

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

MÁSTER UNIVERSITARIO EN ENTRENAMIENTO Y RENDIMIENTO DEPORTIVO

Curso Académico 2017-2018

VALIDACIÓN DE LA TOM-SCALE COMO HERRAMIENTA PARA PROGRAMAR LA CARGA DE ENTRENAMIENTO EN JÓVENES FUTBOLISTAS

TOM-Scale validation for quantifying young soccer players training load

Autor: Mario Sandúa Escribano

Tutor: José Antonio Rodríguez Marroyo

Fecha: 05/07/2018

Vº Bº TUTOR

Vº Bº AUTOR

RESUMEN

Objetivo: El principal objetivo de este trabajo fue validar la herramienta TOM-Scale como predictor de la carga de entrenamiento e instrumento para programar el trabajo de sesiones de entrenamiento en futbolistas jóvenes de alto nivel. **Métodos:** Se cuantificó la carga de entrenamiento utilizando la TOM-Scale y la RPE en un total de 476 sesiones individuales. Además, en 57 registros se monitorizaron diferentes parámetros vinculados con la carga externa. Las variables de carga externa evaluadas fueron: la distancia total, la distancia relativa, el porcentaje de acciones de alta intensidad ($>13.1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$), las aceleraciones y deceleraciones ($>0.55 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$), las aceleraciones y deceleraciones relativas, los sprints ($>19.1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) y los impactos ($>5\text{G}$). La carga externa de entrenamiento se analizó según los valores reportados por el dispositivo multisensor utilizado. Por otro lado, la carga de entrenamiento se calculó atendiendo a la metodología de Edwards y en base a la RPE. **Resultados:** se encontraron correlaciones ($p<0.05$) moderadas ($r= >0.3\text{-}0.9$) entre la TOM-Scale y todas las variables estudiadas salvo con la carga externa. **Conclusiones:** La TOM-Scale mostró ser una herramienta válida para predecir y programar la carga de trabajo previo a las sesiones de entrenamiento o partidos en futbolistas jóvenes de alto nivel.

Palabras clave: Cuantificación, Periodización, Fútbol, RPE.

ABSTRACT

Objectives: The main aim of this study was to validate the TOM-Scale tool as a predictor of the training load and instrument to program workload of sessions in young soccer players. **Methods:** The training load was quantified through the RPE in a total of 476 individual sessions where, in addition, 57 individual records were obtained from monitoring, which was carried out by means of a multisensor device: GPS (5Hz), triaxial accelerometer (1000Hz) and heart rate band. The variables of external load of training contrasted were: total distance (m), relative distance ($\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$), % of high intensity actions ($> 13.1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$), accelerations and decelerations ($> 0.55 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$), relative accelerations and decelerations ($\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$), sprints ($> 19.1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$), impacts ($> 5\text{G}$) and Player Load Integral (UA). The internal load variables used were: Edwards TRIMP (UA), s-RPE (UA) and e-RPE (UA). **Results:** significant positive correlations were found ($p < 0.05$) from moderate ($r > 0.3$) to almost perfect ($r > 0.9$) between TOM-Scale and all the internal and external load variables studied except in the Integral Load Player. **Conclusions:** TOM-Scale has proven to be a valid tool to predict and schedule workload prior to training sessions or matches in high-level young footballers.

Key Words: Quantification, Periodization, Soccer, RPE.

ÍNDICE

1. CONTEXTUALIZACIÓN	3
1.1. Justificación	3
1.2. Introducción	4
1.2.1. Cuantificación de la Carga Interna a partir de la Frecuencia Cardíaca...5	
1.2.2. Cuantificación de la Carga Interna a partir de la Percepción Subjetiva del Esfuerzo (RPE).....	11
1.2.3. Cuantificación de la Carga Externa a partir de la Tecnología GPS y otros instrumentos.....	15
1.2.4. Programación de la carga de entrenamiento	22
2. OBJETIVOS DEL TRABAJO Y COMPETENCIAS DESARROLLADAS	25
3. METODOLOGÍA	26
3.1. Revisión de la literatura científica	26
3.2. Enfoque experimental del problema	26
3.3. Sujetos	26
3.4. Procedimiento	27
3.5. Análisis estadístico	33
4. RESULTADOS	34
5. DISCUSIÓN.....	41
6. APLICACIONES PRÁCTICAS Y APORTACIONES	43
7. CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO	45
8. VALORACIÓN PERSONAL Y REFLEXIÓN CRÍTICA.....	45
9. BIBLIOGRAFÍA.....	46
10. ANEXOS	51
Anexo I. Diagrama de determinación de la intensidad del ejercicio para el método TOM-Scale (López et al., 2017a).....	51
Anexo II. Hoja de registro de entrenamiento (elaboración propia).	52
Anexo III. Ejemplificación de la utilidad de la herramienta TOM-Scale.	54

1. CONTEXTUALIZACIÓN

El presente trabajo trata, desde un enfoque profesional, el análisis y la validación en futbolistas jóvenes de alto nivel de una herramienta, ya existente, diseñada para predecir y programar carga de entrenamiento en futbolistas profesionales. Además, reúne apartados que cumplen con todas las modalidades de desarrollo posibles, recogidas en el Anexo I de la Normativa para el desarrollo de Trabajos Fin de Máster en los Estudios de Máster Universitario en Entrenamiento y Rendimiento Deportivo de la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte de la Universidad de León: trabajo de carácter práctico/aplicado, propuesta metodológica e investigación documental.

1.1. Justificación

Los juegos reducidos (SSG) se utilizan cada vez más como una alternativa al entrenamiento interválico para provocar estímulos de entrenamiento aeróbico en fútbol (Hill-Haas, Coutts, Rowsell, y Dawson, 2008). Hill-Hass et al. (2008) demostraron que varios formatos de SSG en un régimen continuo o interválico, proporcionan respuestas internas y cargas externas suficientes como para ser considerados una alternativa viable al entrenamiento interválico de carrera tradicional para desarrollar y mantener la capacidad aeróbica. Además, debido a la baja variación en la mayoría de las medidas internas de carga de entrenamiento, concretamente percepción subjetiva del esfuerzo (RPE) y frecuencia cardíaca (FC), y una mayor variación en las medidas de carga externa (concretamente medidas de GPS y acelerometría), se antoja importante tener controlados ambos tipos de carga y más aun la relación existente entre ambas (Hill-Hass et al., 2008).

Este control de la carga es una tarea difícil de conseguir en deportes de equipo, debido a que la energía requerida proviene tanto del metabolismo aeróbico como anaeróbico, en diferentes rangos e intensidades (López, De la Cruz y Naranjo, 2017a). Además, es necesario tener en cuenta la dificultad de los contenidos tácticos en cuanto a número de jugadores (variable) y diferentes roles (Vázquez, 2012). Estos contenidos desembocan en exigencias fisiológicas diferentes para cada futbolista, aumentando la dificultad de individualización de las cargas (Vázquez, 2012). Por eso, la capacidad de medir y monitorizar las cargas de entrenamiento debe proporcionar información valiosa para la prescripción de programas de entrenamiento individualizados (Vázquez, 2012).

Es de vital importancia contar con herramientas o métodos que nos permitan tanto cuantificar (a posteriori) como prescribir (a priori) las cargas de entrenamiento deseadas en una disciplina donde esta tarea se antoja tan difícil como el fútbol (debido a su complejidad

intrínseca). Debemos ser capaces de predecir con cierta exactitud cual es la carga que vamos a imponer a nuestros deportistas para poder adoptar estrategias de periodización adecuadas, y sobre todo deseadas, basadas en métodos proactivos y no reactivos, que potencien el rendimiento y, por ende, no supongan infraestimar ni sobreentrenar al futbolista, desembocando en posibles desadaptaciones o lesiones. Que el deportista realice la carga que el entrenador o preparador físico desea, y que no sea una cuestión de azar, se antoja difícil pero necesario.

1.2. Introducción

La carga de entrenamiento puede dividirse en carga externa o interna (Halsón, 2014). La carga externa se define como el trabajo completado por el atleta, medido independientemente de sus características internas, mientras que la carga interna es definida como el estrés fisiológico y psicológico relativo impuesto (Halsón, 2014). Dicha carga interna es la que mayor información nos aporta sobre los grados de adaptación y recuperación de la fatiga y, por tanto, aquella en la que nos debemos basar para modular la siguiente carga de entrenamiento según Tapia-López (2017).

Aunque, como ambos tipos de carga tienen importancia para comprender la carga de entrenamiento soportada por el deportista, una combinación de ambas puede ser ideal para una correcta monitorización del entrenamiento (Halsón, 2014). De hecho, puede ser más bien la relación entre las cargas externas e internas lo que puede ayudar a revelar la fatiga y no solo la carga interna según Halsón (2014).

La capacidad para monitorizar el entrenamiento es crítica de cara a la cuantificación y posterior periodización del mismo (Foster et al., 2001), evaluar las respuestas del deportista a las cargas de trabajo y determinar la relación entre el entrenamiento y el rendimiento (Mújica, 2006). A lo largo de los últimos años se han desarrollado multitud de metodologías para la cuantificación de la carga de entrenamiento en fútbol, tanto carga interna como carga externa, unos con menos y otros con más aceptación debido a numerosas razones (Vázquez, 2012).

Los estímulos de entrenamiento provocan adaptaciones en el deportista, principalmente definidos por el estrés fisiológico al que se ve expuesto (carga interna) (Impellizzeri, Rampinini, Coutts, Sassi, y Marcora, 2004). Monitorizar y controlar el proceso de entrenamiento es crucial para obtener una medida válida de esa carga interna especialmente en los deportes de equipo, donde la carga externa es habitualmente similar para todos los jugadores debido a una metodología de entrenamiento donde abundan

ejercicios grupales (Impellizzeri et al., 2004). En consecuencia, la monitorización y el control de la carga interna en los futbolistas es muy importante para garantizar que todos ellos reciban un estímulo adecuado (Impellizzeri et al., 2004).

El análisis de los datos obtenidos en éste proceso, tanto de carga interna como de carga externa, debería utilizarse para conseguir los siguientes objetivos: individualizar el entrenamiento, estudiar las relaciones entre factores de rendimiento del deporte y la cantidad de carga ejecutada y evitar procesos de sobreentrenamiento o desentrenamiento (Vázquez, 2012).

1.2.1. Cuantificación de la Carga Interna a partir de la Frecuencia Cardíaca

En el proceso de control de la carga de trabajo se ha descrito la importancia de monitorizar tres de sus componentes principalmente: la frecuencia, el volumen, y la intensidad (Vázquez, 2012).

El monitoreo de la FC es uno de los medios más comunes para evaluar la carga interna en los atletas debido a la relación lineal entre ésta y la tasa de consumo de oxígeno durante el ejercicio en estado estable (Halsón, 2014), encontrándonos como uno de los principales métodos al TRIMP (*Training Impulse*) de Banister, descrito como un índice global de la carga de entrenamiento que integra el volumen y la intensidad del mismo (Mújika, 2006).

Para calcular la carga interna de una sesión a partir del TRIMP de Banister, ha de multiplicarse el volumen de entrenamiento por su intensidad, determinada en función de la FC y un factor de ponderación que tiene en cuenta el aumento exponencial de la concentración de lactato en función de la intensidad (**Ecuación 1**) (Mújika, 2006).

TRIMP de Banister

HOMBRES: duración (min) X (FCme – FCr)/(FCmáx – FCr) X $0.64e^{1.92x}$

MUJERES: duración (min) X (FCme – FCr)/(FCmáx – FCr) X $0.86e^{1.67x}$

Ecuación 1. Ecuaciones TRIMP en función del sexo propuestas por Banister (1991) en Mújika (2006). Donde $e = 2.712$, $x = (FCme - FCr)/(FCmáx - FCr)$, FCme = Frecuencia Cardíaca Media durante el ejercicio, FCr = Frecuencia Cardíaca en reposo, y FCmáx = Frecuencia Cardíaca Máxima durante el ejercicio.

La razón de usar la FCr reside en que esta ecuación considera las variaciones de los biorritmos y permite una comparación interindividual de la respuesta de FC a diferentes formas de entrenamiento (Vázquez, 2012).

Otro método que utiliza la FC para cuantificar la carga interna de entrenamiento es el TRIMP de Edwards, que se basa en medir el tiempo que el deportista pasa en cada una de las cinco zonas de frecuencia cardíaca propuestas (Edwards (1993) en Borresen y Lambert, 2008). La duración en cada zona se multiplica por un factor diferente, que da una mayor importancia a las zonas de mayor intensidad que a las intensidades más bajas. A partir de ahí, las puntuaciones obtenidas en cada zona se suman para obtener el valor de carga final (**Ecuación 2**) (Edwards (1993) en Borresen y Lambert, 2008).

Método de Edwards

$$(T Z1 \times 1) + (T Z2 \times 2) + (T Z3 \times 3) + (T Z4 \times 4) + (T Z5 \times 5)$$

Ecuación 2. donde Z1 = 50% a 60% FC_{máx}, Z2 = 60% a 70% FC_{máx}, Z3 = 70% a 80% FC_{máx}, Z4 = 80% a 90% FC_{máx} y Z5 = 90% a 100% FC_{máx} (Edwards (1993) en Borresen y Lambert, 2008).

Lucía, Hoyos, Santalla, Earnest, y Chicharro (2003) propusieron una versión modificada de la ecuación de Edwards y se la denominó TRIMP de Lucía (Impellizzeri et al., 2004). En este método, la duración en cada una de las 3 zonas de frecuencia cardíaca propuestas (zona 1, por debajo del umbral ventilatorio (<VT), zona 2, entre el umbral ventilatorio y el punto de compensación respiratoria (VT-RCP), y zona 3, por encima del punto de compensación respiratoria (>RCP)) se multiplica por un coeficiente (k) relativo a cada zona (k = 1 para la zona 1, k = 2 para la zona 2, y k = 3 para la zona 3), y se suman (**Ecuación 3**) (Lucía et al., 2003; Borresen y Lambert, 2008).

TRIMP de Lucía

$$(T Z1 \times 1) + (T Z2 \times 2) + (T Z3 \times 3)$$

Ecuación 3. donde Z1 = <VT, Z2 = VT-RCP, Z3 = >RCP (Lucía et al., 2003)

Todos los métodos anteriormente expuestos han sido y son comúnmente utilizados en el fútbol para cuantificar la carga interna de entrenamiento (Vázquez, 2012; Campos-Vázquez et al., 2015), pero el primero en proponer un método específico basado en la FC que intentase atender a las demandas fisiológicas de los deportes de equipo de naturaleza intermitente, concretamente para jugadores masculinos de Hockey hierba (primera división inglesa), fueron Stagno, Thatcher, y Van Someren (2007). Propusieron una modificación del TRIMP original de Banister al que se le llamó TRIMP Modificado (TRIMP_{MOD}). Dicha modificación consiste en determinar cinco zonas de FC a partir de la curva de respuesta típica de lactato en sangre a la intensidad creciente del ejercicio, delimitando las zonas 2 y 4 en torno a la FC correspondiente al umbral láctico (HR-BLac), establecido a 1.5 mmol•l⁻¹, y

al inicio de la acumulación de lactato en sangre (FC-OBLA), establecido a $4 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$, respectivamente (Stagno et al., 2007). Se estableció una amplitud de FC del 7% para cada zona, y las zonas 1, 3 y 5 se ajustaron alrededor de las zonas 2 y 4, calculándose además los factores de ponderación (k) para cada una.

El valor de $\text{TRIMP}_{\text{MOD}}$ se obtiene multiplicando el factor de ponderación por el tiempo transcurrido en las respectivas zonas de frecuencia cardíaca y sumando los valores obtenidos para cada zona (**Ecuación 4**).

TRIMP_{MOD}

$$(T Z1 \times k1) + (T Z2 \times k2) + (T Z3 \times k3) + (T Z4 \times k4) + (T Z5 \times k5)$$

Ecuación 4. donde Z1 = 65% a 71% FC_{máx}, Z2 = 72% a 78% FC_{máx}, Z3 = 79% a 85%, Z4 = 86% a 92% FC_{máx}, Z5 = 93% a 100% FC_{máx} y k1, k2, k3, k4, k5 = obtenidos a partir de la relación fraccional FC-BLac individual o para un grupo de deportistas mediante la ecuación de regresión resultante (Stagno et al., 2007).

Por otro lado, Manzi, Iellamo, Impellizzeri, D'ottavio, y Castagna (2009) propusieron un replanteamiento del TRIMP original de Banister, con el objetivo de mejorar este y otros métodos anteriores como el de Stagno et al. (2007) y el de Lucía et al. (2003). Este método fue denominado TRIMP_i , haciendo referencia al carácter individualizado del método de cuantificación presentado, que consiste en:

- Utilizar un factor de ponderación individualizado (y_i) basado en la respuesta fisiológica individual y no en los coeficientes estándar dependientes del grupo de población y el género, como es el caso del TRIMP de Banister (Banister (1991) en Borresen y Lambert, 2008) y el $\text{TRIMP}_{\text{MOD}}$ (Stagno et al., 2007).

TRIMP_i

Así, el TRIMP_i se puede calcular en cualquier momento como el área bajo la curva representada por la pseudo integral de todos los puntos de datos de ΔFC ($\text{FC}_{\text{me}} - \text{FC}_{\text{Cr}} / (\text{FC}_{\text{máx}} - \text{FC}_{\text{Cr}})$) recogidos cada 5 segundos y multiplicados por un factor de ponderación individualizado (y_i) (Manzi et al., 2009).

Manzi, Bovenzi, Impellizzeri, Carminati, y Castagna (2013) validaron el uso del TRIMP_i en jugadores de fútbol profesionales de primer nivel, mostrando grandes correlaciones entre el TRIMP_i promedio de las sesiones de pretemporada y el porcentaje de cambio obtenido en las variables fisiológicas relacionadas con la condición aeróbica consideradas, cumpliendo con uno de los objetivos principales del análisis de la carga de entrenamiento descritos por

Vázquez (2012): estudiar la relación entre factores de rendimiento y cantidad de carga ejecutada. Esto sugiere que puede ser un método válido para la cuantificación y prescripción de carga de entrenamiento en dicha población además de haber establecido datos de referencia para el entrenamiento de la condición aeróbica en torno a las 500 UA-TRIMP_i-Sesión (Manzi et al., 2013).

Estos hallazgos, bajo un enfoque individualizado, sugieren que este método es mejor que otros utilizados anteriormente basados también en la FC (Akubat, 2012). Además, concuerda con la idea de que solo los métodos que muestren asociación con cambios en el rendimiento deben ser considerados para obtener medidas válidas en cuanto a carga de entrenamiento para un determinado grupo de deportistas (Akubat, 2012).

Por último, Akubat y Abt (2011) establecieron un proceso individualizado para determinar las ponderaciones basadas en los datos de FC-BLa de cada jugador en la que se obtenía la curva descriptiva exponencial de dicho proceso a partir de un protocolo intermitente en vez de continuo, intentando replicar la naturaleza intermitente del fútbol. Por tanto, podría decirse que plantearon un TRIMP_i cambiando únicamente el método originalmente utilizado para obtener las ponderaciones individuales por un protocolo intermitente.

Entre las limitaciones asociadas a la cuantificación del trabajo en fútbol que presentan los métodos expuestos hasta ahora, basados en la FC para la obtención de un valor de carga interna de entrenamiento, podemos destacar:

- La FC como forma de controlar la intensidad de trabajo presenta algunas limitaciones debido a una serie de factores que pueden influenciar su respuesta durante el ejercicio, como por ejemplo: la variabilidad diaria de la FC, factores medioambientales (temperatura, altitud) o factores fisiológicos (drift cardiovascular, grado de hidratación) (Vázquez, 2012).
- Los métodos basados en la monitorización de la FC presentan problemas que especialmente se acentúan en equipos con pocos recursos, tales como el requerimiento de un especialista para su implementación, arduo proceso de recolección e interpretación, además de un elevado coste económico (Impellizzeri et al., 2004).
- La respuesta del lactato (BLa) al ejercicio puede verse afectada por muchos factores externos como la temperatura ambiente, la deshidratación, el modo de ejercicio, la duración del ejercicio, la intensidad y los cambios en la misma, el ejercicio realizado anteriormente, la dieta y el contenido de glucógeno muscular (Borresen y Lambert, 2008). Por lo que, que el factor de ponderación TRIMP se

base en una relación fija entre carga y lactato podría introducir a errores en la cuantificación de la carga de entrenamiento (Borresen y Lambert, 2008).

- Como el lactato sanguíneo es el resultado neto de su producción en el músculo, liberación y absorción posterior por otros tejidos, un cambio en su concentración puede reflejar cualquiera de esos factores independientemente del estrés fisiológico general producido por el ejercicio en ese momento y a esa intensidad (Akubat y Abt, 2011). Además, las mediciones de BLa no reflejan necesariamente las concentraciones de lactato muscular (Akubat y Abt, 2011)
- El método TRIMP de Banister requiere mediciones de FC en estado estable, lo que limita la cuantificación del ejercicio que consiste en alternar periodos de ejercicio a alta intensidad y recuperación, muy característicos del fútbol (Borresen y Lambert, 2008).
- El método TRIMP de Banister usa la frecuencia cardíaca media del ejercicio, que no refleja con exactitud las demandas fisiológicas de los deportes de equipo de naturaleza intermitente (Stagno et al., 2007).
- Foster et al. (2001) sugieren que la exactitud de la ecuación de TRIMP de Banister podría verse limitada por la incapacidad de los datos de FC para cuantificar el ejercicio de alta intensidad, como el entrenamiento de fuerza (la frecuencia cardíaca generalmente aumenta desproporcionadamente ante este tipo de ejercicio) (Borresen y Lambert, 2008), el entrenamiento interválico de alta intensidad o el ejercicio pliométrico.
- La intensidad media en un partido de fútbol es alrededor del 85% de la FC_{máx} sin grandes variaciones entre posiciones en jugadores jóvenes de entre 14 y 17 años (Rebelo et al, 2012), y del 86% en jugadores profesionales adultos durante competición oficial con variaciones significativas entre posiciones (Torreño et al., 2016), pero la naturaleza intermitente del deporte hace que la FC también aumente a su máximo (Akubat y Abt, 2011). Por ejemplo, jugadores jóvenes (18 años) pasan alrededor del 15-20% del tiempo de partido a intensidades >90% de FC_{máx} según Akubat y Abt (2011). En consecuencia, el uso del ritmo cardíaco medio para calcular el TRIMP de Banister en fútbol puede conducir a la pérdida de información específica y no reflejar la intensidad o variación general de la intensidad de un partido o sesión de entrenamiento (Akubat y Abt., 2011).
- Según Borresen y Lambert (2008) la ecuación TRIMP de Banister podría dar una importancia desproporcionada al ejercicio de alta intensidad y subestimar (en comparación con el método s-RPE) el efecto del ejercicio de baja intensidad en la carga de entrenamiento.

- La utilización de zonas de frecuencia cardíaca para resolver el problema de la FC_{med} del TRIMP de Banister por parte de Edwards y Lucía presenta otro problema, y es que, la ponderación seleccionada para cada zona de FC aumenta de forma lineal, lo que no refleja las respuestas fisiológicas al ejercicio por encima del umbral anaeróbico (Stagno et al., 2007).
- Edwards utiliza las zonas de FC en bloques del 10% de la frecuencia cardíaca máxima a pesar de que el umbral anaeróbico varía entre participantes con igual potencia aeróbica y, por lo tanto, el estrés metabólico puede no ser constante entre los participantes incluso cuando se están ejercitando al mismo porcentaje de la frecuencia cardíaca máxima (Stagno et al., 2007).
- El método de zonas de frecuencia cardíaca de Edwards puede sobreestimar desproporcionadamente el impacto del ejercicio de alta intensidad en la carga de entrenamiento y subestimar el efecto del ejercicio de baja intensidad en la carga de entrenamiento en comparación con la carga de entrenamiento calculada utilizando el método RPE sesión (Borresen y Lambert, 2008).
- Para llevar a cabo metodologías más individualizadas, como la propuesta por Lucía et al., (2003) o el TRIMP_i, es necesario determinar los umbrales ventilatorios y/o determinar respuestas individuales al ejercicio de todos los deportistas para establecer las zonas individuales de trabajo mediante tests en laboratorio con material sofisticado y especialistas cualificados.
- El ejercicio intermitente altera la relación FC-BLa y las ponderaciones de TRIMP a altas intensidades de ejercicio (Akubat y Abt, 2011). La determinación del impulso de entrenamiento a partir de la relación FC-BLa derivada de un protocolo de ejercicio continuo (TRIMP_{MOD} como ejemplo) puede subestimar la carga de entrenamiento y/o los partidos en jugadores de deportes de equipo (Akubat y Abt, 2011). Esto podría tener implicaciones para el desarrollo de lesiones o sobreentrenamiento y, por lo tanto, debe tenerse en cuenta al monitorear las cargas de los jugadores (Akubat y Abt, 2011).
- Todos los métodos señalados, al basarse únicamente en la relación entre FC o lactato con la velocidad de carrera, solo sirven para estimar la carga aeróbica (Tapia-López, 2017), sin embargo, deportes con acciones de alta intensidad, aceleraciones, frenadas, saltos, etc, (como el fútbol) también causan tensiones mecánicas internas en los diversos tejidos musculoesqueléticos que de alguna manera son obviados si solo utilizamos métodos basados en la FC para controlar las cargas de trabajo (Vanrenterghem, Nedergaard, Robinson y Drust, 2017).

1.2.2. Cuantificación de la Carga Interna a partir de la Percepción Subjetiva del Esfuerzo (RPE)

Tratando de buscar alguna solución a las limitaciones que presenta la cuantificación del entrenamiento a través de la FC para ejercicios intermitentes de alta intensidad (característicos del fútbol), entrenamientos de fuerza y pliometría, Foster et al. (2001) desarrollaron un método comúnmente conocido como RPE (Rating Perceived Exertion o Percepción Subjetiva del Esfuerzo). Este método se basa en una estimación subjetiva de la carga de entrenamiento a partir del esfuerzo percibido por parte del deportista durante la sesión. Se obtiene multiplicando un valor que traduce la percepción de esfuerzo del deportista en una puntuación numérica de entre 0 y 10, recogida mediante la escala RPE de Borg (**Tabla 1**), por el volumen total de la misma (**Ecuación 5**) (Impellizzeri et al., 2004; Borresen y Lambert 2008).

RPE-Sesión

Duración X RPE sesión

Ecuación 5. Método RPE sesión propuesto por Foster et al. (2001).

El RPE es ya un método válido más que aceptado dentro de la comunidad científica y profesional para cuantificar carga de entrenamiento en una amplia gama de ejercicios y deportes, entre los que se incluye el fútbol (Impellizzeri et al., 2004; Mújica, 2006; Casamichana, 2014), presentando correlaciones positivas con FC tanto en sesiones completas de entrenamiento (Impellizzeri et al., 2004; Larumbe, Rey, Izcue e Irigoyen, 2013) como en tareas intermitentes aisladas o juegos reducidos (Casamichana, Castellano, Blanco-Villaseñor y Usabiaga, 2012), donde se han obtenido además altas correlaciones también con Lactato (carga interna), con valores de distancia recorrida y con valores de carga obtenidos a partir de acelerometría (carga externa) (Casamichana, 2014).

También se han encontrado correlaciones positivas entre los valores de RPE en entrenamiento durante la semana y el rendimiento físico en partido, siendo los valores más altos en RPE los que se correlacionan con mayor distancia recorrida a altas intensidades, al contrario de lo que podría pensarse (Casamichana, 2014). Pero hay que tener en cuenta lo que Casamichana et al. (2012) señalan, y es que, en los juegos reducidos existen diferentes variables que pueden ser manipuladas en función de los objetivos programados para optimizar el proceso de entrenamiento: la modificación de ciertas reglas, las dimensiones del espacio y la presencia del entrenador alentando a sus deportistas, del número de jugadores, la duración, o la forma de distribuir la duración de la tarea entre otras, influyendo todas ellas

en el RPE de los jugadores. Además, tanto la modificación en la orientación del espacio como en el número de jugadores por equipo influyen también en el RPE de la tarea, aumentando cuando el espacio no está orientado y se reduce el número de jugadores (Casamichana et al., 2012). Por lo que podría decirse que hay que tener en cuenta que la relación entre el RPE y la FC parece estar condicionada por el tipo de tarea, además del tipo de sesión, evaluada (Casamichana, 2014).

Tabla 1. Escala de Borg (0-10) original (Foster et al., 2001) y traducción.

	Original	Traducción
0	Rest	Reposo
1	Very, very easy	Muy fácil
2	Easy	Fácil
3	Moderate	Moderado
4	Somewhat hard	Algo duro
5	Hard	Duro
6		
7	Very hard	Muy duro
8		
9		
10	Maximal	Máximo

Las correlaciones para la cuantificación de la carga de entrenamiento en fútbol entre el método RPE de Foster y diferentes métodos basados en FC se reflejan en la **Tabla 2**.

Tabla 2. Correlaciones entre el método RPE y varios métodos basados en la FC para la cuantificación de la carga de entrenamiento en fútbol (Impellizzeri et al., 2004).

	TRIMP Banister	TL Edwards	TRIMP Lucía
Mín	0.50	0.54	0.61
Máx	0.77	0.78	0.85

El fútbol se caracteriza por ejercicios intermitentes donde se intercalan el metabolismo aeróbico y el anaeróbico para el suministro de energía, lo que podría explicar en parte la fuerza reducida de las correlaciones entre el RPE de sesión y la carga de entrenamiento basada en FC, en comparación con los obtenidos en atletas de resistencia (Impellizzeri et al., 2004). La escala de Borg (0-10), utilizada en este método, se considera un indicador global de la intensidad del ejercicio que incluye factores fisiológicos (captación de oxígeno, FC, ventilación, beta-endorfinas, concentración de glucosa sanguínea y depleción de glucógeno) y psicológicos, postulándose como una medida integradora, lo que podría explicar también la menor correlación con las variables fisiológicas estudiadas (Impellizzeri

et al., 2004; Mújica, 2006), algo que hay que tener en cuenta a la hora de interpretar los datos obtenidos a partir de este método (Vázquez, 2012).

Además, es interesante saber que también se han propuesto algunos índices sencillos para mejorar este método: el índice de monotonía y el índice de fatiga. El índice de monotonía es una medida que tiene en consideración tanto la carga de entrenamiento media como la variabilidad del entrenamiento durante un determinado periodo de tiempo (Casamichana, 2014). Se calcula dividiendo la carga media semanal (si es esa la estructura temporal considerada) y su desviación estándar (SD).

Por otro lado, el índice de fatiga es calculado multiplicando la carga total de entrenamiento por el índice de monotonía, ayudando a identificar periodos con altos niveles de carga y alta monotonía que pueden provocar mayores niveles de fatiga en el deportista (Casamichana, 2014) y mayor riesgo de lesión (Foster et al., 2001; Impellizzeri et al., 2004).

Entre las ventajas que presenta el método basado en la RPE, podemos destacar:

- Económico y sencillo de utilizar, siendo necesario únicamente la estandarización del protocolo (momento de recogida para evitar que la puntuación esté influenciada por el último esfuerzo realizado y partes de la sesión consideradas) y un periodo de familiarización del deportista para que sea fiable (Foster et al., 2001; Impellizzeri et al., 2004; Casamichana, 2014).
- La RPE podría reflejar una medida más válida de la intensidad de entrenamiento que los métodos basados en la FC cuando se activan los sistemas metabólicos aeróbico y anaeróbico (Borresen y Lambert, 2008).
- Permite cuantificar con un único método diferentes tipos de ejercicio realizados por un mismo deportista o equipo sin necesidad de utilizar diferentes herramientas: *ej.* trabajo de campo (técnico-táctico) y trabajo de gimnasio (fuerza) (Foster et al., 2001; Wrigley, Drust, Stratton, Scott, y Gregson, 2012).
- Permite calcular índices accesorios tales como la monotonía y la fatiga, útiles para prevenir posibles efectos adversos, principalmente el sobreentrenamiento y las lesiones (Foster et al., 2001; Impellizzeri et al., 2004).
- Las cargas diarias y semanales de entrenamiento pueden representarse fácilmente de forma gráfica para ayudar en su interpretación (Foster et al., 2001), permitiendo llevar un control y seguimiento sobre la periodización del entrenamiento y valorar si se está cumpliendo, para así poder tomar decisiones sobre los ajustes de las cargas de trabajo (Casamichana, 2014).

- Permite su aplicación con deportistas en edades tempranas (Rodríguez-Marroyo y Antoñán, 2015), posibilitando el control de la carga en equipos de fútbol base, generalmente con pocos recursos económicos.
- Posibilita comparar valores de carga entre jugadores de diferentes categorías para garantizar un desarrollo a largo plazo del futbolista, realizando un aumento progresivo de la carga de entrenamiento acorde a su estado madurativo (con el objetivo de optimizar el rendimiento y reducir el riesgo de lesión y sobreentrenamiento) (Wrigley et al., 2012).
- Permite minimizar la incidencia lesional de los deportistas, especialmente en momentos con alta carga de entrenamiento (Casamichana, 2014).

Entre las limitaciones que presenta, podemos destacar:

- Interaccionan de forma compleja muchos factores que contribuyen a la percepción personal del esfuerzo físico y han de ser tenidos en cuenta (Borresen y Lambert, 2008). Estas interacciones pueden incluir concentraciones de hormonas y sustratos, rasgos de personalidad, tasa de ventilación, condiciones ambientales y estados psicológicos entre otros (Borresen y Lambert, 2008).
- El método RPE sesión puede sobreestimar la carga de entrenamiento ante ejercicios de baja intensidad, mientras que para los ejercicios de alta intensidad, subestima la carga de entrenamiento en comparación con los métodos basados en la FC (Borresen y Lambert, 2008).
- Es poco sensible para detectar pequeños cambios en cuanto a actividades realizadas a alta velocidad se refiere (Casamichana, 2014).
- Existen jugadores sobreestimadores y jugadores subestimadores de la carga de trabajo, aspecto importante a tener en cuenta de cara a comparaciones entre jugadores (Casamichana, 2014).
- Los deportistas precisan de un aprendizaje previo en el uso de este tipo de escalas para calificar la intensidad de un ejercicio u entrenamiento (Tapia-López, 2017).

Es importante destacar que, como señalan Rodríguez-Marroyo y Antoñán (2015), los niños parecen tener dificultades con la comprensión de ciertos descriptores verbales cuando usan las escalas de adultos. Como consecuencia, las escalas que contienen descripciones tanto pictóricas como verbales, como la escala OMNI, parecen ser más apropiadas para facilitar la implantación del método basado en la RPE infantil que la escala tradicionalmente utilizada de Borg (Rodríguez-Marroyo y Antoñán, 2015). Aunque hay que tener en cuenta de

cara a comparaciones que a pesar de existir una correlación positiva entre ambas escalas, la puntuación de la escala OMNI es más alta (~ 11%) (Rodríguez-Marroyo y Antoñán, 2015).

Por otro lado, Rebelo et al. (2012) presentaron y validaron un método basado en el método RPE para la cuantificación de la carga de entrenamiento en futbolistas jóvenes al que denominaron VAS-TL (Visual Analogic Scale o Escala Visual Analógica). Este método se caracteriza por su fácil aplicación, ya que consiste en multiplicar los puntos obtenidos en la herramienta VAS por el tiempo de entrenamiento/sesión, mismo sistema que el método RPE (Rebelo et al., 2012), y que en caso de trabajar con niños es también recomendado (Tapia-López, 2017).

La herramienta utilizada en el método VAS (**Figura 1**) se trata de una línea de 100mm donde el deportista hace una marca en función del nivel de esfuerzo que le supuso la sesión, siendo 0 mm 'Ningún esfuerzo' y 100 mm 'Máximo esfuerzo' (Rebelo et al., 2012). Después, se mide la distancia desde 0 mm hasta la marca realizada y se obtiene la medida que supondrá la puntuación de intensidad para la sesión en cuestión (Rebelo et al., 2012).

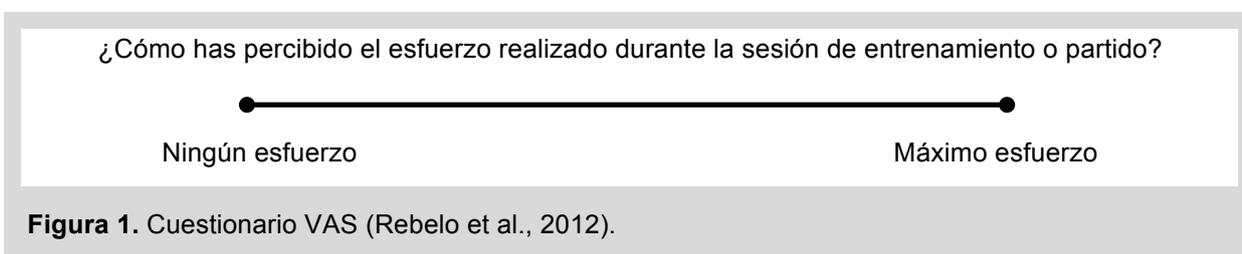


Figura 1. Cuestionario VAS (Rebelo et al., 2012).

1.2.3. Cuantificación de la Carga Externa a partir de la Tecnología GPS y otros instrumentos

Las medidas del carga de entrenamiento interna pueden no ser los mejores indicadores de intensidad en el fútbol, siendo necesario complementarlas con indicadores externos según Casamichana y Castellano (2015). El futuro de la monitorización podría estar dominado por tecnologías que permitan nuevas posibilidades en relación con el análisis de la carga de entrenamiento externa (Foster, Rodríguez-Marroyo y Koning, 2017). Desde los iniciales y rudimentarios métodos de registro manual, pasando por tabletas digitales, softwares específicos, registros semiautomáticos y posteriormente automáticos a través de videotracking (ej. sistemas AMISCO y ProZone, y Venetrack), se ha ido evolucionando a través de la tecnología hacia métodos más sofisticados como la tecnología GPS (Global Positioning System), siendo éste uno de los más extendidos actualmente en los campos científico-investigador y práctico en fútbol (Castellano y Casamichana, 2014a).

Este tipo de tecnología posibilita: conocer los requerimientos físicos a los que son sometidos los jugadores durante entrenamientos y partidos (dando a conocer en qué medida el entrenamiento replica las demandas impuestas a los jugadores durante la competición), intervenir de una forma específica en el entrenamiento y evaluación del rendimiento durante las competiciones, detectar estados de fatiga y riesgo de lesión, o monitorizar diferentes tareas de entrenamiento (Aughey, 2011, Castellano y Casamichana, 2014a; Castellano y Casamichana, 2014b). Podría decirse que los sistemas GPS han revolucionado el conocimiento sobre el perfil de actividad de los jugadores de los deportes de equipo (Aughey, 2011), permitiendo obtener información sobre su posición, su velocidad y sus patrones de movimiento, siendo lo suficientemente válidos como para detectar alteraciones en la actividad de un partido, entre partidos, entre niveles de competición y entre diferentes tipos de partidos a través de variables de medida como las expuestas en la **Tabla 3**, la **Tabla 4**, la **Tabla 5** y la **Tabla 6** (Cummins, Orr, O'Connor y West, 2013).

Las variables que más atención suscitan por parte de entrenadores y preparadores son aquellas que derivan de los esfuerzos de mayor intensidad (Cummins et al., 2013). Aunque, si bien este tipo de análisis es común, se debe tener cuidado en la aplicación del GPS con sus limitaciones inherentes percibidas para el movimiento a alta velocidad (Aughey, 2011). Con respecto a esto, la literatura sugiere que una tasa de frecuencia más alta proporciona una mayor validez para las mediciones (Cummins et al., 2013).

Abt y Lovell (2009) consideran que la distancia recorrida a alta intensidad es una de las variables de mayor interés, habiéndose demostrado como medida discriminadora en cuanto al nivel de rendimiento de los futbolistas. Hasta un 28% más de acciones a alta intensidad y 58% más de sprints (en partidos oficiales) son realizados por jugadores internacionales de alto nivel en comparación con otros jugadores internacionales de nivel medio (clasificados según la FIFA). Sin embargo, en la mayoría de los casos, el umbral utilizado para determinar las acciones realizadas a alta intensidad se basa en velocidades absolutas sin ningún criterio objetivo justificado y sin tener en cuenta la individualidad de cada jugador, lo que supone obviar que cada futbolista comienza a correr a alta intensidad a una velocidad diferente y dependiente de sus capacidades (Abt y Lovell, 2009).

Contra esta problemática, Abt y Lovell (2009) proponen utilizar el segundo umbral ventilatorio (VT2), medida fisiológica objetiva e individualizada, como umbral para las acciones de alta intensidad, y así no subestimar la distancia recorrida. Mientras que Buchheit, Méndez-Villanueva, Simpson y Bourdon (2010a), proponen utilizar un porcentaje (61%) del pico de velocidad máximo (PV) alcanzado en una prueba de 40-m (medido como el promedio de velocidad de los últimos 10-m) como umbral para identificar la distancia

recorrida a Sprint. Núñez-Sánchez, Toscano-Bendala, Campos-Vázquez y Suárez-Arrones (2017) proponen incluso individualizar todas las zonas de velocidad utilizadas, estableciendo 10 zonas (<10%, 10-20%, 20-30%, 30-40%, 40-50%, 60-70%, 70-80%, 80-90% y >90%) en base al PV, estrategia adoptada anteriormente de forma similar por Dwyer y Gabbett (2012), con 3 zonas de velocidad de baja, moderada y alta intensidad (<34%, 34-61% y > 61%) en base también al PV.

Es importante destacar también que, la edad variable de los futbolistas (adultos, jóvenes pospúberes y jóvenes prepúberes) puede requerir la adición de zonas de velocidad apropiadas para su edad, a fin de reflejar con mayor precisión los patrones de actividad de los deportistas pre y pospúberes (Cummins et al., 2013).

En cuanto a la expresión de la distancia (y en ocasiones, de otras variables ofrecidas por estos dispositivos), hacerlo en referencia al tiempo de partido ($m \cdot \text{min}^{-1}$) es de vital importancia en los deportes donde se permiten cambios, para poder comparar el perfil de actividad entre jugadores sin las limitaciones que supondría hacerlo sin tener en cuenta esta relación (Aughey, 2011). Además, esto permite comparar las demandas de la competición con las de diferentes sesiones y tareas de entrenamiento, de cara a la optimización del mismo, y establecer comparaciones de actividad entre diferentes edades o niveles competitivos.

La información aportada por los acelerómetros y giroscopios, normalmente incluidos junto a los dispositivos GPS e integrando los llamados dispositivos multisensor, podría tener la ventaja de dar valores sobre impactos y cargas características de los deportes intermitentes de alta intensidad, con aceleraciones y cambios de dirección constantes que parecen subestimarse en ocasiones (Castellano y Casamichana, 2014). Ya Aughey (2011) señalaba que las aceleraciones son 6 veces mayores en número que los sprints en el fútbol de élite, pudiéndose considerar como otra medida de los esfuerzos de alta intensidad en los deportes de equipo (Cummins et al., 2013). Aunque, las mediciones de aceleraciones y desaceleraciones muestran mayor variabilidad que otras medidas y deben interpretarse con cautela (Buchheit et al., 2014).

Tabla 3. Variables de análisis de carga externa procedentes de GPS y acelerometría (elaboración propia).

Variable	Referencias	Descripción	Muestra
Distancia total (m)	Cummins et al. (2013)	<ul style="list-style-type: none"> Distancia total recorrida Influida por el nivel del futbolista, su posición en el campo y la edad 	<ul style="list-style-type: none"> Élite Semi-profesionales Élite sub-19 Élite Junior Junior
Distancia relativa (m•min ⁻¹)		<ul style="list-style-type: none"> Distancia total recorrida por minuto de competición/entrenamiento Medida de intensidad La posición en el campo influye en esta variable, además de la edad 	
Patrón de actividad por zonas de velocidad (km•h ⁻¹)		<ul style="list-style-type: none"> Distancia total recorrida en cada una de las 6 zonas de velocidad establecidas (de 0 a 36 km•h⁻¹) (Tabla 6) Cada zona está vinculada a una descripción de actividad (ej. Sprint) Amplitud de las zonas variable según autores Puede reflejarse el número de acciones (n) realizadas a una determinada intensidad e incluso la distancia recorrida en cada acción 	
Frecuencia de esfuerzos (n•min ⁻¹)	Casamichana y Castellano (2015)	<ul style="list-style-type: none"> Número de acciones por minuto realizadas a una cierta intensidad, ej.: <ul style="list-style-type: none"> Número de esfuerzos por minuto >18 km•h⁻¹ (FHS) Número de esfuerzos por minuto >21 km•h⁻¹ (FSS) 	<ul style="list-style-type: none"> Semi-profesionales
Velocidad Pico (km•h ⁻¹)	Buchheit, Méndez-Villanueva, Simpson y Bourdon (2010b)	<ul style="list-style-type: none"> Máxima velocidad registrada durante el partido o entrenamiento 	<ul style="list-style-type: none"> Junior (U-13, U-14, U-15, U-16, U-17, U-18)
Aceleraciones y deceleraciones (m•s ²)	Akenhead, French, Thompson y Hayes (2014)	<ul style="list-style-type: none"> Número de aceleraciones en cada una de las 8 zonas de aceleración/deceleración establecidas (Tabla 4) 	<ul style="list-style-type: none"> Profesional
Player Load [®] (PL) (UA)	Casamichana, Castellano, Calleja-González, San Román y Castagna (2013)	<ul style="list-style-type: none"> Aceleración total del centro de masas Indicador válido de respuesta al entrenamiento en fútbol que recoge información de acciones específicas no relacionadas únicamente con la carrera (entradas, saltos, choques...) (Scott et al., 2013) $PL = \sqrt{((aca_{t=i+1} - aca_{t=i})^2 + (act_{t=i+1} - act_{t=i})^2 + (acv_{t=i+1} - acv_{t=i})^2)/100}$; <i>aca</i>, aceleración en el eje anteroposterior; <i>act</i>, aceleración en el eje transversal; <i>acv</i>, aceleración en el eje vertical; <i>i</i>, hora actual; <i>t</i>, tiempo. 	<ul style="list-style-type: none"> Semi-profesionales
Impactos (n)	Coutinho et al. (2015)	<ul style="list-style-type: none"> Número de impactos/colisiones jugador-jugador (ej. cargas) y jugador-suelo (ej. saltos y <i>tackles</i>) por encima de cierta intensidad (fuerza G) 	<ul style="list-style-type: none"> Élite Junior (U-15, U-17, U-19)

Secuencias de Sprints Repetidos (RSS) (n)	Suárez-Arrones et al. (2014)	<ul style="list-style-type: none"> Número de secuencias de sprints repetidos, definidas como número de veces que se encadenan 2 sprints de duración mayor a 1 segundo separados entre sí menos de 60 segundos. 	<ul style="list-style-type: none"> Élite Europea
Effindex ($m \cdot \text{min}^{-1} / \%HR_{\text{máx}}$)	Suárez-Arrones et al. (2014)	<ul style="list-style-type: none"> Medida que relaciona carga externa ($m \cdot \text{min}^{-1}$) con carga interna ($\%HR_{\text{máx}}$), expresando una relación dosis-respuesta ante un determinado estímulo (ej. Partido) 	<ul style="list-style-type: none"> Élite Europea
Ratio Trabajo:Descanso (s/n)	Suárez-Arrones et al. (2014)	<ul style="list-style-type: none"> Variable que expresa la relación entre actividad (ej. $m \cdot \text{min}^{-1}$ a $>7 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$) y descanso (ej. $m \cdot \text{min}^{-1}$ a $<7 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$) 	<ul style="list-style-type: none"> Élite Europea

Tabla 4. Clasificación de Zonas determinantes del patrón de actividad según intensidad de aceleración/deceleración (en $m \cdot s^{-2}$) (adaptado de Akenhead French, Thompson y Hayesa, 2014).

Zona 1		Zona 2		Zona 3		Zona 4		Zona 5		Zona 6		Zona 7		Zona 8	
a	Desc.	a	Desc.	a	Desc.	a	Desc.	a	Desc.	a	Desc.	a	Desc.	a	Desc.
<-3	MD	-2,99 a -2	HD	-1.99 a -1	ID	-0.99 a 0	LD	0.01 a 1	LA	1.01 a 2	IA	2.01 a 3	HA	>3	MA

Notas: a, aceleración en $m \cdot s^{-2}$; Desc., Descripción; MD, Deceleración Máxima (Maximal Deceleration); HD, Deceleración Alta (High Deceleration); ID, Deceleración Intermedia (Intermediate Deceleration); LD, Deceleración Baja (Low Deceleration); LA, Aceleración Baja (Low Acceleration); IA, Aceleración Intermedia (Intermediate Acceleration); HA, Aceleración Alta (High Acceleration); MA, Aceleración Máxima (Maximal Acceleration).

Tabla 5. Clasificación del patrón de actividad en Zonas según F de impacto (Coutinho et al., 2015).

Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6
I (G)	I (G)	I (G)	I (G)	I (G)	I (G)
5-6	6.1-6.5	6.5-7	7.1-8	8-10	>10

Notas: F, Fuerza; I, Impactos; G, fuerza de la gravedad; Desc., descripción.

Tabla 6. Clasificación de Zonas determinantes del patrón de actividad según velocidad (en $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$) (adaptado de Cummins et al. (2013)).

Referencias	Zona 1		Zona 2		Zona 3		Zona 4		Zona 5		Zona 6	
	V	Descripción	V	Descripción	V	Descripción	V	Descripción	V	Descripción	V	Descripción
Barbero Álvarez et al. (2008)	0-0.4	De pie/Parado	0.5-3	Caminar	3.1-8	Trotar	8.1-13	MIR	13.1-18	HIR	>18	Sprint
Hill-Hass (2008)	0-6.9		7-9.9		10-12.9		13-15.9		16-17.9		>19,1	Sprint
Hill-Hass et al. (2009)	0-0.4	De pie/Parado					7.9-12.9	Trotar	13-17.9	Velocidad Crucero		Sprint
Castagna et al. (2009)	0-0.4	De pie	0.4-3	Caminar	3-8	Trotar	8-13	MIR	13-18	HIR	>18	Sprint
Casamichana y Castellano (2010)	0-3.9	Caminar			4-6.9	Trotar	7-12.9	Carrera Rápida	13-17.9	HIR	>18	Sprint
Buchheit et al. (2010b)*					<13	LIR	13.1-16	HIR	16.1-19	VHIR	>19,1	Sprint
Harley et al. (2010)		De pie		Caminar		Trotar		Correr		HSR		
Scott et al. (2013)							<14.4	LSA	>14.4	HSR	>19,8	VHSR
Suárez-Arrones et al. (2014)			0.1-7	Caminar	7.1-13	LSR	13.1-18	MSR	18.1-21	HSR	>21	Sprint

Notas: V, Velocidad en $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$; LIR, Carrera de Baja Intensidad (Low Intensity Running); MIR, Carrera de Media Intensidad (Medium Intensity Running); HIR, Carrera de alta Intensidad (High Intensity Running); VHIR, Carrera de Intensidad muy Alta (Very High Intensity Running); HSR, Carrera de Alta Velocidad (High Speed Running); LSA, Actividad a Baja Velocidad (Low Speed Activity); VHSR, Carrera a muy Alta Velocidad (Very High Speed Running); LSR, Carrera a Baja Velocidad (Low Speed Running); MSR, Carrera a Intensidad Media (Medium Speed Running); *, Variables utilizadas para evaluar el rendimiento físico en jugadores jóvenes (U-13–U-18).

Por otro lado, con respecto a otras variables más novedosas, la literatura disponible carece de información suficiente a cerca de los impactos realizados/recibidos por los futbolistas, refiriéndonos a intensidad y número (Coutinho et al., 2015).

En cuanto a la correlación de las medidas obtenidas por medio de GPS, la distancia total recorrida, el Player Load[®] y la frecuencia de esfuerzos repetidos a alta intensidad han mostrado tener un nivel de correlación bastante elevado tanto con el método de control de la carga interna de Edwards como con el método RPE (Campos-Vázquez, 2012; Casamichana et al., 2013). Sin embargo, las correlaciones entre el método RPE y las acciones realizadas a alta intensidad y sprints no parecen ser demasiado elevadas (Casamichana et al., 2013).

Un aspecto importante es que, saliendo de los datos puramente físicos, la accesibilidad que reportan este tipo de dispositivos a los datos recogidos permite valorar también aspectos tácticos del juego, posibilitando el estudio a posteriori de las relaciones que se establecen entre los jugadores de un equipo con relación a los rivales y acercándonos hacia un mayor conocimiento del juego desde la perspectiva táctico-estratégica (Castellano y Casamichana, 2014a). Comportamientos colectivos como profundidad y amplitud, superficies, medidas de dispersión como el *strength index* o distancias longitudinales y laterales entre centroides, son variables actualmente investigadas, especialmente en el fútbol de rendimiento, con objetivo de encontrar eventos relevantes del juego o perturbaciones que puedan predecir o sean provocados por comportamientos colectivos determinados (Castellano y Casamichana, 2014b).

Entre las ventajas derivadas del uso de dispositivos GPS (o multisensor), podemos destacar:

- Unidades de muestreo ligeras y poco intrusivas, con la capacidad de proporcionar información de movimiento en tiempo real a entrenadores y preparadores físicos (Cummins et al., 2013) además de posibilitar una posterior sincronización con imágenes de video para enriquecer su análisis (Castellano y Casamichana, 2014).
- Alta portabilidad del sistema, que permite que los datos se recopilen fácilmente en cualquier lugar utilizado para la competición. Además, la cantidad de jugadores en el campo al mismo tiempo (hasta 22 jugadores en fútbol más el árbitro) dificulta el uso de sistemas de cámara semiautomáticos o totalmente automatizados (Aughey, 2011).
- Posibilita una mejor comprensión de las demandas fisiológicas específicas y posicionales y se puede utilizar para diseñar programas de entrenamiento que

preparen adecuadamente a los futbolistas para la competición con el objetivo de optimizar el rendimiento en el campo (Cummins et al., 2013).

- La tecnología GPS se puede utilizar para informar y regular las cargas de entrenamiento para deportistas, a nivel individual, en periodos sensibles durante la temporada competitiva (Cummins et al., 2013). Un modelo de predicción de lesiones desarrollado recientemente demostró que jugadores de rugby que superaban un umbral de entrenamiento determinado de actividad presentaban un riesgo significativamente mayor de padecer lesiones (sin contacto) en tejidos blandos (Gabbet, 2010).
- La participación de los deportistas en la monitorización de la carga de entrenamiento facilita su involucración en el programa de entrenamiento y su sentido de pertenencia (Halson, 2014).

Entre sus inconvenientes, podemos destacar algunas limitaciones con respecto a otros sistemas de seguimiento:

- El GPS es un instrumento válido para medir la distancia recorrida a velocidades bajas y moderadas pero no altas, suponiendo esto que su fiabilidad se reduce a medida que aumenta la intensidad de movimiento (mayor problema por encima de 20 km/h) especialmente si las trayectorias son no lineales (Campos-Vázquez, 2012), aunque ésta mejora a medida que aumenta la distancia recorrida para un determinado esfuerzo (Cummins et al., 2013).
- Solo podemos obtener información del jugador que porta el dispositivo, privándonos de información sobre jugadores del equipo rival, además de no permitir aplicarse a eventos pasados (aspectos que si lo permite el videotracking) (Castellano y Casamichana, 2014a).
- Imposibilidad de realizar registros en actividades cubiertas o la limitación para realizar registros en zonas urbanas con edificios altos que puedan interferir en la señal GPS (Castellano y Casamichana, 2014a).
- Elevado coste económico y necesidad de profesionales cualificados capaces de obtener e interpretar los datos obtenidos (Castellano y Casamichana, 2014a).
- Batería limitada a una duración entre 5-10 h (Castellano y Casamichana, 2014a).

1.2.4. Programación de la carga de entrenamiento

Un punto en común entre todos los métodos de cuantificación del entrenamiento expuestos hasta el momento es que todos ellos proporcionan información, ya sea de la

carga interna como de la carga externa, una vez realizado el entrenamiento o como mucho (y si se dispone de la tecnología adecuada) en directo, como puede ser el caso en la utilización de ciertos monitores de FC y dispositivos multisensor (GPS, acelerómetro, etc). Como limitación común, ninguno de estos métodos está diseñado específicamente para programar o propone un método para prescribir con exactitud carga de entrenamiento en fútbol, debido a que la imprevisibilidad y entorno de interacción complejo y abierto del deporte en sí lo imposibilita, limitando la capacidad por parte del cuerpo técnico a someter a los deportistas a cargas correctamente planificadas, como sí puede darse más fácilmente en deportes con entornos más controlables (López et al., 2017a).

Además, el elevado precio que supone contar con alta tecnología y el personal altamente cualificado que se requiere para la recogida y análisis de los datos, entre otras cosas, hace que sea necesario muchas veces la búsqueda de otro tipo de herramientas o metodologías de cara a garantizar un correcto y útil proceso de cuantificación y control de la carga de entrenamiento en fútbol (Vázquez, 2012).

A partir del método RPE, se ha estudiado la relación entre la carga previamente prescrita (o percibida) por el entrenador (s-RIE) con la que es percibida por el jugador tras completar la sesión (s-RPE) en varios deportes, hallándose diferencias significativas entre ambas percepciones y, mostrándose una incongruencia suficiente como para concluir que utilizar esta estrategia de pre-cuantificación como herramienta de periodización de la carga provocaría cometer errores por parte del entrenador en las dosis de entrenamiento prescritas (Murphy, Duffield, Kellett y Reid, 2014; Brink, Frencken, Jordet y Lemmink, 2014). Parece ser que los entrenadores infravaloran la carga de entrenamiento con respecto a lo que perciben los deportistas en el caso del tenis (Murphy et al., 2014) y de los entrenamientos físicos en voleibol (Rodríguez-Marroyo, Medina, García-López, García-Tormo y Foster, 2014), mientras que en el caso del fútbol, la s-RIE de los entrenadores para las sesiones suaves e intermedias es menor a la s-RPE percibida por los jugadores en cuanto a intensidad y carga de entrenamiento, mientras que para los días con alta s-RIE por parte del entrenador, los jugadores percibieron una menor intensidad, duración y carga de entrenamiento (Brink et al., 2014).

Estas diferencias entre lo que el entrenador pretende prescribir y lo que el jugador finalmente percibe o realiza podrían llevar a una mala adaptación al entrenamiento, ya que el deportista no sigue el plan prescrito por el entrenador (Brink et al., 2014). Para evitarlo, sería de vital importancia asegurar que los deportistas entrenen lo que el cuerpo técnico planifica de la forma más objetiva posible.

En línea con esto, López et al. (2017a) desarrollaron y validaron una herramienta para el cálculo de la carga externa total de una sesión de fútbol en jugadores profesionales, previa ejecución de la misma, a la que denominaron TOM-Scale. Dicha escala parece ser la única herramienta demostrada válida, hasta el momento, para programar carga de entrenamiento y adoptar diversas estrategias de periodización de la carga externa, con lo que ello conlleva (López et al., 2017a).

Según Halson (2014), para poder mantener un estado de forma alto a lo largo de una temporada y, además, prevenir lesiones, disponer de herramientas de cuantificación y monitorización de la carga de entrenamiento externa es importante. Por tanto, la utilización de una herramienta que permita programar la carga externa y su evolución, como es el caso de la escala TOM-Scale, podría ayudar en la consecución de los dos objetivos anteriormente mencionados, lo que suscitaría un gran interés entre la comunidad futbolística, especialmente en equipos que no disponen de alta tecnología (López et al., 2017a).

El valor de carga externa para una sesión a partir del método TOM-Scale se obtiene multiplicando el valor de intensidad asignado a cada tarea (categorizada previamente mediante **Tabla 10**) a partir del diagrama de determinación de la intensidad del ejercicio (**Figura 3** y **Anexo I**), por el volumen efectivo de la misma, para después sumar todos los valores de carga obtenidos en cada ejercicio y obtener el valor total de carga de la sesión (TL-TOM) en Unidades Arbitrarias (UA) (López et al., 2017a).

Esta escala ha demostrado correlaciones positivas altas con algunas variables de carga externa como la distancia total ($r=0.87$) entre otras, así como con variables de carga interna como el TRIMP de Banister ($r=0.81$) y el TRIMP de Edwards ($r=0.79$) entre otras (López et al., 2017a), lo que sugiere que la herramienta TOM-Scale puede ser un método útil para programar carga de entrenamiento, tanto interna como externa, antes de la sesión.

Aprovechando el creciente interés y necesidad en descubrir mejores herramientas para hacer coincidir el plan del entrenador con la experiencia de entrenamiento del deportista (Foster et al., 2017), en este trabajo se pretende hallar la relación entre el valor de carga externa ofrecido por el método TOM-Scale (López et al., 2017a) y otros valores de carga externa (variables GPS y acelerometría) y de carga interna (valores derivados de FC y RPE), con especial interés sobre la carga interna percibida por los jugadores a través del método RPE. Por tanto, el objetivo principal es validar TOM-Scale como predictor de la carga de entrenamiento e instrumento para programar carga de trabajo de sesiones de entrenamiento/partidos en futbolistas jóvenes, lo que supondría poder optimizar el proceso de programación y periodización de las cargas de entrenamiento en equipos limitados en recursos tecnológicos y formados por futbolistas jóvenes de alto nivel.

2. OBJETIVOS DEL TRABAJO Y COMPETENCIAS DESARROLLADAS

Los objetivos principales del presente trabajo fueron:

1. Validar la herramienta TOM-Scale como predictor de la carga de entrenamiento y determinar su validez como instrumento para programar la carga de trabajo de futbolistas juveniles de alto nivel (Sub-19, Sub-18 y Sub-17).
2. Cuantificar la carga de entrenamiento en jugadores jóvenes de fútbol (Sub-19, Sub-18 y Sub-17) atendiendo a diferentes metodologías (usando la FC, RPE, GPS/acelerometría y TOM-Scale) durante 11 semanas de su periodo competitivo (Liga Doméstica: 1ª Liga Nacional Juvenil Grupo III).
3. Realizar una revisión bibliográfica de la literatura actual relacionada con los métodos de cuantificación y estimación de la carga de entrenamiento en fútbol, de cara a contextualizar el posterior desarrollo de una intervención práctica en campo.

En cuanto a las competencias del Máster de Entrenamiento y Rendimiento Deportivo (FCAFD Universidad de León, 2017/2018) que han sido desarrolladas mediante la realización de este trabajo, podemos identificar:

- Competencias específicas en “Cuantificación y control de las cargas de entrenamiento”:
 - A16992-1403CE05: Aplicar los diferentes métodos de cuantificación y control de la carga en diversos contextos de entrenamiento y competición.
 - A16993-1403CE06: Manejar las nuevas tecnologías y herramientas específicas para el registro y cuantificación de las cargas de preparación del deportista.
- Competencias generales y transversales:
 - B5200-1403CG04: Cuantificar y controlar cargas de entrenamiento y competición, como base para planificar de manera científica los estímulos de preparación y programas de ejercicio encaminados a la mejora del rendimiento.
 - B5203-1403CG07: Manejar las innovaciones y herramientas tecnológicas específicas más actualizadas en el campo del entrenamiento deportivo y el análisis de la competición.
 - B52019-1403CT06: Manejar la bibliografía científica específica, utilizando herramientas de búsqueda y acceso a documentación especializada.

3. METODOLOGÍA

3.1. Revisión de la literatura científica

Se llevó a cabo una revisión de la literatura más actualizada (2010-2017 principalmente) salvo pequeñas excepciones, de cara a contextualizar el trabajo, sobre los diferentes métodos y procesos de cuantificación y estimación de la carga interna y de la carga externa de entrenamiento en fútbol (mayoritariamente) y otros deportes (en menor medida), bajo las palabras claves: “soccer”, “football”, “team sports”, “quantification”, “monitoring”, “training load”, “internal load”, “external load”, “RPE”, “perceived exertion”, “heart rate”, “TRIMP”, “GPS”, “global positioning system” y “motion analysis”, así como sus traducciones al español. Principalmente, la revisión se centró en investigaciones o trabajos publicados en inglés y recogidos en los motores de búsqueda PubMed, Dialnet y Google Scholar.

3.2. Enfoque experimental del problema

Se analizaron valores de carga a partir de diferentes variables que fueron recogidas durante las últimas 11 semanas de entrenamiento del equipo estudiado, incluyéndose durante las 5 últimas semanas la monitorización mediante dispositivos GPS, acelerómetros y pulsómetros de 5 jugadores, diferentes cada sesión, durante casi todas las sesiones. La RPE, recogida durante todas las sesiones analizadas, y la FC, recogida durante algunas sesiones, fueron utilizadas para calcular la carga interna de entrenamiento. Además, la carga de entrenamiento externa fue calculada mediante el método TOM-Scale, en todas las sesiones, y mediante variables obtenidas por GPS y acelerometría, en algunas sesiones.

3.3. Sujetos

Los 18 jugadores categoría juvenil (Sub-19, Sub-18 y Sub-17) pertenecientes al mismo equipo, Juvenil ‘A’ de la Cultural y Deportiva Leonesa SAD, militante en el grupo III de la Liga Nacional Juvenil Española, participaron en este trabajo de forma voluntaria. La descripción de dicha muestra queda reflejada en la **Tabla 7** y la **Tabla 8**.

Tabla 7. Valores descriptivos de la muestra analizada para diferentes variables.

n=18	Edad	Peso	Altura	Años PF
Media	18.5	72.3	179.8	10.1
±SD	0.7	8.4	7.4	3.9

Notas: n, número de sujetos analizados; PF, Práctica Federada; SD, Desviación Estándar.

Tabla 8. Número de sujetos por posición de juego que han compuesto la muestra analizada.

	DFC	LAT	MC	MP	EXT	DEL	Total
n	4	4	3	1	4	2	18

Notas: DFC, Defensa Central; LAT, Lateral; MC, Medio Centro; MP, Media Punta, EXT, Extremo, DEL, Delantero.

Todos los jugadores fueron informados previamente sobre la dinámica, posibles beneficios e inconvenientes de su participación en el estudio y, tras ello, dieron de forma escrita su consentimiento informado.

Las diferencias en cuanto a participación (en número de sesiones individuales con y sin GPS/acelerómetro y pulsómetro) fueron fruto de la marcha de 2 jugadores a falta de 4 semanas, ambos por ir convocados con su selección nacional para disputar partidos internacionales. Además, influyó también la marcha del equipo de 2 jugadores a falta de 3 semanas, por causas desconocidas uno, y por ir convocado con su selección nacional para disputar partidos internacionales otro. Esporádicamente algunos jugadores causaron baja en alguna sesión por diversos motivos justificados.

Los valores de carga, tanto interna como externa, derivados de cada jugador, fueron considerados para su análisis cuando éste completaba la sesión entera, en el caso de los entrenamientos, y cuando participaba en los partidos disputando algún minuto.

3.4. Procedimiento

Inicialmente, fueron recogidos los datos empleados para la descripción de la muestra mediante un breve cuestionario donde se recogieron preguntas referentes a la edad (en años y meses), peso, altura, años de práctica deportiva del fútbol de forma federada y demarcación habitual dentro del terreno de juego (**Tabla 7** y **Tabla 8**).

Tabla 9. Valores descriptivos de las sesiones en las que ha participado cada sujeto.

	Media	±SD	Mín.	Máx.	Total
GPS	3.2	1.5	1	7	57
Totales	26.5	4.9	16	31	476

Notas: SD, Desviación Estándar; Mín., Número Mínimo; Máx., Número Máximo; GPS + FC, sesiones completadas bajo el registro de un dispositivo multisensor (GPS, acelerómetro y FC).

La **Figura 2** representa esquemáticamente las sesiones analizadas durante el periodo de estudio, finalmente un total de 30, de las que 27 fueron entrenamientos (E) en campo y 3 fueron partidos oficiales (PO), y de las cuales se obtuvieron 476 sesiones individuales

(Tabla 9). La primera sesión de entrenamiento se registró el 7 de marzo de 2018, y la última, que correspondió con el último partido oficial de la temporada, se registró el día 19 de mayo de 2018.

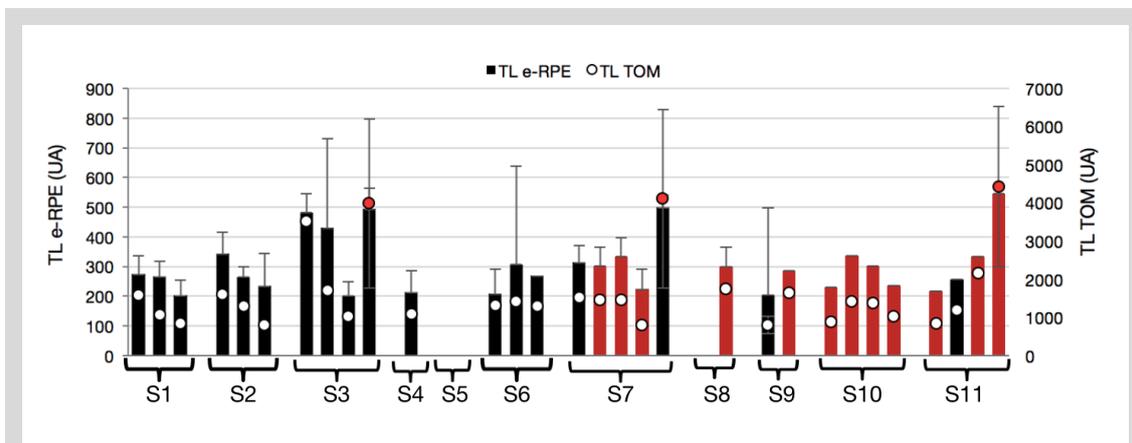


Figura 2. Representación esquemática de las sesiones registradas y analizadas durante el periodo de estudio. Los puntos rojos representan partidos, mientras que las barras rojas representan sesiones en las que algunos jugadores fueron monitorizados mediante tecnología GPS y pulsómetros. *Notas:* TL e-RPE, carga de entrenamiento cuantificada mediante metodología RPE y tiempo efectivo de entrenamiento; TL TOM, carga de entrenamiento cuantificada mediante metodología TOM-Scale y tiempo efectivo de entrenamiento; UA, Unidades Arbitrarias; S, Semana.

En 12 (11E: 3E la Semana (S) 7, 1E la S8, 1E la S9, 4E la S10 y 2E la S11; y 1PO la S11) de las 30 sesiones se llevó a cabo la monitorización de algunos jugadores (máximo 5 por sesión) mediante un dispositivo multisensor (*WIMU, Realtrack Systems, España*) colocado entre las escápulas del deportista mediante un chaleco especial, con el objetivo de registrar variables de carga externa, y mediante un dispositivo de registro de la FC (*Garmin HRM, Garmin, USA*) con el objetivo de monitorizar de forma fisiológica la carga interna. Ambos tipos de tecnología han sido utilizados previamente para el mismo fin en otros estudios (Casamichana et al., 2013; Suárez-Arrones et al., 2014) y, más concretamente, ambos dispositivos han sido también usados en un estudio previo de similares características (López et al., 2017a). En el caso del dispositivo multisensor, ha sido recientemente validado para monitorizar las demandas específicas de movimiento en los deportes de equipo (López, Gil, Ortega y De Hoyo, 2017b). Este aparato consta de: un GPS de 5 Hz, un acelerómetro triaxial de 1000 Hz y el sistema ANT+, que permite conectarlo con el dispositivo de registro de la FC, entre otros sensores. De las 12 sesiones monitorizadas con esta tecnología se obtuvieron un total de 57 sesiones/registros individuales (Tabla 9).

Los datos brutos fueron analizados y reportados a una hoja Excel tras cada sesión de entrenamiento mediante un software de análisis específico para el tratamiento de los datos de los dispositivos utilizados (*SPRO, Realtrack Systems, Spain*). Entre las variables de

carga externa analizadas, destacan las propuestas por López et al. (2017a) en el estudio de validación de la herramienta TOM-Scale en futbolistas profesionales: distancia total (TD, en metros), % de acciones a alta intensidad (%HIA), número total de aceleraciones (ACC, en $m \cdot s^{-2}$) y de deceleraciones (DCC, en $m \cdot s^{-2}$), número total de Sprints (Sprints) y número total de impactos (Impactos). Aunque, debido a la diferencia de edad en la muestra utilizada en este trabajo con respecto al realizado por López et al. (2017a), los umbrales para determinar las zonas de velocidad utilizadas fueron modificados, como recomiendan Cummins et al. (2013). El umbral de velocidad considerado para HIA fue $>13.1 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, mientras que el umbral para los Sprints se estableció en $>19.1 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, como establecen Buchheit, Méndez-Villanueva, Simpson y Bourdon (2010b) para el tipo de deportistas y edad encontrados en este trabajo. Para las ACC y DCC, el mínimo valor considerado fue $0.55 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, mientras que para los Impactos fue de 5G (López et al., 2017a).

Además, la TD, el número total absoluto (sin umbral de $0.55 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$) de aceleraciones y de deceleraciones fueron analizados en base al tiempo, obteniendo como variables de carga externa también: distancia relativa (RD, en $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$) (Cummins et al., 2013), aceleraciones relativas (ACCR, en $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}/\text{min}$) y deceleraciones relativas (DCCR, en $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}/\text{min}$).

Como último valor de carga externa se incluyó un valor de carga aportado por el dispositivo multisensor, denominado Player Load Integral, en Unidades Arbitrarias (UA).

Los datos de FC fueron tratados para obtener como variable de carga interna a analizar los valores derivados del método TRIMP de Edwards, que consiste en medir el tiempo que el deportista pasa en cada una de las cinco zonas de FC propuestas para después multiplicarlo por un factor diferente en cada una de ellas: $((T Z1 \times 1) + (T Z2 \times 2) + (T Z3 \times 3) + (T Z4 \times 4) + (T Z5 \times 5))$, donde Z1 = 50% a 60% FCmáx, Z2 = 60% a 70% FCmáx, Z3 = 70% a 80% FCmáx, Z4 = 80% a 90% FCmáx y Z5 = 90% a 100% FCmáx. Este método da una mayor importancia a las zonas de mayor intensidad que a las intensidades más bajas. Por último, las puntuaciones obtenidas en cada zona se suman para obtener el valor de carga final (Borresen y Lambert, 2008).

Para todas las sesiones fue calculado el valor de carga interna a partir de la percepción subjetiva del esfuerzo (Foster et al., 2001; Impellizzeri et al., 2004; Casamichana, 2014) y el valor de carga externa a partir de una novedosa escala, utilizada en el entrenamiento en fútbol para establecer la carga de entrenamiento previo a la realización del mismo, conocida como TOM-Scale (López et al., 2017a).

La carga interna subjetiva fue calculada mediante el método s-RPE (Foster et al., 2001; Impellizzeri et al., 2004) y mediante el método e-RPE. El primero consiste en multiplicar un

valor que traduce la percepción de esfuerzo del deportista en una puntuación numérica de entre 0 y 10, recogida personalmente mediante la escala RPE de Borg 10 minutos después de cada sesión de entrenamiento (Los Arcos, Gil-Rey, Izcue y Yanci, 2013), por el volumen total de la misma (Foster et al., 2001). En el caso del segundo, consiste en multiplicar ese mismo valor de esfuerzo por el volumen efectivo de la sesión, entendido como el tiempo total de la sesión menos los tiempos de pausa o descanso entre ejercicios o series. Todos los sujetos estaban familiarizados previamente con la utilización de la escala RPE de Borg, ya que el cuerpo técnico del equipo utilizaba esta metodología para cuantificar la carga de entrenamiento.

La decisión de utilizar el método e-RPE radica en que el método de cuantificación de la carga externa TOM-Scale se utilizó contemplando únicamente el tiempo efectivo de la sesión, por lo que de cara a establecer comparativas entre ambas metodologías sería interesante, y metodológicamente más adecuado, comparar ambos valores de carga habiendo utilizado la misma magnitud en cuanto a la variable tiempo (volumen). En relación a esto, tanto el tiempo total como el tiempo efectivo de cada sesión fueron recogidos manualmente con un reloj (*Polar M400, Polar Electro, Kempele, Finlandia*) que posibilitaba realizar parciales o laps dentro de un mismo registro, y que eran a posteriori fácilmente identificables como tiempo de tareas o descansos, ya que durante todo el entrenamiento se realizaban las anotaciones pertinentes (tiempos, laps y su correspondencia con tareas, participación de jugadores en tareas, características de las tareas, espacios, intensidad, dificultad, roles de los jugadores en las tareas, etc) en una hoja de registro elaborada personalmente (**Anexo II**).

Todos los datos obtenidos de cada sesión de entrenamiento referentes al volumen (efectivo y total), participación, carga interna (e-RPE, s-RPE, TRIMP Edwards) y carga externa (TL-TOM, variables GPS y acelerometría) eran volcados en una hoja Excel de elaboración propia para su posterior análisis. Cabe señalar que los datos de la sesión número 20 fueron extraviados y, aunque se refleje la existencia de la misma en el trabajo, no fueron incluidos en el estudio.

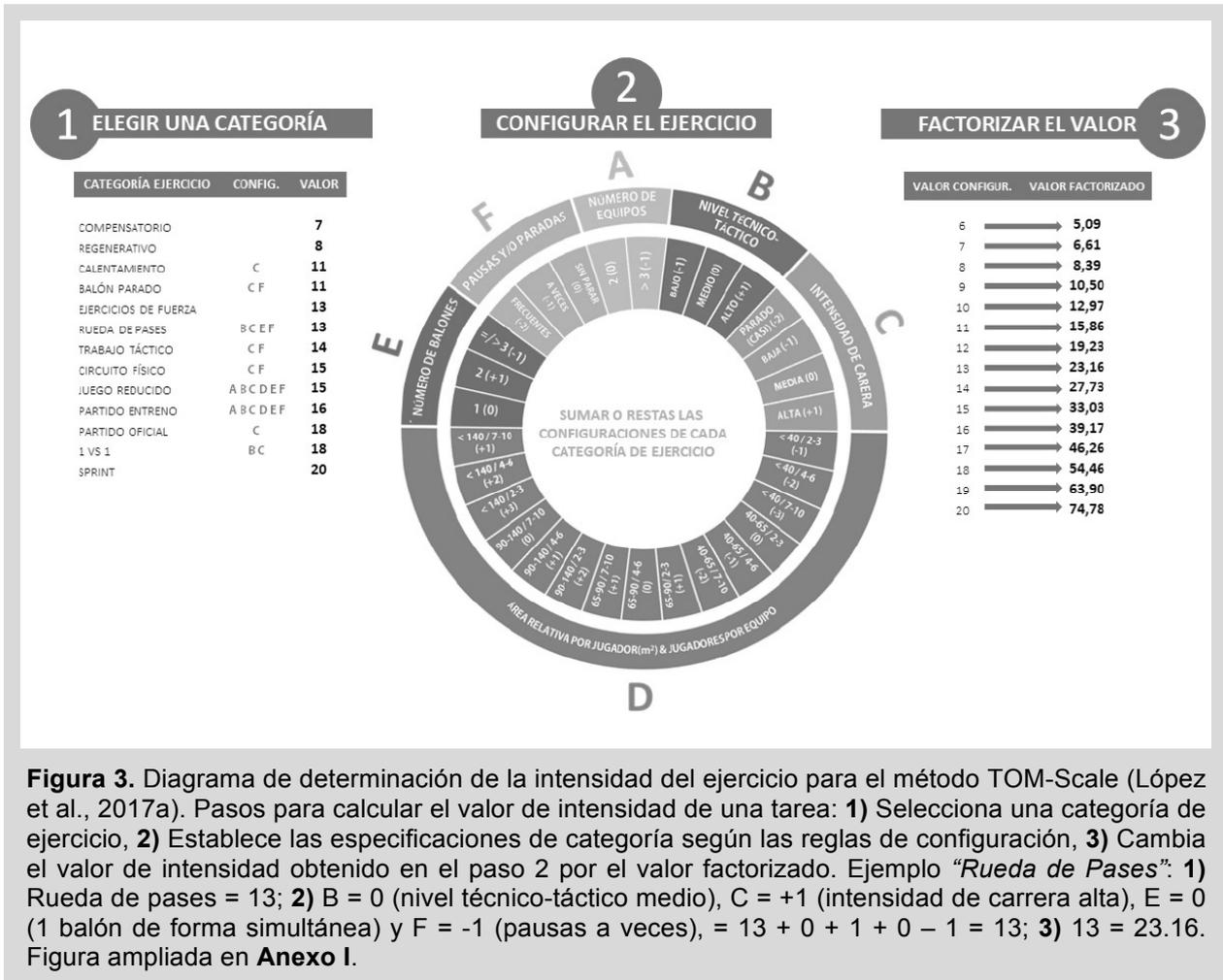
El valor de carga externa para una sesión a partir del método TOM-Scale se obtiene multiplicando el valor de intensidad, asignado a cada tarea a partir del diagrama de determinación de la intensidad del ejercicio (**Figura 3** y **Anexo I**), por el volumen efectivo de la misma, para después, sumar todos los valores de carga obtenidos para cada ejercicio y obtener el valor total de carga de la sesión (TL-TOM) en Unidades Arbitrarias (UA). La descripción de las categorías de ejercicios utilizados en el método TOM-Scale están recogidas en la **Tabla 10**.

Tabla 10. Descripción de las categorías de ejercicios utilizados en el método TOM-Scale (López et al., 2017a).

Categoría	Descripción
Compensatorio	Ejercicios de fortalecimiento de la zona media del cuerpo o trabajo del tren superior (sin grandes cargas), así como de las posibles estructuras débiles. Se incluyen en esta categoría ejercicios clásicos de prevención de lesiones como estiramientos, equilibrios, trabajo propioceptivo etc.
Recuperación	Actividad destinada a la recuperación tras un período de actividad intensa, ya sea tras un ejercicio o tras un entrenamiento/día intenso o tras un partido.
Calentamiento	Ejercicios destinados a preparar el organismo para una actividad física superior. Pueden englobar otras categorías aquí presentes, pero con objetivo de calentamiento.
Balón Parado	Todo ejercicio donde se lanza/golpea el balón desde o casi parado, como estrategia o tiros a portería.
Rueda de Pases	Ejercicios con balón donde la implicación técnica es alta y los contactos con el balón se producen de forma asidua por todos los jugadores. Se incluyen en esta categoría ejercicios donde el objetivo sea la mejora de la táctica individual y los rondos.
Ejercicios de Fuerza	Ejercicios de fuerza que se realicen predominantemente en el campo donde el objetivo sea la mejora de la fuerza por factores neurales. Se incluyen en esta categoría ejercicios de cambio de dirección, arrastres, sprints o fortalecimiento del tren inferior con cargas bajas-medias.
Juego Reducido	Ejercicios en espacios de juego reducidos, donde habitualmente existe un objetivo físico como objetivo principal del ejercicio. Suelen ser de alta o muy alta intensidad.
Trabajo Táctico	Ejercicios donde el principal objetivo es una mejora táctica, dando igual la mejora condicional. Normalmente, son ejercicios de menor intensidad que un partido de entrenamiento, con pausas habituales para correcciones (por ejemplo, situación ataque-defensa).
Partido de Entrenamiento	Ejercicios de situación real con muy pocas o ninguna regla de provocación. Se diferencia del trabajo táctico en que habitualmente ocupan medio campo o más superficie, interviniendo al menos más de la mitad de los jugadores de un equipo.
1vs1	Situaciones de 1 contra 1 en exclusiva, donde no intervienen más jugadores.
Partido Oficial	Partido oficial o amistoso.
Sprint	Ejercicios de sprint, analíticos o combinados en jugadas (por ejemplo, un contraataque a máxima velocidad de desplazamiento). Normalmente los sprints pueden estar englobados en otros ejercicios; esta categoría es sólo para aquellos ejercicios donde se realiza un sprint básicamente, casi en exclusiva un ejercicio analítico.

Aunque la escala TOM-Scale es una herramienta diseñada para predecir la carga de entrenamiento, los valores de carga obtenidos a partir de la misma utilizados para este estudio fueron asignados para cada entrenamiento después de que se desarrollase el mismo, ya que el objetivo era el de su validación y no el de su implementación pura. El motivo radica en que, para ser lo más exacto posible en la comparativa de el resto de variables analizadas con el método TOM-Scale, habría que tener en cuenta únicamente lo

realizado en cada entrenamiento, por lo que el tratamiento de los datos tenía lugar a posteriori tras analizar los datos recogidos.



La factorización tiene como objetivo transformar la escala original de Borg (6-20), utilizada en el primer paso, en una curva exponencial, sugiriendo que cuanto más intenso sea el ejercicio mayor será la diferencia entre esas intensidades (López et al., 2017a). Basándose en las asociaciones entre el primer (VT1) y el segundo umbral (VT2) con dicha escala, se factorizan como 1 los valores de 6-11, como 2 los valores de 12-14 y como 3 para los valores ≥ 15 (López et al., 2017a). Esta asociación entre factores dio lugar a la ecuación de predicción $y = 0.4497 * e^{(0.1059x)}$, para ajustar los factores individuales (López et al., 2017a).

3.5. Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se usó el programa SPSS v.24.0 para Microsoft (SPSS Inc., Chicago, IL, Estados Unidos). Los resultados obtenidos se muestran como media \pm

desviación estándar (\pm SD), tras llevarse a cabo un análisis descriptivo. La normalidad de las variables se determinó aplicando la prueba de Shapiro-Wilk. La relación entre las variables estudiadas en el trabajo se calculó usando el coeficiente de correlación de Pearson (r). Valores >0.9 , entre $0.7-0.9$, $0.5-0.7$, $0.3-0.5$, $0.1-0.3$ y <0.1 fueron considerados casi perfectos, muy altos, altos, moderados, pequeños y triviales, respectivamente. Los valores de $p<0.05$ fueron considerados estadísticamente significativos.

4. RESULTADOS

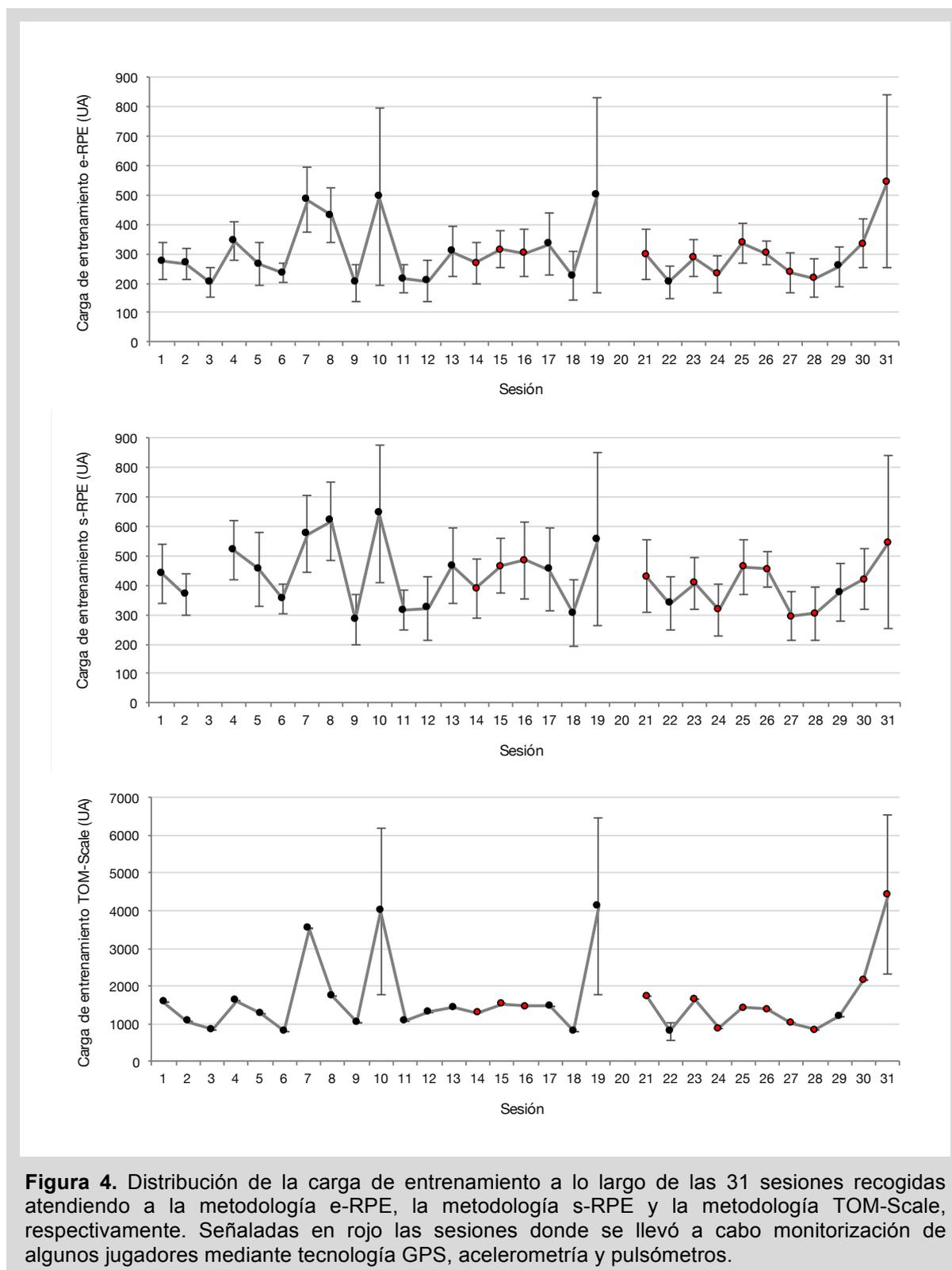


Figura 4. Distribución de la carga de entrenamiento a lo largo de las 31 sesiones recogidas atendiendo a la metodología e-RPE, la metodología s-RPE y la metodología TOM-Scale, respectivamente. Señaladas en rojo las sesiones donde se llevó a cabo monitorización de algunos jugadores mediante tecnología GPS, acelerometría y pulsómetros.

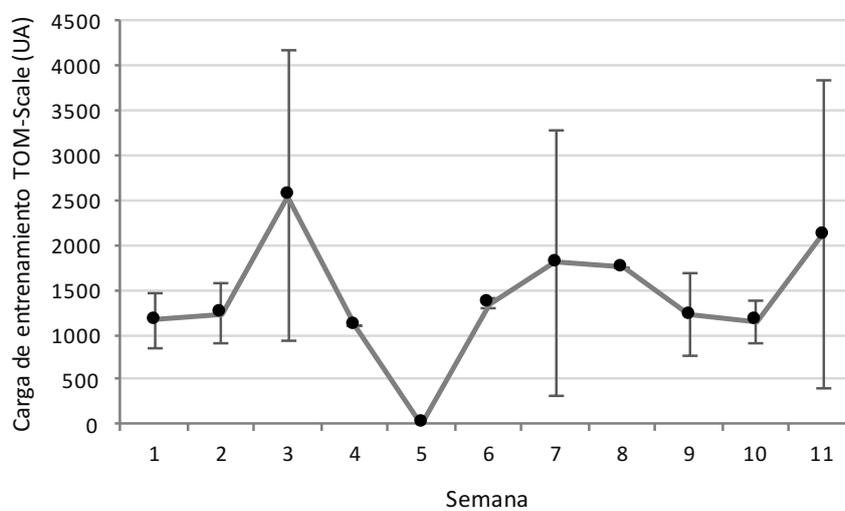
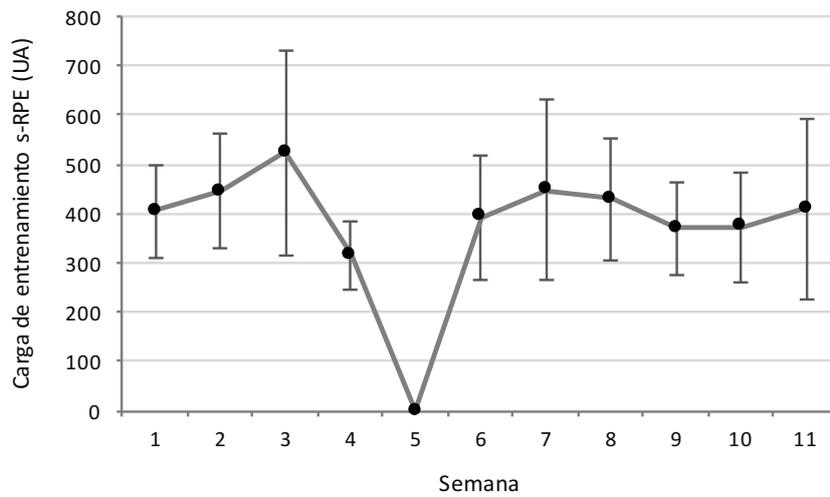
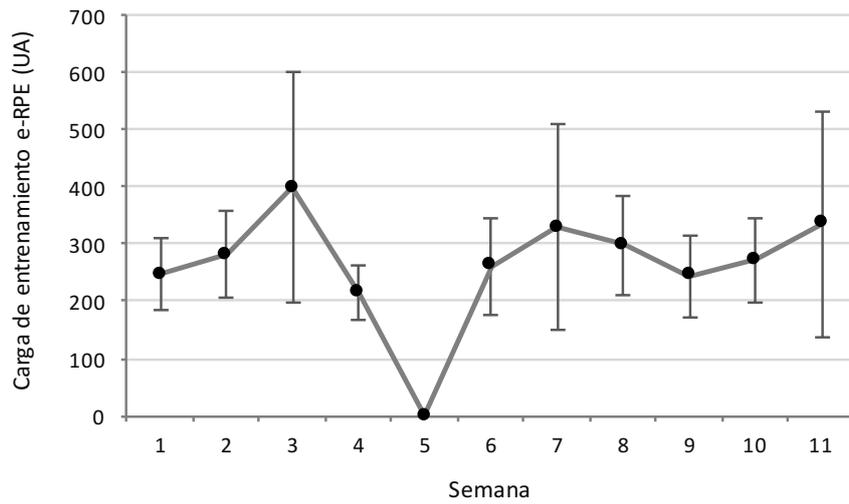
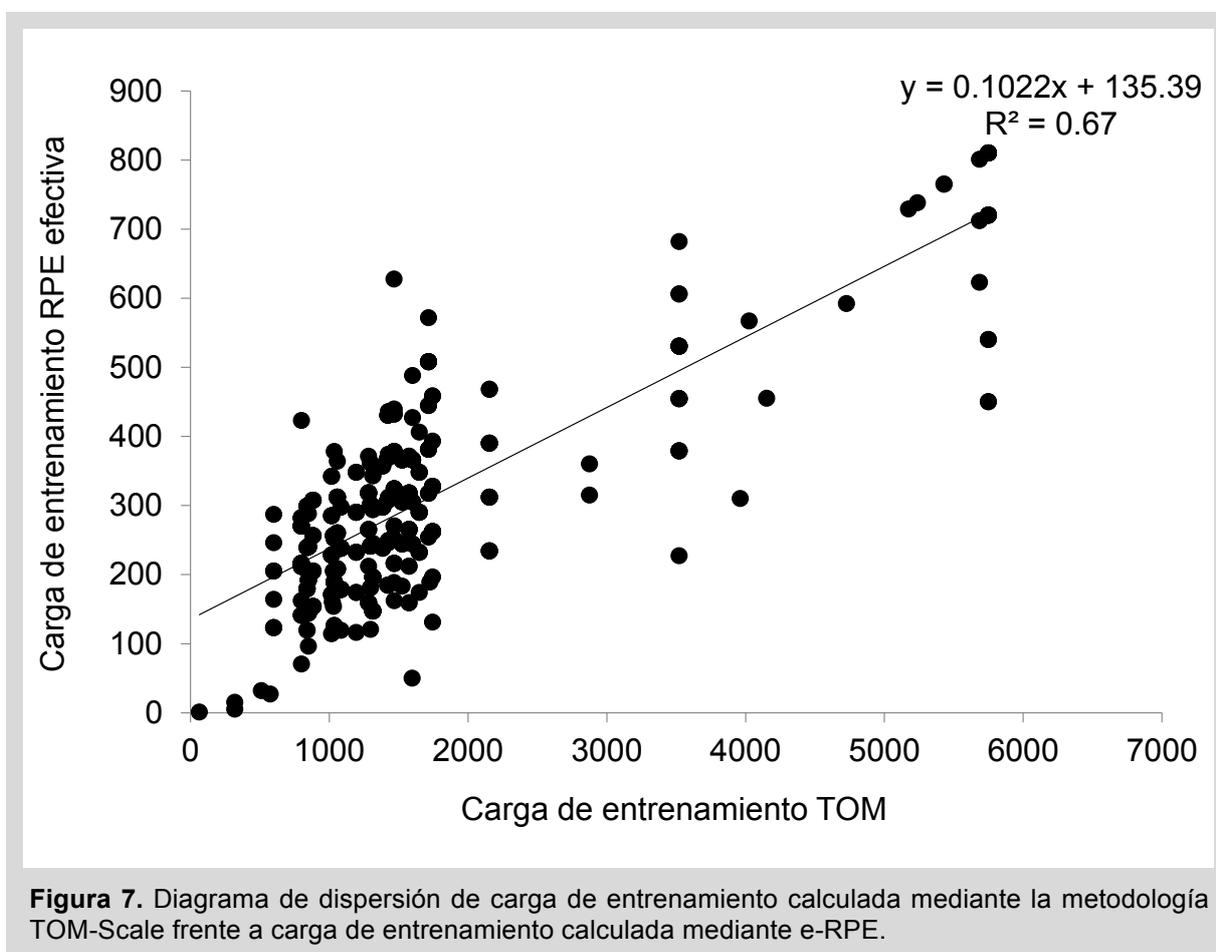


Figura 5. Distribución de la carga total de entrenamiento a lo largo de las 11 semanas recogidas atendiendo a la metodología e-RPE, la metodología s-RPE y la metodología TOM-Scale, respectivamente.

La evolución de la carga de entrenamiento obtenida a partir de la RPE (s-RPE y e-RPE) y TOM-Scale a lo largo de todas las sesiones analizadas en este estudio se muestra en la **Figura 4**. Los valores de carga más altos para las variables TOM-Scale, s-RPE y e-RPE fueron encontrados en las sesiones correspondientes a partidos oficiales (sesiones 10, 19 y 31). Como puede observarse, y en concordancia con las correlaciones encontradas, el patrón de comportamiento de la carga fue muy parecido entre las diferentes metodologías analizadas, siendo también prácticamente similar cuando se calculó la carga promedio semanal durante el periodo de estudio (**Figura 5**). Los valores de carga medios analizados por sesión se describen en la **Tabla 11**.

Cabe destacar que, se hallaron correlaciones muy altas ($p < 0.001$) entre la metodología TOM-Scale y e-RPE ($r = 0.82$; intervalo de confianza al 95% = 0.79-0.85) y altas entre la metodología TOM-Scale y s-RPE ($r = 0.62$; intervalo de confianza al 95% = 0.56-0.67) (**Figura 7 y Figura 8**, respectivamente), teniendo en cuenta el total de las sesiones analizadas por jugador.



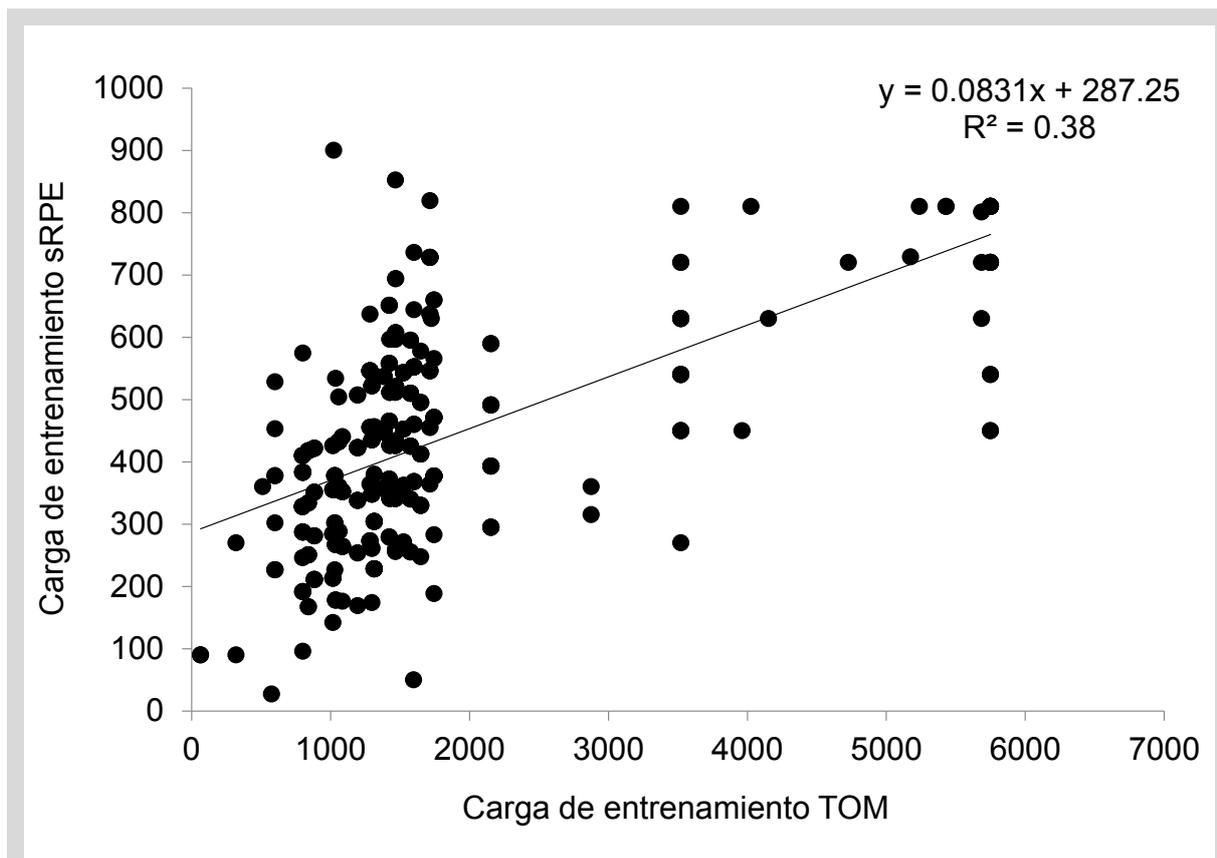


Figura 8. Diagrama de dispersión de carga de entrenamiento calculada mediante la metodología TOM-Scale frente a carga de entrenamiento calculada mediante s-RPE.

Por otro lado, la distribución de la carga, así como los valores medios correspondientes a la misma, pueden verse descritos en función de los días de distancia al partido y a partir de los diferentes métodos de cuantificación subjetiva utilizados en el estudio (TOM-Scale, e-RPE y s-RPE) en la **Figura 6**. Para facilitar la localización temporal y en consonancia con la metodología descrita por Malone et al. (2018), los días fueron etiquetados según su proximidad al partido (0 (P)). De esta forma, 4 días antes del partido corresponde a las siglas -4 (y sucesivo), mientras que el primer día y segundo día tras el partido corresponden a las siglas +1 y +2 respectivamente. Como puede observarse, los días de partido (0 (P)) presentan los mayores valores de carga, mientras que los días pre-partido (-1) podemos encontrar los valores más bajos (**Figura 6**). Además, puede verse como la evolución de la carga a lo largo del microciclo se muestra similar en todas las metodologías comparadas (**Figura 6**).

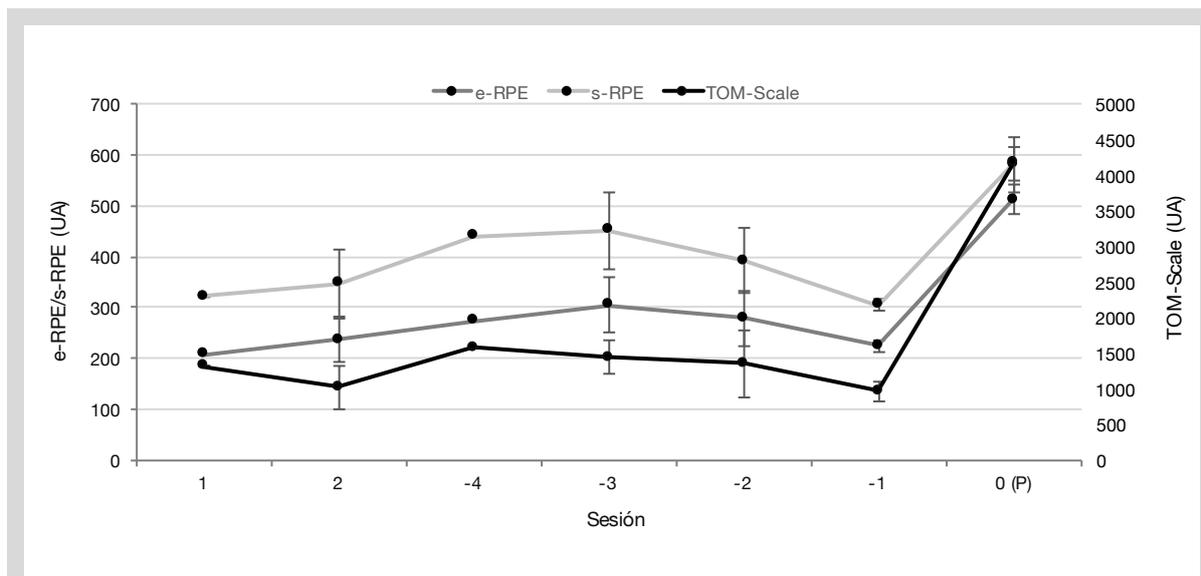


Figura 6. Distribución de la carga media (\pm SD) descrita a partir de diferentes métodos de cuantificación subjetiva (TOM-Scale, e-RPE y s-RPE) en función de los días de distancia al partido.

Los valores medios por sesión individual de las variables registradas con los dispositivos multisensor (GPS y acelerómetro) y bandas de FC, así como los valores de carga TOM-Scale, s-RPE y e-RPE para el total de las sesiones, se recogen en la **Tabla 11**. Así mismo, su evolución a lo largo de las sesiones en las que los jugadores usaron estos dispositivos se muestra en la **Figura 9**. Los valores de carga más altos para las variables de carga externa, al igual que ocurrió con las variables TOM-Scale, s-RPE y e-RPE, fueron encontrados en las sesiones correspondientes a partidos oficiales (sesión 31). Colectivamente, durante estas 12 sesiones, se encontraron correlaciones moderadas-muy altas entre las diferentes variables analizadas y la carga de entrenamiento, tanto interna como externa (**Tabla 12**). La carga de entrenamiento calculada a través de los dispositivos multisensor, concretamente Player Load Integral, únicamente se correlacionó con la carga de entrenamiento calculada en base a la FC (**Tabla 12**). Mientras que, por otro lado, se encontraron correlaciones positivas muy altas ($p < 0.001$) entre la carga de entrenamiento calculada a partir del método TOM-Scale, de moderadas ($r > 0.3$) a casi perfectas ($r > 0.9$), con respecto al resto de las variables y métodos analizados, tanto de carga interna como de carga externa (**Tabla 12**).

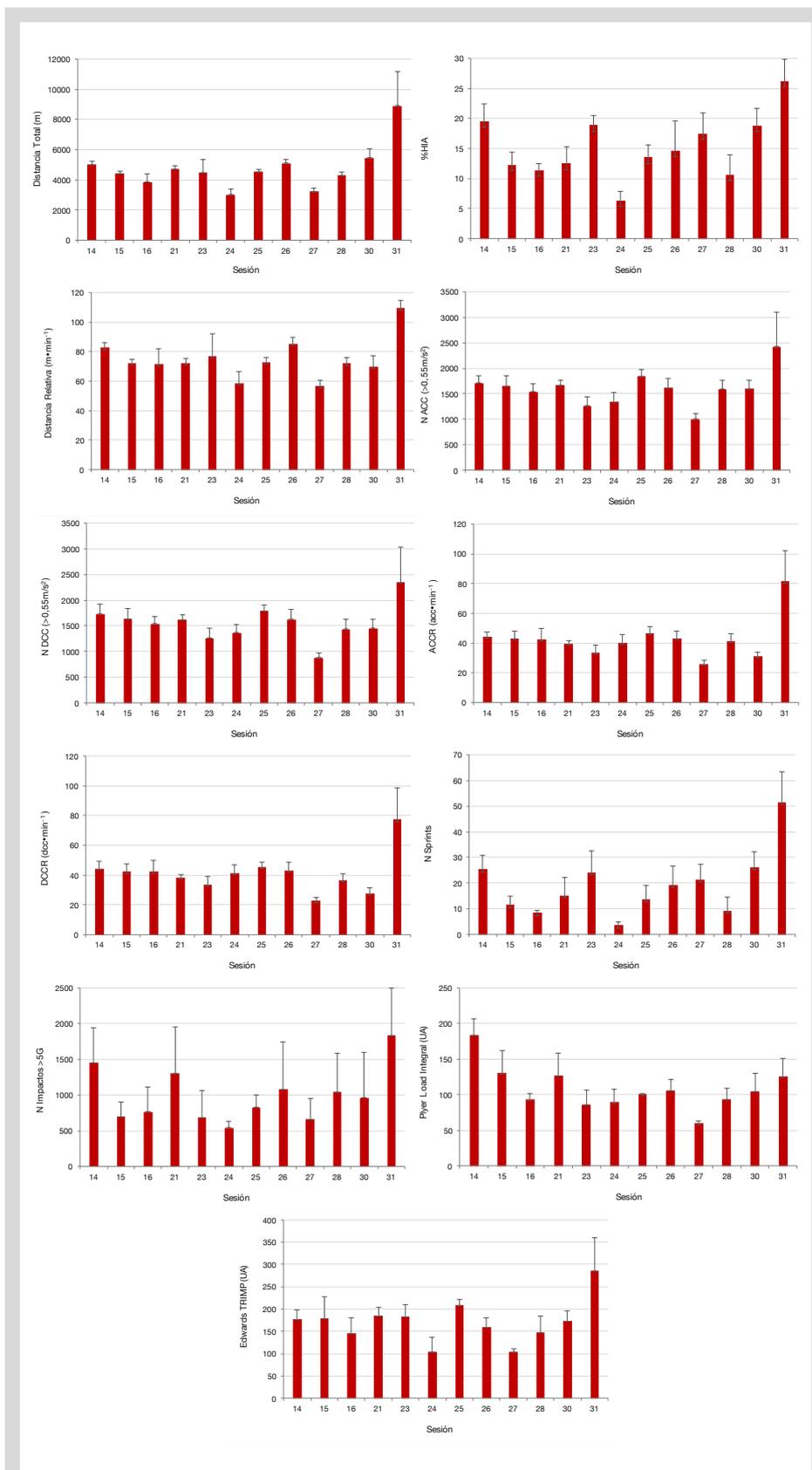


Figura 9. Valores descriptivos para cada una de las variables analizadas durante las 12 sesiones donde se llevó a cabo la monitorización mediante tecnología GPS, acelerómetros y bandas de FC.

Tabla 11. Valores medios por sesión individual (registros analizados) de las diferentes variables analizadas en el estudio.

Variable	Registros analizados	Media	±SD
TL TOM (UA)	459	1612.8	1153.0
TL s-RPE (UA)	441	423.2	158.3
TL e-RPE (UA)	459	299.6	144.6
Edwards TRIMP (UA)	56	169.9	53.6
s-RPE	476	4.9	1.7
Distancia Total (m)	57	4793.8	1613.2
%HIA	57	15.2	5.8
Distancia Relativa (m•min ⁻¹)	57	75.5	14.5
N ACC (>0,55m/s ²)	57	1611.8	398.6
N DCC (>0,55m/s ²)	57	1563.0	405.1
ACCR (acc•min ⁻¹)	57	43.0	14.9
DCCR (dcc•min ⁻¹)	57	41.5	14.7
N Sprints	57	19.4	13.6
N Impactos >5G	57	1000.8	570.5
Player Load Integral (UA)	57	109.6	35.5

Notas: SD, Desviación Estándar; UA, Unidades Arbitrarias; TL TOM, Carga por Método TOM y tiempo Efectivo de sesión; TL s-RPE, Carga por Método Percepción Subjetiva del Esfuerzo y tiempo Total de sesión; TL e-RPE, Carga por Método Percepción Subjetiva del Esfuerzo y tiempo Efectivo de sesión; Edwards TRIMP, Carga por Método TRIMP de Edwards y tiempo Efectivo de sesión; %HIA, % de distancia recorrida a alta intensidad durante tiempo efectivo de sesión.

Tabla 12. Correlaciones entre las diferentes variables analizadas para las 12 sesiones donde se utilizó monitorización con GPS/Acelerómetros y bandas de FC.

Variable	TL TOM	TL s-RPE	TL e-RPE	Edwards TRIMP
TL TOM (UA)	-	0.72***	0.89***	0.76***
TL s-RPE (UA)	0.72***	-	0.93***	0.56***
TL e-RPE (UA)	0.89***	0.93***	-	0.66***
Edwards TRIMP (UA)	0.76***	0.56***	0.66***	-
s-RPE	0.69***	0.93***	0.90***	0.46***
Distancia Total (m)	0.92***	0.66***	0.81***	0.84***
%HIA	0.65***	0.42**	0.56***	0.53***
Distancia Relativa (m•min ⁻¹)	0.71***	0.48***	0.58***	0.73***
N ACC (>0,55m/s ²)	0.74***	0.53***	0.64***	0.77***
N DCC (>0,55m/s ²)	0.70***	0.52***	0.60***	0.74***
ACCR (acc•min ⁻¹)	0.79***	0.56***	0.70***	0.73***
DCCR (dcc•min ⁻¹)	0.75***	0.54***	0.67***	0.70***
N Sprints	0.82***	0.53***	0.71***	0.63***
N Impactos >5G	0.47***	0.24	0.34**	0.43**
Player Load Integral (UA)	0.24	0.16	0.15	0.42**

Notas: Notas: UA, Unidades Arbitrarias; TL TOM, Carga por Método TOM y tiempo Efectivo de sesión; TL s-RPE, Carga por Método Percepción Subjetiva del Esfuerzo y tiempo Total de sesión; TL e-RPE, Carga por Método Percepción Subjetiva del Esfuerzo y tiempo Efectivo de sesión; Edwards TRIMP, Carga por Método TRIMP de Edwards y tiempo Efectivo de sesión; %HIA, % de distancia recorrida a alta intensidad durante tiempo efectivo de sesión; **, p<0.01; ***, p<0.001.

5. DISCUSIÓN

El principal objetivo de este trabajo fue validar la herramienta TOM-Scale como predictor de la carga de entrenamiento y determinar su validez como instrumento para programar la carga de trabajo de futbolistas juveniles de alto nivel (Sub-19, Sub-18 y Sub-17).

En este sentido, las correlaciones positivas encontradas entre los valores de carga reportados por el método TOM-Scale y el resto de variables analizadas en el presente estudio, tanto de carga externa como de carga interna, se muestran mayores con respecto a las encontradas en el estudio de validación original de la herramienta, en otro tipo de muestra (futbolistas profesionales), para la Distancia ($r=0.92 > r=0.87$), %HIA ($r=0.65 > r=0.44$), ACC ($r=0.74 > r=0.48$), DCC ($r=0.70 > r=0.45$) y Sprints ($r=0.82 > r=0.60$), mientras que se han encontrado menores correlaciones para las variables Impactos>5G ($r=0.47 < r=0.61$) y TRIMP de Edwards ($r=0.76 < r=0.79$) (López et al., 2017a).

Los resultados encontrados confirman también que, como ya predijeron López et al. (2017), el método TOM-Scale da solución al problema de la discordancia entre la percepción de carga subjetiva que tiene el entrenador utilizando el método RPE con respecto a la realmente percibida de igual forma por el deportista (Murphy et al., 2014; Brink et al., 2014). En este sentido, el grado de correlación entre la carga de TOM-Scale (obtenida a partir de la escala subjetiva TOM-Scale, antes de la sesión) y la percibida por el jugador (a partir de la escala subjetiva RPE 0-10 de Borg, después de la sesión) muestra valores (s-RPE, $r=0.62$ y e-RPE, $r=0.82$) que hacen pensar que el entrenador podría predecir con cierta exactitud la carga interna impuesta a los jugadores antes del entrenamiento.

Las comparaciones con respecto a otros estudios de las correlaciones obtenidas entre valores de carga a partir de la RPE se han hecho teniendo especialmente en cuenta el método e-RPE y no el tradicionalmente empleado en la literatura (s-RPE), contemplando únicamente el tiempo efectivo de entrenamiento, ya que los valores de las variables de carga externa son también representativos del mismo a causa de posibilitar una correcta comparación con el método TOM-Scale (para el que también se contempló únicamente el tiempo efectivo de entrenamiento), como anteriormente se explicó en la metodología. Por tanto, hay que tener en cuenta este pequeño apunte a la hora de interpretar los resultados.

Como única variable de carga interna objetiva decidió usarse el método TRIMP de Edwards, debido a que ha sido demostrado como válido para tal fin y suponía una mayor facilidad de obtención que otros métodos, tales como el TRIMP de Banister, con el que además presenta un alto nivel de correlación ($r=0.98$) según el trabajo de Scott et al. (2013). De este modo, las correlaciones encontradas en este trabajo entre los valores de carga obtenidos a partir del método RPE y el TRIMP de Edwards, son similares a las encontradas por Scott et al. (2013) ($r=0.77$), Impellizzeri et al. (2004) ($r=0.71$), Rebelo et al. (2012) ($r=0.60$) y Casamichana et al. (2013) ($r=0.57$), con una correlación positiva alta ($r=0.66$). Mientras que, para valores derivados de la RPE con respecto a variables de carga externa, las correlaciones encontradas son comparables a las obtenidas por Scott et al. (2013) ($r=0.80$) y Casamichana et al. (2013) ($r=0.76$) para la distancia total recorrida ($r=0.81$) y a las obtenidas por Scott et al. (2013) ($r=0.65$) y por Rebelo et al. (2012) ($r=0.54$) para la distancia recorrida a alta intensidad ($r=0.56$). Aunque dicho esto, hay que tener en cuenta la diferencia de umbrales utilizados para determinar la zona de alta intensidad y que en el caso de Rebelo et al. (2012), el valor dado se refiere al porcentaje de tiempo que pasa en esta zona y no al porcentaje de la distancia que recorre en ella, como es el caso del presente trabajo.

Por último, podemos encontrar como en este estudio se ha encontrado sorprendentemente una notable mayor correlación entre la carga interna a partir de

percepción subjetiva de los jugadores (e-RPE) y el número de sprints ($r=0.71$) con respecto a las encontradas por parte de Scott et al. (2013) ($r=0.46$) y por Rebelo et al. (2012) ($r=0.44$), teniendo en cuenta las mismas particularidades referentes a los umbrales a la hora de interpretar esta comparación que en el caso de la distancia recorrida a alta intensidad. Cabe destacar un aumento de la correlación entre los valores de carga de entrenamiento de cualquier tipo con respecto a las aceleraciones y deceleraciones cuando estas últimas son tenidas en cuenta en base al tiempo de práctica, es decir, se relativizan.

Además, si tenemos en cuenta correlaciones encontradas entre otras variables, cabe señalar que la encontrada entre el método TRIMP de Edwards y la distancia total recorrida ($r=0.84$) es mayor a la encontrada previamente por Casamichana et al. (2013) ($r=0.72$).

6. APLICACIONES PRÁCTICAS Y APORTACIONES

Siguiendo la línea de trabajo que propusieron López et al. (2017) en el estudio de validación de TOM-Scale y tratando de solucionar algunas de las limitaciones que a priori podía presentar, el presente estudio ha demostrado la reproducibilidad y fiabilidad del método TOM-Scale cuando es llevado a cabo por distintos entrenadores y en niveles de competición diferentes para los que en principio fue diseñado.

Además, las correlaciones encontradas entre el método TOM-Scale y el método e-RPE pueden suponer una mejora notable, de cara a ejercer un mayor y más adecuado control por parte del cuerpo técnico, sobre las estrategias de programación y periodización de las cargas de entrenamiento. Esto puede influir claramente de forma positiva dentro de equipos con pocos recursos económicos pero sí humanos, ayudando en el control y la consecución del estado de forma óptimo de los futbolistas a través de la prescripción de estímulos más eficientes y eficaces, evitando procesos de sobreentrenamiento o desentrenamiento y previniendo posibles lesiones provocadas por un mal manejo de las cargas de trabajo (Impellizzeri et al., 2004; Gabbet, 2010; Vázquez, 2012; López et al., 2017a). Y es que, según Gabbet (2010), una mayor diferencia entre la carga programada y la carga realizada aumenta la probabilidad de sufrir una lesión de las estructuras blandas sin contacto. Además, parece ser que cuando la carga de entrenamiento se incrementa más de un 15% por encima de la carga de la semana anterior, el riesgo de lesiones aumenta entre un 21% y un 49%, recomendándose limitar el aumento semanal de la carga de entrenamiento a valores inferiores o iguales al 10% para minimizar ese riesgo (Gabbet, 2016). Los aumentos excesivos y rápidos en las cargas de entrenamiento son probablemente, como establece Gabbet (2016), responsables de una gran proporción de lesiones en tejidos blandos sin

contacto. Para generar adaptaciones y minimizar a la vez el riesgo de lesiones, los profesionales deben tratar de mantener la relación de carga de trabajo Aguda:Crónica dentro de un rango de aproximadamente 0.8-1.3 Gabbett (2016) (**Figura 11**).

Todo esto justifica en gran medida la importancia de ser capaces de controlar la carga de entrenamiento que prescribimos a nuestros deportistas como estrategia fundamental para la reducción a largo plazo de las lesiones relacionadas con una mala gestión de las cargas de entrenamiento y en la que el papel que puede jugar una herramienta como TOM-Scale para el control de este proceso podría ser más que notable (Gabbett, 2016).

En el **Anexo III** se expone un ejemplo práctico que resume la utilidad de la herramienta.

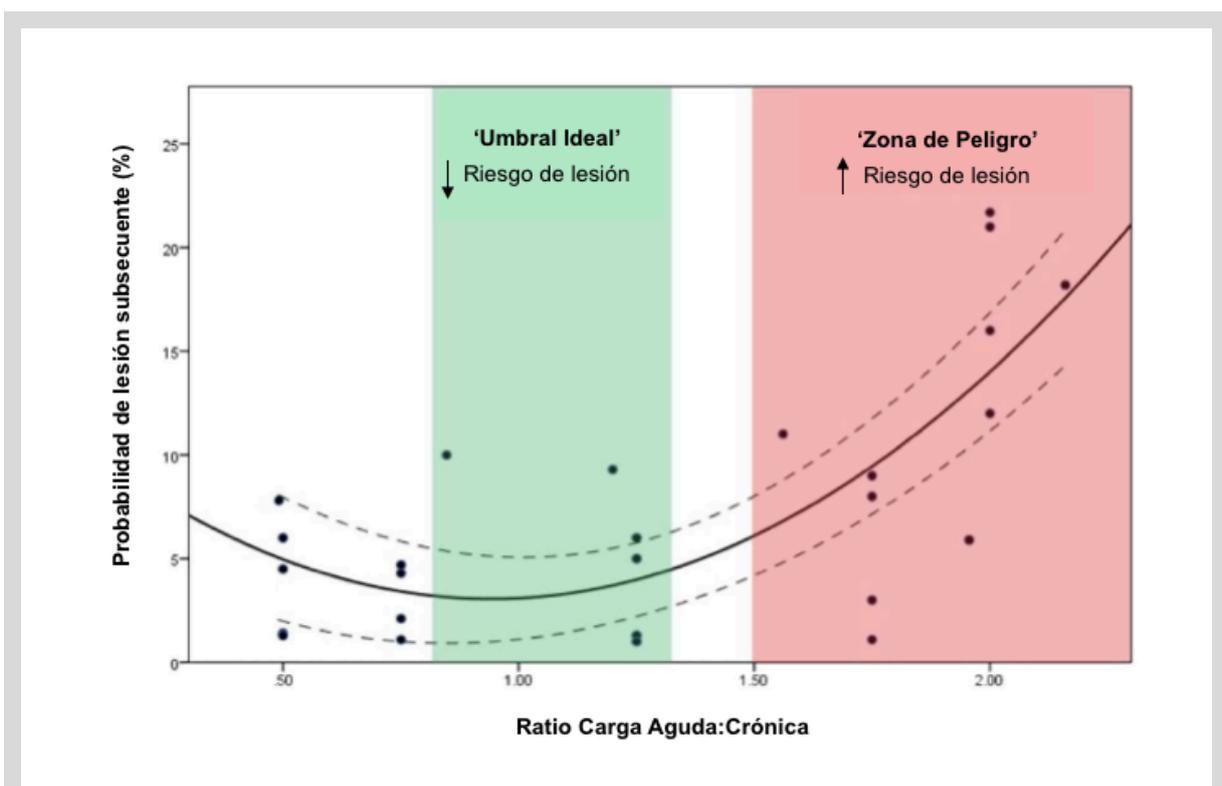


Figura 11. Guía para interpretar el índice de carga Aguda:Crónica (A:C). El área verde ("Umbral Ideal") representa la relación de carga de trabajo A:C donde el riesgo de lesión es bajo. El área roja ("Zona de Peligro") representa relaciones de carga de trabajo A:C donde el riesgo de lesión es alto. En los deportes de equipo, 1 semana de entrenamiento parece ser una unidad lógica y conveniente para ser establecida como 'Carga Aguda', mientras que, la 'Carga Crónica' representa el promedio móvil de las últimas 3-6 semanas de entrenamiento (Gabbett, 2016).

Cabe señalar que, la relación entre e-RPE y TOM-Scale podría variar a lo largo de la temporada debido a alteraciones en el estado de forma de los deportistas, cambios en el estilo de entrenamiento y utilización de distintas tareas entre otras variables, por lo que sería conveniente recalcularse dicha relación varias veces a lo largo de la temporada con el objetivo de garantizar la mayor exactitud posible durante su proceso de utilización.

7. CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO

TOM-Scale ha demostrado ser una herramienta válida para predecir y programar la carga de trabajo previo a las sesiones de entrenamiento o partidos en futbolistas juveniles de alto nivel (Sub-19, Sub-18 y Sub-17). Así lo demuestra su buena relación con numerosas variables, tanto de carga externa (variables derivadas de tecnología GPS y acelerometría) como de carga interna (variables subjetivas derivadas de metodologías basadas en la RPE y, variables objetivas derivadas de la FC), especialmente con la metodología e-RPE.

Con respecto a futuras líneas de trabajo, como ya señalaban López et al. (2017), la investigación debe enfocarse en analizar más profundamente las relaciones de validez por separado en diferentes tipos de sesiones de fútbol, refiriéndonos tanto a contenido como a la distancia al partido dentro del microciclo.

8. VALORACIÓN PERSONAL Y REFLEXIÓN CRÍTICA

Este trabajo ha supuesto una experiencia enriquecedora a la vez que exigente en mi paso por el Máster en Entrenamiento y Rendimiento Deportivo de la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte de la Universidad de León. He experimentado el día a día dentro del cuerpo técnico de un equipo de fútbol juvenil orientado al rendimiento, junto a grandes entrenadores, jugadores y sobre todo personas, lo que a su vez me ha motivado para seguir ampliando mis conocimientos dentro de la preparación física en fútbol y, más concretamente, dentro de la tan apasionante parcela de la cuantificación, control y gestión de las cargas de entrenamiento. Este tipo de trabajos, donde se combina la teoría y la vivencia práctica son sin duda las experiencias que más ayudan, bajo mi punto de vista, a crecer de forma profesional.

Agradecimientos: gracias a la Cultural y Deportiva Leonesa SAD por acogerme, a los jugadores del Juvenil A, a su entrenador Juan Fernández Bardal, al resto del cuerpo técnico, Gonzalo, Víctor y Agustín, y en especial a Carlos Antoñán, por depositar en mí la confianza necesaria para hacer posible, mediante su colaboración y apoyo incondicional, el desarrollo de este trabajo. Gracias también a los miembros del grupo de investigación VALFIS por asesorarme, en especial a mi tutor José Antonio Rodríguez Marroyo, y enseñarme el necesario trabajo en equipo para completar mi formación en el Máster y proseguir mi formación continua mediante proyectos que verifiquen la realidad de lo que se hace y propone.

9. BIBLIOGRAFÍA

1. Abt, G., y Lovell, R. (2009). The use of individualized speed and intensity thresholds for determining the distance run at high-intensity in professional soccer. *Journal of Sports Sciences*, 27(9), 893-898.
2. Akenhead, R., French, D., Thompson, K. G., y Hayes, P. R. (2014). The acceleration dependent validity and reliability of 10 Hz GPS. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 17(5), 562-566.
3. Akubat, I., Patel, E., Barrett, S., y Abt, G. (2012). Methods of monitoring the training and match load and their relationship to changes in fitness in professional youth soccer players. *Journal of Sports Sciences*, 30(14), 1473-1480.
4. Akubat, I., y Abt, G. (2011). Intermittent exercise alters the heart rate–blood lactate relationship used for calculating the training impulse (TRIMP) in team sport players. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 14(3), 249-253.
5. Aughey, R. J. (2011). Applications of GPS technologies to field sports. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 6(3), 295-310.
6. Borresen, J., y Lambert, M. I. (2008). Quantifying training load: a comparison of subjective and objective methods. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 3(1), 16-30.
7. Brink, M. S., Frencken, W. G., Jordet, G., y Lemmink, K. A. (2014). Coaches' and players' perceptions of training dose: not a perfect match. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(3), 497-502.
8. Buchheit, M., Haddad, H. A., Simpson, B. M., Palazzi, D., Bourdon, P. C., Salvo, V. D., y Méndez-Villanueva, A. (2014). Monitoring accelerations with GPS in football: time to slow down?. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(3), 442-445.
9. Buchheit, M., Méndez-Villanueva, A., Simpson, B. M., y Bourdon, P. C. (2010a). Repeated-sprint sequences during youth soccer matches. *International Journal of Sports Medicine*, 31(10), 709-716.
10. Buchheit, M., Méndez-Villanueva, A., Simpson, B. M., y Bourdon, P. C. (2010b). Match running performance and fitness in youth soccer. *International Journal of Sports Medicine*, 31(11), 818-825.
11. Campos-Vázquez, M. A., Méndez-Villanueva, A., González-Jurado, J. A., León-Prados, J. A., Santalla, A., y Suárez-Arrones, L. (2015). Relationships between rating-of-perceived-exertion-and heart-rate-derived internal training load in professional soccer players: a comparison of on-field integrated training sessions. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10(5), 587-592.

12. Casamichana, D. (2014). Utilidad de la escala de percepción subjetiva del esfuerzo para cuantificar la carga de entrenamiento en fútbol. *Futbolpf: Revista de Preparación Física en el Fútbol*, (8), 53-70.
13. Casamichana, D., Castellano, J., Blanco-Villaseñor, Á., y Usabiaga, O. (2012). Estudio de la percepción subjetiva del esfuerzo en tareas de entrenamiento en fútbol a través de la teoría de la generalizabilidad. *Revista de Psicología del Deporte*, 21(1).
14. Casamichana, D., Castellano, J., Calleja-González, J., San Román, J., y Castagna, C. (2013). Relationship between indicators of training load in soccer players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(2), 369-374.
15. Casamichana, D., y Castellano, J. (2015). The relationship between intensity indicators in small-sided soccer games. *Journal of Human Kinetics*, 46(1), 119-128.
16. Castellano, J., y Casamichana, D. (2014a). Deporte con dispositivos de posicionamiento global (GPS): Aplicaciones y limitaciones. *Revista de Psicología del Deporte*, 23(2).
17. Castellano, J., y Casamichana, D. (2014b). Alternativas en la monitorización de las demandas físicas en fútbol: pasado, presente y futuro. *Revista Española de Educación Física y Deportes*, (404), 41-58.
18. Coutinho, D., Gonçalves, B., Figueira, B., Abade, E., Marcelino, R., y Sampaio, J. (2015). Typical weekly workload of under 15, under 17, and under 19 elite Portuguese football players. *Journal of Sports Sciences*, 33(12), 1229-1237.
19. Cummins, C., Orr, R., O'Connor, H., y West, C. (2013). Global positioning systems (GPS) and microtechnology sensors in team sports: a systematic review. *Sports Medicine*, 43(10), 1025-1042.
20. Dwyer, D. B., y Gabbett, T. J. (2012). Global positioning system data analysis: Velocity ranges and a new definition of sprinting for field sport athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 26(3), 818-824.
21. Foster, C., Florhaug, J. A., Franklin, J., Gottschall, L., Hrovatin, L. A., Parker, S., Doleshal, P. y Dodge, C. (2001). A new approach to monitoring exercise training. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 15(1), 109-115.
22. Foster, C., Rodríguez-Marroyo, J. A., y de Koning, J. J. (2017). Monitoring training loads: the past, the present, and the future. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(2), 22-28.
23. Gabbett, T. J. (2010). The development and application of an injury prediction model for noncontact, soft-tissue injuries in elite collision sport athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(10), 2593-2603.
24. Gabbett, T. J. (2016). The training-injury prevention paradox: should athletes be training smarter and harder?. *British journal of sports medicine*, 50(5), 273-280.

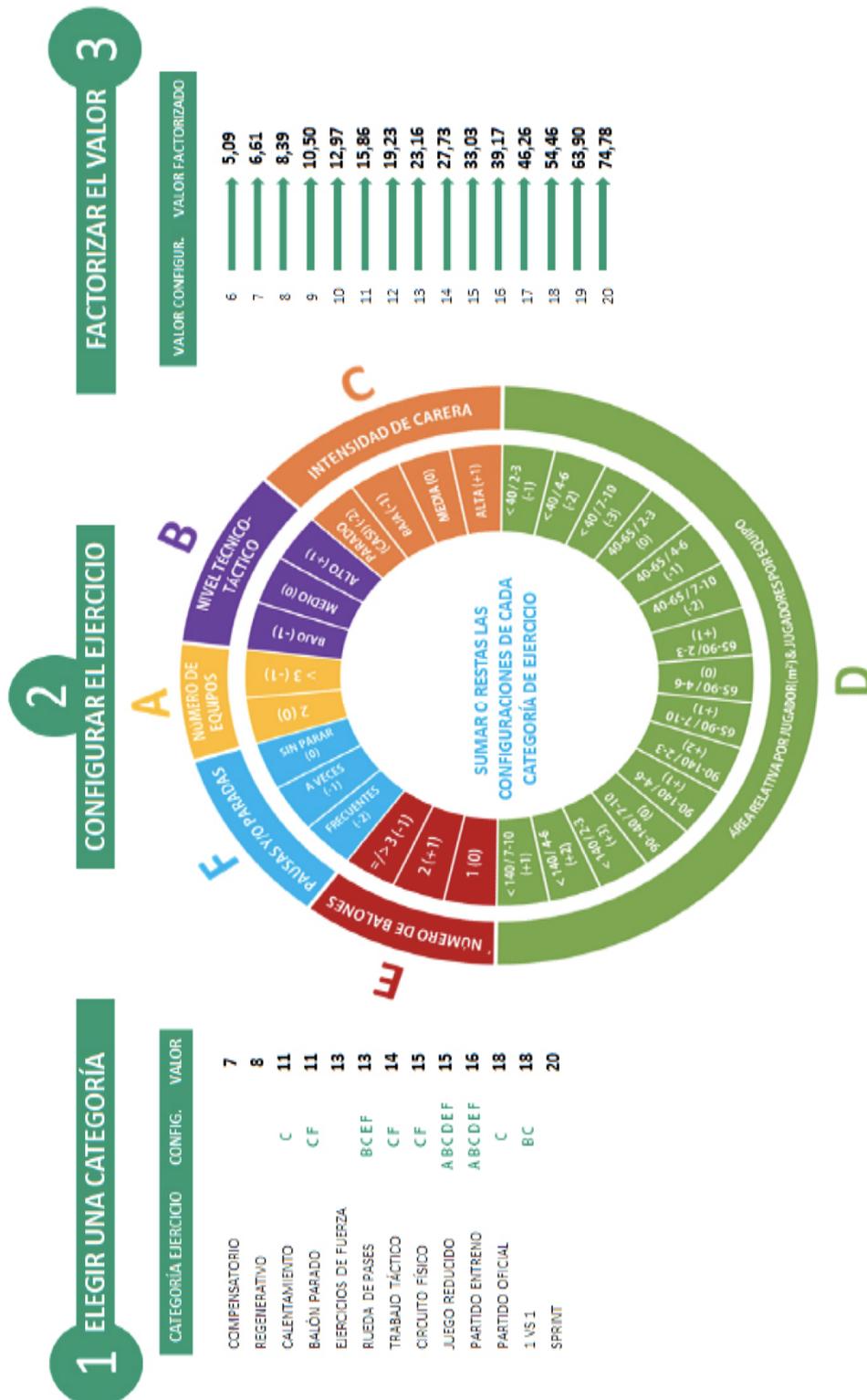
25. Halson, S. L. (2014). Monitoring training load to understand fatigue in athletes. *Sports Medicine*, 44(2), 139-147.
26. Hill-Haas, S., Coutts, A., Rowsell, G., y Dawson, B. (2008). Variability of acute physiological responses and performance profiles of youth soccer players in small-sided games. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 11(5), 487-490.
27. Impellizzeri, F. M., Rampinini, E., Coutts, A. J., Sassi, A. L. D. O., y Marcora, S. M. (2004). Use of RPE-based training load in soccer. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 36(6), 1042-1047.
28. Larumbe, A. L. A., Rey, E. G., Izcue, I., y Irigoyen, J. Y. (2013). Monitoring training load in young professional soccer players. *AGON*, 3(3), 13-21.
29. López, A. M., de la Cruz, B., y Naranjo, J. (2017a). TOM-Scale: a new method to programme training sessions loads in football. *Arch Med Deporte*, 34(5), 280-286.
30. López, A. M., Gil, P. G., Ortega, J. P., y De Hoyo, M. (2017b). The validity and reliability of a 5-hz GPS device for quantifying athletes' sprints and movement demands specific to team sports. *Journal of Human Sport and Exercise*, 12(1).
31. Los Arcos, A., Gil-Rey, E., Izcue, I. y Yanci, J. (2013). Monitoring Training load in young professional soccer players. *AGON International Journal of Sport Sciences*, 3(1), 13-21.
32. Lucía, A., Hoyos, J., Santalla, A., Earnest, C., y Chicharro, J. L. (2003). Tour de France versus Vuelta a España: which is harder?. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35(5), 872-878.
33. Malone, S., Mendes, B., Hughes, B., Roe, M., Devenney, S., Collins, K., y Owen, A. (2018). Decrements in Neuromuscular Performance and Increases in Creatine Kinase Impact Training Outputs in Elite Soccer Players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 32(5), 1342-1351.
34. Manzi, V., Bovenzi, A., Impellizzeri, M. F., Carminati, I., y Castagna, C. (2013). Individual training-load and aerobic-fitness variables in premiership soccer players during the precompetitive season. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(3), 631-636.
35. Manzi, V., Iellamo, F., Impellizzeri, F., D'ottavio, S., y Castagna, C. (2009). Relation between individualized training impulses and performance in distance runners. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 41(11), 2090-2096.
36. Mújika, I. (2006). Métodos de cuantificación de las cargas de entrenamiento y competición. *Kronos: Revista Universitaria de la Actividad física y el Deporte*, (10), 45-54.

37. Murphy, A. P., Duffield, R., Kellett, A., y Reid, M. (2014). Comparison of athlete–coach perceptions of internal and external load markers for elite junior tennis training. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(5), 751-756.
38. Núñez-Sánchez, F. J., Toscano-Bendala, F. J., Campos-Vázquez, M. A., y Suárez-Arrones, L. J. (2017). Individualized speed threshold to analyze the game running demands in soccer players using GPS technology. *RETOS. Nuevas Tendencias en Educación Física, Deporte y Recreación*, (32), 130-133.
39. Rebelo, A., Brito, J., Seabra, A., Oliveira, J., Drust, B., y Krstrup, P. (2012). A new tool to measure training load in soccer training and match play. *International Journal of Sports Medicine*, 33(04), 297-304.
40. Rebelo, A., Brito, J., Seabra, A., Oliveira, J., y Krstrup, P. (2014). Physical match performance of youth football players in relation to physical capacity. *European Journal of Sport Science*, 14(1), 148-156.
41. Rodríguez-Marroyo, J. A., Medina, J., García-López, J., García-Tormo, J. V., y Foster, C. (2014). Correspondence between training load executed by volleyball players and the one observed by coaches. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 28(6), 1588-1594.
42. Rodríguez-Marroyo, J. A., y Antoñán, C. (2015). Validity of the session rating of perceived exertion for monitoring exercise demands in youth soccer players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10(3), 404-407.
43. Scott, B. R., Lockie, R. G., Knight, T. J., Clark, A. C., y Janse de Jonge, X. A. (2013). A comparison of methods to quantify the in-season training load of professional soccer players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 8(2), 195-202.
44. Stagno, K. M., Thatcher, R., y Van Someren, K. A. (2007). A modified TRIMP to quantify the in-season training load of team sport players. *Journal of Sports Sciences*, 25(6), 629-634.
45. Suárez-Arrones, L., Torreño, N., Requena, B., Sáez, D. V. E., Casamichana, D., Barbero-Alvarez, J. C., y Munguía-Izquierdo, D. (2014). Match-play activity profile in professional soccer players during official games and the relationship between external and internal load. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 55(12), 1417.
46. Tapia-López, A. (2017). Propuesta de control de la carga de entrenamiento y la fatiga en equipos sin medios económicos. *Revista Española de Educación Física y Deportes*, (417), 55-69.
47. Torreño, N., Munguía-Izquierdo, D., Coutts, A., de Villarreal, E. S., Asian-Clemente, J., y Suárez-Arrones, L. (2016). Relationship between external and internal loads of professional soccer players during full matches in official games using global positioning

- systems and heart-rate technology. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(7), 940-946.
48. Vanrenterghem, J., Nedergaard, N. J., Robinson, M. A., y Drust, B. (2017). Training load monitoring in team sports: A novel framework separating physiological and biomechanical load-adaptation pathways. *Sports Medicine*, 47(11), 2135-2142.
49. Vázquez, M. Á. C. (2012). Control del entrenamiento en fútbol: posibilidades de actuación. *Revista de Entrenamiento Deportivo Tomo*, 26(4), 5-10.
50. Wrigley, R., Drust, B., Stratton, G., Scott, M., y Gregson, W. (2012). Quantification of the typical weekly in-season training load in elite junior soccer players. *Journal of Sports Sciences*, 30(15), 1573-1580.

10. ANEXOS

Anexo I. Diagrama de determinación de la intensidad del ejercicio para el método TOM-Scale (López et al., 2017a).



Anexo III. Ejemplificación de la utilidad de la herramienta TOM-Scale.

SEMANA	e-RPE (UA)	Incremento (%)	Ratio A:C
A	1765	-	-
B	1930	9.34	-
C	1500	-22.23	-
D	1860	24.00	-
E	1790	-3.76	1.01
F	?	10.00	?

Hasta la Semana F no se siguió ninguna estrategia de programación, cuantificando únicamente la carga de entrenamiento y sobrepasando, como puede observarse, las recomendaciones de incremento semanal recomendado para prevenir lesiones (Gabbet, 2016). Sin embargo, en la **SEMANA F**:

Queremos aumentar un 10% la carga de la semana anterior (E), por tanto:

$$1790 \times 0.10 = 179 \text{ UA} \rightarrow 1790 + 179 = \mathbf{1969 \text{ UA e-RPE}}$$

El ratio A:C de la semana quedaría entre los límites óptimos según Gabbet (2016):

$$1969 / ((1790 + 1860 + 1500 + 1930) / 4) = \mathbf{1.11}$$

Ahora, queremos saber la equivalencia de la carga que vamos a imponer en **UA TOM-Scale** para poder prescribirla mediante tareas:

$$y = \mathbf{0.1022x + 135.39} \text{ (Figura 7)} \rightarrow y = \text{e-RPE} \rightarrow x = \text{TOM-Scale}$$

$$1969 = 0.1022x + 135.39 \rightarrow x = \mathbf{17853 \text{ UA TOM-Scale}}$$

Incluso, si quisiésemos distribuir la carga a lo largo de la semana en %, sabiendo que el partido supone 5751 UA *TOM-Scale* (63.9 x 90 min atendiendo a la escala, **ANEXO I**), podríamos saber cuanta carga administrar cada día e incluso ir corrigiéndola día a día en base al grado de cumplimentación de la última sesión:

	L	M	X	J	V	S	D (P)	TOTAL
UA TOM-S	1428	0	3392	4285	1785	1250	5751	17853
%	8	0	19	24	10	7	32	100

Finalmente, a través de la utilización de la escala TOM-Scale (**Figura 3**), ajustaríamos las variables y características de las tareas, elegidas por el cuerpo técnico, para poder administrar a los jugadores la carga deseada mediante la realización de las mismas.

De este modo, podemos adoptar la estrategia de programación y periodización que nosotros deseemos y prever cual será la carga semanal (o incluso diaria) necesaria para llevarla a cabo, teniendo la garantía de que a través del uso de TOM-Scale podremos prescribir la carga deseada y ajustarnos a las recomendaciones propuestas por Gabbet (2010; 2016) en materia de prevención de lesiones.