744,83	750,74	1,76	0,17
Distancia >21 km/h CON Posesión (m)	2952,03	555,59	2644,27	524,9	2492,28	556,91	3,10 <sup>*</sup>	0,05
Distancia >21 km/h OTRO Posesión (m)	3016,95	699,01	3018,12	600,82	3082,45	626,39	0,10	0,84
Nº Total Sprints >21 km/h (m)	429,25	54,44	410,57	41,27	410,25	47,93	2,56	0,08
Distancia 21-24 km/h (m)	3021	425,01	2946,19	290,39	2945,57	377,64	0,68	0,50
Distancia >24 km/h (m)	2989,2	449,02	2852,32	448,12	2799,26	451,4	2,41	0,09
Distancia Total (+90) (m)	77217,53	3516,57	75960,03	4738,17	74276,85	5572,88	5,05 <sup>*</sup>	0,00
Distancia entre tiempo (+90) (m/min)	814,05	39,18	799,91	57,22	783,52	59,3	4,31 <sup>*</sup>	0,01
Distancia Total CON Posesión (+90) (m)	25868,91	3908,16	25675,86	4399,57	26494,97	4278,89	0,51	0,59

Distancia Total OTRO Posesión (+90) (m)	29751,69	3764,06	28419,13	4944,85	27680,42	4121,75	3,06'	0,05
Distancia Total 14-21 km/h (+90) (m)	15083,83	1623,46	14894,85	1390,08	14762,65	1791,46	0,50	0,60
Distancia Total >21 km/h (+90) (m)	3929,2	546,94	3766,31	561,86	3817,71	686,55	0,93	0,39
Distancia Total >21 km/h CON Posesión (+90) (m)	1611,32	386,13	1518,06	408,37	1572,6	487,1	0,57	0,56
Distancia Total >21 km/h OTRO Posesión (+90) (m)	2155,03	498,35	2162,78	460,34	2136,14	480,31	0,04	0,96
Nº Total Sprints >21 km/h (+90) (n)	281,47	36,55	267,96	34,53	270,82	45,35	1,62	0,20
Distancia Total 21-24 km/h (+90) (m)	2003,59	300,17	1928,95	227,34	1919,22	337,83	1,24	0,29
Distancia Total >24 km/h (+90) (m)	1925,61	325	1837,36	379	1898,5	408,28	0,70	0,49

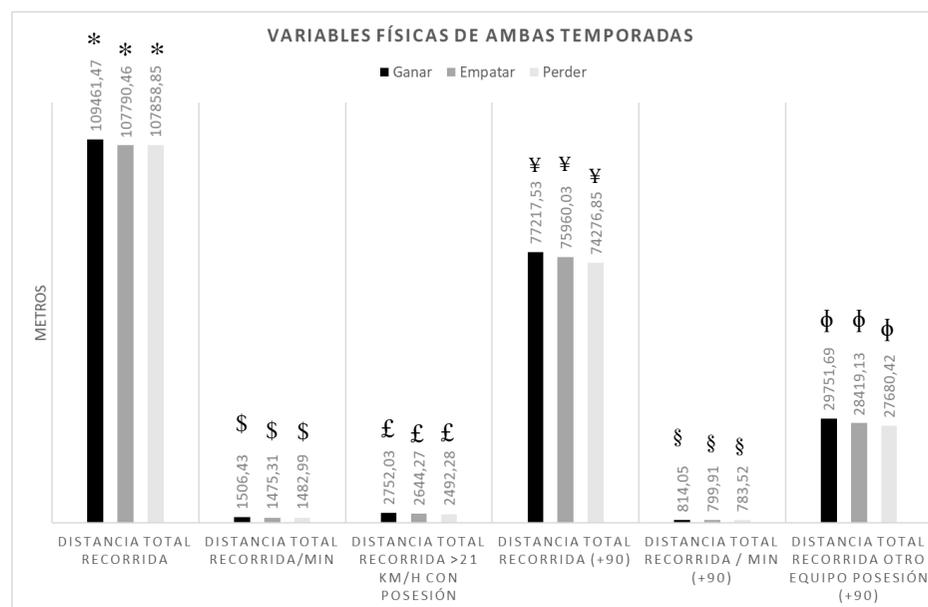
Nota: (+ 90) variable independiente de los jugadores que jugaron al menos 90 minutos del partido. \*(p < 0.05)

Los resultados muestran que con independencia del equipo los valores de distancia total en metros recorrida (m), distancia total recorrida en metros entre el tiempo del encuentro en minutos (m/min), distancia total recorrida por encima de 21 km/h con posesión del balón (m), distancia total en metros recorrida +90 (m), distancia total recorrida en metros entre el tiempo del encuentro en minutos +90 (m/min) y la distancia total recorrida en metros con posesión del otro equipo del balón +90 (m), tienen unas varianzas

significativas entre los grupos descritos como ganar, empatar y perder, con unos valores estadísticos respectivamente de (F=3,28; p=0,04); (F=3,11; p=0,04); (F=3,10; p=0,05); (F=5,05; p=0,00); (F=4,31; p=0,01); (F=3,06; p=0,05)

La **figura 19** muestra los valores de rendimiento físico durante las dos temporadas para las variables en función del resultado.

**Figura 19.** Variables de rendimiento físico absolutos según el resultado.



Nota: Valores de significancia entre grupos para distancia total recorrida \*(p < 0.05); distancia total entre el tiempo \$(p < 0.05); distancia total recorrida por encima de 21 km/h con posesión del balón £(p < 0.05); distancia total en metros recorrida +90 ¥( p < 0.05); distancia total entre el tiempo +90 §(p < 0.05); distancia total recorrida en metros con posesión del otro equipo del balón +90 φ(p < 0.05)

La **tabla 13** muestra los resultados de las correlaciones de Pearson para las variables distancia total recorrida por encima de 21 km/h (m) y las variables de distancia total recorrida (m), la distancia total recorrida por encima de 21 km/h con posesión del balón (m), distancia total recorrida por encima de 21 km/h con el otro equipo en posesión del balón (m) y con los (+90).

**Tabla 13.** Datos de correlación entre la distancia por encima de 21 km/h y las variables de distancia del equipo propio

			Distancia Total (m)	Distancia >21 km/h CON Posesión (m)	Distancia >21 km/h OTRO Posesión (m)	Distancia Total (+90) (m)	Distancia Total >21 km/h (+90) (m)	Distancia Total >21 km/h CON Posesión (+90) (m)	Distancia Total >21 km/h OTRO Posesión (+90) (m)	Distancia Total >24 km/h (+90) (m)	
GENERAL	Distancia >21 km/h (m)	Correlación de Pearson	0,47**	0,61**	0,64**	0,21**	0,81**	0,45**	0,61**	0,72**	
		Sig. (bilateral)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		N	148	148	148	148	148	148	148	148	148
GANAR	Distancia >21 km/h (m)	Correlación de Pearson	0,55**	0,67**	0,54**	0,26	0,83**	0,47**	0,47**	0,66**	
		Sig. (bilateral)	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		N	51	51	51	51	51	51	51	51	51
EMPATAR	Distancia >21 km/h (m)	Correlación de Pearson	0,41**	0,54**	0,66**	0,07	0,85**	0,42**	0,64**	0,81**	
		Sig. (bilateral)	0,00	0,00	0,00	0,61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		N	46	46	46	46	46	46	46	46	46
PERDER	Distancia >21 km/h (m)	Correlación de Pearson	0,41**	0,58**	0,78**	0,23	0,79**	0,47**	0,75**	0,74**	
		Sig. (bilateral)	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		N	51	51	51	51	51	51	51	51	51

Nota: (+ 90) variable independiente de los jugadores que jugaron al menos 90 minutos del partido; (Con posesión) datos cuando el equipo tenía la posesión;

(otro posesión) datos cuando el otro equipo tenía la posesión. \*(p < 0.05) \*\*(p < 0.01)

La distancia total recorrida por encima de 21 km/h (m) tiene una asociación positiva significativa con las demás variables físicas de forma general, pero caben destacar varias relaciones: la primera de ellas es la que demuestra al hacerse más fuerte la asociación con la distancia total recorrida (m) cuando el equipo gana ( $r=0,55$ ;  $p=0,00$ ). Además, cuando el equipo gana la relación que tiene la distancia total recorrida por encima de 21 km/h (m) y la distancia total recorrida en metros con posesión del balón por encima de 21 km/h también se hace más fuerte ( $r=0,67$ ;  $p=0,00$ ) pasando de una correlación moderada a alta.

Por el otro lado, la relación que tiene la distancia total recorrida por encima de 21 km/h (m) con la distancia total recorrida en metros con posesión del otro equipo del balón por encima de 21 km/h (m) se hace más fuerte ( $r=0,78$ ;  $p=0,00$ ) cuando el equipo pierde.

La **tabla 14** muestra la relación de la variable de distancia total recorrida en metros con posesión del balón por encima de 21 km/h con la distancia total recorrida (m), la distancia total recorrida en posesión del balón (m), la distancia total recorrida en metros con posesión del otro equipo del balón (m) y la distancia total recorrida por encima de 21 km/h (m).

**Tabla 14.** Datos de correlación entre la distancia por encima de 21 km/h con posesión del balón y las variables de distancia del equipo propio

			Distancia Total Recorrida	Distancia Total Recorrida CON Posesión	Distancia Total Recorrida OTRO EQUIPO Posesión	Distancia Total Recorrida >21 km/h
GENERAL	Distancia Total Recorrida >21 km/h CON Posesión	Correlación de Pearson	0,32**	0,41**	-0,20*	0,61**
		Sig. (bilateral)	0,00	0,00	0,01	0,00
		N	148	148	148	148
GANAR	Distancia Total Recorrida >21 km/h CON Posesión	Correlación de Pearson	0,41**	0,49**	-0,02	0,67**
		Sig. (bilateral)	0,00	0,00	0,89	0,00
		N	51	51	51	51
EMPATAR	Distancia Total Recorrida >21 km/h CON Posesión	Correlación de Pearson	0,23	0,53**	-0,45**	0,54**
		Sig. (bilateral)	0,11	0,00	0,00	0,00
		N	46	46	46	46
PERDER	Distancia Total Recorrida >21 km/h CON Posesión	Correlación de Pearson	0,26	0,32*	-0,26	0,58**
		Sig. (bilateral)	0,06	0,01	0,06	0,00
		N	51	51	51	51

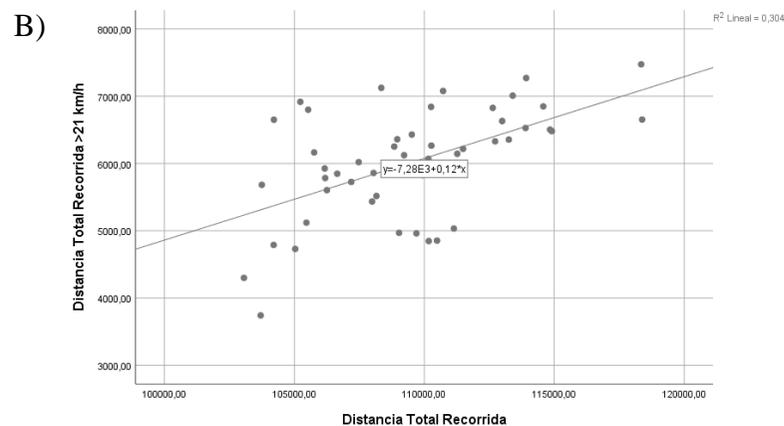
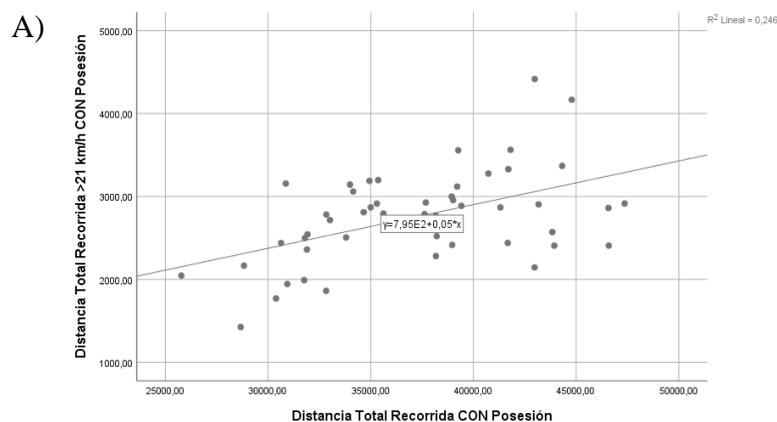
Nota: (+ 90) variable independiente de los jugadores que jugaron al menos 90 minutos del partido; (Con posesión) datos cuando el equipo tenía la posesión; (otro posesión) datos cuando el otro equipo tenía la posesión. \*( $p < 0.05$ ) \*\*( $p < 0.01$ )

La distancia total recorrida por encima de 21 km/h con posesión del balón (m) tiene una asociación positiva significativamente con la distancia total recorrida (m), con la distancia total recorrida con posesión del balón (m) y con la distancia recorrida por encima de 21 km/h con los siguientes valores estadísticos respectivamente: ( $r=0,32$ ;  $p=0,00$ ); ( $r=0,41$ ;  $p=0,00$ ) y ( $r=0,61$ ;  $p=0,00$ ). Por otro lado, su asociación es negativa significativamente con la distancia recorrida el otro equipo con posesión de balón (m): ( $r=-0,20$ ;  $p=0,01$ ).

Cabe destacar que las asociaciones pierden su significancia cuando el equipo pierde o se hacen menos fuertes, como es el ejemplo de la que tiene con la distancia total recorrida con posesión del balón (m): ( $r=0,32$ ,  $p=0,19$ ).

La **figura 20** muestra la correlación entre la Dist.pos >21km/h +90(m) con la distancia recorrida con posesión del balón (m); y la distancia recorrida por encima de 21 km/h (m) con la distancia recorrida (m).

**Figura 20.** Correlación de la distancia por encima de 21 km/h con posesión del balón con la distancia total con balón; y la distancia por encima de 21 km/h con la distancia total.



Nota: A) Muestra la línea de regresión para la correlación existente la distancia por encima de 21 km/h con posesión del balón y la distancia total con balón.

B) Muestra la línea de regresión para la correlación existente entre la distancia por encima de 21 km/h y la distancia total.

#### 4. *Discusión.*

El estudio estaba diseñado para explorar las diferencias que existían en las demandas físicas del equipo propio en relación con los rivales en función del resultado de los partidos durante las dos temporadas 2016/2017 y 2017/2018. Además, se evaluaron las demandas físicas para todos los partidos en función únicamente de los resultados, independientemente del equipo. Por último, se analizaron las relaciones entre la distancia total recorrida por encima de 21 km/h y las demás variables y las relaciones entre la Dist. pos >21km/h +90 y las demás variables con el objetivo de ver su implicación dependiendo del resultado.

Los resultados muestran cómo ganar es la única condición que arroja diferencias significativas cuando se comparan los datos del equipo propio con respecto de los equipos rivales durante las dos temporadas analizadas, la temporada 2016/2017 y la 2017/2018.

La distancia total en metros recorrida +90 (m); la distancia total recorrida en metros con posesión del balón +90 (m); la distancia entre 14-21 km/h +90 (m) (Dist. 14-21 km/h +90); distancia total recorrida por encima de 21 km/h con posesión del balón +90 (m) (Dist.pos >21km/h +90) son las variables que se señalan como significativas bajo la condición de ganar para establecer las diferencias de comportamiento físico entre el equipo propio y el equipo rival.

Por lo tanto, son los jugadores que se alinean en el equipo titular y sus variables físicas las que van a ser más determinantes en la consecución de la victoria. Además,

la condición de la posesión del balón también va a influir en el resultado. Estos hallazgos van en línea con las publicaciones previas de Lago-Peñas y col (215) donde los mejores equipos de La Liga Española en la temporada 2008/2009 presentaron mayores porcentajes de posesión que los equipos menos exitosos. Los autores indican que hay precedentes de los mismos resultados en la literatura científica y eso podría ser debido por la preferencia de los mejores equipos a controlar el partido mediante el control de la posesión. Otras investigaciones indican que los equipos más exitosos tienen posesiones más largas que los menos exitosos, con el objetivo no solo de anotar goles, sino también como una estrategia para evitar que el rival tenga la posesión y te pueda hacer un gol (216).

En relación a los jugadores titulares que completan el partido, se han encontrado investigaciones que señalan que estos jugadores escogen de manera consciente o inconsciente estrategias de autogestión de los esfuerzos, reduciendo sus valores físicos en un intento por preservar la energía para el transcurso del partido, por lo que los más condicionados podrán hacer mayores valores (217).

Además, cabe señalar que los jugadores titulares a lo largo de una temporada de fútbol se condicionan mejor gracias a la competición, por el estímulo psicológico y fisiológico específico que supone esta, que los suplentes (218). Existe una diferencia significativa de las cargas de trabajo que se aplican a los jugadores titulares con respecto a los suplentes en una semana tipo de competición (219), por lo que cabe esperar que estos estén mejor preparados para lidiar con las demandas competitivas.

La distancia de alta intensidad de carrera en posesión del balón, de los jugadores que completan los noventa minutos del partido, es una nueva variable que se describe en la literatura científica como significativa para diferenciar a los equipos que consiguen la victoria de los que no. Esta demanda física de distancia recorrida en posesión del balón por encima de 21 km/h, que contextualiza las acciones de alta intensidad como relevantes cuando el equipo tiene la posesión, podría ser determinante debido al hecho de que las ocasiones de desmarque a alta intensidad de carrera, para obtener una ventaja frente al rival y que te permiten generar ocasiones de gol, en su gran mayoría de veces se dan en las fases ofensivas del juego cuando el equipo está en posesión del balón. Sobre todo, son los extremos, los jugadores que cubrían distancias significativamente mayores en posesión del balón (4). Estos razonamientos van en línea con los planteados por Reilly y col. (49) donde un alto requerimiento de estos patrones de movimientos a alta intensidad de carrera en los jugadores de ataque (delanteros y extremos), pueden deberse a la necesidad de completar rápidos movimientos lejos de los defensores para generar espacio o ganar ventaja para tener una oportunidad de gol.

La realización de las acciones de alta intensidad en posesión del balón por los atacantes, en las situaciones en la que los goles ocurrían, se debía a que el atacante había propiciado una situación de ventaja al haberse movido más rápido, tanto antes como después de recibir el balón, que su oponente inmediato (137) Además, hay que tener en cuenta para este tipo de variable depende de un nivel técnico elevado por lo que necesitaremos no solo jugadores físicamente preparados, sino también técnicamente hábiles (220)

Por otro lado, un análisis de las diferencias entre las distancias a alta intensidad de carrera entre los equipos menos exitosos y los más exitosos en la PL, mostró una mayor diferencia en las distancias que se recorrían sin la posesión del balón, esta distancia significativamente mayor para los equipos en las últimas posiciones en la liga, podría ser una consecuencia de su intento por recuperar la posesión de la pelota (15). Esta variable podría considerarse complementaria en los objetivos de esta Tesis doctoral, ya que podría entenderse como una consecuencia de que el equipo contrario corre con posesión del balón a alta intensidad de carrera y está generando ocasiones.

La Dist. 14-21 km/h +90 (m), también es una variable sin precedentes en la literatura científica como demanda física determinante en el rendimiento del equipo para conseguir la victoria. Estas distancias se suelen obviar en los análisis técnicos debido a que están por debajo de las acciones de alta intensidad de carrera definidas en la literatura. Pero investigaciones previas ya señalan su importancia, es la propuesta de Abt y col. (34) para el uso de umbrales de velocidad individualizados la que señalaba la importancia de ajustar la alta intensidad a un valor más real inferior a los 21km/h. Ese umbral se fijaría en 15 km/h para calcular la distancia a alta intensidad de carrera, que además ya ha sido empleado en estudios previos (18,39) y que es el más apropiado pues supone la mediana de la velocidad en VT2 (34).

Además, esta variable podría tener una relación con los aspectos tácticos del juego ya que una velocidad media de carrera está relacionada con los movimientos de posicionamiento y control de los espacios tácticos defensivos, más que la alta intensidad de carrera, que defensivamente es una respuesta a un evento desencadenado por el rival ante un mal posicionamiento táctico donde este ha ganado

una ventaja de espacios (25). Por lo tanto, una mejor posición táctica, entendida como los ajustes dinámicos, también va a estar relacionada con el rendimiento del equipo.

Las correlaciones con las acciones de carrera de alta intensidad están relacionadas con el éxito global del equipo (20,24). En esta Tesis doctoral se han investigado aquellas que podrían relacionar la alta intensidad de carrera con las demás variables como modelo de predicción de resultados de otras variables, como la distancia total recorrida, que tenían una correlación de moderada a fuerte.

Este modelo de predicción de las demandas físicas, donde se relacionan las distancias, se ha investigado en la literatura obteniendo resultados favorables cuando se incluyen las posiciones de los jugadores en la ecuación. Debido al principio de especificidad, cada posición va a necesitar unas demandas físicas que deben individualizarse en el proceso de entrenamiento para mejorar el rendimiento y evitar el exceso de fatiga (222).

Además, debido a la utilidad que tiene el entrenamiento de alta intensidad para disminuir el tiempo efectivo con las mismas adaptaciones fisiológicas para conseguir adaptar a los jugadores a las cargas de entrenamiento (223). Va a ser interesante plantear tareas de entrenamiento donde la alta intensidad de carrera con posesión por encima de 21 km/h se manifieste en mayor medida que las demás, en virtud de su relación con las otras variables y a su efectividad en el tiempo.

Además, la correlación positiva de la variable distancia recorrida por encima de 21 km/h con balón con la variable distancia recorrida con posesión; y su correlación negativa con la variable antagonista distancia recorrida con posesión del balón del

otro equipo, podrían indicar que el hecho de correr a más de 21 km/h va depender de lo que hace el rival, y sobre todo que correr con balón a 21km/h puede influir a las victorias pero que correr sin el balón a 21 km/h no parece que vaya a influir tanto en el resultado. Esto podría deberse al hecho de que mantener la posesión con un rendimiento de alta intensidad de carrera va a mejorar mis oportunidades de generar ocasiones de victoria.

## 5. Conclusiones.

Existen diferencias significativas entre las demandas físicas del equipo propio y los rivales en función del resultado de los partidos durante las dos temporadas 2016/2017 y 2017/2018. Además, existen demandas físicas que están relacionadas con el resultado independientemente del equipo que las realice. Esto pone de manifiesto la necesidad de su entrenamiento y exposición para mejorar el rendimiento de los equipos.

Las correlaciones de la distancia a alta intensidad de carrera por encima de 21km/h podría explicar el comportamiento de otras variables, sirviendo como guía de predicción para establecer criterios de entrenamiento para mejorar las demandas físicas que tienen más importancia en el resultado. Los análisis de las relaciones entre la Dist.pos >21km/h +90 y las demás variables ayudan a entender el contexto en función del resultado.

Se identificaron dos variables nuevas que no estaban descritas en la literatura científica y que tienen una relación directa con el resultado y con el rendimiento del equipo. Por un lado, la Dist.pos >21km/h +90 (m) que podría convertirse en una nueva

variable de alta intensidad de carrera a considerar por parte de los profesionales del deporte. Esta variable debería ganar peso en los modelos de juego y en los procesos de entrenamiento para ofrecer más oportunidades de gol a los jugadores. Que el sistema de juego contemple acciones donde se explote esta cualidad y que durante la semana de entrenamiento se propongan tareas, adaptadas al modelo de juego propio y rival, para maximizar el número de acciones que van a ocurrir dentro de estos parámetros de Dist. Pos. >21 km/h +90, debería ser uno de los objetivos del entrenamiento.

Por otro lado, la Dist. 14-21 km/h +90 (m) cobra gran protagonismo debido a que son esos movimientos que ejecutan los titulares de una manera consciente o inconsciente, pero autorregulada, durante todo el encuentro los que van a permitir mantener el bloque táctico con los objetivos trabajados para buscar minimizar riesgos y maximizar la ventaja frente al rival para la consecución de la victoria. Además, esta métrica también debería considerarse por parte de los científicos del deporte como de alta intensidad de carrera debido a su relación con el VT2 y las demandas del juego.

Como conclusión, son por lo tanto las acciones de alta intensidad de carrera las que tienen una diferencia significativa con respecto al rival y que aportan un valor añadido para la consecución de las victorias en el fútbol.

## Capítulo 6.

### 1. *Introducción.*

Las relaciones de las demandas físicas en función del resultado han sido exploradas en el capítulo anterior. Pero se ha descrito en la literatura científica que esas variables físicas están influidas por un marco contextual. Por ejemplo, jugar contra un oponente de mayor nivel puede hacer que corras más distancias en todas las categorías de velocidad, excepto para la categoría de ES, y por el contrario cuando juegas contra un oponente de menor nivel recorres menos distancia (22).

En este capítulo se pretende seguir profundizando sobre las demandas físicas que están relacionadas con el rendimiento del equipo y que afectan al resultado, añadiendo la relación contextual de la distancia cubierta para las mismas variables que el rival. Para ello se van a analizar las diferencias entre las variables de distancia entre ambos equipos durante las dos temporadas, 2016/2017 y 2017/2018.

Existe una relación de las demandas competitivas y el nivel del oponente, investigaciones previas explican que las medias de las distancias totales y a alta intensidad de carrera, según los autores marcadas a 14,4 km/h, fueran mayores cuando los equipos se enfrentaban a los oponentes con mayor status en la competición, recorriendo  $2770 \pm 528$  m y  $140 \pm 18$  m más por posición en cada categoría respectivamente. Estos valores señalan la relación entre las demandas físicas que hace un equipo y los que hace su oponente (135).

Las investigaciones señalan que no solo es la realización de carrera a alta intensidad lo que es un importante indicador del rendimiento, sino que se necesita contextualizar para analizar las diferencias que presentan en función del resultado (24).

Basándonos en estas consideraciones, existe la necesidad de conocer como las variables se van a comportar en función de cómo se va a comportar el rival, para establecer si existen diferencias significativas entre mi comportamiento y el del rival en función del resultado.

El objetivo de este capítulo es relacionar las diferencias entre las demandas físicas del equipo propio y el equipo rival obtenidas por un sistema de posicionamiento en vídeo durante las temporadas 2016/2017 y 2017/2018, con los resultados obtenidos en ambas temporadas debido a su asociación con el éxito del equipo.

## 2. *Metodología.*

### 2.1 *Procedimientos*

Se realizó estudio longitudinal retrospectivo con el objetivo de relacionar las diferencias entre las variables propias y del equipo rival obtenidas por medio del sistema Mediacoach, que registra los datos de magnitud de movimiento de los jugadores durante un partido, y los resultados obtenidos durante las temporadas 2016/2017 y 2017/2018 para un equipo profesional de la segunda división española.

## *2.2 Participantes.*

La muestra son todos los equipos participantes en la segunda división de fútbol durante la temporada 2016/2017 y la temporada 2017/2018 de los cuales se obtenían los datos mediante un proceso anónimo de recogida de datos durante las temporadas 2016/2017 y 2017/2018 en las instalaciones del club.

## *2.3 Recogida de datos físicos.*

Los datos de rendimiento físico se obtenían a través de la plataforma de Mediacoach, accediendo por su portal web: <https://portal.mediacoach.es/> al cual solo tienen acceso los trabajadores en nómina de los clubes de primera y segunda división adscritos al campeonato nacional de Liga. Este servicio es proporcionado gracias a la colaboración de Mediapro (Mediaproducción, S.L.U, Barcelona, España) con La Liga (La Liga Nacional de Fútbol Profesional Asociación Deportiva de derecho privado, Madrid, España) en el que se analizan mediante un sistema de posicionamiento semiautomático en vídeo a los jugadores para obtener las variables situacionales, tácticas, técnicas y físicas durante el desarrollo de los partidos.

Desde 2011, La Liga cuenta con el sistema de análisis de Mediacoach que monitoriza los movimientos de los jugadores y del balón mediante 16 cámaras con las siguientes especificaciones: super 4K-HDR, a través de un sistema de posicionamiento de vídeo semiautomático (Tracab-ChyronHego, Suecia) recogen la información en una frecuencia de muestreo de 25 Hz, las cámaras están posicionadas estratégicamente

para cubrir todo el terreno de juego, desde todos los ángulos, con el objetivo de registrar los movimientos de los 22 jugadores.

Mediacoach desde la grabación de varios ángulos analiza la posición en el eje "X" y en el eje "Y" para cada jugador, existe la posibilidad de corregir el registro ya que el sistema es controlado por dos técnicos en cada partido de la primera y segunda división, para asegurar un registro correcto y configurar si fuera necesario el sistema durante el encuentro. Las correcciones se realizan sobre la superposición de la coordenada "X" proporcionada automáticamente por el sistema, cuando el técnico observa que los datos son erróneos porque se alejan de la posición del jugador al que siguen (43).

Las categorías de las variables estaban establecidas según la diferencia entre la media total por partido del equipo propio menos la misma variable media del equipo rival, configurando las siguientes métricas: diferencia de distancia total recorrida (m); diferencia de distancia total recorrida con posesión (m); diferencia de distancia total recorrida con el rival en posesión del balón (m); diferencia de la distancia entre 14 y 21 km/h (m); diferencia de la distancia total recorrida por encima de 21 km/h (m); diferencia de la distancia total recorrida por encima de 21 km/h con posesión (m); diferencia de distancia total recorrida por encima de 21 km/h con el rival en posesión del balón (m); diferencia de distancia total recorrida de 21 km/h a 24 km/h y diferencia total recorrida por encima de 24 km/h. Estas restas se realizaron para contextualizar los datos obtenidos en relación a lo que hacía el rival.

Estas variables se registraron durante las dos temporadas 2016/2017 y 2017/2018 en las instalaciones del club almacenándolas en un fichero de Excel (Microsoft Company, EEUU) y se establecieron sus valores absolutos para analizar las demandas físicas gracias a su fiabilidad para analizar el objetivo del capítulo (22).

El tratamiento se realiza por parte del autor principal de esta Tesis Doctoral, ejerciendo las funciones de readaptador físico-deportivo dentro del primer equipo profesional del club. Para los datos de las demandas físicas durante las temporadas 2016/2017 y 2016/2018, con una muestra de 42 partidos para cada temporada de la segunda división respectivamente, se necesitó la plataforma Mediacoach (Mediapro SLU, España). Los datos se obtenían semanalmente después de los partidos disputados, se excluyeron los datos para los partidos que Mediachoach no ofrecía variables o los datos que habían sufrido alguna modificación posterior. Quedando una muestra definitiva de 38 partidos en la temporada 2016/2017 y 36 partidos en la temporada 2017/2018.

Todos los datos se trataron de forma anonimizada de acuerdo con la declaración de Helsinki para asegurar la confidencialidad del jugador y del equipo.

#### *2.4 Análisis estadístico.*

Las variables de normalidad fueron evaluadas usando el test de Shapiro-Wilk debido a que la muestra no superaba más de 50 tomas de datos. Los resultados mostraban que la muestra seguía una distribución de normal de las variables, los datos se describen como medias y desviaciones estándar. Debido a que se quería comparar

en función del factor resultado que tenía tres categorías y siendo una distribución normal, se eligió la prueba paramétrica para la comparación de medias ANOVA para evaluar las diferencias entre las variables.

### 3. Resultados

Los estadísticos descriptivos se muestran en la **tabla 15**, donde se recogen los valores medios y su desviación estándar, para las diferencias entre las variables físicas según el resultado (perder, empatar o ganar).

**Tabla 15.** Relación de las variables de diferencia entre los datos de rendimiento físico del equipo propio y el equipo rival en función del resultado.

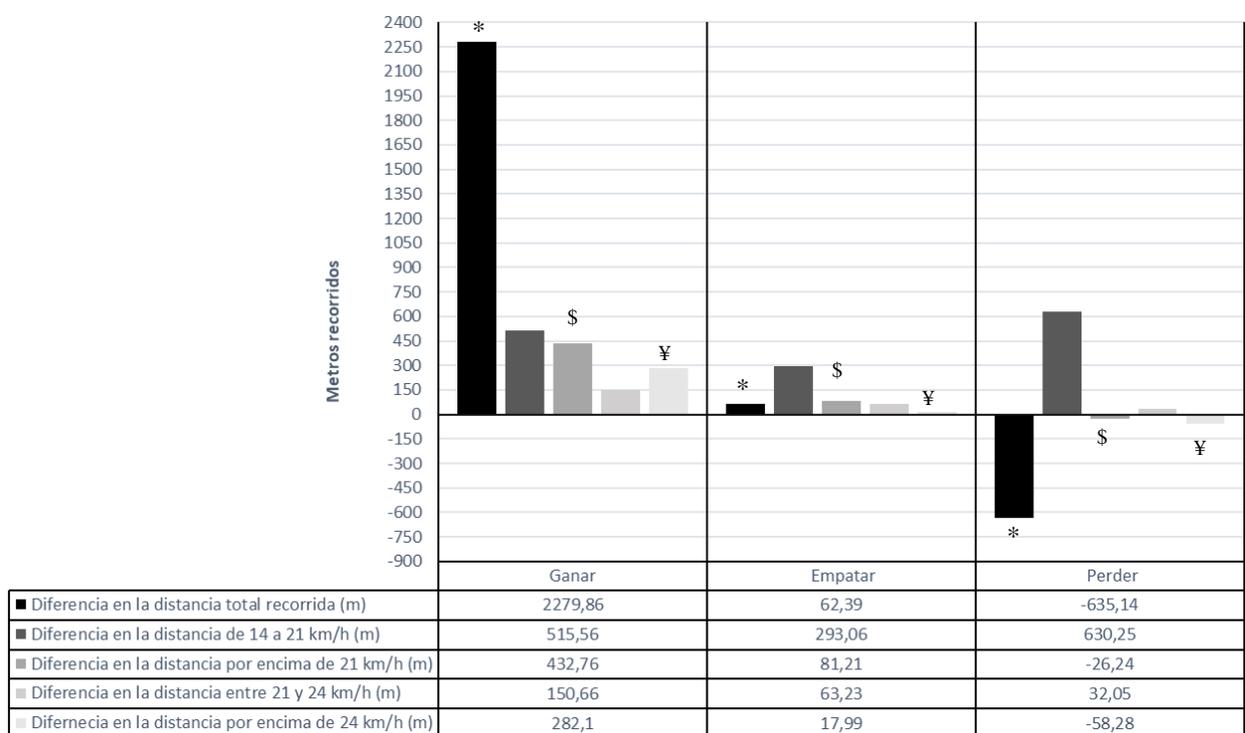
	RESULTADO						F	Sig.
	Ganar		Empatar		Perder			
	Media	DE	Media	DE	Media	DE		
Diferencia de Distancia Recorrida (m)	2279,86	2460,42	62,39	2131,9	-635,14	2878,78	9,76*	0,00
Diferencia de Distancia con posesión	116,64	8224,29	3286,11	11107,69	4103,25	7933,32	1,39	0,25
Diferencia de Distancia otro equipo posesión	475,2	8479,87	-3400,49	11076,33	-3865,78	7734,23	1,79	0,17
Diferencia de Distancia 14-21 km/h	515,56	1555,82	293,06	1458,99	630,25	1653,85	0,27	0,76
Diferencia de Distancia >21 km/h	432,76	428,87	81,21	615,51	-26,24	550,13	5,43*	0,00
Diferencia de Distancia >21 km/h CON Posesión	424,27	743,24	275,71	788,95	-24,73	822,25	2,06	0,13
Diferencia de Distancia >21 km/h OTRO EQUIPO Posesión	-31,99	844,92	-212,02	934,47	113,36	946,93	0,72	0,49
Diferencia de Distancia 21-24 km/h	150,66	365,28	63,23	309,82	32,05	331,35	0,85	0,42
Diferencia Distancia >24 km/h	282,1	285,37	17,99	398,89	-58,28	317,95	7,54*	0,00

Nota: (+ 90): variable independiente de los jugadores que jugaron al menos 90 minutos del partido; (Con posesión): datos cuando el equipo tenía la posesión; (otro posesión): datos cuando el otro equipo tenía la posesión. \*( $p < 0.05$ )

Los resultados muestran que las diferencias en la distancia total recorrida (m), las diferencias en la distancia total recorrida por encima de 21 km/h (Dif. Dist. >21 km/h) (m) y las diferencias en la distancia total recorrida por encima de 24 km/h sufren unas diferencias significativas en función de los factores del resultado descritos como ganar, empatar y perder, con unos valores estadísticos respectivamente de (F=9,76; p=0,00); (F=5,43; p=0,00) y (F=7,54; p=0,00) para cada variable.

La **figura 21** muestra los valores de rendimiento físico durante las dos temporadas para las variables en función de ganar, empatar o perder con los valores de significancia.

**Figura 21.** Diferencias en las variables de rendimiento en función del resultado.



Nota: \* \$ ¥ Valores de significancia entre grupos para diferencia distancia total recorrida \*(p < 0.05); diferencia en la distancia por encima de 21 km/h \$(p < 0.05); diferencia en la distancia recorrida por encima de 24 km/h ¥ (p < 0.05)

Existen diferencias significativas en función de ganar, empatar y perder, siendo estos valores positivos. Es decir, que el equipo propio hacía más valores de distancia total recorrida (m), más valores de distancia por encima de 21 km/h (m) y más distancia por encima de 24 km/h (m) cuando ganaba o empataba y no ocurría lo mismo cuando el equipo perdía ya que esos valores se invertían y era el equipo rival quien realizaba más acciones de esas variables para conseguir la victoria.

#### 4. *Discusión*

El estudio estaba diseñado para explorar las varianzas que existían en las diferencias de las demandas físicas del equipo propio y de los rivales en función del resultado de los partidos durante las dos temporadas 2016/2017 y 2017/2018.

Los resultados muestran que, en función del contexto físico del rival, hay tres demandas físicas que son significativas dependiendo del resultado. Estas variables son la diferencia en la distancia total recorrida (m), la Dif. Dist. >21 km/h (m) y la diferencia en la distancia total por encima de 24 km/h (m)

Cuando el equipo ganaba, las tres demandas físicas mencionadas en el apartado anterior para el equipo propio eran superiores. Es decir, se hacía más distancia, unos 2279 m de media, que el rival; se corrían unos 432 m más por encima de 21 km/h y se corrían unos 282 m más por encima de 24 km/h que el rival. En porcentaje esos datos suponían correr un 2,08% más que la distancia total del rival, un 7,18% más que el rival por encima de 21 km/m y un 9,43% más que el rival por encima de 24 km/h.

Sin embargo, cuando el equipo perdía esos valores se revertían. Se hacía de media 634 m menos que el rival en distancia total recorrida, 26 m menos que el rival por encima de 21 km/h y 58 m menos que el rival por encima de 24 km/h. En porcentaje, estos datos suponían un 0,58% de la distancia total, un 0,45% de la distancia por encima de 21 km/h y un 2,07% para la distancia por encima de 24 km/h que el rival hace más que el equipo propio.

A diferencia de lo discutido en los capítulos anteriores, la posesión no es un factor importante en el resultado cuando se contextualizan los datos con respecto al rival. Por lo que estos resultados pueden sugerir que las acciones de alta intensidad de carrera por si solas tienen la capacidad de generar diferencias significativas en función del resultado y que cuando se completan más acciones que el rival en alta intensidad de carrera, por encima de unos valores, se podría conseguir la victoria del equipo. Estos resultados son contrapuestos a los expuestos por Lorenzo-Martínez y col. (224) que encontraron que las variables físicas eran muy dependientes de las estrategias de posesión del balón. Esto se podría deber al hecho de que no se tuvieron en cuenta en estas investigaciones, ni el factor condicionante del resultado ni el contextual del rival, asumiendo solo la variable posesión como factor modificador de las demandas físicas. Además, como estos autores discuten sus resultados deberían de interpretarse con precaución, debido a la dificultad de generalizar con una única variable. Ya que otros autores han sugerido que las variables físicas pueden estar influidas por el sistema de medida usado (19), los factores contextuales (22,215) el sistema táctico (73,225) y el éxito del equipo en el campeonato (226).

Cabe destacar que cada competición y cada país tiene sus características. Pons y col. (227) compararon los datos de rendimiento físico entre las dos grandes ligas del fútbol español, durante cuatro temporadas. Los resultados mostraron que en general las variables físicas de trabajo fueron mayores en la primera división con respecto a la segunda división. Concretamente, las distancias cubiertas a alta intensidad de carrera por encima de 21 km/h eran mayores en la primera división con respecto a la segunda.

Esto podría explicar porque en esta investigación las acciones de alta intensidad tienen otra relación con el rendimiento del equipo, entendido como la consecución de la victoria. En tanto en cuanto la función táctica y técnica es diferente entre los equipos con mejor nivel y los de menor nivel, como sucede en la segunda división (228). Las distancias van a tener un propósito diferente al enunciado por Mohr y col (15) donde sus distancias a alta intensidad de carrera eran significativas cuando el oponente tenía el balón y se iba perdiendo, con el objetivo de recuperarlo para poder darle la vuelta al marcador en las competiciones de élite.

En la segunda división las distancias recorridas por encima de 21 km/h y 24km/h podrían suponer una ventaja para los equipos con respecto a su rival para conseguir la victoria. Debido a que ante equipos de menor nivel, el juego directo donde se involucran acciones por encima de 21km/h y 24 km/h, para producir ocasiones de gol y podrían ayudar al equipo a estar cercar del área rival jugando más porcentajes de pases en el campo contrario lo que está relacionado con la victoria (215,229-232).

En investigaciones previa son las distancias a alta intensidad de carrera por encima de 21 km/h y 24 km/h las que son una característica distintiva entre los jugadores con mejor nivel de rendimiento, siendo los jugadores de élite los que desarrollan un 28% más de acciones por encima de 21 km/h y un 58% más de acciones de ES por encima de 24 km/h que sus compañeros de un nivel moderado (15). Por lo tanto, los jugadores que tienen un mejor nivel competitivo van a realizar más acciones a alta intensidad de carrera que los que son de peor nivel.

Se ha demostrado que los ataques directos y los contrataques son más efectivos que el juego de control del balón para producir goles o dominar en el marcador (229-231,233,234). Un estilo de juego dominante con una eficacia alta para terminar las jugadas de ataque, y una iniciativa de juego ofensiva, se asocian más con el fútbol exitoso (229-231,233,234). Lo que unido a los hallazgos de esta tesis doctoral en relación con las distancias por encima de 21 km/h podría ayudar a las victorias del equipo.

La distancia total recorrida se va a ver afectada de forma significativa, recorriendo más metros que el rival cuando el equipo conseguía la victoria. Estos resultados son contrarios a los encontrados por Castellano y col. (22) y contrastados por Redwood-Brown y col. (235) y Lago-Peñas y col. (236) donde las distancias cubiertas por el equipo eran mayores cuando el resultado durante el encuentro era ir por debajo en el marcador, sugiriendo que cuando se pierde, en un esfuerzo por recuperar el estatus del partido, y empatar o ganar, los jugadores realizan más distancias sobre todo a alta intensidad. Lago-Peñas (236) destacaba que el estatus contextual de perder incrementaba la distancia total recorrida y la distancia a todas las intensidades sobre

todo de los defensores, mientras que los atacantes tenían la tendencia contraria a disminuir su distancia mientras se perdía.

En estas investigaciones existen dos factores metodológicos por los que no se pueden comparar sus resultados con los de esta tesis doctoral. El primero es que el estatus era contextual, mientras el partido iba con un resultado desfavorable, pero no era un retrospectivo, cuando el resultado ya se había producido. Por lo que, como ellos informan, el hecho de correr más podría dar la vuelta al marcador. Además, como Lago-Peñas (236) comenta si esas distancias son mayores en el atacante puede ser signo de que se generan más ocasiones como se ha descrito en párrafos anteriores, ya que estos jugadores completan un 71% de carreras cuando su equipo tiene el balón en las fases ofensivas del juego (24).

Por otro lado, existen investigaciones que van en línea con los datos obtenidos en este capítulo donde autores como Nobari y col (237) encontraron que de forma general cuando se ganan los partidos se hacen más distancias de las demandas de rendimiento físico, comparados con perder o empatar. La distancia a ES es mayor en la primera parte de los partidos que se ganan, comparados con los partidos que se pierden.

Además, Weimar y col. (238) encontraron que cuando los equipos locales realizan el mismo nivel de esfuerzo en términos de número de carreras a alta intensidad, la probabilidad de ganar es mayor para los equipos locales, aproximadamente un 46%, que para los equipos visitantes, aproximadamente un 30%. Lo mismo ocurre con la distancia recorrida. Los resultados mostraban que ambas demandas físicas tienen un

efecto positivo significativo en el rendimiento del equipo, entendido como la victoria del equipo. Esta investigación mostró que la distancia total recorrida es un factor importante en el rendimiento del equipo y, por lo tanto, debe ser considerada por los entrenadores.

Esta variable de distancia total recorrida podría explicar su utilidad en el rendimiento debido a que va a permitir la colocación de los jugadores y su interrelación en los movimientos tácticos durante el encuentro. La situación en el campo de los jugadores ha demostrado recientemente que podría ser uno de los determinantes clave del rendimiento (239). Algunos autores han señalado la importancia del rol táctico del jugador para controlar las fases del juego y su relación con el rendimiento del equipo (240).

La distancia total recorrida podría estar relacionada con las fases defensivas del juego, donde el posicionamiento es determinante, y depende del estado de alerta y colaboración de los jugadores (241).

## 5. Conclusiones.

Existen diferencias significativas entre las diferencias de las demandas físicas del equipo propio y los rivales en función del resultado de los partidos durante las dos temporadas 2016/2017 y 2017/2018.

Las demandas físicas según lo que el rival hace a nivel físico van a ser un factor en el resultado del partido, implicando una variable contextual a tener en cuenta.

Se identificaron dos variables nuevas, que no estaban descritas en la literatura científica, que tienen una relación directa con el rendimiento del equipo. Por un lado, la diferencia en distancia total recorrida (m) que debería ser considerada por parte de los profesionales del deporte con el objetivo de identificar patrones de juego que permitan realizarla para obtener un mejor posicionamiento en el terreno de juego y mejorar el rendimiento. Cuando la diferencia es mayor y positiva el equipo va a conseguir el objetivo.

Por otro lado, la Dif. Dist.  $>21$  km/h (m) es un factor determinante en el resultado y aporta a los profesionales una herramienta para generar propuestas metodológicas que mejoren el rendimiento del equipo y creen oportunidades para la consecución del objetivo. Cuando esta diferencia es significativamente mayor y positiva el equipo logra la victoria.

Como conclusión, son por lo tanto las diferencias en las acciones de alta intensidad de carrera y las diferencias en las distancias totales con respecto al rival las que determinan de manera significativa el rendimiento de un equipo profesional de fútbol.

## Capítulo 7.

### 1. *Discusión de los objetivos.*

Los objetivos generales de la presente Tesis Doctoral eran relacionar que demandas físicas registradas durante los partidos, mediante un sistema de análisis de vídeo durante dos temporadas en la segunda división de fútbol, tienen mayor probabilidad de influir en el rendimiento de un equipo profesional. Además, se precisó identificar las capacidades de los sujetos y las lesiones durante la temporada por su relación con el rendimiento:

- Para el primer objetivo: las capacidades de SCM y ES resultaron tener una relación entre sí, ofreciendo la posibilidad de realizar una sola evaluación que pudiera relacionar ambas capacidades. Con el objetivo de programar el entrenamiento y ayudar mejorar el rendimiento físico individual. Mientras que, el estado fisiológico medido a través de la termografía y los grados de movimiento de la dorsiflexión no tienen mucha importancia si se van a evaluar de forma puntual.
- Para el segundo objetivo: el tipo de lesión que se produce durante la temporada, que puede afectar el rendimiento del equipo, tiene una relación con la fuerza producida en el SCM evaluado durante la pretemporada. Lo que podría ayudar a entrenar y prevenir esas lesiones, si se estimulan las cualidades que se encuentran con menores valores en esa evaluación.
- Para el tercer objetivo: son las demandas físicas de los jugadores titulares los que tienen una relación significativa con el rendimiento del equipo. Sobre todo, si se

quiere ganar. Podría ser interesante desarrollar e incrementar este tipo de variables físicas durante el entrenamiento para que se den con mayor frecuencia durante los partidos, con el objetivo de conseguir la victoria, ya que están relacionadas con esta.

- Para el cuarto objetivo: contextualizar las demandas físicas con respecto a las que hace el rival, podría ofrecer una perspectiva más detallada de que demandas físicas y en que magnitud son las más determinantes para el rendimiento. Debido a que hacer más distancia total recorrida y más distancia de carrera a alta intensidad por encima de 21 y 24 km/h que los rivales son las variables significativas en función del resultado.

- Para el quinto objetivo: se ha ampliado el conocimiento de las demandas físicas determinantes en la segunda división española, que guardan su propia idiosincrasia debido al carácter particular de sus integrantes, que tienen menor nivel técnico que los de la primera división.

Los objetivos específicos de los artículos se han cumplido:

Capítulo 3: se establecieron los perfiles condicionales basales del equipo.

Capítulo 4: se estableció la epidemiología lesional de la temporada de fútbol y su relación con las variables del SCM.

Capítulo 5: se analizaron las demandas físicas determinantes en el rendimiento de ambas temporadas en segunda división en función del resultado.

Capítulo 6: se analizaron las demandas físicas en relación con el rival, como contextualización a la competición con el factor resultado como condicionante.

## Capítulo 8.

### 1. *Limitaciones y futuras líneas de investigación.*

Los resultados del presente estudio deben interpretarse con cautela, debido a las limitaciones en la metodología que se exponen en los siguientes puntos:

- El tamaño muestral es limitado, debido a que la participación en la segunda división está acotado a un número finito de participantes. Por lo que podría influir en los resultados. Podría ser de interés ampliar la recogida de datos a más temporadas con el objetivo de aumentar la muestra.
- Los datos de rendimiento físico se obtuvieron por perfil de posición, pero fueron tratados de forma absoluta para los equipos, que aun mostrando su fiabilidad para analizar las demandas físicas (22), no consideran las posiciones. Estas podrían alterar los resultados debido a su implicación en el resultado final (4,49,137). En futuras líneas de investigación, con una muestra mayor de datos, sería interesante contextualizar por posición las demandas físicas para relacionarlas con el resultado.
- Las justificaciones están basadas en los resultados de otros estudios en las principales ligas donde los datos de las demandas físicas podrían ser diferentes debido al nivel de sus jugadores y de los equipos (15). Esta tesis establece las demandas físicas para la segunda división, en futuras líneas de investigación sería interesante relacionar estas variables con otras ligas

del mismo nivel y aumentar el conocimiento del fútbol profesional con las variables de equipos con menor nivel técnico, en ligas menores.

- Los sistemas de control de las demandas físicas de alta intensidad por medio de sistemas de posicionamiento en vídeo han sido los más utilizados en la literatura para analizar su comportamiento y el resultado, pero las nuevas tecnologías de posicionamiento como los GPS ya se pueden usar durante los partidos. Además, ofrecen más variables de alta intensidad descritas en el capítulo 1. Por ejemplo, la distancia en alta potencia metabólica (59,62,99). Sería interesante en futuras líneas de investigación explorar las nuevas métricas de intensidad, no solo las locomotoras, sino también las mecánicas y las metabólicas y su relación con el resultado.
- Las capacidades fueron evaluadas, pero no se realizó un seguimiento ni una relación con las variables del rendimiento a lo largo de la temporada. Además, el entrenamiento de fútbol semanal tampoco se tuvo en cuenta para ver cómo podría influir en las demandas físicas de los partidos (242,243). Sería interesante investigar en futuras líneas de investigación analizar la relación de estos factores con el rendimiento de una forma dinámica, es decir, utilizando la media móvil para evaluar cómo va afectando a lo largo de la temporada.
- Las lesiones se evaluaron de una forma retrospectiva para relacionarlas con las evaluaciones iniciales, pero no se relacionaron con el rendimiento del equipo en los partidos. Las lesiones pueden influir al rendimiento del equipo y de las variables físicas analizadas con Mediacoach (160). Sería

interesante en futuras líneas de investigación analizar como influye el no disponer por causa de las lesiones de jugadores podría afectar a las demandas físicas y al rendimiento.

- Las variables contextuales de carácter técnico-táctico, así como las de localización no fueron contempladas en la investigación y han demostrado tener una implicación directa con el rendimiento final (22) En futuras líneas de investigación contemplar esas variables para la segunda división podría ser interesante.

A partir de las variables físicas de Mediacoch se pueden establecer demandas físicas que van a estar relacionadas con el rendimiento del equipo en los partidos en la segunda división española. Estas variables físicas son un buen predictor del resultado. Pero como Baptista y col. (223) exponen, esas variables van a estar influidas por los factores técnico-tácticos, y por esta razón en los entrenamientos se tiene que tener en cuenta, con una lógica inversa, como las demandas físicas van a influir sobre los objetivos tácticos que se quieren trabajar y estimular en mayor medida los que estén más relacionados con el éxito global del equipo.

Sería interesante comprobar, si durante la ejecución de tareas de entrenamiento en la semana previa a la competición que estimulan estas demandas físicas van a aumentar la probabilidad de ganar el subsecuente partido. Además, sería interesante incluir otras variables de alta intensidad para relacionarlas en función del rival con el resultado, ya que han demostrado tener más precisión en delimitar las acciones de alta intensidad (59,62,99)

Por último, establecer si en la alineación de los jugadores se debería tener en cuenta aquellos con mejor rendimiento físico, sobre todo en los momentos finales del partido, o con mejor rendimiento técnico-táctico pero un rendimiento físico menor es determinante en el rendimiento. Es decir, que si jugar más tiempo con los jugadores que esprintan más y hacen acciones a más alta intensidad va a aumentar la probabilidad de victoria o es la mezcla de ambos factores, los que aumentan el porcentaje de éxito.

Evaluar también a los equipos con el mayor número de jugadores dispuestos en el terreno de juego que pueden producir mayor potencia y/o mayor velocidad durante el partido con el objetivo de identificar si tienen una ventaja sobre el rival.

Ya que, jugadores con mejores valores de velocidad podrían aprovechar sus capacidades físicas durante el partido para producir más momentos de ocasión de gol. Además, sería interesante analizar si los metros a alta intensidad de carrera completados están relacionados con más tiempo en las fases ofensivas o con menos tiempo, y si eso desemboca en un mejor rendimiento para conseguir la victoria en el encuentro.

## 2. Conclusiones.

- Para el capítulo 3: existe una relación entre la altura del SCM y el rendimiento en el ES. Obtener los valores del ES y el SCM es una información valiosa para prescribir de manera personalizada el entrenamiento con el fin estimular las capacidades físicas del jugador orientadas a mejorar el rendimiento y prevenir lesiones. En cuanto a las diferencias entre las temperaturas de las regiones corporales y los grados de movimiento del tobillo no se encontraron diferencias significativas.
- Para el capítulo 4: existe una relación entre las variables del SCM, dependientes de la fuerza producida durante su ejecución, que se vinculan negativamente con el tipo de lesión durante la temporada 2017/2018. Los menores valores de fuerza están relacionados con un incremento de lesiones articulares.
- Para el capítulo 5: existen diferencias significativas entre las variables físicas del equipo propio y los rivales en función del resultado de los partidos durante las dos temporadas 2016/2017 y 2017/2018 en la segunda división española. Además, existen variables físicas que están relacionadas con el resultado independientemente del equipo que las realice en segunda división. Esto pone de manifiesto la necesidad de su entrenamiento y exposición para mejorar el rendimiento de los equipos.

Se identificaron dos variables nuevas que no estaban descritas en la literatura científica y que tienen una relación directa con el resultado y con

el rendimiento del equipo. Por un lado, la Dist.pos >21km/h +90(m) que puede explicar cómo realizar este tipo de demandas físicas a alta intensidad de carrera en posesión del balón pueden generar más oportunidades de gol. Por otro lado, la Dist. 14-21 km/h +90+90 (m) es una nueva variable que debe considerarse como un marcador de alta intensidad que puede estar relacionado con el posicionamiento táctico del equipo. Además, las correlaciones de la distancia a alta intensidad de carrera por encima de 21km/h podrían explicar el comportamiento de otras variables, sirviendo como guía de predicción para establecer criterios que determinen las otras variables. Los análisis de las relaciones entre la distancia total recorrida por encima de 21 km/h con posesión del balón y las demás variables ayudan a entender el contexto en función del resultado en la segunda división.

- Para el capítulo 6: existen varianzas significativas entre las diferencias contextuales de las variables físicas del equipo propio y los rivales en función del resultado de los partidos durante las dos temporadas 2016/2017 y 2017/2018. Las variables que van a verse afectadas son la diferencia en la distancia total recorrida (m), la diferencia en la distancia recorrida por encima de 21 km/h (m) y la diferencia en la distancia recorrida por encima de 24 km/h (m), siendo estas un factor relacionado con la victoria cuando se realizan con mayor magnitud que el rival en la segunda división.

## Capítulo 9.

### 1. *Bibliografía.*

(1) Fédération Internationale de Football Association. FIFA Big Count 2006: 270 million people active in football. Zurich: Fédération Internationale de Football Association 2007.

(2) Parlebas P. Léxico de praxiología motriz. Barcelona: Paidotribo 2001.

(3) Di Salvo V, Gregson W, Atkinson G, Tordoff P, Drust B. Analysis of high intensity activity in Premier League soccer. *Int J Sports Med* 2009;30(03):205-212.

(4) Di Salvo V, Baron R, Tschan H, Montero FC, Bachl N, Pigozzi F. Performance characteristics according to playing position in élite soccer. *Int J Sports Med* 2007;28(03):222-227.

(5) Ziogas GG, Patras KN, Stergiou N, Georgoulis AD. Velocity at lactate threshold and running economy must also be considered along with maximal oxygen uptake when testing élite soccer players during preseason. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 2011;25(2):414-419.

(6) Drust B, Atkinson G, Reilly T. Future perspectives in the evaluation of the physiological demands of soccer. *Sports medicine* 2007;37(9):783-805.

(7) Brink MS, Nederhof E, Visscher C, Schmikli SL, Lemmink KA. Monitoring load, recovery, and performance in young élite soccer players. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 2010;24(3):597-603.

(8) Iaia FM, Ermanno R, Bangsbo J. High-intensity training in football. *International journal of sports physiology and performance* 2009;4(3):291-306.

(9) Hoff J, Helgerud J. Endurance and strength training for soccer players. *Sports medicine* 2004;34(3):165-180.

- (10) Nader GA. Concurrent strength and endurance training: from molecules to man. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 2006;38(11):1965-1970.
- (11) Stølen T, Chamari K, Castagna C, Wisløff U. Physiology of soccer. *Sports medicine* 2005;35(6):501-536.
- (12) Reilly T. A motion analysis of work-rate in different positional roles in professional football match-play. *J Human Movement Studies* 1976;2:87-97.
- (13) Di Salvo V, Pigozzi F. Physical training of football players based on their positional rules in the team. Effects on performance-related factors. *J Sports Med Phys Fitness* 1998 Dec;38(4):294-297.
- (14) Reilly T, Thomas V. Estimated daily energy expenditures of professional association footballers. *Ergonomics* 1979;22(5):541-548.
- (15) Mohr M, Krstrup P, Bangsbo J. Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *J Sports Sci* 2003;21(7):519-528.
- (16) Withers R, Maricic Z, Wasilewski S, Kelly L. Match analyses of Australian professional football players. *Journal of Human Movement Studies* 1982;8:158-176.
- (17) Rienzi E, Drust B, Reilly T, Carter JE, L, Martin A. Investigation of anthropometric and work-rate profiles of élite South American international soccer players. *J Sports Med Phys Fitness* 2000;40(2):162.
- (18) Bangsbo J, Norregaard L, Thorso F. Activity profile of competition soccer. *Can J Sport Sci* 1991 Jun;16(2):110-116.
- (19) Bradley PS, Sheldon W, Wooster B, Olsen P, Boanas P, Krstrup P. High-intensity running in English FA Premier League soccer matches. *J Sports Sci* 2009;27(2):159-168.
- (20) Rampinini E, Coutts AJ, Castagna C, Sassi R, Impellizzeri F. Variation in top level soccer match performance. *Int J Sports Med* 2007;28(12):1018-1024.

- (21) Dwyer DB, Gabbett TJ. Global positioning system data analysis: Velocity ranges and a new definition of sprinting for field sport athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 2012;26(3):818-824.
- (22) Castellano J, Blanco-Villaseñor A, Alvarez D. Contextual variables and time-motion analysis in soccer. *Int J Sports Med* 2011;32(06):415-421.
- (23) Stølen T, Chamari K, Castagna C, Wisløff U. Physiology of soccer. *Sports medicine* 2005;35(6):501-536.
- (24) Di Salvo V, Gregson W, Atkinson G, Tordoff P, Drust B. Analysis of high intensity activity in Premier League soccer. *Int J Sports Med* 2009;30(03):205-212.
- (25) Dellal A, Chamari K, Wong dP, Ahmaidi S, Keller D, Barros R, et al. Comparison of physical and technical performance in European soccer match-play: FA Premier League and La Liga. *European journal of sport science* 2011;11(1):51-59.
- (26) Carling C, Bloomfield J, Nelsen L, Reilly T. The role of motion analysis in élite soccer. *Sports medicine* 2008;38(10):839-862.
- (27) Valter DS, Adam C, Barry M, Marco C. Validation of Prozone®: A new vídeo-based performance analysis system. *International Journal of Performance Analysis in Sport* 2006;6(1):108-119.
- (28) Felipe JL, Garcia-Unanue J, Viejo-Romero D, Navandar A, Sánchez-Sánchez J. Validation of a vídeo-based performance analysis system (Mediacoach®) to analyze the physical demands during matches in LaLiga. *Sensors* 2019;19(19):4113.
- (29) Mallo J, Navarro E, García-Aranda J, Gilis B, Helsen W. Activity profile of top-class association football referees in relation to performance in selected physical tests. *J Sports Sci* 2007;25(7):805-813.
- (30) Andersson H, Ekblom B, Krstrup P. Élite football on artificial turf versus natural grass: movement patterns, technical standards, and player impressions. *J Sports Sci* 2008;26(2):113-122.

- (31) D'ottavio S, Castagna C. Physiological load imposed on élite soccer referees during actual match play. *J Sports Med Phys Fitness* 2001;41(1):27-38.
- (32) Weston M, Castagna C, Impellizzeri FM, Rampinini E, Abt G. Analysis of physical match performance in English Premier League soccer referees with particular reference to first half and player work rates. *Journal of Science and Medicine in Sport* 2007;10(6):390-397.
- (33) Whaley MH, Brubaker PH, Otto RM, Armstrong LE. ACSM's guidelines for exercise testing and prescription. : Lippincott Williams & Wilkins; 2006.
- (34) Abt G, Lovell R. The use of individualized speed and intensity thresholds for determining the distance run at high-intensity in professional soccer. *J Sports Sci* 2009;27(9):893-898.
- (35) Esteve-Lanao J, San Juan AF, Earnest CP, Foster C, Lucia A. How do endurance runners actually train? Relationship with competition performance. *Med Sci Sports Exerc* 2005 Mar;37(3):496-504.
- (36) Davis JA. Anaerobic threshold: review of the concept and directions for future research. *Med Sci Sports Exerc* 1985 Feb;17(1):6-21.
- (37) Wasserman K. The anaerobic threshold measurement to evaluate exercise performance. *Am Rev Respir Dis* 1984;129(2P2):S35-S40.
- (38) Bangsbo J, Norregaard L, Thorso F. Activity profile of competition soccer. *Can J Sport Sci* 1991 Jun;16(2):110-116.
- (39) Krustup P, Bangsbo J. Physiological demands of top-class soccer refereeing in relation to physical capacity: effect of intense intermittent exercise training. *J Sports Sci* 2001;19(11):881-891.
- (40) Impellizzeri FM, Rampinini E, Coutts AJ, Sassi A, Marcora SM. Use of RPE-based training load in soccer. *Med Sci Sports Exerc* 2004 Jun;36(6):1042-1047.
- (41) Harley JA, Lovell RJ, Barnes CA, Portas MD, Weston M. The interchangeability of global positioning system and semiautomated vídeo-based performance data

during elite soccer match play. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 2011;25(8):2334-2336.

(42) Randers MB, Mujika I, Hewitt A, Santisteban J, Bischoff R, Solano R, et al. Application of four different football match analysis systems: A comparative study. *J Sports Sci* 2010;28(2):171-182.

(43) Pons E, García-Calvo T, Resta R, Blanco H, López del Campo R, Díaz García J, et al. A comparison of a GPS device and a multi-camera video technology during official soccer matches: Agreement between systems. *PloS one* 2019;14(8):e0220729.

(44) Núñez-Sánchez FJ, Bendala FJT, Vázquez MÁC, Moreno-Arrones LJS. Individualized speed threshold to analyze the game running demands in soccer players using GPS technology. *Retos: nuevas tendencias en educación física, deporte y recreación* 2017(32):130-133.

(45) Casamichana D, Castellano J, Castagna C. Comparing the physical demands of friendly matches and small-sided games in semiprofessional soccer players. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 2012;26(3):837-843.

(46) Arrones LS, Torreno N, Requena B, De Villarreal E, Casamichana D, Carlos J, et al. Match-play activity profile in professional soccer players during official games and the relationship between external and internal load. *J Sports Med Phys Fitness* 2014;55:1417-1422.

(47) Mendez-Villanueva A, Buchheit M, Simpson B, Bourdon P. Match play intensity distribution in youth soccer. *Int J Sports Med* 2013;34(02):101-110.

(48) Sparks M, Coetzee B, Gabbett JT. Variations in high-intensity running and fatigue during semi-professional soccer matches. *International Journal of Performance Analysis in Sport* 2016;16(1):122-132.

(49) Reilly T, Williams AM. *Introduction to science and soccer*. : Routledge; 2003.

(50) Faude O, Koch T, Meyer T. Straight sprinting is the most frequent action in goal situations in professional football. *J Sports Sci* 2012;30(7):625-631.

(51) Haugen T. Sprint conditioning of élite soccer players: worth the effort or lets just buy faster players. *Sport Performance & Science Reports* 2017;1(1):1-2.

(52) Moran CN, Yang N, Bailey ME, Tsiokanos A, Jamurtas A, MacArthur DG, et al. Association analysis of the ACTN3 R577X polymorphism and complex quantitative body composition and performance phenotypes in adolescent Greeks. *European Journal of Human Genetics* 2007;15(1):88-93.

(53) Wallace JL, Norton KI. Evolution of World Cup soccer final games 1966–2010: Game structure, speed and play patterns. *Journal of Science and Medicine in Sport* 2014;17(2):223-228.

(54) Barnes C, Archer D, Hogg B, Bush M, Bradley P. The evolution of physical and technical performance parameters in the English Premier League. *Int J Sports Med* 2014;35(13):1095-1100.

(55) Bush M, Barnes C, Archer DT, Hogg B, Bradley PS. Evolution of match performance parameters for various playing positions in the English Premier League. *Human movement science* 2015;39:1-11.

(56) Balagué Serre N, Torrents Martín C, POL CABANELLAS R, SEIRUL LO VARGAS F. Entrenamiento integrado. Principios dinámicos y aplicaciones. *Apunts: educacion fisica y deportes* 2014(116).

(57) Burkholder TJ. Mechanotransduction in skeletal muscle. *Front Biosci* 2007 Jan 1;12:174-191.

(58) Reche-Soto P, Cardona D, Díaz A, Gomez-Carmona C, Pino-Ortega J. AcelT y Player Load: Dos variables para la cuantificación de la carga neuromuscular. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y del Deporte* 2020;20(77):167-183.

- (59) Dalen T, Jørgen I, Gertjan E, Havard HG, Ulrik W. Player load, acceleration, and deceleration during forty-five competitive matches of élite soccer. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 2016;30(2):351-359.
- (60) Cummins C, Orr R, O'Connor H, West C. Global positioning systems (GPS) and microtechnology sensors in team sports: a systematic review. *Sports medicine* 2013;43(10):1025-1042.
- (61) Gomez-Piriz PT, Jiménez-Reyes P, Ruiz-Ruiz C. Relation between total body load and session rating of perceived exertion in professional soccer players. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 2011;25(8):2100-2103.
- (62) Gómez-Carmona CD, Pino-Ortega J, Sánchez-Ureña B, Ibáñez SJ, Rojas-Valverde D. Accelerometry-based external load Indicators in sport: too many options, same practical outcome? *International journal of environmental research and public health* 2019;16(24):5101.
- (63) Barrett S, Midgley AW, Towlson C, Garrett A, Portas M, Lovell R. Within-match PlayerLoad™ patterns during a simulated soccer match: potential implications for unit positioning and fatigue management. *International journal of sports physiology and performance* 2016;11(1):135-140.
- (64) Casamichana D, Castellano J, Calleja-Gonzalez J, San Roman J, Castagna C. Relationship between indicators of training load in soccer players. *J Strength Cond Res* 2013 Feb;27(2):369-374.
- (65) Barreira P, Robinson MA, Drust B, Nedergaard N, Raja Azidin, Raja Mohammed Firhad, Vanrenterghem J. Mechanical Player Load™ using trunk-mounted accelerometry in football: Is it a reliable, task-and player-specific observation? *J Sports Sci* 2017;35(17):1674-1681.
- (66) Reche-Soto P, Cardona-Nieto D, Diaz-Suarez A, Bastida-Castillo A, Gomez-Carmona C, Garcia-Rubio J, et al. Player Load and Metabolic Power Dynamics as Load Quantifiers in Soccer. *J Hum Kinet* 2019 Oct 18;69:259-269.

- (67) Russell M, Sparkes W, Northeast J, Cook CJ, Love TD, Bracken RM, et al. Changes in acceleration and deceleration capacity throughout professional soccer match-play. *Journal of Strength and Conditioning Research* 2016;30(10):2839-2844.
- (68) Sonderegger K, Tschopp M, Taube W. The challenge of evaluating the intensity of short actions in soccer: a new methodological approach using percentage acceleration. *PloS one* 2016;11(11):e0166534.
- (69) Osgnach C, Poser S, Bernardini R, Rinaldo R, di Prampero PE. Energy cost and metabolic power in élite soccer: a new match analysis approach. *Med Sci Sports Exerc* 2010 Jan;42(1):170-178.
- (70) Gaudino P, Iaia F, Alberti G, Strudwick A, Atkinson G, Gregson W. Monitoring training in élite soccer players: systematic bias between running speed and metabolic power data. *Int J Sports Med* 2013;34(11):963-968.
- (71) Castellano J, Casamichana D. Differences in the number of accelerations between small-sided games and friendly matches in soccer. *J Sports Sci Med* 2013 Mar 1;12(1):209-210.
- (72) Aughey RJ. Applications of GPS technologies to field sports. *International journal of sports physiology and performance* 2011;6(3):295-310.
- (73) Bradley PS, Di Mascio M, Peart D, Olsen P, Sheldon B. High-intensity activity profiles of élite soccer players at different performance levels. *J Strength Cond Res* 2010 Sep;24(9):2343-2351.
- (74) Hodgson C, Akenhead R, Thomas K. Time-motion analysis of acceleration demands of 4v4 small-sided soccer games played on different pitch sizes. *Human movement science* 2014;33:25-32.
- (75) Buchheit M, Al Haddad H, Simpson BM, Palazzi D, Bourdon PC, Di Salvo V, et al. Monitoring accelerations with GPS in football: time to slow down? *International journal of sports physiology and performance* 2014;9(3):442-445.

- (76) Akenhead R, Hayes PR, Thompson KG, French D. Diminutions of acceleration and deceleration output during professional football match play. *Journal of Science and Medicine in Sport* 2013;16(6):556-561.
- (77) Di Salvo V, Baron R, González-Haro C, Gormasz C, Pigozzi F, Bachl N. Sprinting analysis of élite soccer players during European Champions League and UEFA Cup matches. *J Sports Sci* 2010;28(14):1489-1494.
- (78) Harper DJ, Carling C, Kiely J. High-intensity acceleration and deceleration demands in élite team sports competitive match play: a systematic review and meta-analysis of observational studies. *Sports Medicine* 2019;49(12):1923-1947.
- (79) Nagahara R, Morin J, Koido M. Impairment of sprint mechanical properties in an actual soccer match: A pilot study. *International journal of sports physiology and performance* 2016;11(7):893-898.
- (80) Mallo J, Mena E, Nevado F, Paredes V. Physical Demands of Top-Class Soccer Friendly Matches in Relation to a Playing Position Using Global Positioning System Technology. *J Hum Kinet* 2015 Oct 14;47:179-188.
- (81) Varley MC, Aughey RJ. Acceleration profiles in élite Australian soccer. *Int J Sports Med* 2013;34(01):34-39.
- (82) Mero A, Komi PV. Electromyographic activity in sprinting at speeds ranging from sub-maximal to supra-maximal. *Med Sci Sports Exerc* 1987 Jun;19(3):266-274.
- (83) Verheul J, Nedergaard NJ, Pogson M, Lisboa P, Gregson W, Vanrenterghem J, et al. Biomechanical loading during running: can a two mass-spring-damper model be used to evaluate ground reaction forces for high-intensity tasks? *Sports biomechanics* 2021;20(5):571-582.
- (84) Harper DJ, Kiely J. Damaging nature of decelerations: Do we adequately prepare players? *BMJ open sport & exercise medicine* 2018;4(1):e000379.
- (85) Jeffreys I. *Developing speed. : Human Kinetics; 2013.*

- (86) Guilhem G, Doguet V, Hauraix H, Lacourpaille L, Jubeau M, Nordez A, et al. Muscle force loss and soreness subsequent to maximal eccentric contractions depend on the amount of fascicle strain in vivo. *Acta Physiologica* 2016;217(2):152-163.
- (87) Farup J, Rahbek S, Bjerre J, de Paoli F, Vissing K. Associated decrements in rate of force development and neural drive after maximal eccentric exercise. *Scand J Med Sci Sports* 2016;26(5):498-506.
- (88) Peñailillo L, Blazevich A, Numazawa H, Nosaka K. Rate of force development as a measure of muscle damage. *Scand J Med Sci Sports* 2015;25(3):417-427.
- (89) Di Prampero P, Fusi S, Sepulcri L, Morin J, Belli A, Antonutto G. Sprint running: a new energetic approach. *J Exp Biol* 2005;208(14):2809-2816.
- (90) Lakomy J, Haydon DT. The effects of enforced, rapid deceleration on performance in a multiple sprint test. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 2004;18(3):579-583.
- (91) Woolley B, Jakeman J, Faulkner J. Multiple sprint exercise with a short deceleration induces muscle damage and performance impairment in young, physically active males. *J Athl Enhancement* 2014;3:2.
- (92) De Hoyo M, Cohen DD, Sañudo B, Carrasco L, Álvarez-Mesa A, Del Ojo JJ, et al. Influence of football match time–motion parameters on recovery time course of muscle damage and jump ability. *J Sports Sci* 2016;34(14):1363-1370.
- (93) Gatin PB, Hunkin SL, Fahrner B, Robertson S. Deceleration, Acceleration, and Impacts Are Strong Contributors to Muscle Damage in Professional Australian Football. *J Strength Cond Res* 2019 Dec;33(12):3374-3383.
- (94) Russell M, Sparkes W, Northeast J, Cook C, Bracken RM, Kilduff LP. Relationships between match activities and peak power output and Creatine Kinase responses to professional reserve team soccer match-play. *Human movement science* 2016;45:96-101.

- (95) The association of components of training and match workload and hamstring strength asymmetry. 8th World Congress on Science and Football, Copenhagen; 2015.
- (96) Carling C, Gall F, Reilly T. Effects of physical efforts on injury in elite soccer. *Int J Sports Med* 2010;31(03):180-185.
- (97) Bloomfield J, Polman R, O'Donoghue P. Turning movements performed during FA Premier League soccer matches. *Journal of Sports Science and Medicine* 2007;6(Supp 10):9-10.
- (98) Ade J, Fitzpatrick J, Bradley PS. High-intensity efforts in elite soccer matches and associated movement patterns, technical skills and tactical actions. Information for position-specific training drills. *J Sports Sci* 2016;34(24):2205-2214.
- (99) Tierney PJ, Young A, Clarke ND, Duncan MJ. Match play demands of 11 versus 11 professional football using Global Positioning System tracking: Variations across common playing formations. *Human movement science* 2016;49:1-8.
- (100) Jaspers A, Kuyvenhoven JP, Staes F, Frencken WG, Helsen WF, Brink MS. Examination of the external and internal load indicators' association with overuse injuries in professional soccer players. *Journal of science and medicine in sport* 2018;21(6):579-585.
- (101) Hyldahl RD, Chen TC, Nosaka K. Mechanisms and Mediators of the Skeletal Muscle Repeated Bout Effect. *Exerc Sport Sci Rev* 2017 Jan;45(1):24-33.
- (102) Edwards WB. Modeling overuse injuries in sport as a mechanical fatigue phenomenon. *Exerc Sport Sci Rev* 2018;46(4):224-231.
- (103) McLellan CP, Lovell DI, Gass GC. Creatine kinase and endocrine responses of elite players pre, during, and post rugby league match play. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 2010;24(11):2908-2919.

- (104) Hatamoto Y, Yamada Y, Sagayama H, Higaki Y, Kiyonaga A, Tanaka H. The relationship between running velocity and the energy cost of turning during running. *PloS one* 2014;9(1):e81850.
- (105) Ryschon T, Fowler M, Wysong R, Anthony A, Balaban R. Efficiency of human skeletal muscle in vivo: comparison of isometric, concentric, and eccentric muscle action. *J Appl Physiol* 1997;83(3):867-874.
- (106) Dubois R, Paillard T, Lyons M, McGrath D, Maurelli O, Prioux J. Running and Metabolic Demands of Élite Rugby Union Assessed Using Traditional, Metabolic Power, and Heart Rate Monitoring Methods. *J Sports Sci Med* 2017 Mar 1;16(1):84-92.
- (107) Stevens TG, De Ruiter CJ, Van Maurik D, Van Lierop CJ, Savelsbergh GJ, Beek PJ. Measured and estimated energy cost of constant and shuttle running in soccer players. *Med Sci Sports Exerc* 2015 Jun;47(6):1219-1224.
- (108) Brown DM, Dwyer DB, Robertson SJ, Gustin PB. Metabolic power method: Underestimation of energy expenditure in field-sport movements using a global positioning system tracking system. *International journal of sports physiology and performance* 2016;11(8):1067-1073.
- (109) Hoppe MW, Baumgart C, Slomka M, Polglaze T, Freiwald J. Variability of Metabolic Power Data in Élite Soccer Players During Pre-Season Matches. *J Hum Kinet* 2017 Aug 1;58:233-245.
- (110) Hader K, Mendez-Villanueva A, Palazzi D, Ahmaidi S, Buchheit M. Metabolic power requirement of change of direction speed in young soccer players: not all is what it seems. *PloS one* 2016;11(3):e0149839.
- (111) Bowen L, Gross AS, Gimpel M, Li FX. Accumulated workloads and the acute:chronic workload ratio relate to injury risk in élite youth football players. *Br J Sports Med* 2017 Mar;51(5):452-459.

- (112) Duhig S, Shield AJ, Opar D, Gabbett TJ, Ferguson C, Williams M. Effect of high-speed running on hamstring strain injury risk. *Br J Sports Med* 2016 Dec;50(24):1536-1540.
- (113) Buchheit M, Simpson BM. Player-tracking technology: half-full or half-empty glass? *International journal of sports physiology and performance* 2017;12(s2):S2-35-S2-41.
- (114) Girard O, Micallef J, Millet GP. Changes in spring-mass model characteristics during repeated running sprints. *Eur J Appl Physiol* 2011;111(1):125-134.
- (115) di Prampero PE, Osgnach C. Metabolic power in team sports-part 1: an update. *Int J Sports Med* 2018;39(08):581-587.
- (116) Polglaze T, Hoppe MW. Metabolic power: A step in the right direction for team sports. *International journal of sports physiology and performance* 2019;14(3):407-411.
- (117) Vanhatalo A, Jones AM, Burnley M. Application of critical power in sport. *International journal of sports physiology and performance* 2011;6(1):128-136.
- (118) Jones AM, Vanhatalo A, Burnley M, Morton RH, Poole DC. Critical power: implications for determination of  $\dot{V}O_{2max}$  and exercise tolerance. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 2010;42(10):1876-1890.
- (119) Poole DC, Burnley M, Vanhatalo A, Rossiter HB, Jones AM. Critical Power: An Important Fatigue Threshold in Exercise Physiology. *Med Sci Sports Exerc* 2016 Nov;48(11):2320-2334.
- (120) Polglaze T, Hogan C, Dawson B, Buttfield A, Osgnach C, Lester L, et al. Classification of intensity in team sport activity. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 2018;50(7):1487-1494.
- (121) Hopkins WG, Marshall SW, Batterham AM, Hanin J. Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Med Sci Sports Exerc* 2009 Jan;41(1):3-13.

- (122) Little T, Williams A. Specificity of acceleration, maximum speed and agility in professional soccer players. : Routledge London, UK.; 2003.
- (123) Reilly T, Reilly N, Secher P. Football. *Physiology of sports* 1990;371-425.
- (124) Behm DG, Button DC, Barbour G, Butt JC, Young WB. Conflicting effects of fatigue and potentiation on voluntary force. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 2004;18(2):365-372.
- (125) Hoff J, Gran A, Helgerud J. Maximal strength training improves aerobic endurance performance. *Scand J Med Sci Sports* 2002;12(5):288-295.
- (126) Wisloff U, Castagna C, Helgerud J, Jones R, Hoff J. Strong correlation of maximal squat strength with sprint performance and vertical jump height in elite soccer players. *Br J Sports Med* 2004 Jun;38(3):285-288.
- (127) Østerås H, Helgerud J, Hoff J. Maximal strength-training effects on force-velocity and force-power relationships explain increases in aerobic performance in humans. *Eur J Appl Physiol* 2002;88(3):255-263.
- (128) Owen A, Dunlop G, Rouissi M, Chtara M, Paul D, Zouhal H, et al. The relationship between lower-limb strength and match-related muscle damage in elite level professional European soccer players. *J Sports Sci* 2015;33(20):2100-2105.
- (129) Tomlin DL, Wenger HA. The relationship between aerobic fitness and recovery from high intensity intermittent exercise. *Sports Medicine* 2001;31(1):1-11.
- (130) Heggelund J, Fimland MS, Helgerud J, Hoff J. Maximal strength training improves work economy, rate of force development and maximal strength more than conventional strength training. *Eur J Appl Physiol* 2013;113(6):1565-1573.
- (131) Helgerud J, Engen LC, Wisloff U, Hoff J. Aerobic endurance training improves soccer performance. *Med Sci Sports Exerc* 2001;33(11):1925-1931.
- (132) Hoff J, Wisloff U, Engen LC, Kemi OJ, Helgerud J. Soccer specific aerobic endurance training. *Br J Sports Med* 2002 Jun;36(3):218-221.

- (133) Draganidis D, Chatzinikolaou A, Avloniti A, Barbero-Álvarez JC, Mohr M, Malliou P, et al. Recovery kinetics of knee flexor and extensor strength after a football match. *PLoS One* 2015;10(6):e0128072.
- (134) Johnston RJ, Watsford ML, Austin DJ, Pine MJ, Spurrs RW. An examination of the relationship between movement demands and rating of perceived exertion in Australian footballers. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 2015;29(7):2026-2033.
- (135) Rampinini E, Coutts AJ, Castagna C, Sassi R, Impellizzeri F. Variation in top level soccer match performance. *Int J Sports Med* 2007;28(12):1018-1024.
- (136) Di Mascio M, Bradley PS. Evaluation of the most intense high-intensity running period in English FA premier league soccer matches. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 2013;27(4):909-915.
- (137) Vilar L, Araújo D, Davids K, Button C. The role of ecological dynamics in analysing performance in team sports. *Sports Medicine* 2012;42(1):1-10.
- (138) Edgecomb S, Norton K. Comparison of global positioning and computer-based tracking systems for measuring player movement distance during Australian football. *Journal of science and Medicine in Sport* 2006;9(1-2):25-32.
- (139) Sarmiento H, Pereira A, Matos N, Campaniço J, Anguera TM, Leitão J. English premier league, spaiñs la liga and italýs seriés a–What’s different? *International Journal of Performance Analysis in Sport* 2013;13(3):773-789.
- (140) LAGO PEÑAS C. ¿ CÓMO SERÁ EL FÚTBOL EN 2026? UN ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN DEL JUEGO DESDE 1966. *INDICE Página* 2015;1889:5050.
- (141) Rivilla-Garcia J, Calvo LC, Jimenez-Rubio S, Paredes-Hernandez V, Munoz A, van den Tillaar R, et al. Characteristics of Very High Intensity Runs of Soccer Players in Relation to their Playing Position and Playing Half in the 2013-14 Spanish La Liga Season. *J Hum Kinet* 2019 Mar 27;66:213-222.

- (142) Dupont G, Nedelec M, McCall A, McCormack D, Berthoin S, Wisløff U. Effect of 2 soccer matches in a week on physical performance and injury rate. *Am J Sports Med* 2010;38(9):1752-1758.
- (143) Dellal A, Chamari K, Owen A. How and When to Use an Injury Prevention Intervention in Soccer. *Muscle injuries in sport medicine* 2013:241-273.
- (144) Ekstrand J, Hägglund M, Waldén M. Epidemiology of muscle injuries in professional football (soccer). *Am J Sports Med* 2011;39(6):1226-1232.
- (145) Ekstrand J, Walden M, Hagglund M. Hamstring injuries have increased by 4% annually in men's professional football, since 2001: a 13-year longitudinal analysis of the UEFA Élite Club injury study. *Br J Sports Med* 2016 Jun;50(12):731-737.
- (146) McCall A, Carling C, Nedelec M, Davison M, Le Gall F, Berthoin S, et al. Risk factors, testing and preventative strategies for non-contact injuries in professional football: current perceptions and practices of 44 teams from various premier leagues. *Br J Sports Med* 2014 Sep;48(18):1352-1357.
- (147) Ekstrand J, Healy JC, Walden M, Lee JC, English B, Hagglund M. Hamstring muscle injuries in professional football: the correlation of MRI findings with return to play. *Br J Sports Med* 2012 Feb;46(2):112-117.
- (148) Werner J, Hagglund M, Ekstrand J, Walden M. Hip and groin time-loss injuries decreased slightly but injury burden remained constant in men's professional football: the 15-year prospective UEFA Élite Club Injury Study. *Br J Sports Med* 2019 May;53(9):539-546.
- (149) Esteve E, Rathleff MS, Bagur-Calafat C, Urrutia G, Thorborg K. Prevention of groin injuries in sports: a systematic review with meta-analysis of randomised controlled trials. *Br J Sports Med* 2015 Jun;49(12):785-791.
- (150) Thorborg K, Branci S, Nielsen MP, Tang L, Nielsen MB, Hölmich P. Eccentric and isometric hip adduction strength in male soccer players with and without adductor-related groin pain: an assessor-blinded comparison. *Orthopaedic journal of sports medicine* 2014;2(2):2325967114521778.

- (151) Walden M, Hagglund M, Magnusson H, Ekstrand J. ACL injuries in men's professional football: a 15-year prospective study on time trends and return-to-play rates reveals only 65% of players still play at the top level 3 years after ACL rupture. *Br J Sports Med* 2016 Jun;50(12):744-750.
- (152) Klein C, Henke T, Platen P. Injuries in football (soccer)—a systematic review of epidemiology and aetiological aspects. *German Journal of Exercise and Sport Research* 2018;48(3):309-322.
- (153) Grassi A, Smiley SP, Di Sarsina TR, Signorelli C, Muccioli GMM, Bondi A, et al. Mechanisms and situations of anterior cruciate ligament injuries in professional male soccer players: a YouTube-based video analysis. *European Journal of Orthopaedic Surgery & Traumatology* 2017;27(7):967-981.
- (154) Shultz SJ, Schmitz RJ, Benjaminse A, Collins M, Ford K, Kulas AS. ACL Research retreat VII: an update on anterior cruciate ligament injury risk factor identification, screening, and prevention: March 19–21, 2015; Greensboro, NC. *Journal of athletic training* 2015;50(10):1076-1093.
- (155) Noya Salces J, Gómez-Carmona PM, Gracia-Marco L, Moliner-Urdiales D, Sillero-Quintana M. Epidemiology of injuries in First Division Spanish football. *J Sports Sci* 2014;32(13):1263-1270.
- (156) Fuller CW, Ekstrand J, Junge A, Andersen TE, Bahr R, Dvorak J, et al. Consensus statement on injury definitions and data collection procedures in studies of football (soccer) injuries. *Scand J Med Sci Sports* 2006;16(2):83-92.
- (157) Hawkins RD, Hulse MA, Wilkinson C, Hodson A, Gibson M. The association football medical research programme: an audit of injuries in professional football. *Br J Sports Med* 2001 Feb;35(1):43-47.
- (158) Murray NB, Gabbett TJ, Townshend AD. Relationship between preseason training load and in-season availability in elite Australian football players. *International journal of sports physiology and performance* 2017;12(6):749-755.

(159) Gabbett TJ. The training-injury prevention paradox: should athletes be training smarter and harder? *Br J Sports Med* 2016 Mar;50(5):273-280.

(160) Alcantarilla-Pedrosa M, Álvarez-Santana D, Hernández-Sánchez S, Yañez-Álvarez A, Albornoz-Cabello M. Assessment of external load during matches in two consecutive seasons using the mediacoach® vídeo analysis system in a spanish professional soccer team: implications for injury prevention. *International journal of environmental research and public health* 2021;18(3):1128.

(161) Eliakim E, Morgulev E, Lidor R, Meckel Y. Estimation of injury costs: financial damage of English Premier League teams' underachievement due to injuries. *BMJ Open Sport & Exercise Medicine* 2020;6(1):e000675.

(162) Hagglund M, Walden M, Magnusson H, Kristenson K, Bengtsson H, Ekstrand J. Injuries affect team performance negatively in professional football: an 11-year follow-up of the UEFA Champions League injury study. *Br J Sports Med* 2013 Aug;47(12):738-742.

(163) Brownstein CG, Dent JP, Parker P, Hicks KM, Howatson G, Goodall S, et al. Etiology and recovery of neuromuscular fatigue following competitive soccer match-play. *Frontiers in physiology* 2017;8:831.

(164) Jiménez-Reyes P, Samozino P, Brughelli M, Morin J. Effectiveness of an individualized training based on force-velocity profiling during jumping. *Frontiers in physiology* 2017;7:677.

(165) Jiménez-Reyes P, Samozino P, Morin J. Optimized training for jumping performance using the force-velocity imbalance: Individual adaptation kinetics. *PLoS One* 2019;14(5):e0216681.

(166) Comfort P, Stewart A, Bloom L, Clarkson B. Relationships between strength, sprint, and jump performance in well-trained youth soccer players. *J Strength Cond Res* 2014 Jan;28(1):173-177.

(167) Loturco I, Gil S, de Souza Laurino, Cristiano Frota, Roschel H, Kobal R, Abad CCC, et al. Differences in muscle mechanical properties between elite power and

endurance athletes: a comparative study. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 2015;29(6):1723-1728.

(168) Loturco I, D'Angelo RA, Fernandes V, Gil S, Kobal R, Cal Abad CC, et al. Relationship between sprint ability and loaded/unloaded jump tests in elite sprinters. *J Strength Cond Res* 2015 Mar;29(3):758-764.

(169) Loturco I, Nakamura FY, Kobal R, Gil S, Abad CCC, Cuniyochi R, et al. Training for power and speed: Effects of increasing or decreasing jump squat velocity in elite young soccer players. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 2015;29(10):2771-2779.

(170) Loturco I, Jeffreys I, Kobal R, Cal Abad CC, Ramirez-Campillo R, Zanetti V, et al. Acceleration and Speed Performance of Brazilian Elite Soccer Players of Different Age-Categories. *J Hum Kinet* 2018 Oct 15;64:205-218.

(171) Balsalobre-Fernández C, Glaister M, Lockey RA. The validity and reliability of an iPhone app for measuring vertical jump performance. *J Sports Sci* 2015;33(15):1574-1579.

(172) Gallardo-Fuentes F, Gallardo-Fuentes J, Ramírez-Campillo R, Balsalobre-Fernández C, Martínez C, Caniuqueo A, et al. Intersession and intrasession reliability and validity of the My Jump app for measuring different jump actions in trained male and female athletes. *Journal of strength and conditioning research* 2016;30(7):2049-2056.

(173) Samozino P, Morin J, Hintzy F, Belli A. A simple method for measuring force, velocity and power output during squat jump. *J Biomech* 2008;41(14):2940-2945.

(174) Morin J, Bourdin M, Edouard P, Peyrot N, Samozino P, Lacour J. Mechanical determinants of 100-m sprint running performance. *Eur J Appl Physiol* 2012;112(11):3921-3930.

(175) Garcia-Ramos A, Haff GG, Feriche B, Jaric S. Effects of different conditioning programmes on the performance of high-velocity soccer-related tasks: systematic

review and meta-analysis of controlled trials. *International Journal of Sports Science & Coaching* 2018;13(1):129-151.

(176) de Hoyo M, Pozzo M, Sañudo B, Carrasco L, Gonzalo-Skok O, Domínguez-Cobo S, et al. Effects of a 10-week in-season eccentric-overload training program on muscle-injury prevention and performance in junior elite soccer players. *International journal of sports physiology and performance* 2015;10(1):46-52.

(177) Morin J, Samozino P. Interpreting power-force-velocity profiles for individualized and specific training. *International journal of sports physiology and performance* 2016;11(2):267-272.

(178) Haugen TA, Breitschadel F, Samozino P. Power-Force-Velocity Profiling of Sprinting Athletes: Methodological and Practical Considerations When Using Timing Gates. *J Strength Cond Res* 2020 Jun;34(6):1769-1773.

(179) Samozino P, Rabita G, Dorel S, Slawinski J, Peyrot N, Saez de Villarreal E, et al. A simple method for measuring power, force, velocity properties, and mechanical effectiveness in sprint running. *Scand J Med Sci Sports* 2016;26(6):648-658.

(180) Escamilla-Galindo VL, Estal-Martinez A, Adamczyk JG, Brito CJ, Arnaiz-Lastras J, Sillero-Quintana M. Skin temperature response to unilateral training measured with infrared thermography. *J Exerc Rehabil* 2017 Oct 30;13(5):526-534.

(181) Gómez-Carmona P, Fernández-Cuevas I, Sillero-Quintana M, Arnaiz-Lastras J, Navandar A. Infrared thermography protocol on reducing the incidence of soccer injuries. *J Sport Rehab* 2020;29(8):1222-1227.

(182) Requena-Bueno L, Priego-Quesada JI, Jimenez-Perez I, Gil-Calvo M, Pérez-Soriano P. Validation of ThermoHuman automatic thermographic software for assessing foot temperature before and after running. *J Therm Biol* 2020;92:102639.

(183) Fernández-Cuevas I, Lastras JA, Galindo VE, Carmona PG. Infrared thermography for the detection of injury in sports medicine. Application of infrared thermography in sports science: Springer; 2017. p. 81-109.

- (184) Moreira DG, Costello JT, Brito CJ, Adamczyk JG, Ammer K, Bach AJ, et al. Thermographic imaging in sports and exercise medicine: A Delphi study and consensus statement on the measurement of human skin temperature. *J Therm Biol* 2017;69:155-162.
- (185) Bennell K, Talbot R, Wajswelner H, Techovanich W, Kelly D, Hall AJ. Intra-rater and inter-rater reliability of a weight-bearing lunge measure of ankle dorsiflexion. *Australian Journal of physiotherapy* 1998;44(3):175-180.
- (186) Hall EA, Docherty CL. Validity of clinical outcome measures to evaluate ankle range of motion during the weight-bearing lunge test. *Journal of science and medicine in sport* 2017;20(7):618-621.
- (187) Alfaro Santafé JJ, Gómez Bernal A, Alfaro Santafé JV, Lanuza Cerzócimo C, Escamilla Galindo VL, Almenar Arasanz AJ. Relación de Lunge y Jack Test en la apófisis calcánea (Talalgia de Sever) en futbolistas jóvenes. 2017.
- (188) Andrzejewski M, Chmura J, Pluta B, Strzelczyk R, Kasprzak A. Analysis of sprinting activities of professional soccer players. *J Strength Cond Res* 2013 Aug;27(8):2134-2140.
- (189) Gil SM, Gil J, Ruiz F, Irazusta A, Irazusta J. Physiological and anthropometric characteristics of young soccer players according to their playing position: relevance for the selection process. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 2007;21(2):438-445.
- (190) Ferro A, Villacieros J, Floria P, Graupera JL. Analysis of speed performance in soccer by a playing position and a sports level using a laser system. *J Hum Kinet* 2014 Dec 30;44:143-153.
- (191) Mujika I, Santisteban J, Castagna C. In-season effect of short-term sprint and power training programs on elite junior soccer players. *J Strength Cond Res* 2009 Dec;23(9):2581-2587.
- (192) Stanton R, Kean CO, Scanlan AT. My Jump for vertical jump assessment. *Br J Sports Med* 2015 Sep;49(17):1157-1158.

- (193) Stanton R, Wintour S, Kean CO. Validity and intra-rater reliability of MyJump app on iPhone 6s in jump performance. *Journal of science and medicine in sport* 2017;20(5):518-523.
- (194) Romero-Franco N, Jiménez-Reyes P, Castaño-Zambudio A, Capelo-Ramírez F, Rodríguez-Juan JJ, González-Hernández J, et al. Sprint performance and mechanical outputs computed with an iPhone app: Comparison with existing reference methods. *European journal of sport science* 2017;17(4):386-392.
- (195) Vardasca R, Ring E, Plassmann P, Jones CD. Thermal symmetry of the upper and lower extremities in healthy subjects. *Thermology international* 2012;22(2):53-60.
- (196) Uematsu S, Edwin DH, Jankel WR, Kozikowski J, Trattner M. Quantification of thermal asymmetry: Part 1: Normal values and reproducibility. *J Neurosurg* 1988;69(4):552-555.
- (197) Marins JCB, Fernandes AA, Cano SP, Moreira DG, da Silva FS, Costa CMA, et al. Thermal body patterns for healthy Brazilian adults (male and female). *J Therm Biol* 2014;42:1-8.
- (198) Moreno-Pérez V, Soler A, Ansa A, López-Samanes Á, Madruga-Parera M, Beato M, et al. Acute and chronic effects of competition on ankle dorsiflexion ROM in professional football players. *European journal of sport science* 2020;20(1):51-60.
- (199) Cronin JB, Hansen KT. Strength and power predictors of sports speed. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 2005;19(2):349-357.
- (200) Nilsson J, Thorstensson A. Ground reaction forces at different speeds of human walking and running. *Acta Physiol Scand* 1989;136(2):217-227.
- (201) Marcote-Pequeño R, García-Ramos A, Cuadrado-Peñafiel V, González-Hernández JM, Gómez MÁ, Jiménez-Reyes P. Association between the force–velocity profile and performance variables obtained in jumping and sprinting in elite female soccer players. *International journal of sports physiology and performance* 2019;14(2):209-215.

- (202) Buchheit M, Samozino P, Glynn JA, Michael BS, Al Haddad H, Mendez-Villanueva A, et al. Mechanical determinants of acceleration and maximal sprinting speed in highly trained young soccer players. *J Sports Sci* 2014;32(20):1906-1913.
- (203) Hunter JP, Marshall RN, McNair PJ. Relationships between ground reaction force impulse and kinematics of sprint-running acceleration. *Journal of applied biomechanics* 2005;21(1):31-43.
- (204) Lauersen JB, Bertelsen DM, Andersen LB. The effectiveness of exercise interventions to prevent sports injuries: a systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. *Br J Sports Med* 2014 Jun;48(11):871-877.
- (205) Meeuwisse WH, Tyreman H, Hagel B, Emery C. A dynamic model of etiology in sport injury: the recursive nature of risk and causation. *Clin J Sport Med* 2007 May;17(3):215-219.
- (206) Podlog L, Eklund RC. The psychosocial aspects of a return to sport following serious injury: a review of the literature from a self-determination perspective. *Psychol Sport Exerc* 2007;8(4):535-566.
- (207) Soligard T, Steffen K, Palmer D, Alonso JM, Bahr R, Lopes AD, et al. Sports injury and illness incidence in the Rio de Janeiro 2016 Olympic Summer Games: A prospective study of 11274 athletes from 207 countries. *Br J Sports Med* 2017 Sep;51(17):1265-1271.
- (208) Nielsen RO, Bertelsen ML, Moller M, Hulme A, Windt J, Verhagen E, et al. Training load and structure-specific load: applications for sport injury causality and data analyses. *Br J Sports Med* 2018 Aug;52(16):1016-1017.
- (209) Jiménez-Reyes P, Samozino P, Morin J. Optimized training for jumping performance using the force-velocity imbalance: Individual adaptation kinetics. *PLoS One* 2019;14(5):e0216681.
- (210) Sinovas MC, Hernández MLR, Cerezal AB. Epidemiology of injuries in young Spanish soccer players according to the playing positions. *Retos: nuevas tendencias en educación física, deporte y recreación* 2020(38):459-464.

- (211) Bastos FN, Vanderlei FM, Vanderlei LCM, Júnior JN, Pastre CM. Investigation of characteristics and risk factors of sports injuries in young soccer players: a retrospective study. *International archives of medicine* 2013;6(1):1-6.
- (212) Malone S, Owen A, Mendes B, Hughes B, Collins K, Gabbett TJ. High-speed running and sprinting as an injury risk factor in soccer: Can well-developed physical qualities reduce the risk? *Journal of science and medicine in sport* 2018;21(3):257-262.
- (213) Dellal A, Lago-Penas C, Rey E, Chamari K, Orhant E. The effects of a congested fixture period on physical performance, technical activity and injury rate during matches in a professional soccer team. *Br J Sports Med* 2015 Mar;49(6):390-394.
- (214) Malone S, Hughes B, Doran DA, Collins K, Gabbett TJ. Can the workload–injury relationship be moderated by improved strength, speed and repeated-sprint qualities? *Journal of science and medicine in sport* 2019;22(1):29-34.
- (215) CarlosLago-Peñas AD. Ball possession strategies in elite soccer according to the evolution of the match-score: the influence of situational variables. *Journal of human kinetics* 2010;25:93-100.
- (216) Jones P, James N, Mellalieu SD. Possession as a performance indicator in soccer. *International Journal of Performance Analysis in Sport* 2004;4(1):98-102.
- (217) Fereday K, Hills SP, Russell M, Smith J, Cunningham DJ, Shearer D, et al. A comparison of rolling averages versus discrete time epochs for assessing the worst-case scenario locomotor demands of professional soccer match-play. *Journal of Science and Medicine in Sport* 2020;23(8):764-769.
- (218) Sporis G, Jovanovic M, Omrcen D, Matkovic B. Can the official soccer game be considered the most important contribution to player's physical fitness level? *J Sports Med Phys Fitness* 2011 Sep;51(3):374-380.
- (219) Anderson L, Orme P, Di Michele R, Close GL, Milsom J, Morgans R, et al. Quantification of seasonal-long physical load in soccer players with different starting status from the English Premier League: Implications for maintaining squad physical

fitness. *International journal of sports physiology and performance* 2016;11(8):1038-1046.

(220) Kalapotharakos V, Strimpakos N, Vithoulka I, Karvounidis C. Physiological characteristics of elite professional soccer teams of different ranking. *J Sports Med Phys Fitness* 2006;46(4):515.

(221) Lucia A, Hoyos J, Perez M, Chicharro JL. Heart rate and performance parameters in elite cyclists: a longitudinal study. *Med Sci Sports Exerc* 2000 Oct;32(10):1777-1782.

(222) Baptista I, Johansen D, Seabra A, Pettersen SA. Position specific player load during match-play in a professional football club. *PloS one* 2018;13(5):e0198115.

(223) Gillen JB, Gibala MJ. Is high-intensity interval training a time-efficient exercise strategy to improve health and fitness? *Applied physiology, nutrition, and metabolism* 2014;39(3):409-412.

(224) Lorenzo-Martinez M, Kalén A, Rey E, López-Del Campo R, Resta R, Lago-Peñas C. Do elite soccer players cover less distance when their team spent more time in possession of the ball? *Science and Medicine in Football* 2021:1-7.

(225) Carling C. Influence of opposition team formation on physical and skill-related performance in a professional soccer team. *European Journal of Sport Science* 2011;11(3):155-164.

(226) Rampinini E, Impellizzeri FM, Castagna C, Coutts AJ, Wisløff U. Technical performance during soccer matches of the Italian Serie A league: Effect of fatigue and competitive level. *Journal of science and medicine in sport* 2009;12(1):227-233.

(227) Pons E, Ponce-Bordón JC, Díaz-García J, López del Campo R, Resta R, Peirau X, et al. A Longitudinal Exploration of Match Running Performance during a Football Match in the Spanish La Liga: A Four-Season Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2021;18(3):1133.

- (228) Adams D, Morgans R, Sacramento J, Morgan S, Williams MD. Successful short passing frequency of defenders differentiates between top and bottom four English Premier League teams. *International Journal of Performance Analysis in Sport* 2013;13(3):653-668.
- (229) Tenga A, Holme I, Ronglan LT, Bahr R. Effect of playing tactics on achieving score-box possessions in a random series of team possessions from Norwegian professional soccer matches. *J Sports Sci* 2010;28(3):245-255.
- (230) Tenga A, Holme I, Ronglan LT, Bahr R. Effect of playing tactics on goal scoring in Norwegian professional soccer. *J Sports Sci* 2010;28(3):237-244.
- (231) Tenga A, Ronglan LT, Bahr R. Measuring the effectiveness of offensive match-play in professional soccer. *European Journal of Sport Science* 2010;10(4):269-277.
- (232) Redwood-Brown A. Passing patterns before and after goal scoring in FA Premier League Soccer. *International Journal of Performance Analysis in Sport* 2008;8(3):172-182.
- (233) Lago-Ballesteros J, Lago-Peñas C, Rey E. The effect of playing tactics and situational variables on achieving score-box possessions in a professional soccer team. *J Sports Sci* 2012;30(14):1455-1461.
- (234) Ballesteros JL, Peñas CL, Eiras ER, Martinez LC, Lago ED. El éxito ofensivo en el fútbol de élite: influencia de los modelos tácticos empleados y de las variables situacionales. *European Journal of Human Movement* 2012(28):145-170.
- (235) Redwood-Brown A, O'Donoghue P, Robinson G, Neilson P. The effect of score-line on work-rate in English FA Premier League soccer. *International Journal of Performance Analysis in Sport* 2012;12(2):258-271.
- (236) Lago-Peñas C, Kalén A, Lorenzo-Martinez M, López-Del Campo R, Resta R, Rey E. Do élite soccer players cover longer distance when losing? Differences between attackers and defenders. *International Journal of Sports Science & Coaching* 2021;16(3):840-847.

- (237) Nobari H, Oliveira R, Brito JP, Pérez-Gómez J, Clemente FM, Ardigò LP. Comparison of running distance variables and body load in competitions based on their results: a full-season study of professional soccer players. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2021;18(4):2077.
- (238) Weimar D, Wicker P. Moneyball revisited: Effort and team performance in professional soccer. *Journal of Sports Economics* 2017;18(2):140-161.
- (239) Memmert D, Lemmink KA, Sampaio J. Current approaches to tactical performance analyses in soccer using position data. *Sports Medicine* 2017;47(1):1-10.
- (240) Low B, Coutinho D, Gonçalves B, Rein R, Memmert D, Sampaio J. A systematic review of collective tactical behaviours in football using positional data. *Sports Medicine* 2020;50(2):343-385.
- (241) Clemente F, Santos-Couceiro M, Lourenço-Martins F, Sousa R, Figueiredo A. Intelligent systems for analyzing soccer games: The weighted centroid. *Ingeniería e Investigación* 2014;34(3):70-75.
- (242) Suarez-Arrones L, De Alba B, Röhl M, Torreno I, Strütt S, Freyler K, et al. Player monitoring in professional soccer: spikes in acute: chronic workload are dissociated from injury occurrence. *Frontiers in sports and active living* 2020;2:75.
- (243) Bowen L, Gross AS, Gimpel M, Bruce-Low S, Li FX. Spikes in acute:chronic workload ratio (ACWR) associated with a 5-7 times greater injury rate in English Premier League football players: a comprehensive 3-year study. *Br J Sports Med* 2020 Jun;54(12):731-738.

## Capítulo 10.

### 1. Anexo I: Informe dictamen del Comité de Ética de Investigación

#### INFORME FAVORABLE DEL COMITÉ DE ÉTICA DE INVESTIGACIÓN DE ARAGÓN.

 <b>GOBIERNO DE ARAGON</b> <small>Departamento de Sanidad</small>	<b>Informe Dictamen Favorable</b> <b>Proyecto Investigación Biomédica</b> C.P. - C.I. PI18/212 25 de julio de 2018
---	---

Dña. María González Hinjos, Secretaria del CEIC Aragón (CEICA)

**CERTIFICA**

**1º.** Que el CEIC Aragón (CEICA) en su reunión del día 25/07/2018, Acta Nº 14/2018 ha evaluado la propuesta del investigador referida al estudio:

**Título: Relación entre las variables del sprint y del salto en jugadores profesionales de fútbol españoles**

**Investigador Principal: Víctor Escamilla Galindo**

**Versión protocolo: Versión 1, de fecha 14/06/2018**

**Versión documento de información y consentimiento: Versión 2, de fecha 09/07/2018**

**2º.** Considera que

- El proyecto se plantea siguiendo los requisitos de la Ley 14/2007, de 3 de julio, de Investigación Biomédica y su realización es pertinente.
- Se cumplen los requisitos necesarios de idoneidad del protocolo en relación con los objetivos del estudio y están justificados los riesgos y molestias previsibles para el sujeto.
- Es adecuado el tratamiento de los datos y la documentación para obtener el consentimiento informado.
- El alcance de las compensaciones económicas previstas no interfiere con el respeto a los postulados éticos.
- La capacidad de los Investigadores y los medios disponibles son apropiados para llevar a cabo el estudio.

**3º.** Por lo que este CEIC emite **DICTAMEN FAVORABLE a la realización del proyecto.**

Lo que firmo en Zaragoza

**GONZALEZ HINJOS MARIA** - Firmado digitalmente por GONZALEZ HINJOS MARIA - DNI 03857456B Fecha: 2018.07.27 09:04:12 +0200'  
**DNI 03857456B**

María González Hinjos  
Secretaria del CEIC Aragón (CEICA)

---

Tel. 976 71 5836 Fax. 976 71 55 54 Correo electrónico: mgonzalezh.ceic@aragon.es

Página 1 de 1

2. Anexo II: Ficha de información de la evaluación y consentimiento informado sobre las pruebas de termografía

Primera hoja de la ficha de evaluación termográfica TISEM

### FICHA DE EVALUACIÓN TERMOGRÁFICA

FOTOGRAFÍAS DE LA \_\_\_\_ A LA \_\_\_\_

NOMBRE \_\_\_\_\_

Fecha \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_ Hora \_\_\_\_:\_\_\_\_ Temperatura en la sala \_\_\_\_°C exterior \_\_\_\_°C Tiempo \_\_\_\_  
 Humedad \_\_\_\_% presión atmosférica \_\_\_\_ T° timpánica \_\_\_\_ Sals \_\_\_\_ m<sup>2</sup> TAR \_\_\_\_°C  
 Tipo de piel \_\_\_\_ Deporte \_\_\_\_ Vello  Varices: si  Lesionado: si  no  Fecha \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

ULTIMA SESIÓN

Hace \_\_\_\_ horas  
Tipo de ejercicio e intensidad (Borg):

OBJETIVO SESIÓN

Resistencia  Velocidad  
 Fuerza  Flexibilidad  
 Coordinación  Agilidad  
 Técnico-tact  Variado

INTENSIDAD

Muy intenso  
 Intenso  
 Moderado  
 Ligero  
 Muy ligero  
 Descanso

HORAS DE DESCANSO

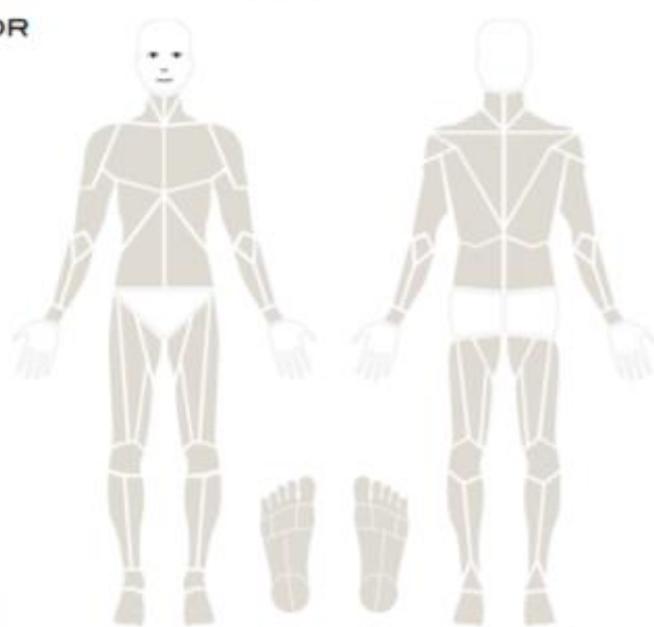
\_\_\_\_:\_\_\_\_  
 \_\_\_\_:\_\_\_\_  
**TOTAL**  
 \_\_\_\_:\_\_\_\_

**PREGUNTAS**

	Si	No	Observaciones
1			¿Aplicación de alguna crema, gel o spray en la piel?
2			¿Ha recibido algún tratamiento, terapia o masaje?
3			¿Ha realizado ejercicio en las últimas 6 horas?
4*			¿Ha tenido relaciones sexuales en las últimas 12 horas?
5			¿Ha tomado café en las últimas 6 horas?
6			¿Ha tomado alcohol en las últimas 6 horas?
7			¿Ha fumado en las últimas 6 horas?
8			¿Ha tomado el sol o rayos UVA antes de la evaluación?
9			¿Toma algún fármaco o tratamiento?
10			¿Ha tomado una ducha antes de la evaluación?
11*			¿Cuántos días hace que tuvo el último periodo?

**ZONAS DE DOLOR**

ESCALA	
0	Nada
1	Muy débil
2	Débil
3	Moderado
4	
5	Fuerte
6	
7	Muy fuerte
8	
9	
10	Máximo dolor



OBSERVACIONES

AI →

AS →

Plantar →

PI →

PS →

## DATOS GENERALES

### EVALUACIÓN TERMOGRÁFICA

**DATOS DE CONTACTO**

Nombre y apellidos: \_\_\_\_\_

Móvil: \_\_\_\_\_

Correo electrónico: \_\_\_\_\_@\_\_\_\_\_

DNI: \_\_\_\_\_

Sexo  Hombre  Mujer

Fecha de nacimiento \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Nacionalidad \_\_\_\_\_

**DATOS ESPECÍFICOS**

**DEPORTE E HISTORIAL**

Deportes: \_\_\_\_\_

Especialidad: \_\_\_\_\_

Frecuencia: \_\_\_\_\_

**LESIONES Y ENFERMEDADES**

Lesión y fecha

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**MANO Y PIE DOMINANTE**

Diestro

Zurdo

Ambidiestro

**OBSERVACIONES**

ANTROPOMETRÍA	
PESO (Kg)	_____
ESTATURA (m)	_____
TALLA PIE (m)	_____
Perímetro Abd. 1 y 2	_____
Pl. biceps (mm)	_____
Pl. triceps (mm)	_____
Pl. subescapular (mm)	_____
Pl. ileocrestal (mm)	_____
Pl. ileospinal (mm)	_____
Pl. abdominal (mm)	_____
Pl. muslo (mm)	_____
Pl. pierna (mm)	_____

El presente cuestionario se rige por la Ley Orgánica 15/1999, de 13 de diciembre, y el reglamento europeo UE 2016/679, ambos sobre la Protección y Tratamiento de Datos de Carácter Personal. También se rige por la Ley 41/2002, de 14 de noviembre, ley básica reguladora de la autonomía del paciente, derechos y obligaciones en materia de información y documentación clínica.

He sido informado previamente sobre los objetivos y características del estudio y doy libremente mi consentimiento para utilizar mis datos con fines de investigación, siempre que se respete mi anonimato.

Firmado: \_\_\_\_\_

Fecha \_\_\_\_\_

### 3. Anexo III: Instrucciones de medida para el SMC

Imágenes de ayuda para medir las regiones antropométricas y calcular el SCM, según el protocolo de My Jump.



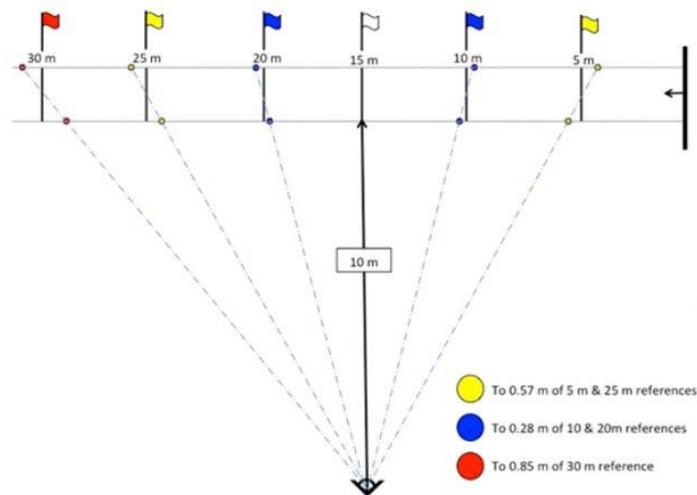
Nota: A) Medida desde el trocánter al Hallux con el tobillo en flexión plantar. B) Medida desde el trocánter al suelo con 90° de flexión de rodilla.

#### 4. Anexo IV: Instrucciones de medida para el ES de 30 metros

Imágenes de ayuda para establecer la localización de la cámara y medir el ES de 30 metros mediante la aplicación My Sprint.



**A sprint acceleration mechanics lab in your pocket...**



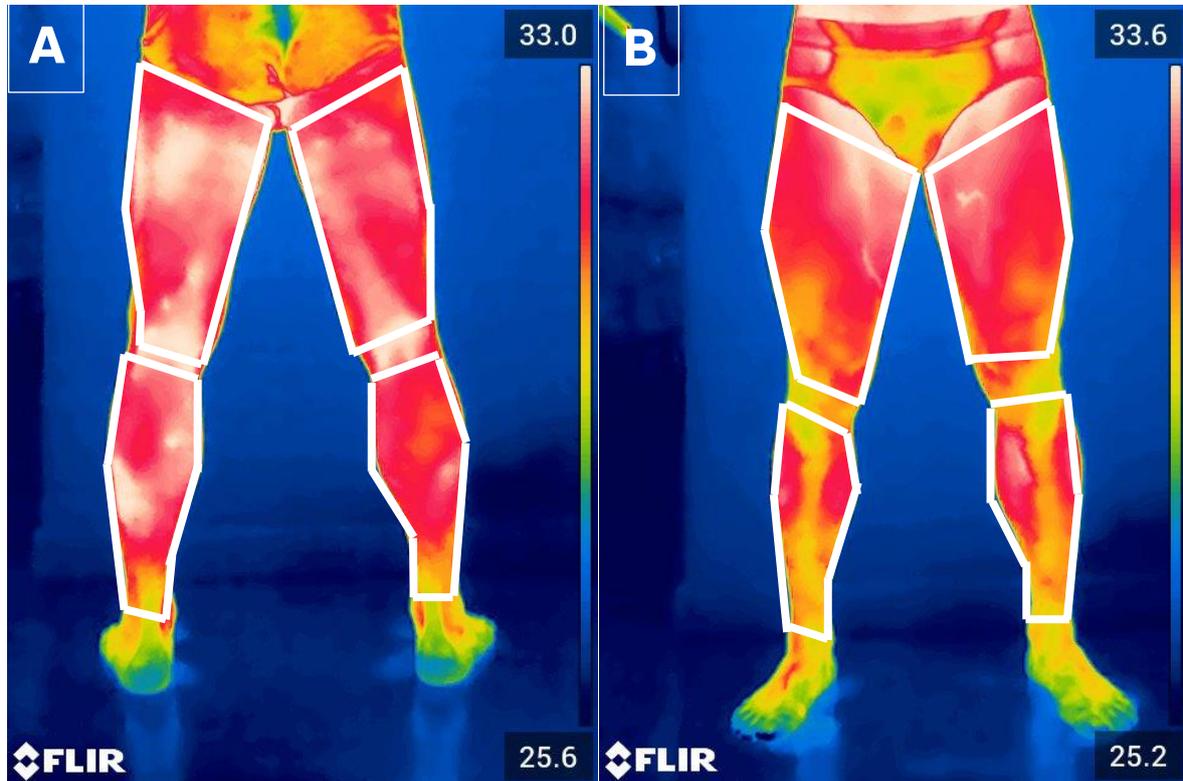
**Figure 1.** Proposed reference system used by My Sprint in order to correct parallax.



Fuente: My Sprint App (Pedro Jiménez-Reyes, España)

5. Anexo V: Termograma de los protocolos inferiores con las regiones de interés analizadas.

Las regiones de interés vienen delimitadas en sobre el termograma del sujeto en blanco y representadas en un avatar.



Nota: A) Regiones de interés para el muslo por la vista posterior y para las piernas en la vista posterior. B) Regiones de interés para el muslo por la vista anterior y para las piernas en la vista anterior.