

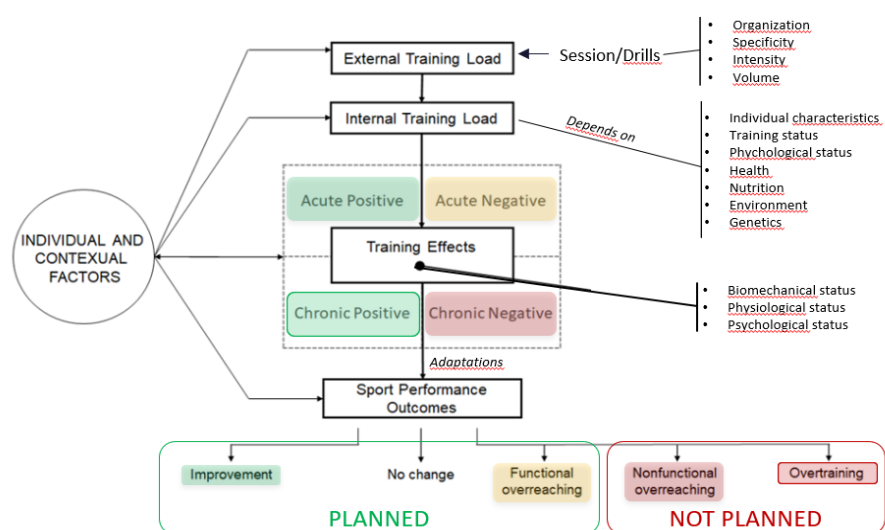
# Módulo 2. Monitorización de la carga interna y las adaptaciones

## Unidad 2.1. Análisis de los conceptos de carga interna y adaptaciones al entrenamiento

### 2.1.1 Análisis de los conceptos de carga interna y adaptaciones al entrenamiento

Dentro del paradigma del ciclo del entrenamiento propuesto para un mejor entendimiento de lo que les ocurre a los y las deportistas durante un periodo de tiempo estipulado, diferenciamos la monitorización en tres vertientes: la carga externa, la carga interna y las adaptaciones (Gabbett, 2016).

**Figura 1: Carga externa, carga interna y adaptaciones**



Fuente: elaboración propia en base Jeffries et al., 2020, p. 3.

Individual and contextual factors	Factores contextuales e individuales
External Training Load	Carga de entrenamiento externa
Internal Training Load	Carga de entrenamiento interna
Acute Positive	Agudos positivos
Acute Negative	Agudos negativos
Chronic Positive	Crónicos positivos
Chronic Negative	Crónicos negativos
Training Effects	Efectos del entrenamiento
Sport Performance Outcomes	Resultados del rendimiento deportivo

Adaptations	Adaptaciones
Improvement	Mejoría
No Change	Sin cambios
Fuctional Overreaching	Exceso de medidas funcionales
Planned	Planificados
Nonfuctional overreaching	Exceso de medidas no funcionales
Overtraining	Sobrentrenamiento
Not Planned	No planificados
Depends on	Depende de
Session/Drills	Sesión/ejercicios
Organization	Organización
Specificity	Especificidad
Intensity	Intensidad
Volume	Volumen
Individual characteristics	Características individuales
Training status	Estado de entrenamiento
Phychological status	Estado psicológico
Health	Salud
Nutrition	Nutrición
Environment	Entorno
Genetics	Genética
Biomechanical status	Estado biomecánico
Physiological status	Estado fisiológico
Phychological status	Estado psicológico

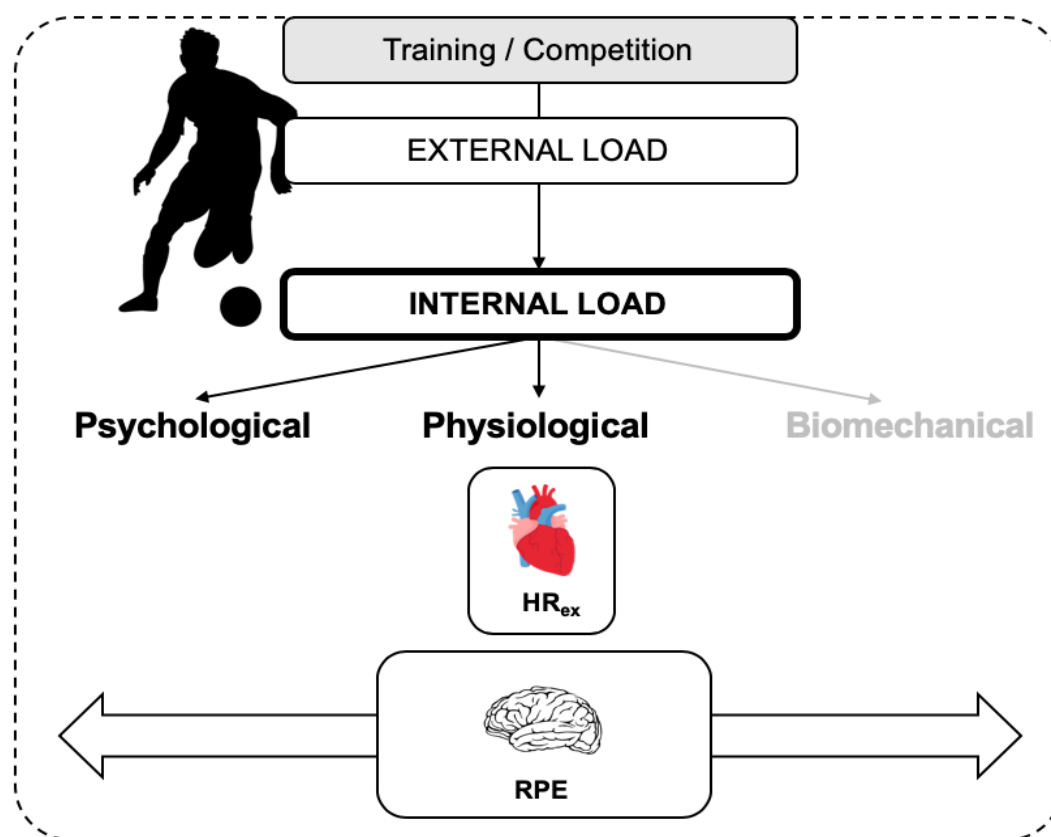
Se define cómo carga externa aquellos datos o variables que describen el movimiento o la actividad que se está realizando, por ejemplo, la distancia en kilómetros recorrida por un atleta, la potencia media normalizada generada en un segmento por un ciclista o los metros de HSR que una futbolista recorre en los primeros 45 minutos.

Sin embargo, se entiende como carga interna la respuesta que presenta el organismo de los jugadores o atletas frente a los estímulos generados por la sesión deportiva, los cuales son monitorizados y contabilizados a través de las variables de carga externa durante la realización de la actividad. Dichas respuestas se relacionan mayoritariamente con procesos fisiológicos que se desencadenan en el organismo como reacción a la pérdida de homeostasis y activación del sistema nervioso simpático al inicio de la actividad física. Los medidores comunes de dicha carga se centran en la frecuencia cardíaca, escalas de valores subjetivos o concentraciones de lactato en sangre. No obstante, se debe clarificar que la carga interna no se limita a ser descrita como las respuestas fisiológicas generadas en el individuo, sino que también es de suma importancia resaltar aquellos parámetros psicológicos, por ejemplo, el estrés resultante de enlazar distintas tareas exigentes; la presión de ganar los partidos o de ser titular, en el caso de deportes de equipo. Pero también deben tenerse en cuenta las respuestas biomecánicas, altamente relacionadas con la conexión y la fatiga neuromuscular a la vez que con la eficiencia de la contracción



muscular, la cual interfiere en la realización del gesto deportivo o del patrón de movimiento específico de cada modalidad deportiva.

**Figura 2**



Fuente: elaboración propia en base a Vanrenterghem et al., 2017, p. 3

Training/Competition	Entrenamiento/competencia
External Load	Carga externa
Internal Load	Carga interna
Psychological	Psicológica
Physiological	Fisiológica
Biomechanical	Biomecánica
H <sub>R</sub> <sub>ex</sub>	Frecuencia cardíaca durante el ejercicio
RPE	Escala de percepción del esfuerzo

Al término del entrenamiento, una vez que el/la deportista cede la actividad, comienza el proceso de recuperación y asimilación de la carga de entrenamiento, con la consecuente activación del sistema nervioso parasimpático. En varios estudios, se concluyó la importancia de la recuperación del deportista durante el sueño, fase en la que el sistema nervioso parasimpático aparece como principal protagonista, con el fin de reconstituir los diferentes sistemas alterados durante el ejercicio y devolver el equilibrio a nivel biológico. Es necesario remarcar la importancia de la integración de hábitos saludables, durante las horas posteriores a la exigencia física, y el uso de protocolos individualizados que

fomenten una recuperación óptima de las/los deportistas, teniendo en cuenta parámetros tanto fisiológicos, psicológicos y biomecánicos.

## **2.1.2 Contextualización de la monitorización de la carga interna en función del deporte**

Históricamente, hay deportes más proactivos a la hora de monitorizar la carga interna de los atletas, principalmente debido a su naturaleza de esfuerzo continuo o progresivo en el tiempo, por ejemplo, el ciclismo, el atletismo, especialmente fondistas, triatlón y pruebas combinadas, alpinismo, esquí de fondo o travesía. Estos son deportes que presentan una gran experiencia en cuánto a monitorización durante el ejercicio, sobre todo por el componente de larga o extrema duración que envuelve a algunas de sus pruebas. A modo de ejemplo, un triatleta de larga distancia planeará la prueba en función de variables de carga interna, como, por ejemplo, la frecuencia cardíaca en cada uno de los segmentos, siendo conocedor de que, si se accede en algún momento de la prueba de la zona estipulada, hay una gran probabilidad que se vea modificado el rendimiento una vez que avancen los kilómetros o las horas. Otro ejemplo podría ser la toma de lactato a través de micropunción en nadadores durante diferentes tareas de la sesión de entrenamiento. Esto tiene el fin de corroborar que el nadador esté realizando las series a la intensidad requerida y así poder correlacionar la intensidad obtenida a través de los valores de lactato con los ritmos de entrenamiento. No obstante, todas las modalidades deportivas presentan la misma naturaleza en cuánto a la linealidad del esfuerzo. Cabe destacar a los deportes de intermitencia, que son aquellos cuyas acciones suelen darse de forma discontinua durante un periodo de tiempo y normalmente la intensidad asociada es de alta a máxima. En este grupo, situamos a los deportes de equipo y algunos deportes individuales, como los deportes de raqueta o los de lucha. En este tipo de modalidades, la utilidad de la frecuencia cardíaca, de la concentración de lactato y del  $VO_2\text{max}$  se ve cuestionada debido a la escasa sistematicidad de las acciones y la múltiple asociación de acciones activas y pasivas. En estos casos, los métodos de monitorización de la carga interna perceptivos/subjetivos, tales como la escala de percepción del esfuerzo, propuesta por Gunnar Borg (1982), resulta de los principales agentes involucrados.

Una vez contextualizada la carga interna dependiendo de la modalidad deportiva, en este apartado se pretende explorar las características fundamentales de los principales métodos del control de dicha carga, separándolos en dos grandes grupos: métodos fisiológicos y métodos perceptivos.

### **2.1.2.1 Métodos fisiológicos**

Los métodos de monitorización de la carga interna clasificados como fisiológicos se podrían definir como aquellas variables objetivas que obtenemos a partir de respuestas directas de los órganos o sistemas biológicos de nuestro cuerpo. Por un lado, debe estudiarse la frecuencia cardíaca y el consumo de oxígeno relativos al sistema



cardiorrespiratorio; y, por otra parte, el grupo de biomarcadores, productos en forma de hormonas y sustancias que se encuentran prioritariamente en los fluidos corporales (sangre, saliva, orina), donde el principal exponente durante el entrenamiento es la concentración de lactato en sangre. Una vez se avance en el módulo, se observará la importancia de los biomarcadores en las adaptaciones.

### 2.1.2.2 Métodos perceptivos

El aspecto definidor de este grupo es la naturaleza subjetiva de los valores obtenidos, centrándose en cuestionarios en los que es el propio deportista quien numera la percepción frente a la actividad que se encuentra realizando o frente a la disposición que presenta después de un periodo de recuperación, normalmente, al día siguiente de la sesión de entrenamiento o competición. Dichos métodos se suelen clasificar en dos grandes grupos, por un lado, los diarios, en los que el atleta o jugador dispone de una flexibilidad para registrar distintos aspectos tanto de monitorización de las sesiones de entrenamiento o competición; así como otros aspectos relacionados con sensaciones, fatiga, nutrición, biomecánica, métodos de recuperación, entre otros. Asimismo, el uso más estandarizado es el de cuestionarios con preguntas cerradas y normalmente con respuesta numérica dentro de una escala. En este caso, el deportista debe haber superado un periodo de familiarización para que su respuesta sea lo más objetiva y los datos válidos como control de la carga interna o adaptaciones al entrenamiento o competición. Dentro de este grupo, encontramos de naturalezas distintas: cuestionarios para evaluar las adaptaciones o asimilaciones de la carga de la sesión previa; el cuestionario Wellness, que focaliza en variables como calidad del sueño, nivel de fatiga, nivel de estrés o nivel de daño muscular percibido y estados de ánimo; el *Profile of Mood States* (POMS); los que estudian el proceso de recuperación y el estrés, así como la fatiga crónica en deportistas de deportes individuales, que son *Rest-Q* y *Daily Analysis of Life Demands for Athletes* (DALDA); y, finalmente, los que buscan una correlación entre el rendimiento del jugador con su estado de ánimo (*Individual Zone of Optimal Functioning*).

Sin embargo, el método más extendido en la monitorización de la carga interna del entrenamiento y de partido, medida durante el esfuerzo o inmediatamente después, es la percepción del esfuerzo. Este se realiza mediante la escala creada por Borg (1982) en la que se categoriza el esfuerzo percibido en valores de 6 al 20 (en la escala original), siendo 6 estado de reposo y 20 esfuerzo máximo. Asimismo, hay estudios que relacionan los valores registrados con la FC\*10 obtenida durante el esfuerzo, es decir, un 15 de la escala, equivaldría a 150 pulsaciones/min. No obstante, no es posible generalizar o tomar este concepto como un *gold standard* debido a la gran variabilidad de dicha variable en cada uno de los deportistas (Borg et al., 1987). Sin embargo, el uso de dicha escala se ha visto sustituido por el uso de la escala adaptada por el mismo autor con valores del 0 al 10, con el objetivo de generar una mayor facilidad a la hora de escoger los valores en momentos en que el deportista se encuentra efectuando un esfuerzo a intensidades de moderadas a máximas. Finalmente, debemos comentar el uso del RPE-min, método de



monitorización de la carga en la que se usa el RPE de cada tarea como variable de carga interna y los minutos realizados como variable de carga externa. Los resultados obtenidos son fruto de multiplicar el valor de RPE\*min. Para el RPE final de la sesión, es necesario realizar un sumatorio del RPE-min de todas las tareas (Mallol et al., 2019).

**Figura 3: Visualización *app* móvil cuestionario RPE**

¿Cual es el nivel de esfuerzo que ha implicado la última sesión/partido? / What is the effort level that has involved the last training session/match?

00 - Descansado / Rest

01 - Muy, muy fácil / Very, very easy

02 - Fácil / Easy

03 - Moderado / moderate

04 - Algo duro / Somewhat hard

05 - Duro / Hard

Salir

Fuente: elaboración propia.

### 2.1.3. Contextualización de la monitorización de los procesos adaptativos en el deporte

Todo proceso adaptativo requiere una previa pérdida del equilibrio entre los componentes que conforman el sistema. En términos deportivos, el proceso adaptativo por excelencia se centra en la mejora del rendimiento a través de la dinámica de cargas a la que se somete al deportista, la cual altera la homeostasis de los sistemas fisiológicos implicados para que el cuerpo busque de nuevo el equilibrio que lo caracteriza a través de adaptaciones a las nuevas condiciones presentadas (Rivera-Brown y Frontera, 2012; Hawley et al., 2014).

Históricamente, el proceso más usual, por su relativa facilidad de monitorización, era el control o seguimiento de las cargas durante el entrenamiento. El tiempo o la distancia completada durante la sesión de entrenamiento; la potencia media de la sesión; la potencia máxima sostenida en un intervalo definido; el tiempo de vuelo en un test de salto; los kilogramos movilizados en un entrenamiento de fuerza; entre otras, son variables recurrentes en la monitorización de la carga externa. Mientras que las variables

como la frecuencia cardíaca media de la sesión, la frecuencia máxima, la concentración de lactato en sangre, el volumen de oxígeno utilizado en un determinado intervalo y la percepción del esfuerzo definen la carga interna a la que el jugador o atleta se ejerce (Impellizzeri et al., 2019).

Sin embargo, en los últimos años, la densidad de competiciones ha aumentado exponencialmente, por lo que parece imprescindible analizar las respuestas de los deportistas en el periodo entre el cese de la actividad o el ejercicio y el momento en que deben reemprender la siguiente sesión de entrenamiento o competición. Actualmente, más científicos deportivos, entrenadores y preparadores físicos otorgan una mayor importancia a la monitorización de la recuperación o vuelta al estado basal del deportista; el análisis de cuáles son las respuestas que genera el jugador/atleta durante las horas posteriores al estrés que resulta el ejercicio físico; y la observación de la asimilación de dicho estrés y la disposición para afrontar la siguiente carga de entrenamiento o de competición.

En términos generales, las adaptaciones en el deportista se pueden dividir en dos grandes grupos: adaptaciones a corto plazo, aquellas que se producen inmediatamente o posterior a la sesión de entrenamiento o competición, o adaptaciones producidas en un periodo limitado de tiempo —por ejemplo, un microciclo—; y las adaptaciones que se producen a medio-largo plazo resultantes de un proceso acumulativo de cargas planificadas a lo largo de meses, incluso a lo largo de temporadas.

En lo relativo a las variables actualmente relacionadas con las adaptaciones en las ciencias del deporte, se podrían dividir en diferentes grupos dependiendo de su naturaleza y de la temporalización de su monitorización. Una de ellas son los biomarcadores, aquellas variables relacionadas directa y estrictamente con el funcionamiento del sistema fisiológico del jugador. Dentro de los biomarcadores, cabe destacar los bioquímicos y los cardiopulmonares.

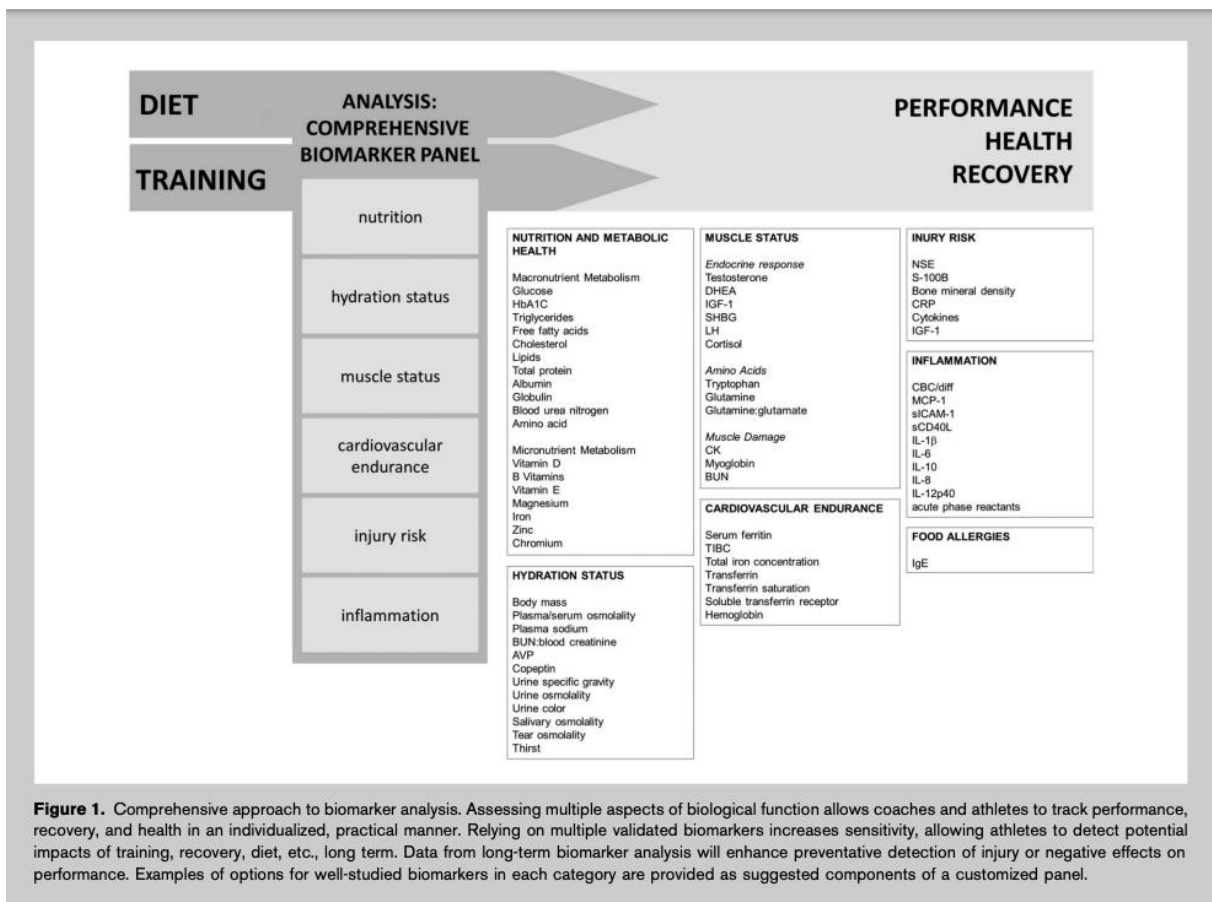
Los biomarcadores bioquímicos, conocidos como aquellas sustancias segregadas por nuestro sistema endocrino como respuesta del sistema nervioso al desequilibrio de homeostasis producido por el estímulo de la actividad física, han sido objeto de estudio durante los últimos años. Todo parece indicar que existen ciertos biomarcadores químicos comunes en las distintas modalidades deportivas, mientras que otros son más específicos de unos deportes u otros. Por ejemplo, las hormonas o biomarcadores más sensibles a volúmenes altos de carga, como los deportes de larga resistencia; o biomarcadores más sensibles a ejercicios interválicos a intensidades máximas.

Basándonos en el artículo de Lee et al. (2017), dichas sustancias pueden ser clasificadas en relación con la función que describen durante o posterior a la actividad física. Por una parte, tenemos aquellos biomarcadores relacionados con el estado nutricional y la salud metabólica; los referentes al estado de hidratación y el estado muscular; los que influyen en la resistencia o capacidad cardiovascular; otro grupo relacionado con el riesgo de



lesión; los relativos a la respuesta inflamatoria; y, finalmente, los referentes a posibles alergias alimentarias.

**Figura 4: Mapa conceptual de los biomarcadores relevantes en el ejercicio físico**



Fuente: Lee et al., 2017.

Diet	Dieta
Training	Entrenamiento
Analysis: Comprehensive Biomarker Panel	Análisis: panel completo de biomarcadores
Nutrition	Nutrición
Hydration status	Estado de hidratación
Muscle status	Estado muscular
Cardiovascular endurance	Resistencia cardiovascular
Injury risk	Riesgo de lesión
Inflammation	Inflamación
Nutrition and metabolic health	Nutrición y salud metabólica
Macronutrient Metabolism	Metabolismo de los macronutrientes
Glucose	Glucosa
HbA1C	HbA1C
Triglycerides	Triglicéridos
Free fatty acids	Ácidos grasos libres
Cholesterol	Colesterol
Lipids	Lípidos
Total protein	Proteína total
Albumin	Albumina
Globulin	Globulina



Blood urea nitrogen Amino Acid	Nitrógeno ureico en sangre Aminoácidos
Micronutrient Metabolism Vitamin D B Vitamins Vitamin E Magnesium Iron Zinc Chromium	Metabolismo de los micronutrientes Vitamina D Vitaminas B Vitamina E Magnesio Hierro Zinc Cromo
Hydration Status	Estado de hidratación
Body mass Plasma/serum osmolality Plasma Sodium BUN: blod creatinine AVP Copeptin Urine specific gravity Urine osmolality Urine color Salivary osmolality Tear osmolality Thirst	Masa corporal Osmolalidad plasmática/sérica Sodio plasmático BUN: creatinina en sangre AVP Copeptina Gravedad específica de la orina Osmolalidad de la orina Color de la orina Osmolalidad salival Osmolaridad lagrimal Sed
Muscle status	Estado muscular
Endocrine response Testosterone DHEA IGF-1 SHBG LH Cortisol	Respuesta endocrina Testosterona DHEA IGF-1 SHBG LH Cortisol
Amino acids Tryptophan Glutamine Glutamine: glutamate	Aminoácidos Triptófano Glutamina Glutamina: glutamato
Muscle Damage CK Myoglobin BUN	Daño muscular CK Mioglobina BUN
Cardiovascular endurance	Resistencia cardiovascular
Serum ferritin TIBC Total iron concentration Transferrin Transferrin saturarion Soluble transferrin receptor Hemoglobin	Ferritina sérica CTFH Concentración total de hierro Transferrina Saturación de transferrina Receptor soluble de transferrina Hemoglobina
Inury Risk	Riesgo de lesión
NSE S-100B	NSE S-100B



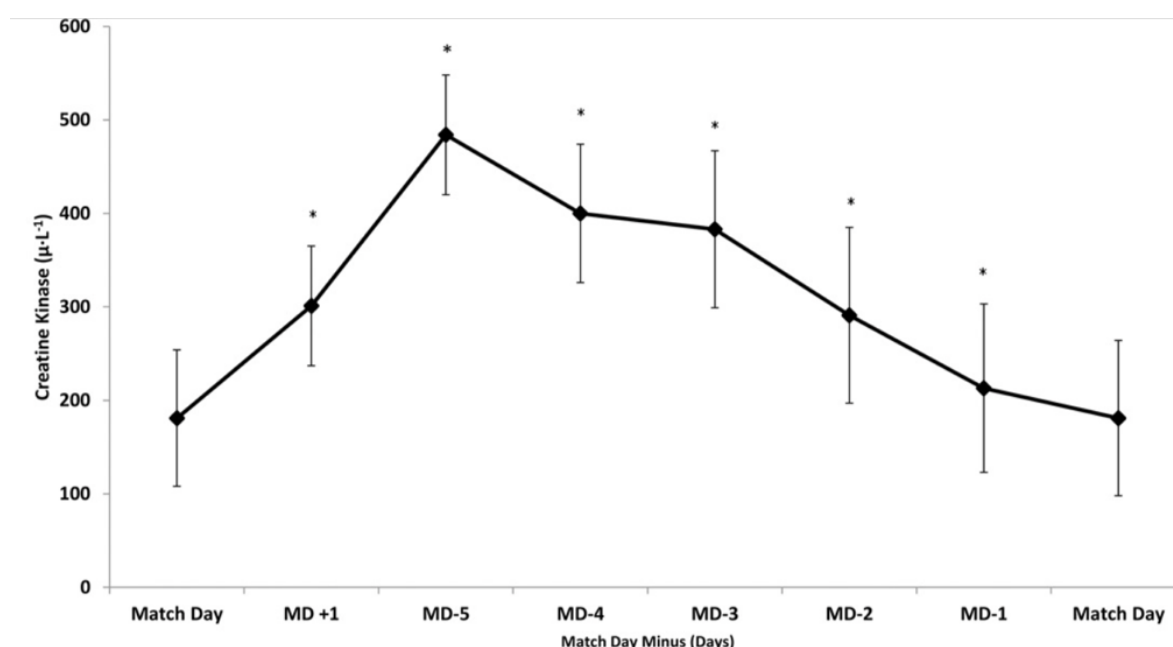
Bone mineral density CRO Cytokines IGF-1	Densidad mineral ósea CRO Citocinas IGF-1
Inflammation	Inflamación
CBC/diff S-100B Bone mineral density CRP Cytokines IGF-1	CBC/dif. S-100B Densidad mineral ósea PCR Citocinas IGF-1
Inflammation	Inflamación
CBC/diff MCP-1 sICAM-1 sCD40L IL-1 IL-6 IL-10 IL-8 IL-12p40 Acute phase reactants	CBC/dif. MCP-1 sICAM-1 sCD40L IL-1 IL-6 IL-10 IL-8 IL-12p40 Reactantes de fase aguda
Food Allergies IgE	Alergias alimentarias IgE
Figure 1: Comprehensive approach to biomarker analysis. Assessing multiple aspects of biological function allows coaches and athletes to track performance, recovery, and health in an individualized, practical manner. Relying on multiple validated biomarkers increases sensitivity, allowing athletes to detect potential impacts of training, recovery, diet, etc., long term. Data from long-term biomarker analysis will enhance preventative detection of injury or negative effects on performance. Examples of options for well-studied biomarkers in each category are provided as suggested components of a customized panel.	Figura 1: Enfoque integral para el análisis de biomarcadores. La evaluación de múltiples aspectos de la función biológica permite que los entrenadores y atletas realicen un seguimiento del rendimiento, recuperación y salud de una manera práctica e individualizada. Confiar en varios biomarcadores validados aumenta la sensibilidad. Por lo tanto, los atletas detectan los impactos potenciales del entrenamiento, la recuperación, la dieta, entre otros, a largo plazo. Los datos del análisis a largo plazo de los biomarcadores mejorarán la detección preventiva de lesiones o efectos negativos en el rendimiento. Se proporcionan ejemplos de opciones para biomarcadores bien estudiados en cada categoría como componentes sugeridos de un panel personalizado.

En lo referente al estado nutricional, metabólico y de hidratación, podemos subdividir en definidores del metabolismo de los macronutrientes a la glucosa, triglicéridos, ácidos grasos libres, proteínas y aminoácidos como principales sustratos de las diferentes vías

energéticas utilizadas dependiendo de la demanda deportiva; y los micronutrientes, que engloban a las vitaminas y minerales esenciales para la realización de la contracción muscular y el desarrollo de las funciones durante el ejercicio. Asimismo, la osmolaridad en el plasma, saliva u orina; la comparación de la masa corporal como indicador de cantidad de agua pérdida antes y después de una competición; o la cantidad de creatinina en sangre resultan indicadores del estado de hidratación del jugador.

Los biomarcadores relacionados con el estado muscular pueden dividirse en tres subgrupos: las concentraciones de creatina quinasa, mioglobina y el BUN (creatinina en sangre) que permiten obtener información sobre el daño muscular que ha producido cierta actividad. En función del aumento de dichas concentraciones, la rotura fibrilar ha resultado más significativa.

**Figura 5: Evolución de la creatina quinasa a lo largo de un microciclo en jugadores profesionales de fútbol**



\*Significantly different from match day (all  $p \leq 0.05$ )

Fuente: Malone et al., 2018.

Creatine Kinase	Creatina quinasa
Match Day Minus (Days)	Día anterior al partido (días)
Significantly different from match day (all $p \leq 0.05$ )	Difieren de manera significativa con respecto al día del partido ( $p \leq 0,05$ )

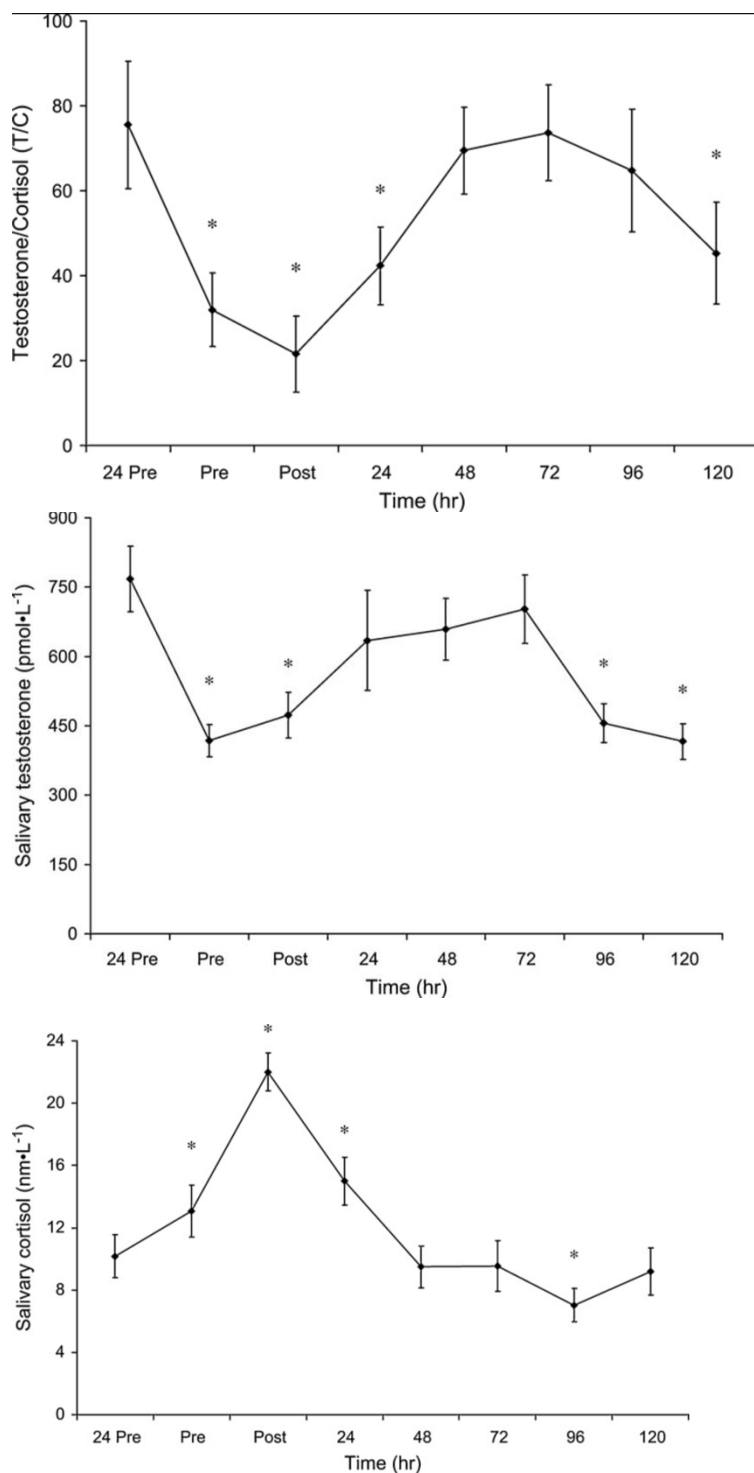
De manera similar, en el caso de los aminoácidos presentes en la resíntesis proteica, observamos que un incremento en las concentraciones de triptófano, glutamina, y la ratio

glutamina:glutamato definen una mayor necesidad de resintetizar componentes proteicos que han sido dañados. Finalmente, las respuestas endocrinas no solo son definidoras del estrés muscular generado, sino también extrapolables al equilibrio entre estrés-recuperación con variables como la testosterona, cuya concentración se eleva después de cargas que han generado un notable estrés —como, por ejemplo, después de un entrenamiento de hipertrofia o un partido—. También el cortisol, como indicador del estrés general tanto psicológico como fisiológico que presenta el o la deportista, tiene una gran variabilidad, de manera que puede presentar diferentes valores dependiendo del momento del día y las condiciones en las que se recoge, ya que es una hormona que presenta un ritmo circadiano, siendo, por norma general, su concentración más elevada a primeras horas del día y descendiendo a lo largo del día hasta alcanzar los valores más reducidos por la noche. La ratio de testosterona:cortisol parece ser un indicador de los procesos anabólicos-catabólicos o de la capacidad del cuerpo para soportar el estímulo durante ejercicio. De esta manera, activa el sistema nervioso simpático (SNS) y tiene la capacidad para activar posteriormente el sistema nervioso parasimpático (SNP), por lo que favorece a una óptima recuperación.

Cabe destacar que dichas concentraciones pueden describir tanto el equilibrio estrés-recuperación después de un partido (agudo) o a lo largo de una temporada (crónico).



Figura 6: Concentraciones de testosterona, cortisol y ratio testosterona/cortisol pre- y pospartido de Rugby League



Fuente: McLellan et al., 2010.

Varios autores resaltan una falta de asimilación de la carga de entrenamiento o competición a reducciones de dicha ratio superiores al 30 % (Adlercreutz et al., 1986; Mujika et al., 1996; Elloumi et al., 2003). Mientras que hormonas como la



dehidroepiandrosterona (DHEA); el factor de crecimiento similar a la insulina 1 (IGF-1); globulina fijadora de hormonas sexuales (SHBG); y la hormona luteinizante (LH) son marcadores que, si sus concentraciones decrecen de manera crónica, se relacionan con el sobreentrenamiento. Cabe resaltar otras hormonas como la  $\alpha$ -amilasa, cuya utilidad se puede relacionar con un estrés fisiológico agudo (durante un periodo limitado de tiempo); o el grupo de inmunoglobulinas, concretamente la inmunoglobulina A (IgA), cuya concentración puede relacionarse con la asimilación de cargas y el estado del sistema inmune en periodos de intensificados de entrenamiento.

Sin embargo, no existe una unanimidad sobre qué marcadores son más eficaces para la descripción del estado del deportista, por lo que es necesario un mayor estudio.

Para concluir, debemos mencionar nuevas variables que centran la importancia en biomarcadores genéticos, epigenéticos y procedentes de tecnologías ómicas (transcriptoma, metabolómica y proteómica) para conseguir un mayor entendimiento sobre la fisiología del deportista y crear un perfil individualizado. Esto tiene como objetivo final la prevención de lesiones o estados de no asimilación de las cargas de entrenamiento (Quintas et al., 2020; Sellami et al., 2021; Ginevičienė et al., 2022).

Los biomarcadores cardiopulmonares más relevantes y actuales para la monitorización de las adaptaciones se centran en el uso de la variabilidad de la frecuencia cardíaca, la frecuencia cardíaca basal o en reposo y la frecuencia respiratoria. Esto sucede a raíz de la aparición de distintos dispositivos que permiten medir dichas variables durante la noche, en un estado de inconsciencia o consciencia limitada, lo que favorece la obtención de valores basales.

La variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC) se entiende como la diferencia o variación de tiempo que se da entre latido y latido. Se trata de una variable sensible a la reacción del sistema nervioso autónomo frente a situaciones que generan estrés, como, por ejemplo, la carga de entrenamiento (Altini y Plews, 2021). En lo referente a las variables analizadas en la VFC, estas se dividen en cuanto a su dominio de frecuencia: el pico de frecuencia de la banda de frecuencia baja (*LF peak*, Hz); el pico de frecuencia de la banda alta de frecuencia (*HF peak*, Hz); o la potencia absoluta de la banda baja (*LF power*, ms<sup>2</sup>) y de la banda alta (*HF*, ms<sup>2</sup>). Asimismo, tenemos las de dominio temporal, como la desviación estándar de los intervalos NN (SDNN) o RR (SDRR) en ms, cuyo porcentaje de intervalos RR sucesivos que presentan una variación mayor de 50 ms (PNN50) en %. Sin embargo, la mayoría de las publicaciones relacionadas con el rendimiento deportivo coinciden en que la variable *rmssd*, raíz cuadrada media de las sucesivas diferencias del intervalo RR, sería la variable recomendada (Plews et al., 2017).

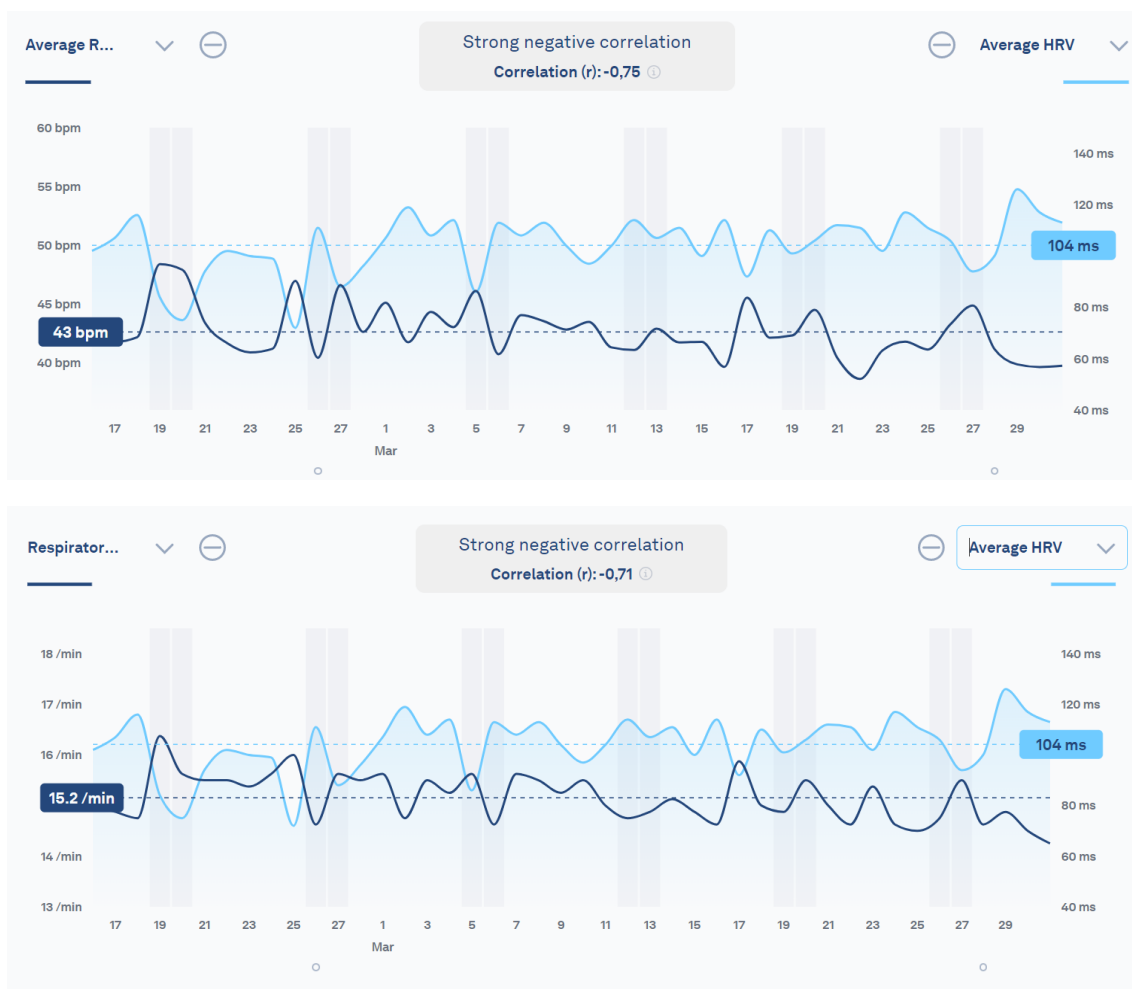
En cuanto a la *rmssd*, no existen unos valores referencia, ya que la VFC es un valor individual de cada atleta. Hay que destacar que el análisis de dicha variable es aconsejable realizarlo midiendo la tendencia a lo largo del tiempo de manera individual. Sus fluctuaciones se encuentran altamente relacionadas con la activación y la acción de



los sistemas nerviosos simpático y parasimpático, por lo que es una herramienta útil para observar o describir el estado de adaptación aguda o recuperación de los/las atletas o jugadores/jugadoras.

Por su parte, la frecuencia cardíaca basal o de reposo y la frecuencia respiratoria son otros componentes que facilitan la comprensión de las adaptaciones o recuperaciones del deportista en momentos posejercicio. La tendencia de la FC<sub>basal</sub> a lo largo de un acumulativo de registros dibuja la asimilación de la carga del día anterior. Generalmente, la FC<sub>basal</sub> tiende a incrementar después de un estímulo estresante y vuelve a valores basales cuando el atleta se ha recuperado de dicho estrés. De forma muy similar, se comporta la frecuencia respiratoria calculada como el número de respiraciones por minuto.

**Figura 7: Tendencias y correlaciones de la variabilidad de la frecuencia cardíaca con la frecuencia cardíaca en reposo y la frecuencia respiratoria**



Fuente: Oura, 2022.

Strong negative correlation Correlation (r): -0,75	Correlación negativa marcada Correlación (r): -0,75
Average HRV	Promedio de la VFC

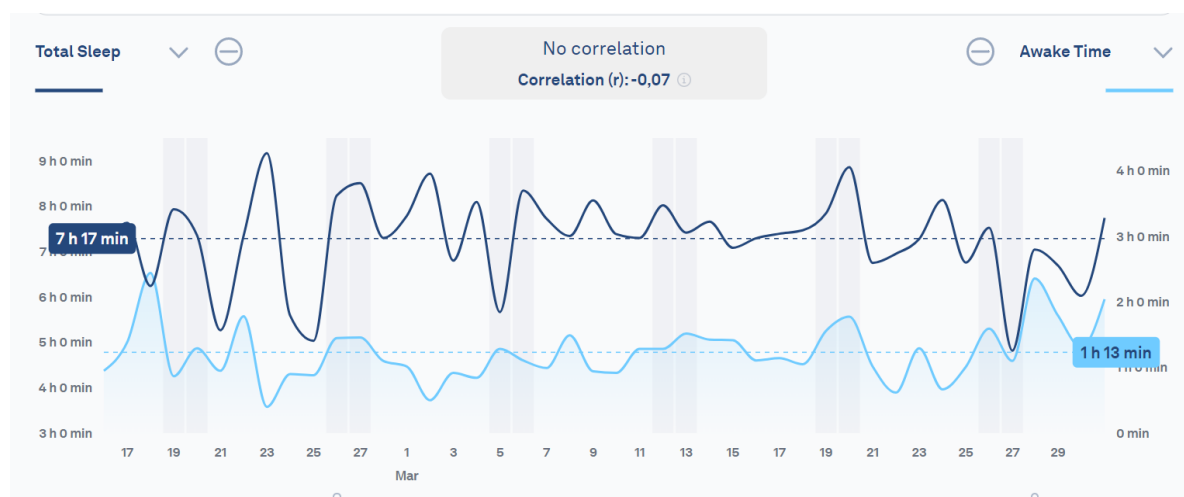
Adicionalmente, en ciertas modalidades deportivas, la frecuencia cardíaca media (FCmedia) y la frecuencia cardíaca máxima (FCmáxima) durante el calentamiento o en tareas estipuladas durante la actividad física podrían actuar como indicador de la adaptación a cierta carga estresante a la que el/la atleta o jugador/a es sometido.

### 2.1.3.1 Evaluación de la adaptación a través de las variables del sueño

Como se ha comentado en párrafos anteriores, la comercialización de dispositivos que registran datos fisiológicos y del sueño durante la noche, con métodos mínimamente invasivos, facilita la comprensión y descripción de la recuperación del deportista. Teniendo como referencia los valores de VFC, FCbasal y frecuencia respiratoria, el análisis de variables como el tiempo total en cama, el tiempo total de sueño, el tiempo total despierto y el número de perturbaciones durante la noche pueden convertirse en indicadores del nivel de fatiga que ha generado el entrenamiento o la competición.

En la actualidad, se está trabajando en la validación de los datos sobre el análisis de las fases del sueño. Una vez se obtenga una alta precisión en la recolección, será un plus en la comprensión del estado en que se encuentra la recuperación dependiendo del tiempo en la que el sujeto haya transitado en la fase de sueño profundo y sueño REM.

**Figura 8: Tendencia de las variables tiempo total dormido durante la noche y tiempo total despierto**



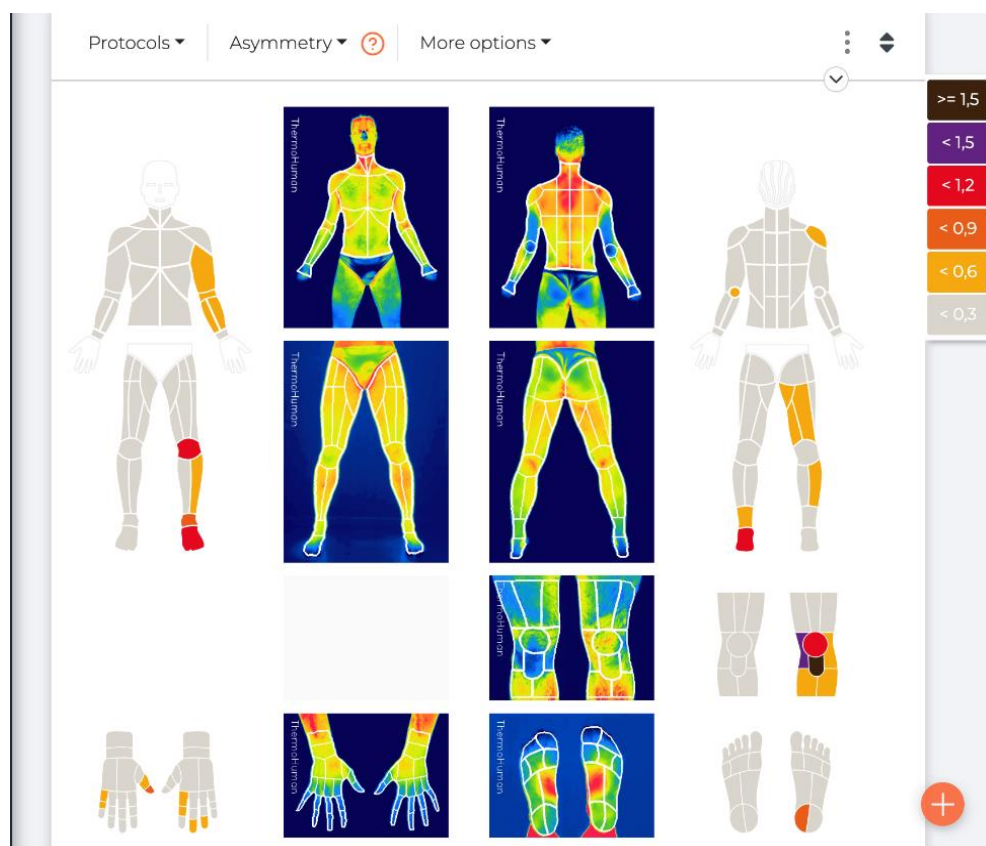
Fuente: Oura, 2022.

Total Sleep	Duración total del sueño
No correlation	Sin correlación
Correlation (r): - 0,07	Correlación (r): - 0,07
Awake time	Tiempo despierto



La termografía es entendida como la técnica que permite determinar la temperatura del deportista, centrándose en las variaciones y diferencias entre las distintas zonas, así como identificando las asimetrías entre los diferentes grupos musculares a lo largo de los microciclos o semanas, mediante el uso de cámaras termográficas. Es un método que puede resultar útil para la monitorización de las adaptaciones en el mundo deportivo.

**Figura 9: Uso de la termografía para el análisis de asimetrías**



Fuente: ThermoHuman, s. f.

### 2.1.3.2 Marcadores perceptivos

Finalmente, el uso de cuestionarios subjetivos focalizados en las sensaciones del o la deportista frente a la carga soportada el día anterior y la sensación de cómo se ha desarrollado su recuperación son altamente extendidos en aquellos deportes en los que —bien sea por su naturaleza, densidad competitiva o por limitaciones económicas— no se pueden acceder de forma periódica a los métodos anteriores. Cabe resaltar entre estos al cuestionario Wellness, que se centra en un listado de ítems como niveles de fatiga, estrés, estado de ánimo, niveles de energía, calidad del sueño, sensación de daño muscular, entre otros y que son valorados por el deportista en una escala del 0 al 10 (Borg, 1998) o del 0 al 7 (Hooper y Mackinnon, 1995).

Tabla 1: Cuestionario Wellness

### Sueño

Muy, muy bueno

Muy, muy malo



### Estrés

Muy, muy bajo

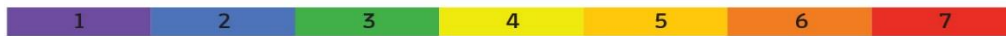
Muy, muy alto



### Fatiga

Muy, muy bajo

Muy, muy alto



### Dolor Muscular

Muy, muy bajo

Muy, muy alto



Fuente: adaptación propia de Hooper y Mackinnon, 1995; y Fessi et al., 2016.

#### 2.1.3.2 Marcadores de fatiga neuromuscular

Otro tipo de evaluación para observar la evolución de la fatiga periférica del jugador o jugadora, concretamente relacionada con los segmentos corporales protagonistas en cada modalidad deportiva a lo largo de los diferentes microciclos que conforman una temporada, es la realización de valoraciones neuromusculares. Analizar las fluctuaciones de potencia, fuerza absoluta y aceleraciones, entre otras variables de naturaleza biomecánica, puede resultar un útil indicador del estado y de la asimilación de cargas del deportista. El test de cadena posterior para evaluar la fatiga de los grupos musculares posteriores, concretamente los isquiotibiales, puede convertirse en una herramienta eficaz para analizar la fatiga muscular resultante de un partido de fútbol; y, como segundo objetivo, intentar prevenir posibles riesgos lesivos resultantes de una pérdida significativa de fuerza en la zona.

**Figura 10: Test de cadena posterior con plataforma de fuerzas**



Fuente: Matinlauri et al., 2019.

Otras pruebas de evaluación podrán centrarse en *sprints* de 10 o 30 m, test de pres de banca para las extremidades superiores; test de potencia con polea cónica en salidas abiertas o cruzadas; test de saltos en plataforma de fuerza o de contacto; o test de lanzamiento con radar.

#### **2.1.4 Variables de monitorización de la carga interna y las adaptaciones en el fútbol femenino**

A modo de síntesis y ya analizada la naturaleza del fútbol femenino, podemos brindar una propuesta para la monitorización de la carga interna durante el entrenamiento y sus posteriores adaptaciones por parte de la jugadora.

En lo referente a la carga interna y a lo que sucede durante el entrenamiento o el partido, el uso de la escala subjetiva de percepción del esfuerzo (RPE) por parte del jugador es herramienta totalmente aconsejable, siempre y cuando haya una familiarización previa de dicho método por parte de la jugadora. De esta forma, se evitan respuestas automatizadas y sin un previo análisis introspectivo de las sensaciones percibidas. Asimismo, el uso de la frecuencia cardíaca durante el entrenamiento, complementando las variables de carga externa, puede dar una visión en vivo de cómo la jugadora responde momentáneamente a las distintas tareas. Resultaría interesante investigar el comportamiento de la FC de recuperación en las pausas entre tareas, con el objetivo de analizar las demandas físicas de diferentes tareas y la capacidad de recuperación individualizada de cada componente del equipo. En momentos más puntuales, como, por ejemplo, después de tareas muy concretas en pretemporada, el análisis de las concentraciones de lactato en sangre resultantes ayudaría a ubicar a las jugadoras y tener

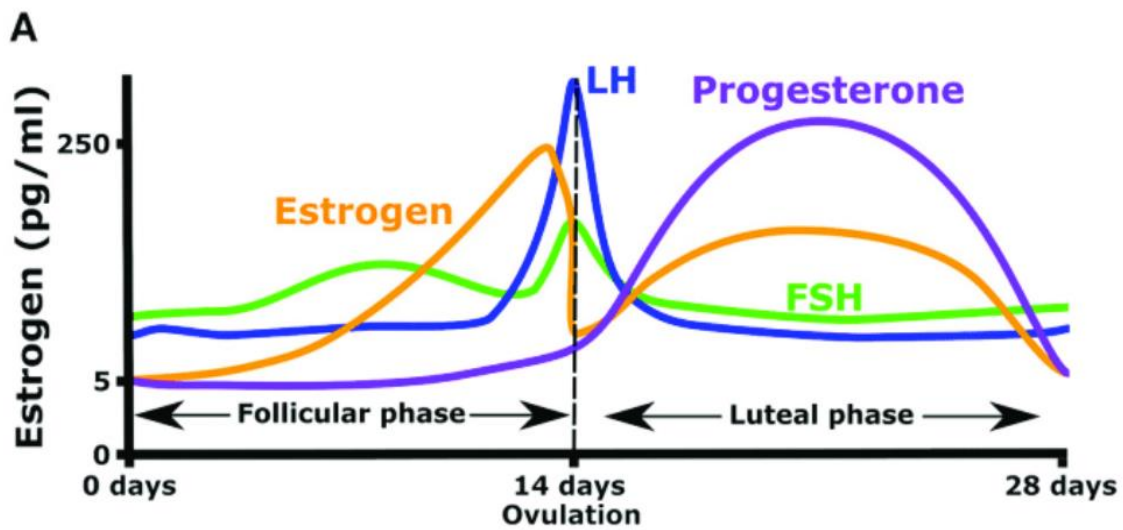
una idea de su perfil condicional para después poder individualizar el entrenamiento dependiendo de sus necesidades.

Al nivel de las adaptaciones, se podrían agrupar en valoraciones dentro del microciclo y valoraciones en periodos específicos a lo largo de la temporada. Por ejemplo, pretemporada, principios de año y en los meses de abril y mayo, justo antes de dar comienzo los mesociclos de más densidad competitiva y partidos relevantes.

Las primeras, realizadas periódicamente en cada microciclo, corresponden a los métodos menos invasivos. La monitorización de las variables cardiorrespiratorias (HRV y HR basal, principalmente); y el análisis de la cantidad y calidad de sueño a través de dispositivos versátiles y cómodos, usando luces led y luces PPG para el registro de datos, son una altamente interesante vía. La termografía también resulta un método relevante con el fin de observar el comportamiento a nivel muscular y la fatiga residual pospartido. Cabe destacar la importancia del trabajo común entre los distintos miembros del *staff* técnico para obtener un correcto *feedback* de los hechos que acontecen. Asimismo, la realización de un cuestionario perceptivo tipo Wellness, justo por la mañana una vez despiertas y mientras se desayuna, sirve para ver los niveles de *readiness* o disposición para afrontar ese día. Adicionalmente, en el caso del fútbol femenino, resulta interesante que cada una de las jugadoras responda a un formulario con preguntas relacionadas con el ciclo menstrual, simplemente notificando si la deportista se encuentra con la menstruación o si presenta cualquier tipo de síntoma premenstrual o menstrual. De tal forma, se presenta la necesidad de objetivar dicho ciclo, teniendo en cuenta que la literatura científica (Romero-Moraleda et al., 2019; Blagrove et al. 2020; McNulty et al., 2020; Bruinvels et al., 2021; y Keay et al., 2021) más reciente enfatiza la importancia de individualizar las cargas de entrenamiento según la fase del ciclo en la que se encuentra la deportista. El análisis durante un periodo prolongado de las variaciones de temperatura, que actualmente se realiza a través de la mayoría de los dispositivos que analizan otras variables fisiológicas (Bruinvels et al., 2021); y de las concentraciones de estrógeno y progesterona, hormonas esenciales en el ciclo menstrual, son importante en estos casos.

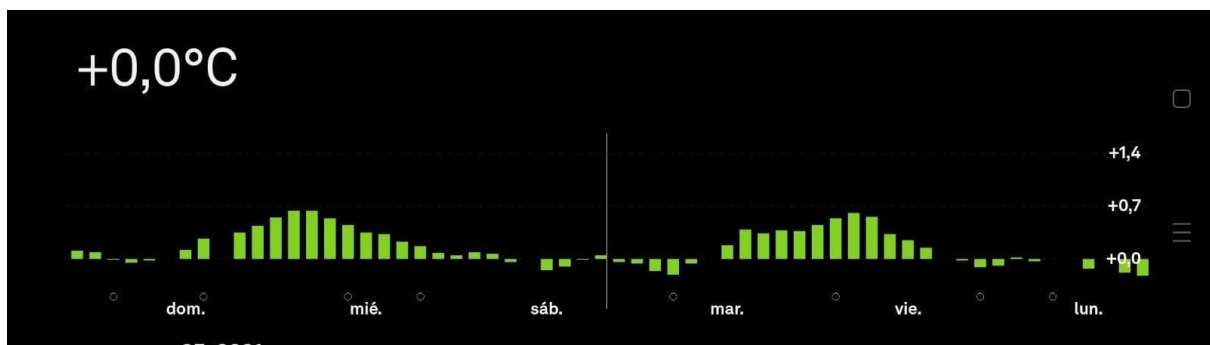


Figura 11: Fluctuación de progesterona y estrógeno teórica durante el ciclo menstrual



Fuente: Chidi-Ogbolu y Baar, 2019.

Figura 12: Tendencia de la variación de temperatura a lo largo del ciclo menstrual



Fuente: Oura Smartphone, 2022.

Otra medición periódica dentro del microciclo, sobre todo en períodos más reducidos sin llegar a realizarlos durante toda la temporada, pero sí en los meses más críticos a nivel de exigencia y densidad competitiva, sería el uso de biomarcadores salivales con el objetivo de describir la asimilación de cargas por parte de cada jugadora y así individualizar la recuperación. El ratio testosterona:cortisol, la testosterona y el cortisol libres, así como la IgA, son definidores del equilibrio estrés-recuperación y del estado del sistema inmune de la jugadora, respectivamente.

Sin embargo, un análisis con mayor exhaustividad de los biomarcadores comentados anteriormente resultaría aconsejable en tres o cuatro momentos de la temporada, porque crea un perfil bioquímico de cada una de las componentes del equipo.

Dependiendo de las demandas y del estado grupal, los test de valoración neuromuscular se deberían ubicar con más o menos frecuencia. A modo de ejemplo, en un periodo en el que el Wellness presenta resultados de daño muscular y los doctores y fisioterapeutas

reportan una alta tendencia a la molestia en la cadena posterior, podría resultar interesante realizar un seguimiento en el MD+1 o MD+2 para descartar descensos significativos de fuerza. De la misma forma, la realización de un perfil aceleración-velocidad de cada una de las jugadoras ayudaría a detectar patrones no habituales y nos ayudaría a enfatizar en las carencias obtenidas.

En los próximos módulos, se ampliará el conocimiento sobre las evaluaciones y su periodización.

## Referencias

**Adlercreutz, H., Härkönen, M., Kuoppasalmi, K., Näveri, H., Huhtaniemi, I., Tikkanen, H., Remes, K., Dessypris, A. y Karvonen, J.** (1986). Effect of training on plasma anabolic and catabolic steroid hormones and their response during physical exercise. *International Journal of Sports Medicine*, 7(S 1), S27–S28. [10.1055/s-2008-1025798](https://doi.org/10.1055/s-2008-1025798)

**Altini, M. y Plews, D.** (2021). What is behind changes in resting heart rate and heart rate variability? A large-scale analysis of longitudinal measurements acquired in free-living. *Sensors*, 21(23), 7932. <https://doi.org/10.3390/s21237932>

**Blagrove, R. C., Bruinvels, G. y Pedlar, C. R.** (2020). Variations in strength-related measures during the menstrual cycle in eumenorrhic women: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 23(12), 1220–1227. [10.1016/j.jsams.2020.04.022](https://doi.org/10.1016/j.jsams.2020.04.022)

**Borg, G.** (1998). *Borg's perceived exertion and pain scales*. Human kinetics.

**Borg, G. A. V.** (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/7154893/>

**Borg, G., Hassmén, P. y Lagerström, M.** (1987). Perceived exertion related to heart rate and blood lactate during arm and leg exercise. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 56(6), 679–685. [10.1007/BF00424810](https://doi.org/10.1007/BF00424810)

**Bruinvels, G., Goldsmith, E., Blagrove, R., Simpkin, A., Lewis, N., Morton, K., Suppiah, A., Rogers, J. P., Ackerman, K. E. y Newell, J.** (2021). Prevalence and frequency of menstrual cycle symptoms are associated with availability to train and compete: a study of 6812 exercising women recruited using the Strava exercise app. *British Journal of Sports Medicine*, 55(8), 438–443. [10.1136/bjsports-2020-102792](https://doi.org/10.1136/bjsports-2020-102792)

**Chidi-Ogbolu, N. y Baar, K.** (2019). Effect of estrogen on musculoskeletal performance and injury risk. *Frontiers in Physiology*, 1834. [10.1136/bjsports-2020-102792](https://doi.org/10.1136/bjsports-2020-102792)

**Elloumi, M., Maso, F., Michaux, O., Robert, A. y Lac, G.** (2003). Behaviour of saliva cortisol [C], testosterone [T] and the T/C ratio during a rugby match and during the post-



competition recovery days. *European Journal of Applied Physiology*, 90(1), 23–28. [10.1007/s00421-003-0868-5](https://doi.org/10.1007/s00421-003-0868-5)

**Fessi, M. S., Noura, S., Dellal, A., Owen, A., Elloumi, M. y Moalla, W.** (2016). Changes of the psychophysical state and feeling of Wellness of professional soccer players during pre-season and in-season periods. *Research in Sports Medicine*, 24(4), 375–386. [10.1080/15438627.2016.1222278](https://doi.org/10.1080/15438627.2016.1222278)

**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. [10.1136/bjsports-2015-095788](https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095788)

**Ginevičienė, V., Utkus, A., Pranckevičienė, E., Semenova, E. A., Hall, E. C. R. y Ahmetov, I. I.** (2022). Perspectives in Sports Genomics. *Biomedicines*, 10(2), 298. <https://doi.org/10.3390/biomedicines10020298>

**Hawley, J. A., Hargreaves, M., Joyner, M. J. y Zierath, J. R.** (2014). Integrative biology of exercise. *Cell*, 159(4), 738–749. [10.1016/j.cell.2014.10.029](https://doi.org/10.1016/j.cell.2014.10.029)

**Hooper, S. L. y Mackinnon, L. T.** (1995). Monitoring overtraining in athletes. *Sports Medicine*, 20(5), 321–327. [10.2165/00007256-199520050-00003](https://doi.org/10.2165/00007256-199520050-00003)

**Impellizzeri, F. M., Marcora, S. M. y Coutts, A. J.** (2019). Internal and external training load: 15 years on. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 14(2), 270–273. [10.1123/ijsp.2018-0935](https://doi.org/10.1123/ijsp.2018-0935)

**Keay, N., Craghill, E. y Francis, G.** (2021). Female football specific energy availability questionnaire and menstrual cycle hormone monitoring. *MedRxiv*. [10.1101/2021.10.29.21265667](https://doi.org/10.1101/2021.10.29.21265667)

**Lee, E. C., Fragala, M. S., Kavouras, S. A., Queen, R. M., Pryor, J. L. y Casa, D. J.** (2017). Biomarkers in sports and exercise: tracking health, performance, and recovery in athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(10), 2920. [10.1519/JSC.0000000000002122](https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002122)

**Mallol, M., Bentley, D. J., Norton, L., Norton, K., Mejuto, G. y Yanci, J.** (2019). Comparison of reduced-volume high-intensity interval training and high-volume training on endurance performance in triathletes. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 14(2), 239–245. [10.1123/ijsp.2018-0359](https://doi.org/10.1123/ijsp.2018-0359)

**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. [10.1519/JSC.0000000000001997](https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001997)

**Matinlauri, A., Alcaraz, P. E., Freitas, T. T., Mendiguchia, J., Abedin-Maghanaki, A., Castillo, A., Martínez-Ruiz, E., Carlos-Vivas, J. y Cohen, D. D.** (2019). A comparison of the



isometric force fatigue-recovery profile in two posterior chain lower limb tests following simulated soccer competition. *PLoS One*, 14(5), e0206561. [10.1371/journal.pone.0206561](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0206561)

**McLellan, C. P., Lovell, D. I. y Gass, G. C.** (2010). Creatine kinase and endocrine responses of elite players pre, during, and post rugby league match play. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(11), 2908–2919. [10.1519/JSC.0b013e3181c1fcb1](https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181c1fcb1)

**McNulty, K. L., Elliott-Sale, K. J., Dolan, E., Swinton, P. A., Ansdell, P., Goodall, S., Thomas, K. y Hicks, K. M.** (2020). The effects of menstrual cycle phase on exercise performance in eumenorrhic women: a systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*, 50(10), 1813–1827. <https://doi.org/10.1007/s40279-020-01319-3>

**Mujika, I., Chatard, J.-C., Padilla, S., Yannick Guezennec, C. y Geysant, A.** (1996). Hormonal responses to training and its tapering off in competitive swimmers: relationships with performance. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 74(4), 361–366. <https://doi.org/10.1007/BF02226933>

**Oura Smartphone.** (2022). <https://ouraring.com/>

**Oura.** (2022). <https://ouraring.com/>

**Plews, D. J., Scott, B., Altini, M., Wood, M., Kilding, A. E. y Laursen, P. B.** (2017). Comparison of heart-rate-variability recording with smartphone photoplethysmography, Polar H7 chest strap, and electrocardiography. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(10), 1324–1328. [10.1123/ijssp.2016-0668](https://doi.org/10.1123/ijssp.2016-0668)

**Quintas, G., Reche, X., Sanjuan-Herráez, J. D., Martínez, H., Herrero, M., Valle, X., Masa, M. y Rodas, G.** (2020). Urine metabolomic analysis for monitoring internal load in professional football players. *Metabolomics*, 16(4), 1–11. [10.3390/metabo11080544](https://doi.org/10.3390/metabo11080544)

**Rivera-Brown, A. M. y Frontera, W. R.** (2012). Principles of exercise physiology: responses to acute exercise and long-term adaptations to training. *Pm&r*, 4(11), 797–804. [10.1016/j.pmrj.2012.10.007](https://doi.org/10.1016/j.pmrj.2012.10.007)

**Romero-Moraleda, B., Del Coso, J., Gutiérrez-Hellín, J., Ruiz-Moreno, C., Grgic, J. y Lara, B.** (2019). The influence of the menstrual cycle on muscle strength and power performance. *Journal of Human Kinetics*, 68, 123. [10.2478/hukin-2019-0061](https://doi.org/10.2478/hukin-2019-0061)

**Sellami, M., Elrayess, M. A., Puce, L. y Bragazzi, N. L.** (2021). Molecular Big Data in Sports Sciences: State-of-Art and Future Prospects of OMICS-Based Sports Sciences. *Frontiers in Molecular Biosciences*, 1356. [10.3389/fmolb.2021.815410](https://doi.org/10.3389/fmolb.2021.815410)

**ThermoHuman.** (s. f.). *ThermoHuman*. <https://thermohuman.com/es/software/>

