



MARCADORES DE FATIGA EN FÚTBOL

TRABAJO FIN DE GRADO
OPCIÓN: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Grado en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte

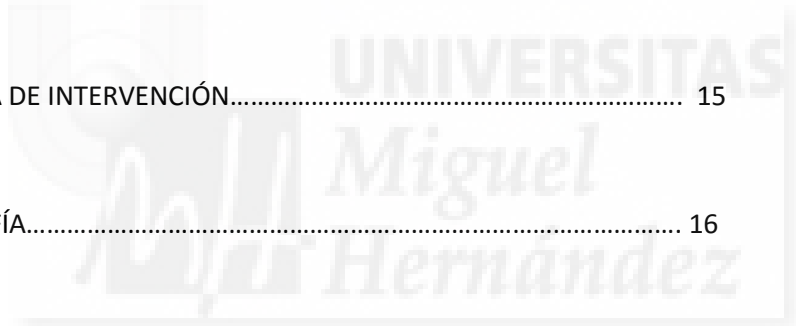
Sergio Álvarez Torrella

Tutor Académico: Jaime Fernández Fernández

Curso académico: 2015-2016

ÍNDICE

1. CONTEXTUALIZACIÓN.....	2
2. MÉTODO.....	4
3. RESULTADOS.....	5
4. DISCUSIÓN.....	11
<i>Limitaciones</i>	14
5. CONCLUSIONES.....	14
6. PROPUESTA DE INTERVENCIÓN.....	15
7. BIBLIOGRAFÍA.....	16
8. ANEXOS.....	19



1. CONTEXTUALIZACIÓN

La fatiga la podemos definir como la falta de energía o la incapacidad de mantener la potencia necesaria para la manifestación de una o varias acciones a una determinada intensidad (Edwards, 1983). Si hablamos de su origen, podemos distinguir principalmente entre fatiga de origen central, la cual se origina en el Sistema Nervioso Central (SNC), o periférica, cuando su origen es muscular (Minett y Duffield, 2014). En el fútbol, un deporte colectivo de perfil intermitente, se juegan 2 partes de 45' donde el futbolista está expuesto a constantes acciones, que involucran en torno a 150-250 cambios de ritmo y de dirección (acciones de alta intensidad). Estas acciones abarcan en torno al 10-20% del tiempo o la distancia total recorrida en un partido, y están intercaladas por periodos de recuperación activa e incompleta. Durante los partidos, los futbolistas ejecutan estas acciones cortas de gran intensidad constantemente, que tienen una duración media de 4-6". Además, acumulan una distancia media recorrida de 9-12 km, aunque el número de acciones de alta intensidad y de sprints realizados varía en función de la posición en el campo (defensa, mediocentro o delantero). Si hablamos de los requerimientos fisiológicos durante un partido de fútbol, encontramos que, según Bangsbo, Iaia y Krustup (2007), se observa una Frecuencia Cardíaca (FC) media del 85% de la FC Máxima y un Consumo de Oxígeno (VO_2) de alrededor del 70% del Consumo Máximo de Oxígeno (VO_{2max}). En referencia al lactato sanguíneo (La), los valores oscilan mucho durante un partido, con un rango de entre 2 y 10 $mmol \cdot l^{-1}$. Sin embargo, se llegan a registrar valores de hasta 12 $mmol \cdot l^{-1}$ en casos individuales, obtenidos siempre después de períodos de mucha intensidad (Stølen, Chamari, Castagna y Wisløff, 2005). De los sistemas de aprovisionamiento de energía, aproximadamente el 90% de la energía utilizada durante el partido se obtiene mediante el metabolismo aeróbico. Aunque se produce una reducción de la concentración de fosfocreatina muscular, los elevados niveles de La y la reducción del pH muscular, nos indican que el sistema anaeróbico también se encuentra fuertemente estimulado durante algunos periodos del juego (Iaia, Rampinini y Bangsbo, 2009). En los partidos observamos que en los últimos 5-10' de cada parte es cuando la fatiga se ve manifestada en mayor medida. De esta manera se produce un descenso significativo en las acciones de alta intensidad, velocidad de sprint y en la distancia recorrida si la comparamos con los primeros 30' de partido. También podemos ver que en los 5' posteriores a los 5' donde se produce la mayor distancia recorrida a alta intensidad, se observa un descenso del rendimiento significativo, evaluado mediante la utilización de un dispositivo GPS (Mohr, Krustup, y Bangsbo, 2004).

Teniendo en cuenta las demandas fisiológicas que se producen durante un partido, es muy importante hacer una buena planificación del entrenamiento para disminuir la manifestación de la fatiga durante el mismo -descenso del número, velocidad de sprints y de la distancia recorrida-. De esta manera, la realización de sesiones de recuperación después de la competición para volver a los valores basales de rendimiento se antoja fundamental. Pero, ¿realmente sabemos qué ocurre después de la competición, y qué métodos debemos utilizar para que los niveles de rendimiento mejoren lo antes posible?

Los métodos de recuperación y la correcta hidratación son una herramienta muy importante. Permiten disminuir la sensación de fatiga o de cansancio del futbolista y disminuyen el riesgo de lesión, sobre todo en ambientes cálidos y húmedos, donde la fatiga después del partido se manifiesta en mayor medida debido al aumento de la temperatura corporal. Esto está relacionado con el descenso en la velocidad de sprint (Buchheit, 2012; Mohr et al., 2010). Los métodos más utilizados y sobre los que más se ha estudiado son la inmersión en agua fría (IAF) y el baño de contrastes (BC) (Anexo 1), aunque también se habla de otros más novedosos como la aplicación del láser de baja frecuencia (Anexo 3). A su vez, en periodos donde hay una mayor acumulación de competiciones, como la copa del mundo, si no se aplican las debidas técnicas de recuperación después de la competición y se descansa debidamente, el rendimiento disminuye de manera significativa (mayor dolor muscular y percepción subjetiva del esfuerzo (RPE)), aumentando también el riesgo de lesión (Thorpe et al., 2015). Este descenso de rendimiento se observa sobre todo en tests como el salto en contramovimiento (CMJ) (-

8,2%), sprint de 30 metros (m) (-2,6%), pérdidas de fluido (agua) (-2%) y aumento de la temperatura corporal (+2°C) (Mohr et al., 2010). Las competiciones como la copa del mundo se suelen concentrar al final de la temporada, pero si observamos a los deportistas durante la misma, están sometidos a un calendario competitivo cargado de partidos, llegando a jugar un total de 65 por temporada. Esta cuestión ha suscitado multitud de debates y estudios acerca de la materia, por lo que el uso de las técnicas de recuperación cobra una mayor importancia, donde el objetivo es mantener a los deportistas en un alto estado de forma el mayor tiempo posible. Sin embargo, para aplicar protocolos de recuperación, primero debemos comprender y estudiar a fondo cuáles son las formas de monitorizar esa fatiga durante o después de los partidos. Dicha cuestión va a ser la piedra angular del trabajo de revisión, ya que si conseguimos averiguar cómo monitorizar la fatiga durante y después de un partido, podremos saber el estado en el que se encuentra el deportista y así poder diseñar o elaborar las técnicas de recuperación mencionadas anteriormente.

Tradicionalmente los trabajos que estudiaban el comportamiento de la fatiga durante un partido, se centraban en la evaluación de la eficacia de una gama de herramientas de monitorización, que pueden servir como indicadores válidos del estado de recuperación de los deportistas. Estos indicadores incluyen la FC e índices derivados como la variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC), FC durante el ejercicio, la FC en reposo y los intervalos latido-latido (Buchheit et al., 2014). Además, engloban niveles hormonales como la creatinquinasa (CK), el ratio testosterona/cortisol, los niveles de mioglobina y la superóxido-dismutasa (Silva et al., 2013). Asimismo, comprenden índices neuromusculares tales como la fuerza máxima (FM), ratio isquio-cuádriceps, pico de torque y velocidad de pico de torque o frecuencia del impulso nervioso (Moreiera et al., 2015). Por último, se pueden utilizar también las escalas de bienestar subjetivo, las cuales son un instrumento que mide el grado de bienestar psicológico del deportista (Gastin, Meyer y Robinson, 2013).

Diversos estudios que han utilizado índices musculares y hormonales -mencionados anteriormente-, han observado que los principales marcadores que predicen la fatiga que se produce durante un partido son la acumulación de La y el descenso del rendimiento en el ciclo de estiramiento-acortamiento del músculo, evaluado mediante la realización de un CMJ. El descenso en la carrera de alta intensidad (ejecutado a >18km·h) también nos puede ser de utilidad, pero para medirlo necesitamos contar con un dispositivo GPS. Dicho dispositivo nos informa de la distancia y de la velocidad a la que ha recorrido el futbolista, así como del número de aceleraciones y deceleraciones.

Otros estudios se han centrado en ver qué ocurre con el rendimiento y de qué manera se manifiesta la fatiga en los deportistas al modificar variables como el contexto, el clima o la superficie de juego. Así, Mohr et al. (2010) estudió qué ocurría al competir en un ambiente cálido a una temperatura >30°C y cómo esto afectaba al rendimiento. Por otro lado, Schmikli, Brink, de Vries y Backx (2010) estudiaron el límite para determinar si un deportista estaba sobreentrenado y qué marcadores eran los que variaban. En lo que se refiere a los estudios de Mohr et al. (2015), Nédélec et al. (2013) y Bendiksen et al. (2012), se analizaron diversos marcadores bioquímicos como La, cortisol y FC, con el objetivo de conocer si eran predictores fiables de fatiga, así como medidas de sprint en 20m y CMJ en diversos ambientes.

El objetivo de este Trabajo Fin de Grado es analizar la literatura específica relacionada con la fatiga, y los marcadores que la pueden predecir en el contexto del fútbol de competición. Además, se pretende establecer conclusiones acerca de cómo podemos determinar o cuantificar la fatiga, para que a partir de ahí, podamos elaborar una propuesta de intervención con el objetivo de recuperar al deportista de la manera más eficiente y eficaz entre competiciones.

2. MÉTODO

Esta revisión sistemática de la literatura fue llevada a cabo siguiendo las directrices que propone la guía PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Metaanalyses) (Urrutia y Bonfill, 2010). La búsqueda bibliográfica incluyó artículos publicados desde el 1 de enero del 2010 hasta febrero de 2016, con el fin de garantizar la calidad de los artículos revisados. Esta se realizó a través de la base de datos electrónicos de conocimiento PubMed, utilizando las palabras claves "fatigue markers, soccer, young, recovery, performance, professional, competition, heart rate variability".

Los criterios de inclusión para estos artículos fueron: (1) que los estudios se realizaran a jugadores de fútbol, (2) que analizaran diferentes marcadores de fatiga y (3) escritos en inglés. Los criterios de exclusión fueron: (1) que incluyesen mujeres, (2) sujetos que acumularan un tiempo de práctica menor a 5 años y (3) jugadores mayores de 35 años.

La figura 1 muestra el proceso que se ha llevado para la selección de los artículos, así como el número de artículos obtenido después de cada cribado.

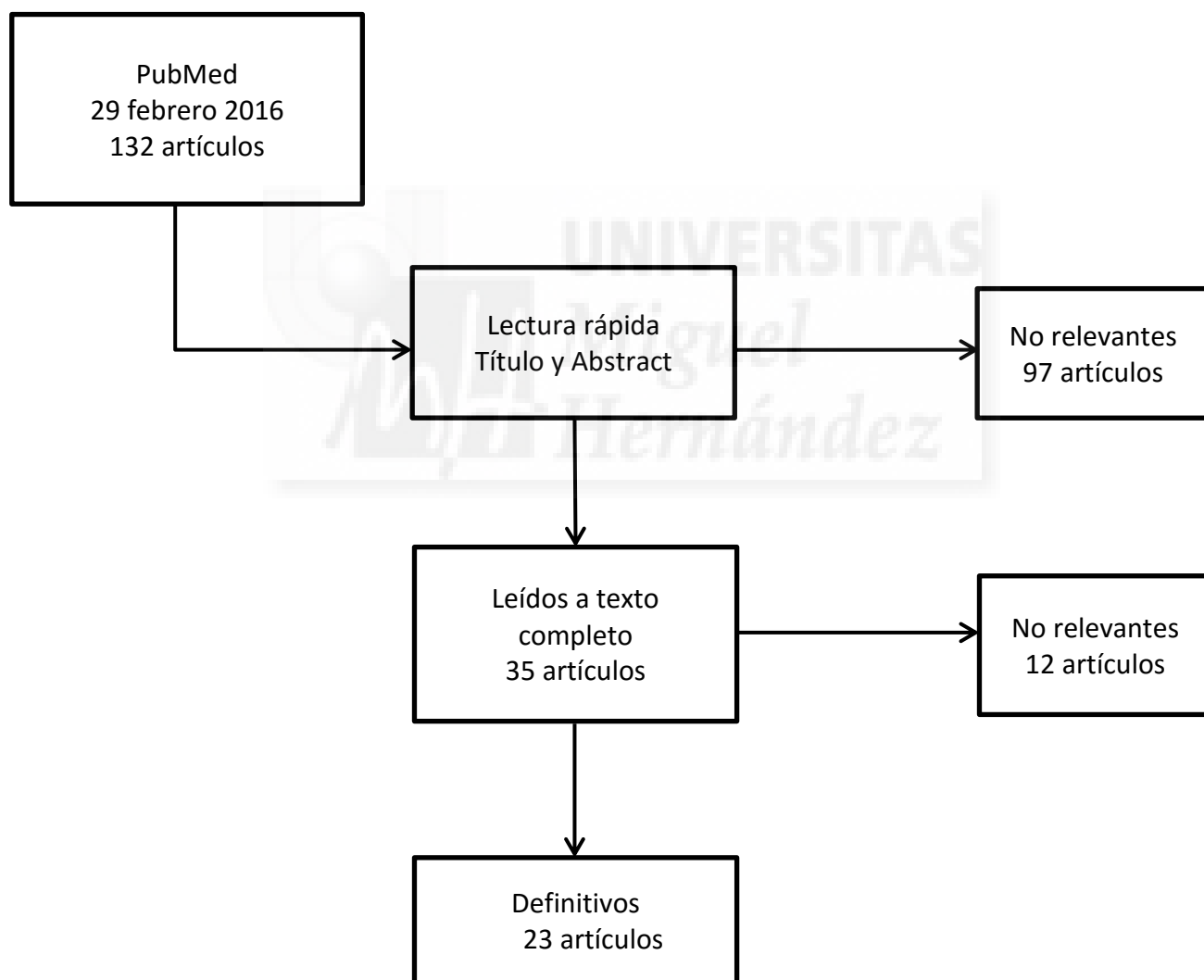


Figura 1: Proceso de selección de artículos

3. RESULTADOS

Los estudios se han agrupado en 3 tablas en función de la temática de los mismos. Así, en la primera tabla se muestra aquella bibliografía que analizaba entrenamientos, test de rendimiento o test específicos que simulan la competición y las respuestas fisiológicas de los mismos. La segunda tabla muestra qué ocurre en partidos de competición o amistosos en el futbolista. Por último, en la tercera tabla, se encuentran aquellos estudios que analizaban los distintos métodos de recuperación después de la competición y sus efectos.

Tabla 1: artículos que recopilan información de entrenamientos, test de rendimiento o test específicos que simulan la competición

REFERENCIA	MUESTRA	MÉTODO	RESULTADOS
(Bendiksen et al., 2012)	N= 12 futbolistas semi-profesionales, varones	- CST 90' y 60'	- FC, gluc., CK y lactato similar entre grupos - CST 90 y CST 60 similares a competición
(Bieuzen et al., 2012)	N= 26 futbolistas profesionales, varones	- CMJ y remo 80% - BF stim y PAS	- Mejor BF stim que PAS - CMJ, MVC y VAS permanecían invariables - Mejoras en niveles de lactato deshidrogenasa
(Boullosa et al., 2012)	N= 8 futbolistas profesionales, varones	- VFC - JER - YIRT 1	- Rdto. YIRT \neq VFC _{máx} (*) - Carga JER= Carga YIRT 1 - \uparrow Recuperación semana 8 - \uparrow en FC (*) y FC pico (*) - \uparrow VAM = \uparrow VFC (*) - VAM se relaciona con rec. FC 10'', 15'' y 20''(*)
(Buchheit et al., 2013)	N= 20 futbolistas jóvenes (16-18 años), varones	- Entrenamiento en altura 2 muestras distintas	- \downarrow Rdto. en carrera, RPE en australianos - Aclimatación más lenta en australianos - \downarrow Rdto de sprint 20m en ambos equipos - FC _{ex} se asoció con cambios en CAI

(Moreiera et al., 2015)	N= 19 futbolistas, varones	- Protocolo de ejercicios de rodilla	-↓ Ratios H:Q a los 50, 100 (*) y 200ms -↓ Ratio P. torque: (*) RF, VL - ↑ Fatiga en isquios (**) que en cuádriceps (*) (F. rápida) - AMG cte
(Nédélec et al., 2013)	N= 12 futbolistas profesionales, varones	- 3 sesiones de 90' (artificial y natural) - 2 sesiones test físicos	- FC y pérdida de cte. - RPE similar -↓ SJ en natural - ↓ P. torque natural -↑ Dolor muscular en artificial, glúteo(**)
(Padulo et al., 2015)	N= 18 jugadores jóvenes (16 años), varones	- Test RSA - Test CMJ	- Rdto RSA: RP > RA (*) - ↑ Carga fisiológica (RPE) (*) - ↑ IF en RA (*) - ↑ Lactato en RA (*) - ↑ CMJ con RP (*)
(Rey et al., 2012)	N= 31 futbolistas profesionales, varones	- 2 grupos: recuperación activa (20' EE) y recuperación pasiva	- 20m sprint, agilidad y flexibilidad no varían - ↓ En RPE con RA - ↓ flexibilidad cuádriceps (*)
(Santone et al., 2013)	N= 14 futbolistas profesionales, varones	- YIRT 1 - Muestras saliva	- Urea y glucosa en el 1 ^{er} análisis - 2 ^o análisis, lactato, citrato y acetato - 3 ^o glicerol, glutamato, leucina, alanina y lisina - Dif. Entre atletas, conocer su rdto.
(Schmikli et al., 2010)	N= 77 futbolistas, varones	- Test de campo - Validar NFO	- FC 6% > en PD - ↑ fatiga = ↓ vigor (**) - ↑ Fatiga = ↑ depresión - Atletas con SSE, cortisol ↓ - ↑ Depresión = ↓ vigor (*) - ↑ PD se relaciona con ↓ en cortisol (*)

(Smith et al., 2015)	N= 12 futbolistas, varones	<ul style="list-style-type: none"> - YIRT 1 - Stroop test - RPE y VAS 	<ul style="list-style-type: none"> - Fatiga mental y RPE > post YIRT 1 - Fatiga mental = \downarrow m (*) - \uparrow RPE en el GE (*)
	N= 14 futbolistas, varones	<ul style="list-style-type: none"> - LSPT y LSST - Stroop test - RPE y VAS 	<ul style="list-style-type: none"> - \uparrow Fatiga mental post 'Stroop test' - La fatiga mental \uparrow el tiempo de toma de decisiones(*) - \downarrow Rdto. en LSST: Velocidad de disparo (*) Precisión en el disparo (*)

AMG = actividad electromiográfica; **CAI** = carrera de alta intensidad; **CHO** = carbohidratos; **CMJ** = salto en contramovimiento; **CST** = Copenhague Soccer Test; **EE** = estiramiento estático; **FC** = frecuencia cardíaca; **FC_{ex}** = frecuencia cardíaca de ejercicio ; **FC_{máx}** = frecuencia cardíaca máxima; **G3** = grupo 3; **GC** = grupo control; **GE** = grupo experimental; **H:Q** = isquio:cuádriceps ; **JER** = juegos en espacios reducidos; **LSPT/LSST** = Loughborough Soccer Passing an Shooting Test; **MVC** = contracción voluntaria máxima; **NFO** = sobreentrenamiento no funcional; **PCr** = fosfocreatina; **PD** = descenso del rendimiento; **RA** = recuperación activa; **RF** = recto femoral; **RP** = recuperación pasiva; **RPE** = percepción subjetiva del esfuerzo; **RSA** = capacidad de repetir sprint; **SSE** = síndrome de sobreentrenamiento; **VAM** = velocidad aeróbica máxima; **VAS** = escala visual analógica ; **VFC** = variabilidad de la frecuencia cardíaca; **YIRT** = Yo-Yo intermittent recovery test; **VL** = vasto lateral.

Resultados: (*) = estadísticamente significativos (p ≤ 0,05); (**) = (p ≤ 0,01)

Tabla 2: artículos que recopilan información de partidos de competición o amistosos

REFERENCIA	MUESTRA	MÉTODO	RESULTADOS
(Carling et al., 2015)	N= 37 futbolistas profesionales, varones	- Seguimiento de futbolistas durante varias temporadas (nacionales e internacionales)	<ul style="list-style-type: none"> - 42 p/temporada - hasta 15 p con ≤4 días - disponibilidad en el 90% de partidos, jugaban el 70% <ul style="list-style-type: none"> - ↑ ciclo de partidos = ↓ participación - Diferencias de disponibilidad entre posiciones <ul style="list-style-type: none"> - ↑ Distancia en 1ª partes - DAI 1ª parte = 2ª parte
(Dupont et al., 2010)	N= 32 futbolistas profesionales, varones	- análisis de partidos en casa durante 22 meses	<ul style="list-style-type: none"> - Distancia (m) ganadores < perdedores - DAI ganadores < perdedores (* en la 2ª parte) - Mayor riesgo de lesión en partidos y en G2 (*)
(Mohr et al., 2010)	N= 20 futbolistas profesionales y semi-profesionales, varones	<ul style="list-style-type: none"> - Partidos 47,5'' x 2 - Lactato y FC - CMJ, sprint 30m 	<ul style="list-style-type: none"> - ↓ CMJ (*) - ↓ Sprint 30m (*) - ↑ Rdto. YIRT = ↓ IF en test sprint post partido <ul style="list-style-type: none"> - ↑ Tª corporal (* en el descanso) - Últimos 15' ↓ distancia a alta intensidad (*) y distancia total (*) - ↑ Pérdida de fluido = ↓ rdto. en sprint
(Mohr et al., 2015)	N= 40 futbolistas, varones	- 3 Partidos de fútbol	<ul style="list-style-type: none"> - Frec. entre sprints y dist. Sprint no varían <ul style="list-style-type: none"> - ↓ Rdto en G2 - ↑ FC EN G1 - ↓ RSA post G2 (*) - Pico CK 48 h post partido, sobre todo en G2 - Cortisol vuelve a valores basales 24h post partido <ul style="list-style-type: none"> - ↑ Nº de impactos en G3 (*) - Pico de bajada de rdto post partido y a las 24h (*)

(Nédélec et al., 2013)	N= 10 futbolistas profesionales, varones	<ul style="list-style-type: none"> - Análisis en video de partidos - Cuantificar demandas físicas de un partido 	<ul style="list-style-type: none"> - Nº acciones def. < delanteros < medios - Niveles máx. CK post 24h (**) - Potencia no varía post 24h - Aumento del nº sprints <5m=↑DM post 48-72 h(*) - Pico de fatiga post 24h: <ul style="list-style-type: none"> - CMJ post 24h (**) - MVC post 24h (**) - CK post 24h (**) - <rdto CMJ = ↑ cambios de dirección
(Owen et al., 2015)	N= 10 futbolistas profesionales, varones	<ul style="list-style-type: none"> - Seguimiento competición <ul style="list-style-type: none"> - 3 x 8 semanas - Medir F tren inferior y rec. Post partido 	<ul style="list-style-type: none"> - CK no varía - ↑ CK = ↓ F. muscular
(Silva et al., 2014)	N= 14 futbolistas profesionales, varones	<ul style="list-style-type: none"> - 4 evaluaciones (E1,E2,E3,E4) - Medir rdto., función muscular y marcadores bioquímicos 	<ul style="list-style-type: none"> - Solo variaba la agilidad durante la temporada (E2, E3 *) - Testosterona cte. - Cortisol ↓ al final de la temporada (E3 **) - Ratio T/C ↑ en el periodo competitivo (E2, E3 *) - CK y CRP ↑ durante la temporada (E2, E3 *) - ↑ Mioglobina (E2 *) - MAT, CMJ y 30'' sprint se relacionaban moderadamente - THIR, fatiga, calidad del sueño y DM variaba entre días - Relación entre carga de entrenamiento y fatiga (*) <ul style="list-style-type: none"> - HRR, VFC y CMJ cte. - THIR relacionaba con , VFC y CMJ previa - FC_{rec.} no correlacionaba con THIR
(Thorpe et al., 2015)	N= 10 futbolistas profesionales, varones	<ul style="list-style-type: none"> - 12 entrenamientos y 2 partidos en 17 días 	

CK = creatinquinasa; **CMJ** = salto en contramovimiento; **CRP** = proteína C-reactiva; **DAI** = distancia a alta intensidad; **DM** = dolor muscular; **FC** = frecuencia cardíaca; **FCrec** = frecuencia cardíaca de recuperación ; **G1/G2** = partidos 1/2; **HRR** = frecuencia cardíaca de recuperación; **IF** = índice de fatiga; **MAT** = tiempo de partido acumulado ;**RSA** = capacidad de repetir sprint; **T/C** = testosterona/cortisol; **THIR** = distancia total a alta intensidad ; **VFC** = variabilidad de la frecuencia cardíaca; **YIRT** = Yo-Yo intermittent recovery test.

Resultados: (*) = estadísticamente significativos ($p \leq 0,05$); (**) = ($p \leq 0,01$)

Tabla 3: artículos que estudian los distintos tipos y métodos de recuperación después de la competición y sus efectos

REFERENCIA	MUESTRA	MÉTODO	RESULTADOS
(Buchheit et al., 2011)	N= 104 futbolistas jóvenes (13-18 años), varones	<ul style="list-style-type: none"> - 2 partidos en 48 h - Protocolo de recuperación 	<ul style="list-style-type: none"> -↓ Rdto. carrera post-PHV en el 2º partido (**) -↑ Pico de velocidad de sprint en el 2º partido (**) -↑ Rdto. en EXP durante el 2º partido
(Buchheit et al., 2012)	N= 28 futbolistas jóvenes (13-14 años), varones	<ul style="list-style-type: none"> - 2 partidos en 48h - Sauna, CWI y jacuzzi 	<ul style="list-style-type: none"> - THIR: rdto post PHV < pre PHV (*) - Pre PHV no es necesario CWI ni sauna - Estas técnicas producían < descenso de rdto. - diferencias entre sujetos
(De Nardi et al., 2011)	N= 18 futbolistas jóvenes (15 años), varones	<ul style="list-style-type: none"> - 4 sesiones de entrenamiento - CWI, PAS y CWT 	<ul style="list-style-type: none"> -↑ CK en PAS -↑ Rdto. CWT y CWI (*)
(dos Reis et al., 2014)	N= 27 futbolistas jóvenes (>15 años), varones	<ul style="list-style-type: none"> - Test de fatiga para el cuádriceps (2 sesiones en 7 días) - LLLT, pre y post test 	<ul style="list-style-type: none"> -↓ Lactato en LLLT 15' post fatiga(**) -↓ CK en LLLT pre (*) y post (**)

CK = creatinquinasa; **CWI** = inmersión en agua fría; **CWT** = baños de contrastes; **EXP** = experimental; **LLLT** = terapia de láser de baja frecuencia; **PAS** = recuperación pasiva; **PHV** = pico de velocidad de crecimiento; **THIR** = distancia total a alta intensidad; **Rdto** = rendimiento.

Resultados: (*) = estadísticamente significativos ($p < 0.1$); (**) = ($p < 0.05$)

4. DISCUSIÓN

El objetivo de esta revisión fue el de analizar la literatura específica sobre la fatiga y los marcadores que la predicen. A su vez, se ha intentado establecer conclusiones acerca de cómo podemos determinar el estado en el que se encuentra el futbolista después de competir, y en función de esto, qué métodos aplicar para recuperarlo. Son diversos los estudios que han analizado las demandas fisiológicas del fútbol de competición, con el objetivo de ver si existen marcadores fiables que predigan el estado de fatiga del deportista, así como la cuantificación de la carga a la cual está sometido (Bendiksen et al., 2012; Boullosa et al., 2012). Conociendo los factores que podrían producir un descenso del rendimiento -descenso en la carrera de alta intensidad y del número de sprints en línea- y cómo aplicar métodos de recuperación -IAF y BC-, tendremos más herramientas a la hora de diseñar una buena planificación del entrenamiento. Así pues, a medida que disminuye el tiempo de recuperación entre partidos, se produce una variación en la concentración de hormonas como el La, CK y mioglobina. Estos cambios producen una recuperación más lenta y por tanto el futbolista está expuesto a un mayor riesgo de lesión (Mohr et al., 2010; Mohr et al., 2015; Owen et al., 2015; Thorpe et al., 2015). Asimismo, hay otros métodos como el rendimiento en un test CMJ, el sprint 30m o el número de acciones de alta intensidad en un partido analizadas con dispositivos GPS, que pueden predecir si el futbolista está fatigado cuando estas variables descienden de manera significativa (Padulo et al., 2015; Rey et al., 2012). En cuanto a los métodos de recuperación después de la competición, se ha observado que son muy efectivos para la disminuir la fatiga del deportista entre competiciones. Estos producen un descenso del RPE y del dolor muscular percibido, entre los que destacan la IAF y el láser de baja frecuencia (Buchheit et al., 2012; De Nardi et al., 2011; dos Reis et al., 2014).

En los estudios que analizaron entrenamientos, test de rendimiento o test específicos que simulan la competición y que se han presentado en la 'Tabla 1', Moreiera et al. (2015) diseñó un protocolo de ejercicios de fuerza para la rodilla. En él observó que los isquiotibiales se fatigan de manera significativa antes que los cuádriceps, aunque la actividad eléctrica no varía. Dicho resultado puede explicar la alta tasa de lesiones en los isquiotibiales en futbolistas, lo cual sugiere que la fatiga de origen periférico es la primera en aparecer en el deportista. Pero tal y como describen Minett y Duffield (2014) en su revisión, la fatiga no puede ser explicada solamente por factores periféricos, sino que también intervienen factores centrales como la frecuencia del impulso nervioso. No obstante, este campo que analiza cuáles son los factores involucrados en la aparición de la fatiga necesita aún más estudio, puesto que no se conoce con exactitud en qué medida afectan unos y otros a su aparición.

La fatiga de origen periférico, como hemos comentado anteriormente, es la que primero aparece en el futbolista durante un partido, además de relacionarse con el descenso en la producción de fuerza por parte del músculo. Así pues, en un partido la superficie de juego influye sobre la fatiga, la cual aparece debido a los constantes cambios de dirección, aceleraciones y deceleraciones realizadas a lo largo del mismo. En césped natural -donde el futbolista acelera con menor velocidad en los cambios de dirección y en el sprint en línea recta-, se produce un mayor descenso del pico de torque en cuádriceps e isquiotibiales, aunque es en césped artificial donde se producen los mayores niveles de dolor muscular (Nédélec et al., 2013). Estos resultados explican la mayor tasa de lesiones de origen muscular en césped natural, ya que si el músculo se encuentra más fatigado produce menos fuerza, por lo que al ejecutar un movimiento explosivo aumenta el riesgo de lesión.

Padulo et al. (2015) también propuso una recuperación activa en el desarrollo de un test de sprints repetidos. Este protocolo de recuperación consistía en realizar saltos repetidos durante los descansos del test, para así mantener la cinética del oxígeno (O_2) alta y conseguir una mejora en los procesos oxidativos para la resíntesis de fosfocreatina. Sin embargo, en el grupo experimental la carga fisiológica era mayor, así como la acumulación de lactato comparada con el

grupo control (CON=11.23 mmol·l⁻¹ vs EXP=13.06 mmol·l⁻¹), por lo que el rendimiento se vio disminuido de manera significativa (CON=44.89'' vs EXP=45.77''). Por tanto, podemos decir que una recuperación basada en ejercicios de potencia que mantengan elevada la cinética del O₂ produce un descenso del rendimiento significativo, analizado midiendo distancia (m) recorrida en un test de sprints repetidos.

En su estudio, Schmikli, Brink, Vries y Backx (2010) trataron de ver la relación entre la fatiga, el sobreentrenamiento y otras variables. Para ello efectuaron tests de campo mensuales y evaluaron los niveles de cortisol, de hormona adenocorticotropa y realizaron el cuestionario POMS, que mide los estados de ánimo del deportista. Se observó que la fatiga –analizada mediante las variaciones de cortisol y de la hormona adenocorticotropa- se relaciona de manera inversamente proporcional y significativa con el vigor, y de manera directamente proporcional con la depresión -las cuales se analizaron utilizando el POMS-. Con estos resultados podemos decir que el estado anímico del deportista influye en su rendimiento, y que para que el deportista rinda adecuadamente -altos niveles de carrera de alta intensidad, número y velocidad de sprints en línea- debe tener un estado físico y mental óptimo.

En los estudios que analizaron partidos de competición o amistosos y que se han presentado en la 'Tabla 2', se habla entre otras cosas de la posible relación de la fatiga con otras variables como el clima, el tipo de competición o el tramo de la temporada. Al respecto se sabe que el rendimiento del deportista no es constante, y que presenta picos elevados de forma y de bajada -evaluados mediante el ratio testosterona/cortisol y los niveles de CK-. En el estudio Silva et al. (2014) se efectúa un seguimiento a lo largo de una temporada, donde se observa que uno de los parámetros que más fluctúa a lo largo de la misma es la agilidad –analizada mediante el T-test-. Además, diversos marcadores bioquímicos como el cortisol, mioglobina y CK -analizados mediante muestras de sangre- ven alterados sus valores de manera significativa a lo largo de la temporada. De tal manera, hay que tener en cuenta los periodos de la temporada en los que un deportista suele tener estos niveles hormonales alterados, para ajustar las cargas de entrenamiento o darle descanso si lo necesitara.

Carling, McCall, Le Gall y Dupont (2015) observan que los defensores suelen estar menos partidos de baja por lesión que los centrocampistas y los delanteros porcentualmente -para ello realizaron un seguimiento de 4 temporadas a los jugadores-. A su vez, Dupont et al. (2010) analiza en su estudio que los equipos que ganan tienden a recorrer menor distancia que los equipos que pierden. Además se observa un descenso de la distancia recorrida en los últimos 10' de cada parte, medido mediante dispositivos GPS. Este descenso se produce entre otros factores debido a la variación en los niveles de algunos marcadores bioquímicos como el cortisol, la CK y la mioglobina, los cuales se relacionan con el nivel de rendimiento de los deportistas. Por tanto, sería conveniente diseñar estrategias para minimizar este descenso del rendimiento en los últimos minutos de los partidos, como por ejemplo dar algún suplemento para retrasar la acumulación de estas sustancias en el organismo y disminuir los niveles de fatiga. También habría que tener en cuenta que los centrocampistas y los delanteros de los equipos que van por debajo en el marcador son los que mayor desgaste físico sufren y por tanto tienen mayor riesgo de lesión, sobre todo en los últimos 10' de cada parte.

Por otro lado, se ha visto en diferentes estudios que cuando aumentamos el número de competiciones en un mismo periodo de tiempo, el rendimiento del deportista disminuye, entendido este como carrera de alta intensidad (m) efectuada durante el partido (Mohr et al., 2015; Thorpe et al., 2015). Este descenso se produce por marcadores bioquímicos como el aumento de la CK -la cual se relaciona directamente con el descenso de la fuerza producida por el músculo- (Owen et al., 2015) y por otros marcadores como la calidad del sueño, el RPE, el dolor muscular y la carrera de alta intensidad, que se alteran con respecto a los valores basales (Thorpe et al., 2015). Boullosa et al. (2012), observó que el rendimiento -que se determinó midiendo la

variabilidad de la frecuencia cardíaca nocturna (VFC)- no se relacionaba con la FC máxima, pero sí que lo hacía con la velocidad aeróbica máxima (VAM). Asimismo, también se relacionaba con la FC de recuperación, medida a los 10, 15 y 20'' después de haber realizado el Yo-Yo test. Por tanto, a mayor rendimiento, mayor VFC. Este resultado demuestra que la VFC podría ser un nuevo marcador, el cuál podríamos monitorizar utilizando pulsómetros. Con estos resultados, el estudio de la VFC sería una línea interesante de estudio para determinar la aparición de fatiga. Por tanto, podemos decir que hay varios parámetros de la FC –como la VFC y la FC de recuperación- que se relacionan directamente con el rendimiento, por lo que su descenso podría ser debido a la aparición de fatiga en el futbolista. Así pues, no hay estudios que aporten datos concluyentes de cómo y en qué medida la predicen. En resumen, a mayor VFC el rendimiento del deportista desciende. De tal manera que si analizamos la VFC durante varias semanas y comparamos los resultados de diferentes días, podemos ver si el futbolista se encuentra fatigado o no.

Una vez sabemos que los marcadores bioquímicos son predictores fiables de la fatiga, el problema que se plantea es la utilización de métodos invasivos para sacar muestras de sangre y analizar los niveles hormonales de los deportistas. Por tanto, buscamos otro tipo de marcadores que puedan observarse sin necesidad de recurrir a métodos invasivos o que necesiten de material complejo para su análisis.

En la búsqueda de otros marcadores de fatiga, Mohr et al. (2015) y Nédélec et al. (2013) observaron que después de los partidos de competición, el descenso pico de rendimiento -niveles elevados de dolor muscular percibido, menor velocidad de sprint y número de acciones de alta intensidad- se observaba 24 horas después de la competición. En algunos casos, este descenso llegaba a darse a las 48h y 72h, como por ejemplo en el dolor muscular, el cual se relacionaba con el número de sprints de 5m realizados durante el partido. De igual forma, el mayor descenso del CMJ y de contracción voluntaria máxima en los isquiotibiales y en los cuádriceps se daba a las 24h, tardando 72h en volver a valores basales. Este descenso del CMJ era inversamente proporcional al número de cambios de dirección efectuados durante el partido. Por lo que podemos decir que a mayor número de cambios de dirección realizados se produce un mayor descenso del componente elástico del músculo, lo que produce un descenso del rendimiento del futbolista. Sin embargo, el ciclo de estiramiento-acortamiento, analizado utilizando una plataforma de fuerzas y ejecutando un test CMJ, volvía a sus valores basales 24 después de la competición, lo que refleja que el componente contráctil del músculo se ve menos deteriorado que el componente elástico. Este último hallazgo puede explicar el porqué de tantas lesiones de tipo muscular en competiciones como la copa del mundo, las cuales acumulan varios partidos en un corto espacio de tiempo. En ellas los deportistas muchas veces compiten con fatiga acumulada de partidos anteriores, debido al poco tiempo de recuperación que hay entre los encuentros.

Un estudio similar a los 2 anteriores mencionados pero llevado a cabo bajo diferentes condiciones ($t > 30^{\circ}\text{C}$), fue el de Mohr et al. (2010), el cual trataba de ver qué ocurría con el rendimiento del deportista cuando competía en un clima cálido ($t > 30^{\circ}\text{C}$). Este observó que el aumento de la pérdida de agua producida por el calor se relacionaba con el descenso del rendimiento en sprint, y que había un aumento excesivo de la temperatura corporal del deportista, lo cual producía una peor recuperación de los depósitos de fosfocreatina. En este tipo de climas cálidos, la reposición de líquidos se antoja primordial para mantener al deportista correctamente hidratado, para que los depósitos de fosfocreatina tarden más en vaciarse y para que no se produzca un descenso del rendimiento del deportista.

En relación a los estudios que analizaron los métodos de recuperación después de la competición y que se han presentado en la 'Tabla 3', Buchheit et al. (2011) elabora un protocolo de recuperación entre partidos basado en una sesión de spa, sauna e hidromasaje, con una aplicación posterior de IAF. En él observa que el rendimiento mejora en el 2º partido de manera muy significativa (mejora del pico de velocidad de sprint y del nº de sprints efectuados). En otro estudio, Buchheit et al. (2012) sometió a los deportistas a IAF, BC y sauna después de los partidos. Con los resultados extraídos, Buchheit et al. (2012) concluye que estas técnicas son necesarias

para aquellos deportistas que ya hayan superado el pico de maduración (PM) (~>14 años). Así pues, aquellos que aún no han llegado a su PM se recuperan antes -esto puede ser debido a su menor masa muscular y a su menor capacidad de producir fuerza-, además de no observarse diferencias entre aquellos que se someten a IAF o BC y aquellos que no. Dicho esto, dentro del grupo que ya ha superado el PM hay grandes diferencias entre sujetos, aunque todos ellos experimentan mejoras al realizar protocolos de recuperación después de la competición. Estos resultados son muy similares a los que observó De Nardi et al. (2011), donde mediante la aplicación IAF o de BC se producían mejoras en la recuperación con respecto a un grupo control, tanto en el RPE como en las DOMS (dolor muscular de origen tardío). Por tanto, podemos decir que un buen protocolo de recuperación principalmente debe contar con 10-15' IAF (10-16°C) después del partido. Este protocolo debe llevarse a cabo sobre todo en pretemporada, en competiciones donde hay muchos partidos en un corto espacio de tiempo y en climas cálidos. Por último, dos Reis et al. (2014) observó que, mediante la aplicación de un láser de baja frecuencia (Anexo 3) en el músculo después de la competición, los niveles de producción de La y de CK se veían disminuidos de manera significativa 15' después de esta. Estos resultados sugieren que los métodos de recuperación disminuyen la fatiga del futbolista, y su desarrollo en equipos que compitan en varias competiciones durante la temporada sería aconsejable.

Limitaciones

Muchos estudios contaban con una serie de limitaciones que se han ido repitiendo a medida que se ha desarrollado la revisión. Aquí se expone un listado con las principales limitaciones recogidas durante el proceso de revisión bibliográfica:

- Muchos estudios están basados en periodos cortos de tiempo.
- Tamaño pequeño de la muestra en muchos estudios.
- La familiarización del jugador con las distintas superficies de juego, el clima, la altitud, la latitud, etc. constituye una fuente sesgo muy importante.

5. CONCLUSIONES

En resumen, podemos decir que la fatiga es producida, entre otros factores, por la variación en la concentración de diversos marcadores bioquímicos. Así, se produce un descenso del cortisol, mientras que los niveles de CK aumentan, al igual que los niveles de La. Estos marcadores hormonales, entre otros, nos informan del estado fisiológico en el que se encuentra el futbolista si los comparamos con los valores basales, mediante la realización de biopsias o analizando muestras de sangre. Además, dichos marcadores bioquímicos junto a la deshidratación y el aumento excesivo de la temperatura corporal son los principales causantes del descenso del rendimiento del deportista en un partido, lo que produce un descenso en el número de acciones de alta intensidad y en la velocidad de sprint en línea. Los test más fiables para determinar el estado en el que se encuentra el deportista son el CMJ y el sprint de 30m, por su fácil ejecución y porque no le suponen una gran carga fisiológica ni psicológica. También se está viendo el papel de la VFC, la FC de recuperación y su relación con la VAM, aunque este tema necesita ser estudiado en profundidad. A su vez, la posición que ocupa el futbolista en el campo también influye, ya que los centrocampistas y los delanteros realizan más acciones de carácter explosivo (acciones de alta intensidad) que los defensores, y por tanto, presentan niveles más elevados de dolor muscular después del partido. Por último, las técnicas que incluiríamos principalmente en un protocolo de recuperación serían la IAF (Anexo 1) y el láser de baja frecuencia (Anexo 3) -ambas disminuyen el dolor muscular y la RPE de forma significativa-. Estas técnicas son las más efectivas a la hora de recuperar al deportista si las comparamos con otras

como BC, sauna y masajes, que se llevan a cabo después de los partidos. Así pues, futuros estudios deben ahondar más en este tema, para aumentar el conocimiento referente al campo de estudio de la fatiga y aportar una mayor evidencia científica al respecto.

6. PROPUESTA DE INTERVENCIÓN

La propuesta de intervención que se ha diseñado, tiene como objetivo la mejora de la recuperación del deportista después del partido. Como observó De Nardi et al. (2011), un protocolo de recuperación adecuado después de la competición ayuda al deportista a disminuir los niveles de dolor muscular percibido y de RPE. La propuesta incluye 2 sesiones; la primera se efectuará nada más acabar el partido, y la segunda se llevará a cabo al día siguiente del mismo, con 12 horas como mínimo de separación. Para su realización, los futbolistas deben haber jugado al menos 60' de partido, ya que durante un periodo más corto de tiempo sus niveles de daño muscular no serán tan elevados como los de aquellos que hayan disputado todo el encuentro.

SESIÓN	EJERCICIOS	
Día de partido	Pre-partido y descanso del partido	Ingerir un complejo multivitamínico de CHO (69,5g)
	Después del partido	Inmersión en agua fría (10º-16ºC) (durante 10'-15') (Anexo 1) Láser de baja frecuencia: 70'' por extremidad a 60J. Aplicar principalmente en cuádriceps e isquiotibiales. (Anexo 3) Inmersión en agua fría (10º-16º) (durante 8') (Anexo 1)
Día después del partido	Estiramientos musculares estáticos submaximales (20'' por grupo muscular) (Anexo 2):	
	- Gemelos	- Aductores
	- Isquiotibiales	- Glúteos
	- Cuádriceps	- Psoas
	Trabajo aeróbico en agua (15'):	
	• Técnica de carrera	
	• Movimientos balísticos	
	Inmersión en agua fría (10º-16º) (durante 4')	
	Movilidad y cardio-activación: fútbol-tenis (30')	

Figura 2: propuesta de intervención. Protocolo de recuperación.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Allen, D. G., Lamb, G. D., & Westerblad, H. (2008). Skeletal muscle fatigue: cellular mechanisms. *Physiological reviews*, *88*(1), 287-332.
- Bangsbo, J., Iaia, F. M., & Krstrup, P. (2007). Metabolic response and fatigue in soccer. *International journal of sports physiology and performance*, *2*(2), 111.
- Bangsbo, J., Mohr, M., & Krstrup, P. (2006). Physical and metabolic demands of training and match-play in the elite football player. *Journal of sports sciences*, *24*(07), 665-674.
- Bendixen, M., Bischoff, R., Randers, M. B., Mohr, M., Rollo, I., Suetta, C., & Krstrup, P. (2012). The Copenhagen Soccer Test: physiological response and fatigue development. *Medicine Science Sports Exercise*, *44*(8), 1595-603.
- Bieuzen, F., Pournot, H., Roulland, R., & Hausswirth, C. (2012). Recovery after high-intensity intermittent exercise in elite soccer players using VEINOPLUS sport technology for blood-flow stimulation. *Journal of athletic training*, *47*(5), 498.
- Bloomfield, J., Polman, R., & O'Donoghue, P. (2007). Physical demands of different positions in FA Premier League soccer. *Journal of Sports Science and Medicine*, *6*(1), 63-70.
- Boullosa, D. A., Abreu, L., Nakamura, F. Y., Muñoz, V. E., Domínguez, E., & Leicht, A. S. (2013). Cardiac autonomic adaptations in elite Spanish soccer players during preseason. *International Journal of Sports Physiology Performance*, *8*(4), 400-9.
- Buchheit, M. (2014). Monitoring training status with HR measures: do all roads lead to Rome. *Frontiers in physiology*, *27*(5), 73.
- Buchheit, M., Simpson, B. M., Garvican-Lewis, L. A., Hammond, K., Kley, M., Schmidt, W. F., & Claros, J. C. J. (2013). Wellness, fatigue and physical performance acclimatisation to a 2-week soccer camp at 3600 m (ISA3600). *British journal of sports medicine*, *47*(Suppl 1), i100-i106.
- Buchheit, M., Méndez-Villanueva A., Horobeanu C., Sola A., & Di Salvo V. (2012). Post-game recovery strategies in youth football. *Sports Medicine Journal*.

- Carling, C., McCall, A., Le Gall, F., & Dupont, G. (2015). What is the extent of exposure to periods of match congestion in professional soccer players? *Journal of sports sciences*, 33(20), 2116-2124.
- De Nardi, M., La Torre, A., Barassi, A., Ricci, C., & Banfi, G. (2011). Effects of cold-water immersion and contrast-water therapy after training in young soccer players. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 51(4), 609-615.
- Dos Reis, F. A., da Silva, B. A. K., Laraia, E. M. S., de Melo, R. M., Silva, P. H., Leal-Junior, E. C. P., & de Carvalho, P. D. T. C. (2014). Effects of pre-or post-exercise low-level laser therapy (830 nm) on skeletal muscle fatigue and biochemical markers of recovery in humans: double-blind placebo-controlled trial. *Photomedicine and laser surgery*, 32(2), 106-112.
- Dupont, G., Nedelec, M., McCall, A., McCormack, D., Berthoin, S., & Wisløff, U. (2010). Effect of 2 soccer matches in a week on physical performance and injury rate. *The American journal of sports medicine*, 38(9), 1752-1758.
- Edwards, R. H. (1983). Biochemistry of exercise. Biochemical bases of fatigue in exercise performance: Catastrophe theory of muscular fatigue (pp. 2 – 28).
- Gastin, P. B., Meyer, D., & Robinson, D. (2013). Perceptions of wellness to monitor adaptive responses to training and competition in elite Australian football. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(9), 2518-2526.
- Harper, L. D., Briggs, M. A., McNamee, G., West, D. J., Kilduff, L. P., Stevenson, E., & Russell, M. (2015). Physiological and performance effects of carbohydrate gels consumed prior to the extra-time period of prolonged simulated soccer match-play. *Journal of Science and Medicine in Sport*.
- Iaia, F. M., Rampinini, E., & Bangsbo, J. (2009). High-intensity training in football. *International Journal of Sports Physiology Performance*, 4(3), 291-306.
- Minett, G. M., & Duffield, R. (2014). Is recovery driven by central or peripheral factors? A role for the brain in recovery following intermittent-sprint exercise. *Frontiers in physiology*.

- Mohr, M., Draganidis, D., Chatzinikolaou, A., Barbero-Álvarez, J. C., Castagna, C., Douroudos, I., & Jamurtas, A. Z. (2016). Muscle damage, inflammatory, immune and performance responses to three football games in 1 week in competitive male players. *European journal of applied physiology*, *116*(1), 179-193.
- Mohr, M., Krstrup, P., & Bangsbo, J. (2005). Fatigue in soccer: a brief review. *Journal of sports sciences*, *23*(6), 593-599.
- Mohr, M., Mujika, I., Santisteban, J., Randers, M. B., Bischoff, R., Solano, R., & Krstrup, P. (2010). Examination of fatigue development in elite soccer in a hot environment: a multi-experimental approach. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, *20*(s3), 125-132.
- Mohr, M., Krstrup, P., Nybo, L., Nielsen, J. J., & Bangsbo, J. (2004). Muscle temperature and sprint performance during soccer matches—beneficial effect of re-warm-up at half-time. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, *14*(3), 156-162.
- Moreira, P. V., Gonçalves, M., Luciano, F. C., Castro, A., Neto, A. F. A., Goethel, M. F., & Cardozo, A. C. (2015). Effects of fatigue on the neuromuscular capacity of professional soccer players. *Isokinetics and Exercise Science*, *23*(4), 275-282.
- Naclerio, F., Larumbe-Zabala, E., Cooper, R., Allgrove, J., & Earnest, C. P. (2015). A multi-ingredient containing carbohydrate, proteins L-glutamine and L-carnitine attenuates fatigue perception with no effect on performance, muscle damage or immunity in soccer players. *PloS one*, *10*(4), e0125188.
- Nédélec, M., McCall, A., Carling, C., Legall, F., Berthoin, S., & Dupont, G. (2014). The influence of soccer playing actions on the recovery kinetics after a soccer match. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *28*(6), 1517-1523.
- Nédélec, M., McCall, A., Carling, C., Legall, F., Berthoin, S., & Dupont, G. (2013). Recovery in Soccer: Part II—Recovery Strategies (Review Article). *Sports medicine*, *43*(1), 9-22.

- Owen, A., Dunlop, G., Rouissi, M., Chtara, M., Paul, D., Zouhal, H., & Wong, D. P. (2015). The relationship between lower-limb strength and match-related muscle damage in elite level professional European soccer players. *Journal of sports sciences*, 33(20), 2100-2105.
- Padulo, J., Tabben, M., Attene, G., Ardigò, L. P., Dhahbi, W., & Chamari, K. (2015). The Impact of Jumping during Recovery on Repeated Sprint Ability in Young Soccer Players. *Research in Sports Medicine*, 23(3), 240-252.
- Pointon, M., Duffield, R., Cannon, J., & Marino, F. E. (2012). Cold water immersion recovery following intermittent-sprint exercise in the heat. *European journal of applied physiology*, 112(7), 2483-2494.
- Pointon, M., Duffield, R., Cannon, J., & Marino, F. E. (2012). Cold water immersion recovery following intermittent-sprint exercise in the heat. *European journal of applied physiology*, 112(7), 2483-2494.
- Reilly, T. (1997). Energetics of high-intensity exercise (soccer) with particular reference to fatigue. *Journal of sports sciences*, 15(3), 257-263.
- Reilly, T., Drust, B., & Clarke, N. (2008). Muscle fatigue during football match-play. *Sports Medicine*, 38(5), 357-367.
- Rey, E., Lago-Peñas, C., Casáis, L., & Lago-Ballesteros, J. (2012). The effect of immediate post-training active and passive recovery interventions on anaerobic performance and lower limb flexibility in professional soccer players. *Journal of human kinetics*, 31, 121-129.
- Rupp, K. A., Selkow, N. M., Parente, W. R., Ingersoll, C. D., Weltman, A. L., & Saliba, S. A. (2012). The effect of cold water immersion on 48-hour performance testing in collegiate soccer players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 26(8), 2043-2050.
- Santone, C., Dinallo, V., Paci, M., D'Ottavio, S., Barbato, G., & Bernardini, S. (2014). Saliva metabolomics by NMR for the evaluation of sport performance. *Journal of pharmaceutical and biomedical analysis*, 88, 441-446.

- Schimpchen, J., Skorski, S., Nopp, S., & Meyer, T. (2015). Are “classical” tests of repeated-sprint ability in football externally valid? A new approach to determine in-game sprinting behaviour in elite football players. *Journal of Sports Sciences*, 1-8.
- Schmikli, S. L., Brink, M. S., De Vries, W. R., & Backx, F. J. G. (2011). Can we detect non-functional overreaching in young elite soccer players and middle-long distance runners using field performance tests? *British journal of sports medicine*, 45(8), 631-636.
- Silva, J. R., Rebelo, A., Marques, F., Pereira, L., Seabra, A., Ascensão, A., & Magalhães, J. (2013). Biochemical impact of soccer: an analysis of hormonal, muscle damage, and redox markers during the season. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 39(4), 432-438.
- Silva, J. R., Rebelo, A., Marques, F., Pereira, L., Seabra, A., Ascensão, A., & Magalhães, J. (2013). Biochemical impact of soccer: an analysis of hormonal, muscle damage, and redox markers during the season. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 39(4), 432-438.
- Smith, M. R., Coutts, A. J., Merlini, M., Deprez, D., Lenoir, M., & Marcora, S. M. (2015). Mental Fatigue Impairs Soccer-Specific Physical and Technical Performance. *Medicine and science in sports and exercise*.
- Stølen, T., Chamari, K., Castagna, C., & Wisløff, U. (2005). Physiology of soccer. *Sports medicine*, 35(6), 501-536.
- Thorpe, R. T., Strudwick, A. J., Buchheit, M., Atkinson, G., Drust, B., & Gregson, W. (2015). Monitoring Fatigue During the In-Season Competitive Phase in Elite Soccer Players. *International journal of sports physiology and performance*.
- Urrútia, G., & Bonfill, X. (2010). Declaración PRISMA: una propuesta para mejorar la publicación de revisiones sistemáticas y metaanálisis. *Medicina clínica*, 135(11), 507-511.

8. ANEXOS

Anexo 1: sesión IAF y BC



Los deportistas que lleven a cabo IAF, permanecen sentados durante 8' sumergidos hasta el nivel de la espina ilíaca en una piscina que contiene agua a 15°C, tal y como aparece en la imagen.

Los deportistas que realizan BC, descansan alternativamente sumergidos hasta el nivel de la espina ilíaca durante 2' en agua fría (15° C) y 2' en agua a temperatura ambiente (28° C), pasando un total de 8' en las dos piscinas, las cuales son muy similares a las de la imagen.

Anexo 2: Sesión de estiramientos en piscina y en seco





Anexo 3: sesión láser de baja frecuencia



El láser de baja frecuencia es una técnica novedosa que se utiliza para la recuperación de los deportistas después de la competición. Para su aplicación, se utiliza un prototipo de 830nm arseniuro de galio-aluminio (GaAlAs) que tiene seis diodos 60 MW, cada uno con un área del haz de $0,0028 \text{ cm}^2$, dispuestos en una única matriz fila y operado en modo continuo. Esta matriz de láser lineal se aplica en siete ocasiones. La irradiación de esta manera tiene 42 puntos en cada pierna y un total de 84 puntos irradiados por sesión de tratamiento. La irradiación se realiza con el láser en contacto directo con la piel y la matriz de láser se mantiene estacionaria, con una ligera presión en un ángulo de 90 grados a la superficie de la piel.

Se irradia el vientre del cuádriceps. Inicialmente se define un área de 10 cm por debajo de la cresta ilíaca anterosuperior como la ubicación de la primera serie de puntos de aplicación. Los otros seis lugares se establecen en los puntos estandarizados 5 cm debajo de las marcas iniciales.

La duración de la irradiación por punto de aplicación es de 10 seg. (70 segundos por pierna), resultando en una irradiación de energía por cada punto de $0,6 \text{ J}$ y una irradiación total por pierna y sesión de $25,2 \text{ J}$ (en total $50,4 \text{ J}$). Cada emisor láser tiene un poder de densidad de $21,43 \text{ W / cm}^2$, por lo tanto tiene un poder de densidad total de $214,28 \text{ J / cm}^2$.