



**RIDUNAJ**  
Repositorio Institucional  
Digital UNAJ



Universidad Nacional  
**ARTURO JAURETCHE**

Tesis de Posgrado

Carlos Benítez Franco

# Alteraciones del Sueño y rendimiento deportivo en futbolistas de alta competencia

2023

*Instituto: Ciencias de la Salud*

*Carrera: Maestría en Neurociencias*



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons.  
Atribución – no comercial – compartir igual 4.0  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Documento descargado de RID - UNAJ Repositorio Institucional Digital de la Universidad Nacional Arturo Jauretche

Cita recomendada:

Benítez Franco, C. L. (2023). *Alteraciones del Sueño y rendimiento deportivo en futbolistas de alta competencia* [tesis de maestría, Universidad Nacional Arturo Jauretche].

Disponible en RID - UNAJ Repositorio Institucional Digital UNAJ

<https://biblioteca.unaj.edu.ar/rid-unaj-repositorio-institucional-digital-unaj>

**“Alteraciones del Sueño y rendimiento deportivo en futbolistas de alta competencia”**

**Autor: Carlos Benítez Franco**

**Tesis para obtener el grado académico de Magíster en Neurociencias de la Universidad Nacional Arturo Jauretche**



**Directora de Tesis: Profesora Doctora Mariana Bendersky**

**Diciembre de 2022**

**Maestría en Neurociencias UNAJ**
**“Alteraciones del Sueño y rendimiento deportivo en futbolistas de alta competencia”**
**Tabla de contenido**

<b>Agradecimientos</b>	<b>3</b>
<b>I. Resumen</b>	<b>3</b>
<b>II. Introducción</b>	<b>3</b>
<b>Antecedentes</b>	<b>4</b>
<b>Fundamentación</b>	<b>6</b>
<b>Capítulo 1. Aspectos conceptuales de la evolución de las ciencias del sueño</b>	<b>6</b>
<b>a) Fisiología del sueño normal.</b>	<b>6</b>
-Circuitos neuronales de control del sueño y la vigilia	6
Circuitos neuronales para el control de la vigilia.	6
Circuitos neuronales para el control del sueño	7
Funciones del sueño normal	8
-Recomendaciones respecto a la duración y calidad del sueño	9
-Arquitectura del sueño	10
<b>b) Cambios fisiológicos relativos al ritmo circadiano:</b>	<b>10</b>
-Modificaciones endócrino-metabólicas y ritmo circadiano	11
<b>c) Sueño y redes neuronales</b>	<b>12</b>
<b>d) Fisiopatología</b>	<b>12</b>
-Alteración de la estructura o la conectividad de los circuitos neurales	12
-Sueño y conciencia	13
-Alteración de la arquitectura del sueño	13
-Trastornos respiratorios del sueño (Sleep Disordered Breathing: SDB)	14
<b>Capítulo 2. Relación del sueño con distintas áreas del conocimiento científico</b>	<b>14</b>
a) Sueño y aspectos cognitivos: aprendizaje, memoria, toma de decisiones	14
b) Sueño y salud: cáncer, enfermedades neurodegenerativas, alteraciones de la inmunidad, estrés, enfermedad cardiovascular, obesidad, envejecimiento.	15
c) Sueño, epigenética y plasticidad neuronal	16
d) Sueño y estados de ánimo	16
e) Sueño y situaciones especiales: creatividad, meditación	16
-Sueño y Creatividad	17
-Sueño y Meditación	17
f) Sueño y rendimiento: actividad física (AF), ejercicio (EF), entrenamiento deportivo, rendimiento motor y rendimiento deportivo.	17
g) Inercia del sueño y rendimiento laboral/deportivo	18
h) Influencia del cronotipo individual	18
i) Sueño y microbiota	19
j) Aspectos farmacológicos: drogas activadoras y depresoras de los circuitos neuronales que controlan el sueño	20
<b>Capítulo 3. Aspectos relativos al estudio del sueño en poblaciones deportivas</b>	<b>22</b>
a) Estudios en deportes individuales y deportes de conjunto	23
b) Estudios en poblaciones especiales: deportistas adultos mayores, deportistas femeninas y deportistas infanto-juveniles.	23
<b>Capítulo 4. Evolución de los métodos y dispositivos tecnológicos para el estudio del sueño</b>	<b>23</b>
a) Definición de variables de sueño: cantidad, calidad, eficiencia, latencia, tiempo en la cama, tiempo despierto, salidas de la cama, sueño liviano, sueño profundo, sueño MOR.	23

## Maestría en Neurociencias UNAJ

### “Alteraciones del Sueño y rendimiento deportivo en futbolistas de alta competencia”

b) Métodos objetivos para el estudio del sueño: polisomnografía/electroencefalografía, video-electroencefalografía, resonancia magnética funcional, actigrafía, dispositivos comerciales, aplicaciones en teléfonos móviles, dispositivos en el cuerpo (wearables) y cercanos (nearables).	24
c) Métodos subjetivos: entrevistas, diarios de registro, cuestionarios.	25
d) Validación de los instrumentos de medición	26
e) Inteligencia artificial aplicada a los estudios del sueño.	26
<b>Capítulo 5. Medición de variables de rendimiento en deportistas</b>	<b>27</b>
a) Los procesos de recuperación y supercompensación en el deporte	27
b) Análisis de la composición de los estímulos, la carga aguda y crónica: volumen, intensidad, densidad, aceleraciones, desaceleraciones, impactos, cambios de dirección, fuerza centrífuga.	27
c) Evolución de los métodos de medición del rendimiento deportivo: medición de la carga interna o fisiológica y carga externa o carga de entrenamiento/competencia.	28
d) Evaluación del balance autonómico por monitoreo de la variabilidad de frecuencia cardíaca (VFC)	29
e) Estrategias para la educación e higiene del sueño en relación a la mejora del rendimiento deportivo.	30
<b>III. Hipótesis</b>	<b>30</b>
<b>IV. Objetivos</b>	<b>30</b>
<b>V. Recursos disponibles</b>	<b>31</b>
<b>VI. Materiales y métodos</b>	<b>31</b>
<b>Análisis estadístico</b>	<b>32</b>
<b>VII. Resultados</b>	<b>33</b>
Tabla 1: Variables para análisis de sueño	33
Tabla 2: Variables para análisis de rendimiento	33
Tabla 3: Correlación entre variables de rendimiento y medición de sueño en base a titulares y suplentes ingresados (sólo fechas de partidos).	35
	35
Tabla 4: Correlación entre variables de rendimiento y medición de sueño en base a titulares (partidos + entrenamientos).	36
	36
Tabla 5: Correlación entre variables de rendimiento y medición de sueño en base a titulares (sólo fechas de partidos)	37
Tabla 6: Variables de rendimiento, entre aquellos sujetos que durmieron 6 hs. o más, respecto a los que durmieron menos de 6 hs. en base a titulares (fechas de partidos + entrenamiento).	38
Tabla 7: t-test para muestras independientes de variables de rendimiento para quienes durmieron 6 hs o más versus quienes durmieron menos de 6 hs. en base a titulares (fechas de partidos + entrenamiento).	40
	40
<b>VIII. Discusión y perspectivas futuras.</b>	<b>40</b>
<b>IX. Conclusiones:</b>	<b>42</b>
<b>X. Debilidades y fortalezas</b>	<b>42</b>
<b>XI. Aportes del presente estudio</b>	<b>43</b>
<b>XII. Bibliografía</b>	<b>43</b>

**Maestría en Neurociencias UNAJ**  
**“Alteraciones del Sueño y rendimiento deportivo en futbolistas de alta competencia”**

## Agradecimientos

A mi familia por su apoyo sostenido y comprensión por el tiempo que no pude compartir con ellos, dedicado a mi trabajo y mi actividad académica.

A mi Directora de Tesis Prof. Dra. Mariana Bendersky por su calidad personal, su vocación y capacidad docente, por su incentivo permanente y su paciencia infinita para corregir detalles y acompañarme en este proyecto.

A Erick Sánchez, quien nos abrió las puertas de la Federación Costarricense de Fútbol y a sus autoridades que con gran cordialidad nos permitieron realizar el seguimiento de su Selección y brindaron generosamente los datos de rendimiento.

A Marcelo Segundo por su visión pionera en el campo del sueño y rendimiento deportivo, su perseverancia en el proyecto, y por poner a disposición los dispositivos Nyx-Sys.

## I. Resumen

**Introducción:** El sueño es uno de los pilares del rendimiento deportivo y un componente fundamental en la recuperación física y mental. Los deportistas, al igual que la población normal, pueden presentar trastornos del sueño, agravados por las condiciones a las que se hallan sometidos como exposición al estrés, entrenamientos intensos, competencias nocturnas, traslados en viajes de largas distancia con cambios de horarios, uso de suplementos y de dispositivos electrónicos que pueden alterar el sueño.

**Objetivo:** Evaluar si las alteraciones del sueño en futbolistas de élite tienen repercusión fisiológica sobre el organismo y provocan una disminución del rendimiento deportivo.

**Material y métodos:** Se utilizó una base de datos recogida con dispositivos electrónicos mediante el seguimiento de 24 futbolistas profesionales de nivel Selección Nacional durante un periodo de concentración y competencia internacional en eliminatorias para el Mundial de Qatar 2022, durante 10 jornadas que incluyeron 3 competencias oficiales. Se cuantificaron variables de sueño y variables de carga interna/externa y se establecieron correlaciones para determinar si las alteraciones del sueño modifican el rendimiento.

**Resultados:** se observaron diferencias estadísticamente significativas entre quienes durmieron 6 hs. o más vs. quienes durmieron menos de 6 hs. en cuatro de las seis variables analizadas: distancia recorrida:  $p=0,019$ ; velocidad máxima:  $p=0,001$ , carga del jugador:  $p=0,05$  y percepción subjetiva de esfuerzo ajustada a la duración de la sesión:  $p=0,043$ .

**Conclusiones:** Las alteraciones del sueño en futbolistas de alto rendimiento modifican la carga interna o repercusión fisiológica sobre el organismo y provocan una disminución del rendimiento deportivo manifestado por la carga externa.

## II. Introducción

El sueño es uno de los componentes principales en la recuperación física y mental del deportista, así como en su rendimiento y salud. Al igual que la población normal, los deportistas, aunque han sido menos estudiados, pueden sufrir alteraciones que se manifiestan por dificultades para conciliar el sueño luego de irse a la cama (latencia del sueño), fraccionamiento con despertares y salidas frecuentes de la cama, reducción del tiempo de sueño respecto a la cantidad total de tiempo en la cama (eficiencia), irregularidades de la ventilación como ronquidos o apneas que generan trastornos y somnolencia diurna y reducen la eficiencia de las tareas diarias, la calidad de vida o el rendimiento. Los deportistas pueden ser particularmente susceptibles al sueño inadecuado (Walsh, N.P. et al. 2020) y tener

## Maestría en Neurociencias UNAJ

### “Alteraciones del Sueño y rendimiento deportivo en futbolistas de alta competencia”

dificultades adicionales debido a diversos factores como el estrés excesivo por entrenamientos (muy temprano en la mañana o muy tarde en la noche, o muy intensos) también por competencias, viajes a través de husos horarios que generan alteraciones del ritmo circadiano (jet lag) (Lastella, M. et al. 2018), por la altitud, por la intensidad de las luces de los estadios, el uso de pantallas, el contenido de cafeína en la dieta y en los suplementos deportivos. Otro factor importante puede ser la falta de coincidencia entre los tiempos de sueño y la preferencia circadiana de acuerdo al cronotipo individual, lo que podría contribuir a una peor calidad del sueño en los deportistas de alto rendimiento (Bender, A. et al. 2018).

#### Antecedentes

Se observa en los últimos años un gran incremento de investigaciones en el campo de los desórdenes del sueño en atletas, tanto para evaluar los efectos del sueño sobre el rendimiento, como los efectos del deporte sobre el sueño. Una revisión sistemática y metaanálisis mostró que los deportistas a menudo no pudieron lograr las recomendaciones de sueño durante los períodos de entrenamiento o competencia (Stuart, S. et al. 2018). El sueño se vio afectado la noche de la competición en comparación con las noches anteriores.

Los avances tecnológicos han permitido el monitoreo sistemático de los componentes del sueño, con ciertas ventajas y desventajas, utilizando desde el sistema considerado “gold standard” como la polisomnografía (PSG) / electroencefalografía (EEG), hasta la actigrafía en dispositivos colocados en la muñeca, otros dispositivos portátiles o wearables de uso comercial como aplicaciones en relojes o teléfonos móviles o también dispositivos cercanos que no toman contacto con el sujeto (nearables). La polisomnografía presenta gran precisión y permite la definición de los distintos estadios del sueño, pero genera discomfort, se realiza en condiciones complejas de laboratorio, por corto tiempo y requiere gran experticia para su implementación y la interpretación de los resultados.

A partir de estudios preseleccionados de la literatura relacionada con el sueño de los atletas, se identificaron varios factores que parecen afectar el sueño utilizando métodos objetivos y su asociación con otros factores como el entorno para dormir, hábitos diarios como siestas, nutrición, hidratación, consumo de alcohol, cafeína y tabaco (Oliveira, C. et al. 2017). Se encontró que la mayoría de los estudios no reportaban esas variables, por lo cual es necesario establecer recomendaciones para mejorar la evaluación de la calidad de los estudios futuros. En una revisión sistemática reciente sobre las características del sueño en deportistas, buscando describir los parámetros objetivos y abordar los posibles problemas en esta población, se incluyeron 81 estudios con un total de 1830 atletas que fueron monitoreados durante 18,958 noches (Vlahoyiannis, A. et al. 2021). Se encontró que la duración del sueño de los atletas era corta, con una eficiencia baja, en comparación con los adultos sanos que no son atletas y se revelaron problemas notables especialmente en los deportistas jóvenes.

Por otra parte, el desarrollo de dispositivos basados en la actividad que estiman los patrones de sueño proporciona una mayor comprensión del sueño de los atletas en entornos más accesibles y ecológicos, pueden tener una adecuada precisión si son validados correctamente sus algoritmos, son simples de usar, permiten recolección prolongada de datos y una devolución inmediata de resultados, para realizar ajustes y mejorar el proceso (Kölling, S. et al. 2019). También se han realizado numerosos estudios utilizando cuestionarios estandarizados, aunque no siempre las investigaciones han tenido en cuenta la influencia en el sueño de los deportistas, de factores como los distintos ambientes, el cronotipo individual, la nutrición e hidratación y la influencia de alimentos, suplementos o fármacos estimulantes o depresores.

Las intervenciones sobre el sueño en atletas mejoran la fuerza y la velocidad, el rendimiento cognitivo y el tiempo de reacción, la salud mental y otros dominios; razón por la cual las organizaciones deportivas deberían incorporar programas sistemáticos de promoción de la salud del sueño.

## Maestría en Neurociencias UNAJ

### “Alteraciones del Sueño y rendimiento deportivo en futbolistas de alta competencia”

Un equilibrio adecuado entre el estrés (carga de entrenamiento, competición y otras exigencias de la vida) y la recuperación (donde el sueño es un aspecto relevante) es fundamental para que los deportistas logren un rendimiento continuo de alto nivel. La investigación se ha centrado en las estrategias de recuperación fisiológica y psicológica para compensar las cargas internas y externas de entrenamiento y competición (Kellmann, M. 2018). En tal sentido, un estudio reciente aplicado al fútbol incorpora el concepto de “eficiencia de la carga de trabajo” como una métrica útil para evaluar el rendimiento de los partidos y afirma que la tecnología de sensores usados en el cuerpo puede ser útil para adaptar las cargas de entrenamiento y favorecer la recuperación (Grünbichler, J. et al. 2020). Por otra parte, en una revisión sistemática reciente de las cargas en fútbol realizada sobre 82 estudios se identificó la “carga interna”, “carga externa” y “carga de trabajo”, además de las variables utilizadas para medirlas (Miguel, M. et al. 2021).

La carga de trabajo o workload involucra la suma de la carga de entrenamiento más la carga de competencia.

La carga interna corresponde a la repercusión fisiológica y psicológica sobre el organismo dada por los estímulos del entrenamiento o competencia. Existen parámetros objetivos para determinar la carga interna de un ejercicio o de una sesión determinada, por ejemplo la respuesta de frecuencia cardiaca, la variabilidad de frecuencia cardiaca (VFC), la concentración de lactato sanguíneo, la concentración plasmática de enzimas musculares como la Creatin Fosfoquinasa (CPK), el consumo de oxígeno ( $VO_2$ ), el nivel de cortisol plasmático, la concentración de IgA salival, etc. y también parámetros subjetivos como la escala percibida de esfuerzo o la misma ajustada a la duración de la sesión.

Por otra parte, la carga externa se define como la magnitud del trabajo realizado, durante sesiones de entrenamiento y competencia. Está dada por distintos componentes de los estímulos físicos a los que se someten los deportistas: duración, intensidad, densidad del estímulo (relación entre estímulo y recuperación) y frecuencia. Las variables que se miden dependen del deporte y la especialidad, por ejemplo, distancia total recorrida, velocidad máxima alcanzada, distancia recorrida a altas velocidades, aceleración, desaceleración, potencia desarrollada, peso movilizado, etc. Algunas mediciones son a través de magnitudes directas, como por ejemplo la velocidad expresada en km/h y otras a través de cálculos como la carga del jugador o Player load; el Impulso de entrenamiento o TRIM (Training Impulse), Potencia Metabólica o Metabolic Power. Los deportistas que expresan una menor carga interna ante cargas externas estandarizadas demuestran una mejor aptitud.

El efecto acumulativo del entrenamiento y las adaptaciones que genera, son un factor primario en proceso de desarrollo de rendimiento. Por ello se hace necesario diferenciar la carga aguda de entrenamiento (acumulada durante un microciclo de aproximadamente una semana) de la carga crónica de entrenamiento (acumulada durante un mesociclo de aproximadamente 4 microciclos o de todo un periodo, por ejemplo, periodo competitivo). La planificación correcta y el balance entre carga aguda y crónica, permite la expresión del rendimiento óptimo y evita el riesgo de lesiones.

La calidad del sueño, aunque pobremente definida, es un parámetro relevante para la recuperación, el bienestar físico y mental de los atletas, por lo cual es necesario cuantificarla. En un estudio realizado en atletas, se encontraron 30 instrumentos de medición para monitorear la calidad del sueño y se realizó un metaanálisis sobre 15 de ellos (Claudino, J. G. et al. 2019). Cuatro parámetros objetivos por actigrafía tuvieron resultados significativos: eficiencia, latencia, cantidad de despertares y tiempo despierto. Otros parámetros subjetivos obtenidos de cuestionarios y escalas, además tuvieron resultados significativos: Índice de calidad de Pittsburgh (eficiencia de sueño), escala de Likert (Hooper Index), cuestionario Liverpool de Jet-Lag (puntuación de sueño) y RESTQ (calidad de sueño).

En un estudio donde se comparó la necesidad de sueño autoevaluada de los deportistas de élite mediante la pregunta: “¿cuántas horas de sueño necesitas para sentirte descansado/a?”, con una medida objetiva de la duración habitual del sueño, se concluyó que la mayoría de estos atletas obtiene sustancialmente menos de lo que ellos mismos refieren necesitar para dormir (Sargent, C. et al. 2021).

## Maestría en Neurociencias UNAJ

### “Alteraciones del Sueño y rendimiento deportivo en futbolistas de alta competencia”

La falta de sueño puede ser perjudicial para el resultado del proceso de recuperación después de un partido, esto resulta en un deterioro de la repleción de glucógeno muscular, disminución de la reparación del daño muscular, alteraciones en la función cognitiva y un aumento de la fatiga mental (Nédélec, M. et al. 2015). Otra investigación, que agrupó 37 estudios, evidenció que los atletas muestran una alta prevalencia general de síntomas de insomnio, caracterizados por latencias de sueño más largas, mayor fragmentación, sueño no reparador y fatiga diurna excesiva (Gupta, L. et al. 2017). Las causas subyacentes reconocidas son dos: la hiperactivación cognitiva previa al sueño y la restricción del sueño.

Los efectos de la pérdida de sueño sobre el rendimiento se han revisado anteriormente, pero los efectos de la alteración del sueño en la recuperación después del ejercicio son menos estudiados (Fullagar, H. H. et al. 2015). Los atletas de deportes de equipos tienen alto riesgo de dormir mal, tanto considerando la cantidad como la calidad del sueño. La extensión de los horarios de sueño, las siestas y la higiene del sueño parecen mejorar la recuperación, pero hacen falta más estudios para confirmarlo.

Hay en el mundo unos 265 millones de jugadores y jugadoras de fútbol, que equivalen aproximadamente al 4 % de la población mundial. De las 211 selecciones nacionales de fútbol afiliadas a la Federación Internacional de Fútbol (FIFA), únicamente 32 clasifican para participar en el Campeonato Mundial masculino cada 4 años, con solamente 832 jugadores (26 por equipo, modificado recientemente ya que antes eran 23), lo que representa 0,0003 % del total de jugadores. Tanto en futbolistas en general como en este grupo de élite en particular, no se han realizado investigaciones para estudiar simultáneamente variables de sueño con registros online y variables de rendimiento durante concentraciones y competencias internacionales, posiblemente debido a las dificultades logísticas, tecnológicas y de acceso a ese grupo restringido de deportistas.

## Fundamentación

### Capítulo 1. Aspectos conceptuales de la evolución de las ciencias del sueño

#### a) Fisiología del sueño normal.

-Circuitos neuronales de control del sueño y la vigilia

Circuitos neuronales para el control de la vigilia.

La utilización de nuevos métodos de estudio como la optogenética y la quimiogenética para estimular o inhibir grupos neuronales específicos, produjo un avance en la comprensión de los circuitos que controlan el ciclo sueño-vigilia. Se consideraba en un modelo anterior, que un grupo de neuronas monoaminérgicas (Noradrenalina: NA-Serotonina: 5HT-Histamina: Hist), colinérgicas (ACh) y peptidérgicas ubicadas en el tronco del encéfalo, jugaban un rol fundamental, pero mediante nuevos métodos pudo definirse que juegan un rol únicamente modulador (Fig.1). El papel principal del sistema de excitación para promover la vigilia se halla mediado por glutamato en el núcleo tegmental parabraquial (PB) y pedunculopontino (PPT) que proyectan al prosencéfalo basal (BF) y desde allí las neuronas gabaérgicas (GABA) y colinérgicas (ACh) inervan difusamente a toda la corteza (Saper, C. & Fuller, P. 2017). Por otra parte, la lesión selectiva de las neuronas glutamatérgicas supramamilares (SUM) y dopaminérgicas de la sustancia gris periacueductal (vPAG), solo causan una reducción de 20 % del tiempo de vigilia. El área hipotalámica lateral (LH) contiene dos sistemas neuronales peptidérgicos (neuronas de orexina/hipocretina que también son neuronas glutamatérgicas), que promueven la vigilia al inhibir las neuronas que favorecen el sueño, ubicadas en el tálamo y el área preóptica (Saper, C. & Fuller, P. 2017).

**Maestría en Neurociencias UNAJ**  
**“Alteraciones del Sueño y rendimiento deportivo en futbolistas de alta competencia”**

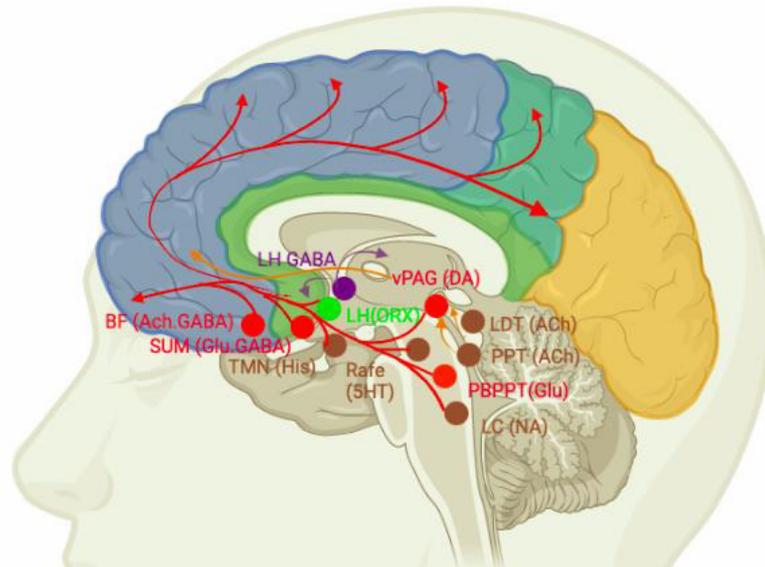


Fig.1: Circuitos neuronales para el control del estado de vigilia (Creado con BioRender.com). Abreviaturas comunes a figuras 1 y 2: NA: Noradrenalina, 5HT: Serotonina, His: Histamina, ACh: Acetilcolina, LH: área hipotalámica lateral, vPAG: sustancia gris periacueductal, SUM: neuronas supramamilares, BF: prosencéfalo basal, PB: n. parabraquial, PPT: n. pedunculopontino, PFZ, n. parafacial, VLPO: área preóptica ventrolateral, MNPO : área preóptica mediana, LC: locus ceruleus).

#### Circuitos neuronales para el control del sueño

El sueño es promovido por un grupo de neuronas gabaérgicas ubicadas en el área preóptica ventrolateral (VLPO) y preóptica mediana (MNPO), que envían axones a todos los centros excitatorios (Fig.2). Las neuronas gabaérgicas de la zona parafacial (PFZ) en el bulbo raquídeo, promueven el sueño al inhibir a las neuronas glutamatérgicas parabraquiales (PB). En el hipotálamo lateral un grupo de neuronas concentradoras de melanina (MCH) contienen tanto GABA como glutamato y los liberan en distintos sitios terminales. Inervan las neuronas del tronco encefálico que controlan el sueño MOR (Saper, C. & Fuller, P. 2017).

**Maestría en Neurociencias UNAJ**  
**“Alteraciones del Sueño y rendimiento deportivo en futbolistas de alta competencia”**

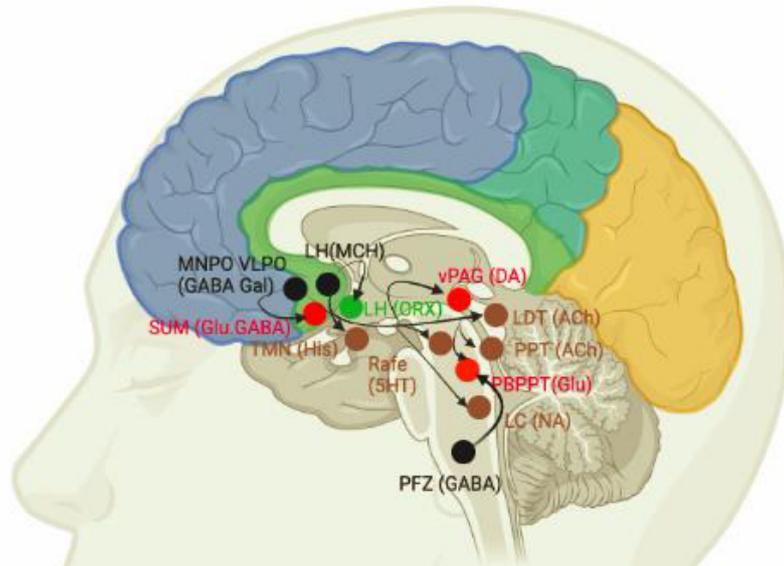


Fig.2: Circuitos neuronales para el control del sueño (Creado con BioRender.com) .

### Funciones del sueño normal

El sueño es un estado activo con actividad neuronal a lo largo de distintos estadios, siendo una importante parte de la vida en todas las especies. A pesar de haber sido estudiada minuciosamente la fisiología del sueño (Carley D.W. & Farabi, S. S. 2016), sus funciones exactas parecen no estar totalmente clarificadas, distintas investigaciones proponen la siguientes posibles funciones::

**-Desarrollo neuronal o neurogénesis.** El sueño MOR puede jugar un rol importante especialmente durante el desarrollo fetal. La privación empeora el desarrollo en el hipocampo y el sueño MOR podría facilitar la conversión de células progenitoras a neuronas, aunque hay otros factores intervinientes (Miletinová, E. & Busková, J. 2021) y no hay suficiente evidencia.

**-Depuración metabólica.** El descenso de la tasa metabólica y de la temperatura corporal durante el sueño podría ayudar a restaurar la pérdida de energía que ocurre durante la vigilia, probablemente por promover sueño no MOR de ondas lentas e hipotonía, que reduciría la demanda de glucosa. Muchos genes en el SNC modifican su transcripción durante el sueño llevando al restablecimiento de los neurotransmisores. Por otra parte, la función restauradora del sueño puede ser una consecuencia de la mayor eliminación de productos de desecho potencialmente neurotóxicos que se acumulan en el sistema nervioso central en estado de vigilia (Xie, L. et al. 2013).

**-Plasticidad sináptica y consolidación de la memoria.** Se cree que el sueño está involucrado en la regulación de la plasticidad sináptica de dos maneras: 1) mejorando los procesos plásticos locales que subyacen a la consolidación de recuerdos específicos y 2) apoyando la homeostasis sináptica global. Los estudios que examinan los cambios estructurales y funcionales asociados con el sueño apuntan a una reducción global de la fuerza sináptica durante el sueño, mientras que un subconjunto de sinapsis aumenta en fuerza. De igual modo, la excitabilidad neuronal en promedio disminuye durante el sueño, mientras que los subconjuntos de neuronas aumentan las tasas de activación. Durante el sueño No MOR o de ondas lentas (SWS) se observan procesos de regulación positiva específica de la memoria, de la formación de sinapsis y excitabilidad. En cambio, la regulación negativa global que da como resultado la eliminación de las sinapsis y la disminución del disparo neural está relacionada con el sueño de movimientos oculares rápidos (MOR) (Niethard N. et al. 2017).

## Maestría en Neurociencias UNAJ

### “Alteraciones del Sueño y rendimiento deportivo en futbolistas de alta competencia”

La hipótesis de consolidación activa de la memoria durante el sueño planteada por Jan Born expresa un modelo de dos procesos de escalamiento sináptico: durante el sueño de ondas lentas (SWS) hay un escalamiento ascendente sináptico y el sueño MOR subsiguiente, a través de la actividad theta, respalda procesos de escalamiento descendente, guardando recuerdos marcados por reactivaciones durante el sueño SWS previo (Born J. & Feld G.B. 2012).

En las últimas dos décadas, la investigación ha acumulado evidencia convincente de que el sueño apoya la formación de la memoria a largo plazo. El modelo de memoria estándar en dos etapas supone que los nuevos recuerdos se codifican en un almacén temporal, representado por el hipocampo en el sistema de memoria declarativa, antes que se transfiera a un almacén a largo plazo representado por la neocorteza, o por el contrario se olvidan. La consolidación tiene lugar durante el sueño de ondas lentas (Born, J. & Wilhelm, I. 2012).

La hipótesis de la homeostasis sináptica propone que el sueño es el precio que paga el cerebro por la plasticidad (Tononi, G. & Cirelli, Ch. 2014). Durante la vigilia, la interacción con el entorno requiere el fortalecimiento de las conexiones cerebrales lo que incrementa el gasto energético y la utilización de suministros. Durante el sueño, la actividad espontánea vuelve a normalizar la fuerza sináptica y se restablece la homeostasis celular. La activación dependiente de la selección sináptica descendente puede explicar los beneficios del sueño en la adquisición, consolidación e integración de la memoria.

**-Salud mental.** El sueño MOR juega un rol en el manejo de la estimulación epigenética externa. Los disturbios del sueño podrían contribuir al desarrollo de condiciones psiquiátricas como ansiedad o depresión (Miletinová, E. & Busková, J. 2021).

**-Equilibrio del sistema inmune.** El sueño se considera un modulador importante de la respuesta inmune. Por lo tanto, la falta de sueño puede debilitar la inmunidad, aumentando la susceptibilidad del organismo a la infección (Ibarra-Coronado, E. et al. 2015)

Hay involucrados citoquinas y Factor de Necrosis Tumoral (TNF) en la regulación del sueño No MOR, también cambia la cantidad de anticuerpos post inmunización.

**-Estado de bienestar del organismo.** Muchos genes se alteran por la privación de sueño, algunos relativos a las enzimas de síntesis de colesterol y proteínas de transporte, además de reducir la superóxido dismutasa cerebral (en ratas), pudiendo llevar hasta la muerte, aunque sin grandes cambios a nivel tisular en el SNC. En humanos la privación se asocia con obesidad, diabetes y enfermedades cardiovasculares (Miletinová, E. & Busková, J. 2021), (Cappuccio, F. P. & Molinero, M. 2017).

**-Seguridad y supervivencia de los individuos.** La restauración de la performance para la competición con otros y la reproducción podría ser crucial para la supervivencia de una especie. El sueño podría tener una función adaptativa con comportamientos adecuados al momento de buena provisión de alimentos y bajo riesgo de presencia de predadores (Krueger, J.M. et al. 2016).

#### -Recomendaciones respecto a la duración y calidad del sueño

Algunos factores como la duración del sueño y la eficiencia del sueño son los que se asocian más consistentemente con la percepción subjetiva de la calidad del sueño. La luz artificial puede retrasar y alterar los ritmos circadianos, afectando especialmente el sueño MOR, que es otro indicador de calidad de sueño, controlado por el reloj del Núcleo Supra Quiasmático (NSQ). Parece ser necesario una cantidad adecuada de sueño MOR para garantizar la continuidad del sueño y activar periódicamente el cerebro preparándolo para el retorno a la conciencia (Barbato, G. 2021).

Dos procesos básicos regulan el horario y la duración del sueño: un proceso **homeostático** determinado por el tiempo de sueño y el tiempo despierto, y un proceso **circadiano** definido por la baja o alta propensión a dormir, que se vinculan a la temperatura central y la secreción de melatonina.

## Maestría en Neurociencias UNAJ

### “Alteraciones del Sueño y rendimiento deportivo en futbolistas de alta competencia”

Otro proceso ultradiano regula la alternancia de dos estados prevalentes de sueño MOR y No MOR o sueño de ondas lentas. Este último se incrementa con la prolongación del tiempo despierto.

Respecto a las recomendaciones y estadísticas de los organismos especializados, tres instituciones (US National Sleep Foundation, American Academy of Sleep Medicine, y Sleep Research Society) informan que la duración apropiada del sueño para adultos es de 7 - 9 hs cada noche. Sin embargo, esta indicación no se corresponde con la vida real: 35% de la población general duerme  $\leq 6$  h por noche y el 29,5% duerme 7 hs. cada noche.

Según diferentes estudios, una disminución de la duración del sueño se asoció con múltiples alteraciones como deterioro del estado de ánimo, aumento de la actividad amigdalina, disminución de la conectividad funcional con la corteza cingulada anterior ventral, aumento del riesgo de hipertensión y enfermedad cardiometabólica, reducción de leptina y aumento de grelina, lo cual conduce al aumento de ingesta calórica e incremento de peso. La reducción prolongada de la duración del sueño es un factor de riesgo para el desarrollo de obesidad, diabetes, hipertensión, enfermedades cardíacas y accidentes cerebrovasculares y puede contribuir, a largo plazo, a la muerte prematura (Cappuccio, F. P. & Molinero, M. 2017).

La eficiencia del sueño o relación entre el tiempo total en la cama y la duración del sueño, es otro predictor de la calidad del sueño (Barbato, G. 2021). El sueño de ondas lentas y la eficiencia del sueño son los principales predictores de la calidad del sueño. El sueño de ondas lentas se considera además el principal componente para satisfacer las necesidades homeostáticas y propiciar un buen rendimiento cognitivo durante el día siguiente según algunos estudios.

#### -Arquitectura del sueño

De acuerdo con el Comité de Medicina e Investigación del Sueño del Instituto de Medicina de Estados Unidos, la arquitectura del sueño se refiere a la organización estructural básica del sueño normal. Hay dos tipos de sueño, el sueño sin movimientos oculares rápidos (no MOR) y el sueño con movimientos oculares rápidos (MOR). El sueño no MOR se divide en las etapas 1, 2 y 3, que representan un continuo de profundidad relativa. Los ciclos y etapas del sueño se pusieron en evidencia con el uso de registros electroencefalográficos (EEG) que detectan los patrones eléctricos de la actividad cerebral (Deement, W. & Kleitman, N. 1957).

La arquitectura del sueño es la representación gráfica de las distintas fases del sueño a lo largo de una noche, divididas en función de la variación de las ondas cerebrales registradas por el electroencefalograma. El sueño normal tiene una forma determinada de acuerdo a las características y duración de cada fase, hasta completar un ciclo. Cada ciclo dura unos 90 a 110 minutos, se repite de 4 a 6 veces durante una noche y se divide en sueño no MOR que ocupa un 75 -80 % y sueño MOR (Movimientos Oculares Rápidos) que ocupa un 20-25 %. El sueño no MOR a su vez se compone de distintos estadios: estadio 1 adormecimiento, estadio 2 sueño ligero, estadio 3 sueño profundo o de ondas lentas.

Estas características pueden verse alteradas en distintas condiciones fisiológicas y patológicas por diferentes circunstancias: puede haber modificaciones de la arquitectura del sueño relativas a la composición corporal, también la arquitectura del sueño se modifica con la edad y desarrollo biológico y durante el embarazo. Pueden presentarse alteraciones de la arquitectura según la ingesta de macronutrientes. Finalmente la arquitectura del sueño se halla influenciada por cambios cardiovasculares en la tensión arterial, frecuencia cardíaca (FC) y variabilidad de FC (VFC).

#### b) Cambios fisiológicos relativos al ritmo circadiano:

El ritmo circadiano o reloj circadiano juega un rol crucial en muchos procesos biológicos tales como el ciclo sueño-vigilia, el metabolismo y balance energético (Serin, Y. & Acar Tek, N. 2019). Aunque hay varios sistemas de relojes autónomos circadianos distribuidos en el organismo, el núcleo supraquiasmático (NSQ) del hipotálamo anterior es considerado el

## Maestría en Neurociencias UNAJ

### “Alteraciones del Sueño y rendimiento deportivo en futbolistas de alta competencia”

marcapasos circadiano maestro. Este se sincroniza por los ciclos ambientales de luz-oscuridad vía fotorreceptores diferentes de los que median la percepción visual (Rosenwasser, A. & Turek, F. 2015).

Los relojes circadianos maestro y periféricos se sincronizan a través de los zeitgebers o dadores de tiempo, estos son: la luz, la transición sueño-vigilia, la actividad física, las señales sociales y las comidas (Janse van Rensburg, D. et al. 2021).

Varios estudios demostraron que se producen variaciones durante el día, en secreciones hormonales, en la expresión genética, la temperatura corporal, el sistema inmune, la regulación del apetito, la regulación cardiovascular y respiratoria, que tienen directa influencia sobre varios elementos relevantes en la performance deportiva creando tiempos de rendimiento máximo respecto a variables como la fuerza muscular y flexibilidad, el control motor y sensorial, la función perceptual y cognitiva.

La evidencia acumulada indica que la transcripción de los genes del reloj circadiano está regulada epigenéticamente a través de cambios en la metilación del ADN, modificaciones de histonas y alteraciones estructurales de la cromatina. Por lo que estas modificaciones epigenéticas de los genes del reloj circadiano podrían ser el objetivo de la prevención o el tratamiento de trastornos neurodegenerativos o psiquiátricos que implican alteraciones circadianas (Akers, K. et al. 2018).

Cada vez hay mayor exigencia a los atletas que viajan a nivel nacional e internacional, lo que provoca a menudo fatiga de viaje y jet lag o desfase horario (Janse Van Rensburg, D.C. et al. 2021). La fatiga por viajes y el jet lag son dos entidades diferentes. La fatiga por viajes puede ocurrir en forma aguda o crónica, por las circunstancias mismas del viaje como largas jornadas o en condiciones de hacinamiento, dirección del viaje y cruce de zonas horarias, viajes translatitudinales (de zonas de verano a invierno o viceversa), etc.

El jet lag o desfase horario es una interrupción de la fase circadiana que puede ocurrir cuando un individuo experimenta una alteración en las señales externas que sincronizan el reloj del cuerpo que impulsan el ritmo circadiano biológico, debido al rápido viaje aéreo a través de múltiples zonas horarias. Hay dos aspectos claves que juegan un rol importante en la realineación circadiana: la temperatura central mínima y la secreción de melatonina. Ambos aspectos pueden verse alterados durante el jet lag. En condiciones fisiológicas hay coincidencia entre los valores más bajos de temperatura central junto con los valores más bajos de cortisol plasmático, simultáneamente con el pico de secreción de melatonina, hormona de crecimiento y leptina. (Janse van Rensburg, D. et al. 2021).

Pueden presentarse los siguientes síntomas producto del jet lag: fatiga física y mental, reducción de la motivación, reducción o alteración del apetito, confusión, cefalea, irritabilidad, constipación, cambios metabólicos.

#### -Modificaciones endócrino-metabólicas y ritmo circadiano

Existen numerosas modificaciones del sistema endócrino que acompañan el ritmo circadiano. Los aspectos más relevantes se dan con los cambios en la secreción de melatonina y cortisol, pero en realidad muchas hormonas presentan una secreción cíclica, en algunos casos con concentraciones pico que determinan cambios importantes en el la alternancia sueño/vigilia y en el metabolismo.

La secreción de melatonina con un pico alrededor de las 2:00 am, es activada por el núcleo supraquiasmático e inhibida por la luz transmite el mensaje de la oscuridad al reloj biológico y regula las funciones fisiológicas del estado nocturno, la presión arterial, el metabolismo durante el sueño/vigilia (Zisapel, N. 2018). Se ha demostrado el papel de la melatonina en la restauración de la calidad de sueño, en la disminución de la activación de ciertas redes neuronales y en numerosas situaciones clínicas como trastornos del sueño, jet lag, trabajos nocturnos (Bair, M.B. & Asif, I. 2018), hipertensión nocturna, alteraciones del sueño en niños con trastornos del neurodesarrollo y en la enfermedad de Alzheimer.

También hay fluctuaciones circadianas en la secreción de otras hormonas, los niveles más altos de hormona estimulante de la tiroides o TSH se dan entre las 2:00 y las 4:00 a.m. y

## Maestría en Neurociencias UNAJ

### “Alteraciones del Sueño y rendimiento deportivo en futbolistas de alta competencia”

la secreción de triiodotironina o T3 entre las 3:30 y las 5:30 a.m. mientras su nivel más bajo se observa entre las 5:00 y las 6:00 p.m. (Russell, W. et al. 2008).

Por otra parte, también hay una secreción cíclica de cortisol, regulada por el eje hipotalámico hipofisario adrenal cuyo valor pico se observa alrededor de las 8:00 a.m. En una revisión sistemática y metaanálisis basada en 80 estudios se encontró una asociación significativa entre una pendiente diurna más plana de cortisol y peor salud física y mental, esto puede reflejar la desregulación relacionada con el estrés de los ritmos circadianos centrales y periféricos (Adam, E.K. et al. 2017). Posiblemente el aplanamiento de la curva de secreción diurna de cortisol tiene una triple causalidad compartida: 1) alteraciones de los mecanismos inmunidad/inflamación, 2) alteraciones en la expresión de genes que regulan el reloj biológico, 3) alteraciones del sueño como acortamiento, jet lag social y otros trastornos en la latencia, eficiencia, arquitectura, etc.

#### c) Sueño y redes neuronales

La Conectividad Funcional en estado de reposo (medida por fMRI mediante la variación de la señal BOLD: Niveles Dependientes de Oxígeno en Sangre, en múltiples regiones cerebrales) se encuentra sometida a tres tipos de cambios durante la privación de sueño: 1) Hay una **pérdida de integración** “dentro” de la Red Neuronal por Defecto (Default Mode Network o DMN), así como “entre” redes como la Red Saliente y el Sistema de Atención Dorsal; 2) otro cambio es el **decrecimiento de la segregación** (correlación negativa o anticorrelación) “entre” redes que muestran patrones opuestos de señales; 3) un **incremento de la señal global** (cambios en la fluctuación de la señal BOLD a lo largo de los voxels de materia gris, blanca y ventrículos) (Chee & Zhou 2019).

#### d) Fisiopatología

Los trastornos del sueño se caracterizan por la falta de satisfacción de los sujetos, con la duración del sueño, con su calidad, dificultades para iniciar o mantener el mismo y déficit en la realización de las actividades diurnas. Las quejas pueden acompañar otros desórdenes médicos o psiquiátricos como dolor, depresión, fatiga, alteraciones del humor, déficit de atención, concentración y memoria (Morin et al. 2015). El diagnóstico de insomnio se hace cuando las dificultades de sueño están presentes por más de 3 noches por semana y por más de 3 meses (Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders DSM5, 5 edition, 2014).

#### -Alteración de la estructura o la conectividad de los circuitos neurales

Los cambios en conectividad funcional con la privación de sueño ocurren en sujetos saludables y se asemejan a los patrones de pacientes con enfermedad de Alzheimer (Dennis & Thompson, 2014; Zhou et al. 2017), particularmente la reducción de la conectividad funcional de DMN y el decrecimiento de la anti-correlación entre DMN y la red atencional (Brier et al., 2012; Wang et al., 2007), acompañado por una reducción de la vigilancia.

Durante el deterioro cognitivo leve y la enfermedad de Alzheimer los patrones de conectividad de DMN se vuelven ineficientes (Zhou et al., 2015). Además hay depósito de amiloide y alteración metabólica en las regiones DMN y de sus conexiones con el hipocampo (Fernando & Behrens. 2013).

La disminución de la conectividad funcional en la corteza cingulada posterior y la precuña que constituye un centro del DMN, representa un biomarcador potencial para detectar deterioro cognitivo antes que los signos clínicos de la enfermedad de Alzheimer (Li, M. et al. 2018).

## Maestría en Neurociencias UNAJ

### “Alteraciones del Sueño y rendimiento deportivo en futbolistas de alta competencia”

#### -Sueño y conciencia

Ciertas teorías contemporáneas de la conciencia se basan en gran medida en la detección de la integración/segregación de información en el cerebro humano y, por lo tanto, son sinérgicas con los desarrollos metodológicos de la teoría de grafos aplicada a los datos de imágenes cerebrales (Tononi, G. 2004).

La cognición y la conciencia se reducen durante el sueño, lo que dificulta la aplicabilidad de los paradigmas estándar basados en tareas. Los métodos modernos permiten el estudio de las fluctuaciones espontáneas de la actividad cerebral bajo el concepto de conectividad funcional (FC), es decir la covariación estadística entre las señales y su aplicación a los datos de imágenes de Resonancia Magnética funcional (fMRI) adquiridos durante el sueño. Estos estudios han permitido revelar la activación de redes neuronales vinculadas a la conciencia (Tagliazucchi E, van Someren EJW. 2017).

La evolución desde el sueño no MOR temprano hacia el sueño no MOR profundo es paralela a la disminución de la excitación, el aumento de los umbrales de estimulación para despertar y la reducción de la cognición y la conciencia. En esta etapa se produce una declinación en el consumo de glucosa en áreas frontales y parietales de la corteza (Braun, A.R. et al 1997).

Durante el sueño MOR se presenta una forma de conciencia a través de los sueños vívidos, aunque también se reportan frecuentemente los mismos, luego de despertar del sueño no MOR. Durante el sueño MOR se produce un incremento del metabolismo de la glucosa en cerebro anterior y sistema límbico.

La red por defecto o DMN incrementa su metabolismo durante el registro de base versus el registro durante la realización de una tarea/performance y ha sido asociado con la conciencia ambiental y con la autoconciencia.

Para profundizar la comprensión del significado neurobiológico de los cambios de conectividad funcional durante el sueño, es imperativo avanzar hacia la “combinación multimodal” de técnicas de neurociencia: funcional (fMRI), electrofisiológica (EEG), metabólica (PET), conectividad (tractografía), conductual y cognitiva, y el análisis del contenido consciente informado en los estudios realizados en los paradigmas de despertar en serie.

#### -Alteración de la arquitectura del sueño

Hay cambios de la arquitectura del sueño, especialmente durante el sueño MOR, que pueden ser predictores de enfermedades neurodegenerativas.

También como consecuencia de la reducción del sueño MOR, se observan alteraciones fisiológicas que incluyen inflamación, elevación de interleuquinas, modificaciones del sistema inmunitario y aumento de la sensibilidad al dolor.

La frecuencia (densidad) de los movimientos oculares rápidos aumenta durante el transcurso de la noche con cada episodio MOR sucesivo y cuando el sueño es más profundo. También se ha observado un aumento de la densidad MOR en la depresión y el estrés postraumático. Por el contrario, una baja densidad MOR puede predecir el deterioro cognitivo en sujetos mayores.

La privación de sueño reduce principalmente la duración del sueño MOR y la extensión del sueño subsiguiente la aumenta. El despertar espontáneo es más probable durante el sueño MOR que en otras etapas del sueño.

En el trastorno del comportamiento de sueño MOR (REM Behavior Disturbed o RBD) hay pérdida de la atonía (Chen, M.C. et al. 2013). El RBD se vincula con las  $\alpha$ -sinucleopatías, incluyendo la enfermedad de Parkinson, la demencia con cuerpos de Lewy y atrofia multisistémica (Li, M. et al. 2018).

Por otra parte, existiría relación entre la composición corporal y la arquitectura del sueño en atletas. Ésta se ve afectada especialmente por la masa muscular, los varones con mayor volumen de masa muscular y menor de masa grasa que las mujeres pueden tener objetivamente menor calidad de sueño, mayor latencia de sueño, mayor cantidad de

## Maestría en Neurociencias UNAJ

### “Alteraciones del Sueño y rendimiento deportivo en futbolistas de alta competencia”

despertares, menos sueño MOR y menor porcentaje de ondas lentas (N3) en el inicio del sueño no MOR. Se encontró una correlación significativa entre ambos subgrupos, esto sugiere una peor calidad de sueño en varones debido a la modificación de la arquitectura relativa al mayor volumen muscular (Kitamura, E. et al. 2021).

#### -Trastornos respiratorios del sueño (Sleep Disordered Breathing: SDB)

Los SDB abarcan un espectro de trastornos respiratorios que se definen como de naturaleza o bien obstructiva o central. Los SDB obstructivos varían en gravedad desde el ronquido primario (Primary Snoring o PS) hasta la apnea obstructiva del sueño (Obstructive Sleep Apnea u OSA).

Los SDB son una afección común en bebés y niños. EL SDB se asocia con resultados cardiovasculares y neurocognitivos adversos, se cree que son consecuencia de los ciclos repetidos de hipoxia seguidos de reperfusión, hipercapnia y fragmentación del sueño.

## Capítulo 2. Relación del sueño con distintas áreas del conocimiento científico

### a) Sueño y aspectos cognitivos: aprendizaje, memoria, toma de decisiones

Se ha demostrado que la falta de sueño produce déficits en la consolidación de la memoria y juega un papel importante en el desarrollo y la plasticidad cerebral en las diversas etapas de desarrollo del cerebro humano.

En una revisión se analizaron tres aspectos básicos relacionados con el sueño: 1) la actividad eléctrica cerebral durante el sueño y su correlación neuroanatómica con el aprendizaje y la memoria, 2) los ciclos circadianos y su impacto sobre los sistemas fisiológicos y 3) trastornos clínicos relacionados con el sueño y su impacto en el aprendizaje y la memoria. En la misma se arribó a las siguientes conclusiones: el sueño es fundamental para la homeostasis y equilibrio fisiológico de cada individuo; además a nivel cognoscitivo los procesos de aprendizaje y memoria se consolidan y depuran luego de una noche de sueño; por otra parte la identificación temprana de ciertos patrones de análisis espectral de sueño pueden resultar biomarcadores para identificar problemas de desarrollo como el Trastorno del Espectro Autista (TEA) o esquizofrenia, permitiendo la búsqueda de tratamientos para afrontar estos trastornos y la identificación de las mejores condiciones para dormir como parte importante de la calidad de vida y la salud de las personas (Acosta, M.T. 2019).

El sueño no MOR o de ondas lentas o sueño sincronizado, contribuye a la homeostasis sináptica global en las redes corticales al promover la reducción de conexiones “redundantes” potenciadas durante la vigilia anterior. Durante este periodo se consolida la memoria episódica dependiente del hipocampo por el incremento de su conectividad sináptica. Hay dos fenómenos eléctricos característicos durante el sueño no Mor: las ondas lentas y los husos de sueño, que han sido relacionados con la maduración y el aprendizaje. Los husos de sueño (10-15 Hz) se originan en el núcleo reticular del tálamo y definen el comienzo del estadio 2 del sueño no Mor cuando ocurre una desconexión con el ambiente, se han utilizado como marcadores del desarrollo y juegan un rol esencial en la plasticidad sináptica y la consolidación de la memoria. Se proyectan a toda la corteza cerebral y coordinan las ondas agudas del hipocampo ayudando a la consolidación de la memoria hipocámpal (Born, J. & Wilhelm, I. 2012). Durante el sueño no MOR hay un marcador de la reducción de la actividad neural dado por la disminución del metabolismo de la glucosa en corteza frontal, parietal y temporal, además de la amígdala, el hipocampo y el hipotálamo.

Se ha demostrado que la reactivación de recuerdos durante el sueño de ondas lentas (SWS) juega un papel causal para la consolidación, que el sueño y específicamente SWS consolida preferentemente recuerdos con relevancia para planes futuros, por lo cual podría ser relevante para la toma de decisiones sobre perspectivas futuras (Born, J. & Wilhelm, I. 2012).

## Maestría en Neurociencias UNAJ

### “Alteraciones del Sueño y rendimiento deportivo en futbolistas de alta competencia”

Durante el sueño No MOR de ondas lentas (SWS) se observan procesos de regulación positiva específica de la memoria, de la formación de sinapsis y excitabilidad, mientras que la regulación negativa global que da como resultado la eliminación de sinapsis y una disminución de la activación neural está relacionada con el sueño de movimientos oculares rápidos.

(Niethard N. et al. 2017).

Por otra parte, durante el sueño MOR hay un incremento del metabolismo cerebral que se origina en el tronco encefálico y compromete especialmente el cerebro anterior y el sistema límbico, por lo cual juega un rol fundamental en las memorias emocionales. También durante este periodo se estabilizan las conexiones neuronales eliminando (podando) aquellas redundantes, por lo cual es fundamental para la plasticidad sináptica y el desarrollo cerebral. Durante el sueño MOR se produciría la poda de las espinas dendríticas postsinápticas recién formadas de las neuronas piramidales de la capa 5 en la corteza motora del ratón durante el desarrollo (Li, W. et al. 2017).

#### b) Sueño y salud: cáncer, enfermedades neurodegenerativas, alteraciones de la inmunidad, estrés, enfermedad cardiovascular, obesidad, envejecimiento.

Muchos estudios epidemiológicos resaltan la vinculación del sueño con algunas enfermedades, evidenciando los efectos metabólicos adversos debidos al déficit de sueño que se vinculan especialmente con obesidad, diabetes y enfermedades cardiovasculares.

La disminución de la cantidad y calidad de sueño disminuye la sensibilidad a la insulina y la tolerancia a la glucosa, además de promover un balance energético positivo con aumento de peso (Nedeltcheva, A.V. & Scheer, F.A. 2014).

Hay un rol importante de los neuropéptidos hipotalámicos Orexina A y B (Hipocretina 1 y 2) en el control del metabolismo energético y el balance sueño/vigilia. La alteración de la regulación de la Orexina se ha relacionado con la obesidad, la narcolepsia y los trastornos relativos al envejecimiento respecto al deterioro cognitivo (Nixon, J.P. et al. 2015).

Las neuronas orexinérgicas regulan un conjunto de funciones corporales vitales que incluyen los estados de sueño/vigilia promoviendo la vigilia, el comportamiento alimentario, la homeostasis energética promoviendo la actividad física, los sistemas de recompensa, la cognición y los estados de ánimo. Son además capaces de mejorar la neurogénesis del hipocampo, el aprendizaje espacial, las capacidades de memoria y el estado de ánimo. Por lo contrario, la deficiencia de orexina da como resultado déficit de aprendizaje, pérdida de memoria, depresión y narcolepsia (Chieffi, S. et al 2015).

Un aspecto interesante relativo al sueño se puso en evidencia a partir del confinamiento por la pandemia debida al COVID en deportistas de élite. Se estudió la afectación de la calidad del sueño por la duración del confinamiento y por la intensidad del entrenamiento mediante un cuestionario retrospectivo transversal basado en sus hábitos en 1454 deportistas de élite de distintos países, llegando a las siguientes conclusiones: la reducción de la intensidad del entrenamiento durante el confinamiento se asoció con una menor calidad de sueño y un agravamiento de los casos de insomnio; la duración del confinamiento tuvo más efectos disruptivos en el comportamiento del sueño en los deportistas de élite (Romdhani, M. et al. 2022).

Hay una reconocida relación entre las alteraciones del sueño y algunas enfermedades.

En un estudio sobre el sueño MOR en adultos, se encontró que un porcentaje reducido del mismo se asocia con mayor riesgo de mortalidad por todas las causas, pero no se relaciona con el cáncer (Leary, E.B. et al. 2020). Sin embargo, en un estudio longitudinal de 8 años de duración, sobre envejecimiento donde se examinó la calidad del sueño y riesgo de cáncer en 10.036 participantes, se concluyó que la mala calidad se asocia positivamente con el riesgo a largo plazo de desarrollar cáncer (Song, C. et al. 2021). Los mecanismos biológicos que sustentan estos hallazgos pueden deberse a la menor producción de melatonina, la alteración de mecanismos inmunológicos, el aumento de las especies reactivas de oxígeno (ROS) que dañan el ADN y alteran el metabolismo. Pueden contribuir otros factores de riesgo de cáncer ya

**Maestría en Neurociencias UNAJ****“Alteraciones del Sueño y rendimiento deportivo en futbolistas de alta competencia”**

conocidos como el tabaquismo, la obesidad y el sedentarismo que son comunes en pacientes con mala calidad de sueño.

**c) Sueño, epigenética y plasticidad neuronal**

Las modificaciones epigenéticas constituyen cambios en la expresión genética que no se deben a variaciones en el código genético subyacente y que son heredables.

Pueden ser una metilación (agregado de un grupo metilo: CH<sub>3</sub>) en el ADN, o una modificación o acetilación (agregado de un grupo acetilo: COCH<sub>3</sub>) en histonas y ARN no codificantes, en particular microARN (miARN) por ejemplo los que participan en el control postranscripcional del ARN mensajero que regulan la expresión de proteínas dentro de la célula. Los miARN tienen influencia en la diferenciación del músculo esquelético y en la magnitud de sus adaptaciones al entrenamiento.

Las modificaciones epigenéticas pueden ser moduladas a través del sueño, la alimentación y el entrenamiento para mejorar la performance. También los genes pueden ser regulados epigenéticamente por la edad, la inflamación, el estrés, la infección, el metabolismo celular y durante la gestación.

Puede haber modificaciones epigenéticas que predisponen a un rasgo de talento natural (efecto directo) y otras que dan una respuesta mejorada al entrenamiento físico y un riesgo reducido de lesiones (efecto indirecto).

Por otra parte se empieza a reconocer el papel de la regulación epigenética en los trastornos del sueño (apnea del sueño, insomnio, privación de sueño) y sus comorbilidades. Las alteraciones epigenéticas pueden proporcionar una alta sensibilidad y especificidad para monitorear y detectar trastornos del sueño.

Las alteraciones de la metilación del ADN han sido reconocidas como importantes para comprender la fisiopatología de muchas enfermedades como el cáncer, diabetes, síndrome metabólico, aterosclerosis, enfermedad intestinal inflamatoria, enfermedades autoinmunes, trastornos psiquiátricos y neurodegenerativos (Cortese, R. 2021).

Mediante las células madre y progenitoras, el sueño y la epigenética realizan una influencia regulatoria durante la edad adulta, sobre la neurogénesis hipocampal en particular sobre la región del giro dentado (Akers, K. et al. 2018), lo cual puede jugar un importante rol en la cognición, la memoria, la emoción y posibilitar terapias preventivas de enfermedades psiquiátricas y neurodegenerativas.

El ejercicio parece mejorar la neurogénesis, el aprendizaje y la memoria dependientes del hipocampo y éstos a su vez mejoran la neurogénesis en el giro dentado en adultos.

La pérdida de sueño afecta el epigenoma y estas alteraciones epigenéticas podrían mediar los cambios observados en la cognición luego de la interrupción de sueño.

**d) Sueño y estados de ánimo**

El sueño y el estado de ánimo son importantes factores que contribuyen a la salud y el bienestar, especialmente para los deportistas que están sometidos a altas demandas psicofísicas. Se realizó un estudio durante 2016 en futbolistas de la National Collegiate Athletic Association (NCAA), mediante la aplicación cuestionarios de Índice de calidad de sueño de Pittsburgh (PSQI), el Perfil de estado de ánimo (POMS) y la Escala-2 de Ansiedad en el deporte (SAS-2) en 230 sujetos. Los resultados del PSQI con puntajes  $\geq 5$  se dieron en 54 % de las observaciones. El incremento de las disfunciones de sueño fue significativo en relación al decrecimiento del vigor y el incremento de la tensión, depresión, enojo, fatiga, ansiedad somática, preocupación y disminución de la concentración (Benjamin, C.L. et al. 2020).

**e) Sueño y situaciones especiales: creatividad, meditación**

## Maestría en Neurociencias UNAJ

### “Alteraciones del Sueño y rendimiento deportivo en futbolistas de alta competencia”

#### -Sueño y Creatividad

Algunos estudios sugieren que la capacidad de recordar los sueños, evidenciada por la alta frecuencia del recuerdo de los mismos, tiene una correlación positiva con ciertos rasgos de personalidad como la creatividad y la apertura a nuevas experiencias y además con la conectividad de DMN. Sin embargo, no se encontró una correlación significativa entre la creatividad y la conectividad de DMN (Vallat, R. et al. 2022). Existe la presunción de que el acto de soñar y divagar pertenece a procesos mentales espontáneos relacionados, durante los cuales se activa la DMN. Los sujetos con mayor frecuencia de recuperación de sueños poseen puntuaciones más elevadas en las evaluaciones de creatividad sin diferencias significativas en la memoria ni en la calidad del sueño.

Los sueños pueden ayudar a la creatividad y la resolución de problemas (Barrett, D. 2017). A lo largo de la historia los sueños han contribuido al arte, la resolución de problemas matemáticos, diseños de arquitectura o tecnológicos. La neurofisiología del sueño se caracteriza por una alta actividad en las áreas cerebrales relacionadas con las imágenes, lo cual puede ayudar a resolver cuestiones relacionadas con la visualización.

#### -Sueño y Meditación

En los últimos tiempos se evidencia un interés en aumento en la meditación como parte del tratamiento de los trastornos del sueño.

En un estudio donde se hizo una revisión sistemática y metaanálisis sobre los efectos de la meditación de atención plena o mindfulness, se encontraron evidencias moderadas de que la meditación consciente mejoró significativamente la calidad del sueño respecto a los controles y por lo tanto, puede ser eficaz para tratar algunos aspectos de los trastornos del sueño (Rusch, H.L. et al. 2019).

Por otra parte, se realizaron intervenciones de movimiento basados en mindfulness (Mindfulness Based Movement o MBM) para mejorar la calidad del sueño. Estas intervenciones constituyen un grupo de técnicas integradoras que incluyen yoga, Tai Chi Chuan, Pilates y otras, donde en comparación con las monoterapias, las MBM combinan el mindfulness con el ejercicio aeróbico, estiramientos, respiración lenta y balance corporal, para impulsar la integración entre el cerebro, la mente y el cuerpo. En muchos estudios se halló que las personas sanas y los adultos mayores se beneficiaron más con la MBM que los pacientes con trastornos y los jóvenes. Por otra parte, estudios de imágenes demostraron que la MBM induce cambios estructurales y funcionales en regiones clave del cerebro asociadas con el control emocional.

En un metaanálisis publicado en agosto 2022 se llegó a la conclusión que puede aplicarse como terapia complementaria para mejorar la calidad del sueño y que la intervención óptima es de dos veces por semana durante más de tres meses y con un tiempo total de más de 24 horas. Cuando se cumplen estos requisitos se encuentra además una mejora significativa en los perfiles metabólicos, inflamatorios, de salud mental y la VFC mejorando el equilibrio simpático-vagal (Yang, J. et al. 2022).

- f) Sueño y rendimiento: actividad física (AF), ejercicio (EF), entrenamiento deportivo, rendimiento motor y rendimiento deportivo.

Se define la **actividad física (AF)** como cualquier tipo de movimiento o acciones corporales en la vida cotidiana, por acción de los músculos esqueléticos, como caminar, realizar tareas domésticas, o actividades recreativas que implican un gasto de energía. Mientras el **ejercicio físico (EF)** se define como una actividad planificada, sistemática, repetitiva cuyo objetivo es mejorar el funcionamiento del organismo. En tanto se considera que la definición de **deporte** reúne una serie de componentes tales como movimiento, juego, reglas, agonística, competencia. Por otra parte, el **entrenamiento deportivo** se caracteriza por

## Maestría en Neurociencias UNAJ

### “Alteraciones del Sueño y rendimiento deportivo en futbolistas de alta competencia”

la aplicación sistemática de estímulos físicos, psicológicos, técnicos, táctico-estratégicos, con el objeto de lograr el máximo rendimiento posible de acuerdo al nivel en el que se aplica.

El rendimiento deportivo se reduce por una o más noches sin dormir, pero la influencia sobre el rendimiento de la restricción parcial de sueño, durante 1 a 3 noches, no está tan clara (Walsh, N. et al. 2020). Los estudios en una población más amplia muestran que dormir menos de 7 horas incrementa la susceptibilidad a infecciones respiratorias.

En un metaanálisis realizado para investigar la realización de ejercicio durante la tarde-noche y su influencia en el sueño, se encontró que más allá de la recomendación habitual acerca de que el ejercicio en esos horarios puede causar dificultades en el sueño, los estudios no respaldan la hipótesis que el ejercicio nocturno afecta negativamente el sueño, sino más bien lo contrario. No obstante, pueden verse afectados la latencia del sueño, el tiempo total y la eficiencia del sueño, después del ejercicio intenso. (Stutz, J. et al. 2018).

La actividad física puede ser un medio para preservar o reforzar la conectividad en redes cerebrales, interrumpidas tanto en condiciones normales por envejecimiento, como patológicas (Stillman et al., 2019). Se ha demostrado que la aptitud cardiorrespiratoria está asociada con la conectividad en la red por defecto o DMN (Voss et al., 2010). Se ha descrito un vínculo bidireccional entre EF y conectividad funcional (Baniqued et al., 2018), que podría ser muy útil para intervención con terapias individualizadas.

Por consiguiente, la AF y en especial el EF sistemático parecen tener un rol importante en la preservación y/o recuperación de los circuitos involucrados en el control del sueño, la integridad de las redes neuronales y el equilibrio del sistema protector ante enfermedades neurodegenerativas.

En una revisión donde se analizaron 34 estudios que cumplieran los requisitos de poseer medidas objetivas y subjetivas de sueño y una intervención de ejercicio que cumpliera las pautas del American College of Sport Medicine, 29 estudios concluyeron que el ejercicio mejoró la calidad o la duración del sueño, sin embargo 4 no encontraron diferencias y 1 informó un efecto negativo (Dolezal, B. et al. 2017). La intervención de ejercicio fue más efectiva en adultos de mediana edad y mayores que en niños y adolescentes y especialmente en poblaciones que padecen alguna enfermedad, independientemente de la modalidad o intensidad de la actividad.

Teniendo en cuenta la intensidad de la actividad física, una actividad de alta intensidad se asocia con una menor duración del sueño la noche siguiente, respecto a la de intensidad moderada, aunque ninguna de ambas intensidades se asoció con una mejor calidad de sueño. Una mejor calidad puede resultar en más actividad física al día siguiente (Pesonen, A. et al. 2022).

#### g) Inercia del sueño y rendimiento laboral/deportivo

En los primeros minutos luego de despertar suele haber una reducción de la vigilancia, aumento de la somnolencia y deterioro del rendimiento; ese estado se conoce como “inercia del sueño”. Su duración es variable, dependiendo de los resultados medidos y se disipa progresivamente en los primeros 30 minutos posteriores a despertar.

En un estudio realizado utilizando medidas combinadas de comportamiento, EEG y fMRI, se encontró un rendimiento deficiente en una tarea de resta descendente, una intrusión de las características específicas del sueño en la actividad cerebral de la vigilia, y una alteración de la segregación funcional del cerebro entre las redes de tareas positivas (atención dorsal, prominencia, sensoriomotora) y tareas negativas (modo predeterminado o DMN), con diferencias más importantes al despertar del sueño en estadio N3 (sueño profundo) respecto a N2 (Vallat, R. et al. 2018). La inercia del sueño puede tener importantes consecuencias críticas en situaciones de emergencia en sujetos que requieren tomar decisiones vitales como médicos, bomberos, pilotos, etc.

#### h) Influencia del cronotipo individual

## Maestría en Neurociencias UNAJ

### “Alteraciones del Sueño y rendimiento deportivo en futbolistas de alta competencia”

La calidad del sueño se ve influenciada por el cronotipo individual en deportistas independientemente de la cantidad de horas de sueño.

En un estudio realizado con deportistas, donde se comparó la calidad subjetiva de sueño y el cronotipo de atletas de élite con un grupo de control de no atletas con buen sueño, mediante el índice de Calidad de sueño de Pittsburgh (PSQI), la escala de matutinidad- vespertinidad del atleta (AMES) y la escala compuesta de matutinidad (CSM), se encontraron los siguientes hallazgos: Los atletas de élite reportaron peores resultados de calidad de sueño según el PSQI, a pesar que no había diferencia en la duración del sueño, por otra parte la distribución del cronotipo de los deportistas mostró mayor sesgo hacia la matutinidad, sin diferencia autoinformada en la hora habitual de acostarse-despertarse. Los hallazgos sugieren que una desalineación de los tiempos de sueño con la preferencia circadiana puede contribuir a una más pobre calidad en los deportistas de élite (Bender, A. et al. 2018).

El cronotipo además parece afectar la actividad del Sistema Nervioso Autónomo (SNA) medido a través de la VFC. En una revisión donde se analizaron los efectos de la hora del día y el cronotipo sobre la VFC en respuesta a sesiones agudas de actividad física, se observó que el tipo vespertino tiene una perturbación mayor del SNA en respuesta al ejercicio matutino, mientras ambas categorías mostraron una actividad similar del SNA durante la noche. Por lo tanto, el control del cronotipo y la hora del día son claves para el entrenamiento y la prevención de lesiones (Vitale, J. et al. 2019).

#### i) Sueño y microbiota

Existe considerable evidencia científica sobre la función del eje microbiota-intestino-cerebro, que afecta no solo los procesos digestivos, metabólicos e inmunológicos del huésped, sino que además regulan el sueño y los estados mentales, en relación con los ritmos circadianos y el estado nutricional (Warner-Skacel, J. et al. 2020). La microbiota intestinal humana influye de numerosas maneras sobre el cerebro: las bacterias intestinales estimulan el sistema inmune en un estado de equilibrio que a veces puede desestabilizarse; las proteínas bacterianas pueden interactuar con antígenos humanos para desbalancear el sistema inmune, las enzimas bacterianas pueden producir metabolitos neurotóxicos; la microbiota es capaz de producir hormonas y neurotransmisores, y puede además estimular directamente neuronas aferentes enviando señales al cerebro por vía vagal. A través de varios mecanismos pueden modular la arquitectura del sueño y la reactividad al stress a través del eje hipotálamo-hipofisario-adrenal, influyendo además en la memoria, el estado de ánimo, la cognición y diversas patologías (Galland, L. 2014).

Se han realizado numerosos estudios sobre la relación entre la actividad física, la dieta y la microbiota en atletas, analizando su posible influencia en los resultados deportivos. Se hallaron diferencias en la composición bacteriana en varias disciplinas deportivas, dependiendo de la dieta, el uso de probióticos y el tipo de deporte (Mańkowska, K. et al. 2022). La composición bacteriana también está influenciada por aspectos genéticos, el estilo de vida, el uso de antibióticos y la presencia de algunas enfermedades.

La actividad física incrementa algunos subtipos de bacterias, en función de la disciplina deportiva, por ejemplo, las actividades dinámicas que requieren alto VO<sub>2</sub> máximo tienen una composición diferente que aquellas disciplinas deportivas con componentes estáticos. La actividad física reduce el monto de componentes como los lipopolisacáridos relacionados con la inflamación y aumenta el contenido de butirato que estimula el sistema inmune. Algunos estudios también demuestran la diferente composición bacteriana intestinal de acuerdo con la disciplina deportiva, por ejemplo, en jugadores de rugby con alto Índice de Masa Corporal, posiblemente por el alto contenido de proteína en la dieta, respecto a ciclistas, maratonistas, remeros, etc. que presentan alto contenido de microorganismos involucrados en el metabolismo de los carbohidratos capaces de realizar la conversión de lactato a piruvato influyendo sobre el rendimiento.

El entendimiento de los mecanismos por los cuales la microbiota podría influenciar el rendimiento atlético es de considerable interés para los deportistas que trabajan para mejorar

## Maestría en Neurociencias UNAJ

### “Alteraciones del Sueño y rendimiento deportivo en futbolistas de alta competencia”

sus resultados en competencia, así como reducir el tiempo de recuperación (Mohr, A.E. et al. 2020)

Los mecanismos por los cuales la microbiota intestinal puede influir sobre los trastornos del estado de ánimo, la fatiga, el insomnio y el riesgo de depresión durante el ejercicio, incluyen la liberación de subproductos bacterianos que acceden al cerebro a través del torrente sanguíneo, la liberación de citoquinas de las células inmunitarias de la mucosa y a través de la liberación de hormonas intestinales como serotonina o 5-HT de las células enteroendocrinas o a través del nervio vago (Clark, A. and Mach, N. 2016). La hipótesis de la fatiga central establece que el aumento de liberación de 5-HT está asociada con el sueño, la somnolencia y fatiga que contribuyen al rendimiento subóptimo. Estudios recientes sugieren que es en el cerebro donde se origina la fatiga central, siendo uno de los elementos más importantes, los cambios bioquímicos que incluyen la acumulación de serotonina extracelular durante la realización de ejercicio (Meeusen, R. et al 2006) y otras moléculas como GABA, glutamato o la dopamina. En condiciones normales, los receptores 5HT<sub>2</sub>, ubicados en el compartimento somatodendrítico de las neuronas, tienen un papel excitador; sin embargo, cuando están saturados, la serotonina se une a los receptores 5HT<sub>1a</sub> ubicados en el segmento inicial del axón y tienen una función inhibitoria. (Tornero Aguilera, J.F. et al. 2022).

#### j) Aspectos farmacológicos: drogas activadoras y depresoras de los circuitos neuronales que controlan el sueño

Los deportistas frecuentemente se ven sometidos a la necesidad de ajustar su agenda competitiva, así como realizar viajes con cambios rápidos de husos horarios, lo cual puede producir desajustes circadianos o jet lag. Se han utilizado estrategias farmacológicas y no farmacológicas para facilitar el ajuste circadiano y maximizar el estado de alerta y la performance. No obstante, hay relativamente escasos estudios en atletas que investigan las ayudas farmacológicas, siendo más comunes en personal de aerolíneas y trabajadores de turnos rotativos.

Los medicamentos para modificar el sueño involucran varios grupos farmacológicos que incluyen aquellos que inhiben el sueño, como la cafeína, que actúa bloqueando selectivamente los receptores de adenosina subtipos A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> y B en el sistema nervioso y aquellos que se consideran inductores del sueño como benzodiazepinas (BDZ), que actúan sobre receptores GABA A y agonistas de receptores de BDZ, melatonina, agonistas de receptores de melatonina, sedantes antidepresivos, antipsicóticos, antihistamínicos, y antagonista de los receptores de orexina (hipocretina). La elección en muchos casos depende de la vida media de los fármacos. Los más comúnmente utilizados para los deportistas han sido cafeína, melatonina y no benzodiazepínicos (Baird, M. & Asif, I. 2018).

La melatonina es muy requerida por su utilidad para el ajuste circadiano y por no presentar efectos adversos sobre la performance.

La cafeína es el único estimulante no prohibido por la Agencia Mundial Antidopaje. Tiene una función ergogénica confirmada tanto en eventos de resistencia como de velocidad y fuerza, de manera que es muy utilizada en deportistas, pero tiene efectos adversos en la latencia del sueño, la eficiencia del sueño, el tiempo total de sueño y en especial sobre la duración de la fase MOR.

Tanto la melatonina como la cafeína son considerados “suplementos” no medicamentos por lo cual puede no estar bien controlada su fabricación y presentar contaminación con productos prohibidos o superar las dosis permitidas, aumentando el riesgo de doping positivo o provocando efectos adversos.

Los sedantes-hipnóticos como las no benzodiazepinas son los más utilizados en atletas, frecuentemente en función de su vida media, ya que a menor vida media y duración de efectos se reducen los efectos adversos sobre la performance. Sólo deben prescribirse cuando se dispone de la posibilidad real de un descanso de 8 horas.

**Maestría en Neurociencias UNAJ**

**“Alteraciones del Sueño y rendimiento deportivo en futbolistas de alta competencia”**

Las benzodiazepinas son típicamente desaconsejadas para los atletas por su riesgo de abuso potencial y subsecuente dependencia. Por otra parte, la efectividad y efectos adversos son comparables con las no benzodiazepinas.

Otros agentes farmacológicos para el insomnio como difenhidramina, amitriptilina o trazodona son utilizados por no atletas, presentan perfiles farmacológicos menos favorables y se han asociado con somnolencia diurna, por lo que no son recomendados para el deportista.

La literatura científica también analizó el uso de cannabis y su relación con el sueño. En una revisión exhaustiva de los efectos de los productos de cannabis en el sueño normal y los trastornos del sueño, se muestra que estos tienen efectos mínimos o nulos sobre los trastornos del sueño y pueden tener efectos nocivos en algunos individuos (Kolla, B.P., et al 2022). Hay un impacto de los productos de cannabis en el sueño normal y los ritmos circadianos de sueño-vigilia, insomnio, somnolencia diurna excesiva, apnea del sueño, parasomnias y síndrome de piernas inquietas.

Todos los cannabinoides excepto el Canabidiol (CBD) están prohibidos por la Agencia Mundial Antidopaje, el tetrahidrocanabinol (THC) está prohibido a un nivel determinado (>150 ng/ml en orina), por lo tanto, en cualquier producto que utilicen los deportistas hay riesgo de contaminación y por lo tanto de violación de las reglas antidopaje, lo cual desaconseja su utilización en el deporte.

Clasificación de fármacos que afectan el sueño

**Tabla I. Benzodiazepinas** según vida media (desaconsejada en atletas):

Acción ultracorta/rápida (< 6 hs.)	-Midazolam -Triazolam	7,5-15 mg/día 0,125-0,25 mg/día
Acción corta/intermedia (6-24 hs.)	-Alprazolam -Lorazepam -Ketazolam -Temazepam -Bromazepam -Lormetazepam	0,25-0,5 mg/día 2 a 6 mg/d o 1-2 mg c/8-12 hs.  15-60 mg/día 7,5-30 mg/día
Acción larga (>24 hs.)	-Clonazepam -Cloracepato dipotásico -Diazepam	0,5 mg /8hs. 15-30 mg/día o 5-15 mg/12 hs. 5-10 mg/día o 2-10 mg/12 hs.

**Tabla II. No benzodiazepínicos**

Acción ultracorta Vida media 1 h. <u>R</u> BZ1	Zaleplon	10 mg
Acción corta Vida media 2,5 hs. <u>R</u> BZ1	Zolpidem	5-10-6,25-12,5 mg
Acción intermedia Vida media 6 hs. <u>R</u> GABA A (alostérica)	Eszopiclona	2-3 mg
Acción larga. Vida media 3,5 a 6,5 hs. <u>R</u> BZ1	Zopiclona	7.5 mg

**Otros Fármacos** (no recomendados en atletas)

- Difenhidramina (antihistamínico)
- Amitriptilina (antidepresivo tricíclico)
- Trazodona (antidepresivo serotoninérgico)

**Maestría en Neurociencias UNAJ**

**“Alteraciones del Sueño y rendimiento deportivo en futbolistas de alta competencia”**

- Gabapentina (analgésico neuropático)

Mediante un estudio de revisión clínica se resumieron las siguientes recomendaciones basadas en la evidencia sobre el uso de medicamentos en deportistas para facilitar los cambios de horario de sueño y maximizar la performance (Baird, M.B. & Asif, I.M. 2018):

**Tabla III. Recomendaciones sobre uso de medicamentos en deportistas para facilitar los cambios de horarios de sueño**

	<b>Retraso de la fase de sueño (viaje hacia el Oeste, competencia tardía)</b>	<b>Avance de fase de sueño (viaje hacia el Este, competencia temprana)</b>
Melatonina	En la fase tardía de sueño o temprano a la mañana hasta la adaptación	En el destino a la hora de acostarse todas las noches hasta la adaptación
Cafeína	Previo a la competencia si se necesita para efectos ergogénicos.	Ingesta matutina para el reinicio (retraso de la fase de sueño). Previo a la competencia si se necesita para efectos ergogénicos.
Hipnóticos-sedantes como ayuda para dormir	Temprano a la mañana si se necesita por interrupción del sueño o despertar temprano, hasta la adaptación. Contar con al menos 8 hs. de sueño para evitar efectos adversos.	En el destino a la hora de acostarse si es necesario hasta la adaptación.

El uso de estrategias no farmacológicas es recomendable para los atletas para la resincronización circadiana, tales como ajuste progresivo de los horarios de sueño, siestas, ajustes de los horarios de entrenamiento, exposición a la luz, estrategias nutricionales, técnicas de relajación, reducción del uso de dispositivos electrónicos, etc.

**Capítulo 3. Aspectos relativos al estudio del sueño en poblaciones deportivas**

Existe una gran variabilidad interindividual de los patrones de sueño entre deportistas, respecto a los requisitos de sueño, cronotipo, características del deporte, exposición a la luz artificial, jet lag, factores estresantes agudos y crónicos, momento de la temporada, etc. Los trastornos de sueño pueden ser más comunes en los deportes de fuerza/potencia y de contacto (Nédélec, M. et al. 2018). La especificidad de los programas de entrenamiento y competencia podrían explicar el factor individual más influyente que determina la inconsistencia del sueño en los atletas de élite. La gran variabilidad interindividual determina la necesidad de brindar respuestas personalizadas.

Una revisión sistemática reveló la baja calidad de algunas investigaciones sobre la calidad de sueño entre atletas, con diseños de estudio deficitarios y pocas comparaciones entre atletas y no atletas (Gupta, L. et al. 2017).

La calidad de sueño percibida no muestra diferencias entre deportistas de deportes individuales y de conjunto en algunos estudios. En cambio, en otros se demostró que los atletas de deportes individuales van a la cama y se despiertan más temprano y tienen menor duración del sueño que los de deportes de conjunto (Lastella, M. et al. 2014). La intensidad es

## Maestría en Neurociencias UNAJ

### “Alteraciones del Sueño y rendimiento deportivo en futbolistas de alta competencia”

otro determinante de las características del sueño. Mientras no se observaron variaciones en deportes de fuerza, el entrenamiento intervalado de alta intensidad tuvo un fuerte efecto de corto término sobre el sueño y la necesidad de recuperación (Kölling, S. et al. 2016).

#### a) Estudios en deportes individuales y deportes de conjunto

Los deportistas de deportes de equipo, en particular los profesionales, presentan alto riesgo de dormir mal, especialmente luego de una competencia y además por la naturaleza misma de su actividad que implica traslados, cambios rápidos de husos horarios, competencias nocturnas, entrenamientos muy intensos, etc.

Es necesario distinguir entre los efectos del sueño sobre el rendimiento de los efectos sobre la recuperación. La afectación del rendimiento por la pérdida de sueño ha sido bastante estudiada, pero la afectación de recuperación luego del entrenamiento ha sido menos informada. Por lo tanto, no se comprende tan bien la interacción entre el sueño y la recuperación fisiológica y psicológica en atletas de deportes de equipo. Las intervenciones como la extensión del sueño, las siestas adecuadas y las prácticas de higiene del sueño pueden ayudar a mejorar tanto la recuperación como el rendimiento (Fullagar, H. et al. 2015). Sin embargo, en una revisión sistemática, la extensión del sueño parece tener los efectos más beneficiosos sobre las medidas de la performance como la ejecución de las destrezas específicas del deporte, mientras las siestas, la higiene del sueño y las estrategias de recuperación post ejercicio dan resultados mixtos (Bonnar, D. et al. 2018).

#### b) Estudios en poblaciones especiales: deportistas adultos mayores, deportistas femeninas y deportistas infanto-juveniles.

Recientemente se realizó un metaanálisis sobre los resultados habituales del sueño en deportistas femeninas de élite (tiempo total de sueño [Total Sleep Time o TST] y eficiencia del sueño [SE]) medidos con actigrafía, incluyendo un total de 38 estudios. Las quejas subjetivas del sueño son comunes antes de una competencia (75 % de disminución del TST), al igual que los trastornos del sueño posteriores al entrenamiento (63 % de disminución del TST). Las atletas femeninas logran una cantidad y calidad de sueño objetivas satisfactorias durante los períodos habituales, pero experimentan trastornos del sueño antes y después de los desafíos situacionales (Miles, K. H. et al. 2022).

En un estudio en deportistas adolescentes de pista y campo, donde se buscó estudiar la relación entre las características de sueño y la aparición de lesiones, se demostró que la cantidad y calidad del sueño se asociaron con lesiones musculoesqueléticas. Se pudieron correlacionar las lesiones previas con los despertares luego del inicio del sueño (Wake After Sleep Onset o WASO) y la aparición de lesiones fue predicha por el tiempo despierto (Time Awake o TA). Además, se evidenció que durante el periodo de vacaciones tenían menor TA y WASO y mayor tiempo total de sueño (TST) que durante los días de clases escolares (Viegas, S. et al. 2022).

## Capítulo 4. Evolución de los métodos y dispositivos tecnológicos para el estudio del sueño

#### a) Definición de variables de sueño: cantidad, calidad, eficiencia, latencia, tiempo en la cama, tiempo despierto, salidas de la cama, sueño liviano, sueño profundo, sueño MOR.

El sueño, según la Organización Mundial de la Salud (OMS), se define como un periodo fisiológico de reposo que permite al cuerpo y a la mente descansar y restablecerse. En este

## Maestría en Neurociencias UNAJ

### “Alteraciones del Sueño y rendimiento deportivo en futbolistas de alta competencia”

proceso el ser humano emplea un tercio de su existencia y es una de las actividades que más repite a lo largo de ésta.

La cantidad o duración total se refiere al tiempo durante el cual el organismo se encuentra en estado de sueño por oposición al estado de vigilia, desde el momento del inicio del proceso, luego de ir a la cama hasta el despertar.

La latencia del sueño es el tiempo que transcurre desde que el sujeto se acuesta hasta que inicia el sueño.

La eficiencia del sueño se define por la relación entre el tiempo total de sueño y el tiempo despierto desde que se va a la cama hasta el momento de levantarse.

El tiempo despierto se refiere a la suma de despertares que involucra la cantidad de tiempo que transcurre con el sujeto despierto desde que se va a la cama hasta levantarse. A mayor cantidad de despertares empeora la calidad del sueño.

La calidad del sueño se define como la autosatisfacción de un individuo con todos los aspectos de la experiencia del sueño. Tiene componentes como la eficiencia del sueño, latencia del sueño, duración del sueño y cantidad de despertares luego del inicio del sueño.

- b) Métodos objetivos para el estudio del sueño: polisomnografía/electroencefalografía, video-electroencefalografía, resonancia magnética funcional, actigrafía, dispositivos comerciales, aplicaciones en teléfonos móviles, dispositivos en el cuerpo (wearables) y cercanos (nearables).

El método de referencia o Gold standard para el estudio del sueño es la **polisomnografía** que puede combinarse con registro de video, no siendo habitual en el caso de deportistas, pero sí en el contexto clínico, especialmente cuando el objetivo del estudio es registrar crisis convulsivas y tomar decisiones terapéuticas. Permite definir la arquitectura del sueño y además valoraciones neurofisiológicas y respiratorias, la cantidad y calidad del sueño; además determinar alteraciones del sueño y trastornos respiratorios como apnea/hipopnea, ronquidos y microdespertares. Se realiza en un laboratorio de sueño que debe contar con aislamiento sonora, lumínica, control de temperatura, un sistema informático y cableado para la adquisición de señales o por bluetooth. Incluye, además del registro del electroencefalograma (EEG), el registro del electrocardiograma (ECG), el registro de los movimientos oculares a partir del electroóculograma (EOG), sensores de la actividad muscular mediante electromiograma (EMG) para detectar los movimientos de miembros o actividad muscular y mediante un sensor en el maxilar inferior para detectar bruxismo, variables respiratorias (ventilación, apnea) a través bandas torácicas y abdominales y de un medidor de flujo nasal, también puede haber un micrófono para censar ronquidos. Puede registrarse, además, mediante un saturómetro, la saturación de oxígeno en sangre.

En cuanto a las desventajas del método, puede mencionarse que es caro, intrusivo (ya que no se realiza en el ambiente natural del deportista) y requiere la participación de personal calificado para la instrumentación y la interpretación de los resultados.

Todos los dispositivos para monitorear la calidad del sueño pueden dividirse en dos clases: con contacto o sin contacto con el sujeto. Ambos tipos de dispositivos constan de un hardware capaz de registrar las distintas variables y un software destinado a organizar y presentar los datos. No es correcto clasificarlos como dispositivos de uso comercial o profesional, porque el avance de la tecnología ha permitido que algunos dispositivos comerciales tengan más precisión que antiguos dispositivos profesionales. Hay dos características importantes a tener en cuenta en los estudios para valorarlos: Sensibilidad (capacidad para detectar el sueño, tasa de verdaderos positivos) y especificidad (capacidad para detectar la vigilia, tasa de verdaderos negativos) notificadas en estudios de validación formales.

A través de “monitores de actividad” o actigrafía con dispositivos colocados en la muñeca pueden hacerse valoraciones objetivas de algunas variables relativas al sueño. Además del acelerómetro y giroscopio pueden poseer sensores para medir la frecuencia cardíaca, respiratoria, la temperatura corporal y la respuesta galvánica de la piel.

## Maestría en Neurociencias UNAJ

### “Alteraciones del Sueño y rendimiento deportivo en futbolistas de alta competencia”

Aunque no son intrusivos, tampoco tienen capacidad de definir con precisión la arquitectura del sueño y variables respiratorias.

De acuerdo a la opinión de expertos, gracias a los avances tecnológicos, la confiabilidad y precisión de los sensores se ha incrementado significativamente en los últimos años y de acuerdo con estudios de validación, algunos actígrafos presentan una sensibilidad superior al 90%. Sin embargo, el análisis de mercado revela que muchos dispositivos de hardware no han sido validados y especialmente, los dispositivos de software deben estudiarse antes de su uso clínico (Ibáñez, V. et al. 2019).

Hay multitud de dispositivos tecnológicos comerciales para medir el sueño destinados al consumidor, tales como anillos, relojes, esferas, etc. y aplicaciones en los teléfonos inteligentes, cuyas ventajas pasan por la accesibilidad y el hecho de promover la conciencia sobre la importancia del sueño en el rendimiento, pero en algunos casos hay poca información sobre los algoritmos y pueden sobreestimar el tiempo total de sueño.

El uso de dispositivos cercanos (nearables), sin contacto directo con el sujeto, permite registrar múltiples variables fisiológicas y de sueño a través de diferentes tecnologías. No son invasivos y pueden promover la interacción entre el deportista y el equipo técnico, así como propiciar futuras evaluaciones y generar conciencia sobre los aspectos relativos a la importancia del sueño en la salud y el rendimiento.

Los dispositivos sin contacto pueden estar basados en alguna de las siguientes tecnologías:

- micrófonos: monitorean el volumen y tipo de ronquidos
- video cámara: registra imágenes de los movimientos que se combinan con otros sensores
- termómetro infrarrojo: registra la temperatura corporal y lo combina con otros parámetros
- correa o cinturón de presión (bajo el protector del colchón) detecta los movimientos del sujeto
- acelerómetros: detectan los movimientos en los tres ejes
- dispositivos basados en eco: detectan movimiento utilizando la emisión y captación de tres variables posibles de ondas, sonoras, de radio o de luz
- balistocardiografía (BCG): registra y grafica los movimientos de partes del cuerpo de acuerdo a sus longitudes y frecuencia de onda, por ejemplo, las fuerzas de retroceso debidas a la eyección de sangre del corazón a los grandes vasos. Las nuevas soluciones de instrumentación han permitido la medición de BCG y seismocardiografía (SCG) fuera de entornos clínicos, en el hogar, en el campo e incluso en microgravedad, por lo cual se utiliza en investigación aeroespacial. La seismocardiografía representa las vibraciones locales de la pared pectoral en respuesta a los latidos cardíacos. Los algoritmos de procesamiento de señales personalizados han posibilitado la reducción del ruido de medición, la extracción de características clínicamente importantes y el modelado de señales. Además, se han realizado estudios de fisiología humana utilizando estos nuevos instrumentos y herramientas de procesamiento de señales con resultados prometedores (Inan, O.T. et al 2014).

#### c) Métodos subjetivos: entrevistas, diarios de registro, cuestionarios.

Durante las entrevistas es posible interactuar con el deportista interrogando sobre su preferencia circadiana (matutina o vespertina), los horarios habituales de acostarse y levantarse de la cama, discutir aspectos conductuales del deportista y valorar cuestiones como el estrés o la ansiedad en especial los días de competencia y además registrar otros aspectos como la hidratación y el uso de suplementos o fármacos que pueden interferir el sueño normal.

El uso de diarios de registro de sueño puede proveer información sobre la rutina, y puede incluso ser más fiable que los cuestionarios, pero requiere compromiso por parte del deportista y puede estar influenciado por el recuerdo parcial.

## Maestría en Neurociencias UNAJ

### “Alteraciones del Sueño y rendimiento deportivo en futbolistas de alta competencia”

Los cuestionarios son efectivos en cuanto a la facilidad de su utilización, la información que pueden proveer sobre distintos aspectos como desórdenes del sueño, somnolencia diurna, y cuestiones relativas a las conductas del sujeto, pero por otra parte puede estar influenciado por respuestas sesgadas y el hecho que hay una carencia de estandarización para deportistas. Es posible utilizar algunos como Athlete Sleep Behaviour Questionnaire, Athlete Sleep Screening Questionnaire, Pittsburgh Sleep Quality Index, Epworth Sleepiness Scale, Sleep Hygiene Index, Visual Analogue Scale y puntuaciones subjetivas (Halsón, S. 2019)

La Fundación Nacional del sueño (FNS) de los Estados Unidos en 2017 creó un sistema llamado Sleep Satisfaction Tool (SST) o herramientas de satisfacción del sueño, para la población general, a través de la revisión de la literatura y el consenso de expertos, que demostró una gran fiabilidad y validez interna (Ohayon, M.M. et al 2019). Es destacable que muchos de los cuestionarios utilizados hasta ese momento ponían foco en los aspectos negativos que provocan interrupción del sueño, por ejemplo, el Índice de calidad de sueño de Pittsburgh tiene en cuenta aspectos como el dolor o la presencia de ronquidos, o el Índice de Severidad del Insomnio que determina desórdenes del sueño. Para refinar correctamente el instrumento a través de métodos estándar, se llevó a cabo una encuesta cualitativa, pruebas cognitivas, pruebas de campo y análisis estadísticos junto con aportes significativos y supervisión de un panel de expertos.

#### d) Validación de los instrumentos de medición

El sueño es fundamental para un estilo de vida saludable y su evaluación es esencial para detectar trastornos del sueño y otras enfermedades donde un ciclo anormal de sueño puede ser un síntoma o un indicador.

La polisomnografía es el método de referencia y todos los demás se validan por comparación con el mismo. Lo ideal es realizar una validación externa de los dispositivos, evaluando distintas poblaciones y además una validación ecológica en distintos ambientes.

Los estudios futuros que utilicen actigrafía deberían indicar sistemáticamente qué umbral de sueño-vigilia se utiliza para procesar los datos. Los umbrales que tienen una alta sensibilidad al sueño (donde más de 80 registros de actividad se califican como estar despierto) producen la mejor combinación de concordancia, sensibilidad y especificidad (Sargent, C. et al. 2016). En un interesante y exhaustivo estudio realizado en 2019 se complementan las revisiones anteriores de los métodos de evaluación del sueño introduciendo una clasificación actualizada que incluye un estudio de la evolución de estas tecnologías en el mercado y una visión crítica sobre la precisión y validación de estos métodos (Ibáñez, V. et al. 2019).

#### e) Inteligencia artificial aplicada a los estudios del sueño.

La inteligencia artificial (IA) es un programa computacional que procesa una gran cantidad de datos con un conjunto de algoritmos que están diseñados para realizar operaciones que se consideran propias de la inteligencia humana, como el autoaprendizaje.

En combinación con otras fuentes de datos de salud, se espera que la IA proporcione nuevos conocimientos para informar y mejorar la atención clínica de los trastornos del sueño y mejorar nuestra comprensión del papel integral que juega el sueño en la salud humana (Goldstein, C. et al. 2020).

La gran acumulación de datos debido al rápido incremento de la monitorización del sueño tanto en laboratorio como en forma ambulatoria e incluso en poblaciones especiales como los deportistas, generan una oportunidad para que la medicina del sueño se beneficie de la IA. La IA tiene la posibilidad de puntuar eventos respiratorios y otras variables de sueño, diagnosticar trastornos del sueño que pueden alterar la salud y mejorar la atención del paciente. No obstante, como se encuentra en su etapa inicial en este campo, existe la necesidad de regular y estandarizar los algoritmos de aprendizaje automático existentes antes de su inclusión en la clínica del sueño (Bandyopadhyay, A. & Goldstein C. 2022).

**Maestría en Neurociencias UNAJ**  
**“Alteraciones del Sueño y rendimiento deportivo en futbolistas de alta competencia”**

**Capítulo 5. Medición de variables de rendimiento en deportistas**

a) Los procesos de recuperación y supercompensación en el deporte

De acuerdo con la evidencia científica actual, los pilares en los que se basa prioritariamente el rendimiento deportivo son: 1) la genética (Pickering, C. et al 2019), 2) la nutrición (Olivera, C. et al. 2017), 3) el entrenamiento (Mujika, I. et al. 2018), 4) el sueño y las estrategias de recuperación (Charest, J. & Grandner, M. A. 2020; Kellmann, M. et al 2018; Kölling, S. et al. 2019; Nédélec, M. et al. 2015). El sueño y las estrategias de recuperación son los aspectos menos estudiados en los deportistas, aunque su relevancia está en franco incremento.

Los deportistas se hallan sometidos a estímulos o cargas físicas durante los entrenamientos y competencias. La aplicación de estímulos genera una disminución transitoria de la capacidad funcional del organismo por depleción de reservas energéticas (fosfágenos, glucógeno, lípidos, proteínas), reducción de la respuesta electroquímica del sistema nervioso, acumulación de metabolitos de fatiga, etc. Este estado de fatiga transitoria es seguido mediante la pausa, el descanso y la reposición de sustratos energéticos, por un estado de restitución ampliada conocido como “supercompensación”. Ese es el objetivo perseguido en función de lograr la mejora continua del rendimiento.

Numerosos estudios han intentado monitorear el grado de fatiga de los deportistas con el objeto de predecir el rendimiento físico posterior a las competencias. Se han utilizado varias pruebas, incluyendo el test de salto con contramovimiento o Countermovement Jump (CMJ), además de los cuestionarios subjetivos de bienestar. En un estudio con futbolistas juveniles de élite se midieron variables físicas del partido (distancia total, carrera a alta velocidad, carrera a muy alta velocidad y aceleraciones/desaceleraciones) además de la altura de salto CMJ y el bienestar percibido como indicadores indirectos de fatiga; se concluyó que ambos pueden ser útiles para detectar la fatiga posterior al partido. Sin embargo, los puntajes de bienestar pero no el CMJ influyeron en el resultado del partido posterior, por lo tanto pueden usarse para planificar y periodizar el entrenamiento del siguiente microciclo (Evans, E.A. et al. 2022).

En otro estudio con jugadores de élite del fútbol inglés se utilizó la sensibilidad del CMJ, la determinación enzimática de Creatin Fosfoquinasa (CPK) y osmolaridad urinaria (24 hs. antes y 48 hs. después del partido) para evaluar la carga externa y el grado de fatiga. Se encontró un aumento significativo postpartido de la concentración de CPK y una disminución de las variables del CMJ. El CMJ, el tiempo de vuelo y la potencia promedio mostraron asociaciones con las variables de carga externa como distancia recorrida, distancia a alta intensidad, sprints explosivos y aceleraciones (Beattie, C.E. et al. 2021)

b) Análisis de la composición de los estímulos, la carga aguda y crónica: volumen, intensidad, densidad, aceleraciones, desaceleraciones, impactos, cambios de dirección, fuerza centrífuga.

Las cargas físicas poseen diversos componentes que deben ser administrados y controlados adecuadamente para permitir el máximo rendimiento y evitar el sobreentrenamiento y las lesiones. Los componentes son: duración del estímulo (el tiempo durante el que se aplica), volumen (cantidad total de carga expresada como distancia recorrida en metros, peso movilizado en kilogramos, número de repeticiones, etc.) intensidad (magnitud del estímulo respecto a la máxima posibilidad, que puede expresarse en porcentaje), y densidad o compactez del estímulo (relación entre carga y recuperación intra-sesión).

Además de los componentes clásicos de la carga ya mencionados, se han realizado estudios para valorar los cambios de dirección (Change of Direction o COD) y la acción de la fuerza centrífuga, como componentes de la carga física, en jugadores de fútbol, de acuerdo a

## Maestría en Neurociencias UNAJ

### “Alteraciones del Sueño y rendimiento deportivo en futbolistas de alta competencia”

su posición en el campo de juego y su lateralidad dominante. Se encontró que existen diferencias posicionales y de acuerdo a la lateralidad estadísticamente significativas (Granero-Gil P, et al. 2020).

Se realizó una revisión sistemática de entrenamiento acumulado y carga de partidos de fútbol donde se analizaron 7972 artículos y se evaluó la distribución de la carga de entrenamientos y partidos y la relación entre la carga interna y externa, basados en múltiples tecnologías: telemetría corta, GPS, cámaras, etc. Se tomaron como variables de carga externa la distancia total recorrida, las distancias recorridas en diferentes zonas de velocidad y los umbrales de aceleración y desaceleración y producción de potencia metabólica (Metabolic Power o MP). Las medidas de carga interna se informaron como el esfuerzo percibido y como medidas basadas en la frecuencia cardíaca. Se encontró que el microciclo semanal presentó una alta variación de carga y una variación limitada a lo largo de una temporada, dependiendo la magnitud de esta variación del estado inicial del jugador, la posición de juego, la edad, el modo de entrenamiento y las variables contextuales (Teixeira, J.E. et al. 2021). Es destacable que la mayoría de los estudios científicos se realizaron en varones profesionales, encontrando un déficit en el seguimiento de carga acumulada de entrenamientos y partidos en juveniles y en mujeres.

#### c) Evolución de los métodos de medición del rendimiento deportivo: medición de la carga interna o fisiológica y carga externa o carga de entrenamiento/competencia.

Existen numerosos métodos para sistematizar y controlar adecuadamente la alternancia cíclica de la dinámica de las cargas, desde cuestionarios subjetivos de bienestar, recuperación o percepción del esfuerzo, hasta métodos objetivos utilizando dispositivos tecnológicos capaces de medir la carga interna sobre el organismo y la carga externa. Algunos parámetros pueden medirse directamente y otros son calculados de acuerdo con determinados algoritmos, con el objeto de ajustar el proceso de control. También es posible determinar la carga aguda y la carga crónica a la que se somete el deportista y perseguir un adecuado equilibrio entre ambas. El seguimiento de los deportistas puede incluir el video análisis también denominado Trackeo cuyo objetivo principal es el análisis técnico-táctico, pero también se ocupa de visualizar los componentes de la carga física del deportista. Además, puede combinarse simultáneamente el análisis de video con los dispositivos microelectromecánicos (MicroElectroMechanicalSystem o MEMS) y GPS, para un análisis integral. Estos dispositivos integran además del sistema híbrido GPS/GNSS, un acelerómetro triaxial, un giroscopio, un magnetómetro para mediciones directas y además a través de algoritmos pueden calcular la Potencia Metabólica (MP) expresada en Watts.Kg, la Carga del Jugador en los tres ejes del movimiento (Player Load), la Carga Corporal (Body Load) y el Impulso de Entrenamiento (Training Impulse oTRIMP) relacionado con la frecuencia cardíaca.

Por otra parte se han utilizado, en algunos deportes de contacto-colisión, dispositivos electromecánicos que son capaces de medir los impactos cefálicos ubicados en la cabeza (en el casco) o en el protector bucal (Basinas, I. et al. 2022) . La medición de la magnitud y el volumen de impactos cefálicos puede ser importante para generar protección y evitar la concusión de los deportistas, especialmente en población infanto-juvenil.

La carga interna o fisiológica del organismo puede medirse a través de la determinación con métodos invasivos, de variables bioquímicas, como la concentración de lactato intra o post esfuerzo, enzimas musculares como la Creatin Fosfokinasa muscular (CPK), metabolitos como ácido úrico, etc. También es posible determinar, intra y post esfuerzo, el consumo de oxígeno (VO<sub>2</sub>), la frecuencia cardíaca, la variabilidad de frecuencia cardíaca y el exceso de VO<sub>2</sub> post esfuerzo (ECOPE) que además son importantes para valorar la recuperación. La percepción subjetiva de esfuerzo (Rating Perceived Effort o RPE) y la misma ajustada a la duración del entrenamiento/competencia es otra forma de valorar la carga interna.

Se han realizado también cuestionarios subjetivos de bienestar y recuperación para monitorizar la carga, no han tenido alta correlación con las mediciones mediante métodos objetivos de acuerdo al estudio de Campbell, P. et al. (2021).

## Maestría en Neurociencias UNAJ

### “Alteraciones del Sueño y rendimiento deportivo en futbolistas de alta competencia”

En un estudio donde se determinó la carga de entrenamiento interna y externa durante la temporada en futbolistas europeos de élite, utilizando el sistema GPS se determinó la distancia total (TD), la distancia de alta velocidad (High Speed Distance o HSD) y la velocidad promedio (Average Speed o AvS), también se recopiló la calificación de la sesión de esfuerzo percibido (s-RPE) y las puntuaciones del Índice de Hooper (índice de bienestar) durante el entrenamiento diario. La distancia total y la distancia de alta velocidad fueron decreciendo a lo largo de la temporada, curiosamente la calificación del esfuerzo percibido de la sesión fue mayor al inicio de la temporada que al final, posiblemente por una respuesta adaptativa. El índice de bienestar del Hooper mostró variaciones menores a lo largo de la temporada y en los días previos al partido. Todas las variables de carga externa e interna fueron significativamente menores en los días previos al partido, comparado con los otros días, sin diferencias en la posición de los jugadores (Olivera, R. et al. 2019).

#### d) Evaluación del balance autonómico por monitoreo de la variabilidad de frecuencia cardíaca (VFC)

La VFC es la variación de tiempo, o intervalo que existe entre latidos cardíacos, que puede ser registrado mediante diferentes métodos no invasivos, describe las oscilaciones entre los intervalos R-R consecutivos del electrocardiograma (Catai, A. M. et al 2020). Se han relacionado los valores de VFC tanto con los niveles altos de aptitud cardiorrespiratoria y función cognitiva (alta variabilidad) (Hansen, A. L. et al. 2004), así como con el riesgo de enfermedades e incremento de mortalidad (baja variabilidad). La salud se asociaría con un estado “irregular” y variable abarcando un rango amplio de límites fisiológicos, mientras que la enfermedad se asociaría con aumento de la “regularidad” y disminución de la variabilidad.

El análisis de la VFC se puede realizar mediante diferentes métodos de medidas: medidas estáticas (análisis de tiempo dominante), métodos geométricos y análisis espectral (análisis de la frecuencia dominante).

Las señales que generan la VFC se originan en el cerebro y se difunden a través del Sistema Nervioso Autónomo (SNA): simpático y parasimpático que inervan el nódulo sinusal, regulador del automatismo de la frecuencia cardíaca.

Considerar la VFC como un indicador directo de funcionamiento del SNA es una simplificación, sin embargo, tiene una gran utilidad en diversos campos, pero es necesario tener en cuenta esta cuestión para evitar caer en errores de interpretación. Numerosos estudios científicos sobre la VFC se han venido realizando en las últimas décadas con diferentes hallazgos.

La VFC puede variar de acuerdo con el grado y la duración del entrenamiento, y la fluctuación circadiana de esta variable es crucial para la salud humana ya que el corazón se adapta a las necesidades de los diferentes niveles de actividad durante las fases de sueño (Vitale, J. A. et al. 2019).

Se han encontrado cambios con el ritmo circadiano observándose el aumento durante la noche; también se observó que disminuye con la edad y que hay variación con el género encontrándose mayor variabilidad en varones; cambia con la posición del cuerpo: disminuye al estar recostado. Se modifica con la respiración, por ejemplo, a través de la Arritmia Sinusal Respiratoria (ASR). Las neuronas vagales que regulan la ASR y las que regulan el Nódulo Sinusal tienen distinta localización en el sistema nervioso. También hay variación con la Frecuencia Cardíaca: a mayor frecuencia menor variabilidad. Se modifica en enfermedades: disminuye en diabetes, arritmias, disfunción autonómica, depresión psicológica, epilepsia, lupus.

Puede utilizarse como una variable en la predicción de mortalidad (Fang, S.C. et al. 2020). En un estudio realizado donde se evaluó la asociación entre VFC de largo tiempo, el pronóstico de enfermedad y riesgo de mortalidad reporta que un decrecimiento de relación LF/HF (Baja Frecuencia/Alta Frecuencia) implica un incremento del riesgo de mortalidad. El incremento diario de tiempo en posición de pie produce un incremento de esta relación y la posición acostado, lo contrario.

## Maestría en Neurociencias UNAJ

### “Alteraciones del Sueño y rendimiento deportivo en futbolistas de alta competencia”

La VFC puede ser un indicador de viabilidad fetal: la hipoxia lleva a regularizar los latidos fetales mucho antes que se detecte descenso en la FC.

La VFC constituye un indicador del nivel de stress psicofísico: el incremento de los factores de tensión determina disminución de la VFC

En cuanto al grado de entrenamiento en oposición al sedentarismo: a mayor nivel de aptitud hay mayor VFC y viceversa.

La mayor intensidad de un ejercicio determina una menor VFC, motivo por el cual puede utilizarse como un indicador de la carga interna o repercusión sobre el organismo del deportista o del grado de recuperación durante el descanso nocturno. Si la recuperación es adecuada se espera que el valor aumente progresivamente a lo largo del descanso y viceversa. Por consiguiente, puede ser un indicador de asimilación de Cargas de Entrenamiento (Roger, B. & Gronwald, T. 2022). La falta de recuperación induce una disminución de la VFC y por el contrario, el sueño recuperador incrementa la VFC, por lo tanto, su control durante el sueño, puede ser un factor de protección contra estados de sobreentrenamiento, distress, riesgo de enfermar y riesgo de lesiones en deportistas y puede además promover la disminución del riesgo de mortalidad por causa cardiovascular en la población normal.

#### e) Estrategias para la educación e higiene del sueño en relación a la mejora del rendimiento deportivo.

Dentro de las condiciones que pueden interferir con el sueño en los deportistas se encuentran las altas demandas físicas y psicológicas capaces de producir estrés mental y fatiga física. En el caso del fútbol, las demandas físicas implican la cobertura a distintas velocidades de grandes distancias de acuerdo a la posición en el juego que pueden superar los 10 km por partido, la cobertura de distancias a alta velocidad y la realización de sprints repetidos con cambios de dirección, aceleraciones, desaceleraciones, saltos, duelos por la posesión del balón, impactos corporales y además altas prestaciones técnicas, que determinan un estado progresivo de fatiga con respuestas incompletas o incorrectas a las demandas del deporte. La reversión de este estado de fatiga física y mental requiere la implementación de protocolos de recuperación adaptados en forma personalizada, aún tratándose de un deporte de equipo. Los protocolos de recuperación incluyen estrategias de nutrición, hidratación y suplementación adecuados, además la utilización de medios físicos como el automasaje con rodillos de espuma (foam rolling), prendas de compresión, dispositivos de compresión secuencial, compresión adaptada a la frecuencia cardíaca o compresión con frío, inmersión en agua fría (crioterapia), masoterapia, estimulación con corrientes de baja intensidad, baños de inmersión, técnicas de relajación, y además monitoreo del sueño y ajustes personalizados de acuerdo a los resultados mediante procedimientos que en conjunto se conocen como “higiene del sueño”.

### III. Hipótesis

Las alteraciones del sueño en futbolistas modifican la carga interna o repercusión fisiológica sobre el organismo y provocan una disminución del rendimiento deportivo, manifestado por la carga externa.

### IV. Objetivos

#### **Objetivo General:**

Establecer si las alteraciones del sueño en futbolistas profesionales, durante las concentraciones, se asocian con modificaciones del rendimiento deportivo, expresado por la carga interna sobre el organismo y por la carga externa de entrenamientos y competencias

## Maestría en Neurociencias UNAJ

### “Alteraciones del Sueño y rendimiento deportivo en futbolistas de alta competencia”

#### Objetivos Específicos:

- Caracterizar el sueño de futbolistas, cuantificando la “puntuación de sueño”, el “tiempo de sueño”, la “cantidad de despertares”, las “ausencias de la cama” y la “variabilidad de frecuencia Cardíaca” (VFC) desde el inicio hasta el final del descanso.
- Cuantificar variables de “carga externa”: distancia total recorrida, velocidad máxima, distancia recorrida a alta velocidad y las cargas de aceleración del jugador y comprobar la magnitud de la “carga interna” mediante la recuperación total a través de la VFC, la percepción subjetiva de esfuerzo y su ajuste a la duración de cada sesión.
- Correlacionar las variables de sueño con variables de rendimiento específico durante el entrenamiento y competencia y comprobar si las alteraciones del sueño modifican el rendimiento.

#### V. Recursos disponibles

En una experiencia anterior, durante la gira previa de amistosos y el Mundial de Fútbol FIFA 2018 en Rusia, evaluamos por primera vez un Seleccionado en situación de competencia. Se midieron distintos parámetros de sueño con dispositivos tecnológicos nearables marca Nyx-Sys, se registraron online y fueron guardadas en una base de datos en la nube. Durante el mes de julio de 2021, se repitió la experiencia de registro de variables del sueño con otro seleccionado durante la Copa de Oro de la CONCACAF, realizada en Estados Unidos. En el mes de septiembre de 2021, durante las eliminatorias en Centroamérica para el Mundial de Qatar 2022, monitoreamos los datos de sueño y rendimiento de otro Seleccionado, cuyos registros son utilizados para el presente trabajo.

#### VI. Materiales y métodos

Se procedió con un diseño observacional retrospectivo en base a los datos recogidos mediante el seguimiento de 24 futbolistas profesionales de nivel Selección Nacional durante un periodo de concentración y competencia internacional en eliminatorias para el Mundial de Qatar 2022, durante 10 jornadas que incluyeron 3 competencias oficiales. Todos los atletas estudiados fueron varones, con edades que van de 17 a 36 años (Promedio: 26,8, SD: 5,4)

Se agruparon los datos repartidos en: a) Variables para análisis del sueño y b) Variables para análisis de rendimiento deportivo, diferenciando la carga externa y la interna. El análisis de sueño se realizó a partir del registro de los datos online procesados por un software específico Nyx-Sys y guardados en la nube. El análisis de rendimiento se realizó a partir del registro durante entrenamientos y competencias mediante el dispositivo Wimu Pro, guardados y procesados posteriormente.

Ambos sistemas, tanto para el análisis del sueño como del rendimiento tienen capacidad de registrar una gran cantidad de variables, pero a los efectos del presente trabajo sólo se tomaron las más relevantes utilizadas en la bibliografía internacional.

#### Descripción de las Variables de **Sueño**:

En el presente estudio se registraron las variables de sueño mediante dispositivos de hardware “nearables” marca Nyx-sys que no toman contacto con el sujeto (se colocan debajo del colchón). La adquisición de señales se realizó mediante la detección de diferentes ondas emitidas por el sujeto con el método de balistocardigrafía (Sadek, I. et al. 2019). Las señales fueron procesadas por un software con algoritmos específicos para cuantificar las diferentes variables y permitir el seguimiento “online” durante el sueño y el guardado “offline” de los datos para su análisis posterior.

- Puntuación de sueño (fórmula <sup>a)</sup>)

### Maestría en Neurociencias UNAJ

#### “Alteraciones del Sueño y rendimiento deportivo en futbolistas de alta competencia”

- Duración del sueño (horas)
- Veces despierto (cantidad)
- Ausencias de la cama (cantidad)
- Variabilidad de Frecuencia Cardíaca <sup>b</sup> (fórmula)

<sup>a</sup> Fórmula = (Duración total del descanso + duración de la Fase MOR \* 0.5 + duración de la Fase Profunda \* 1.5) – (duración despierto / 3600 \* 0.5 + número de despertares / 15) \* 8.5

<sup>b</sup> Fórmula VFC (RMSSD: cuadrado de la raíz media de los intervalos R-R adyacentes)

#### Descripción de las Variables de **Rendimiento**:

En el presente estudio se registraron las variables de rendimiento durante los entrenamientos y partidos, mediante dispositivos “wearables” marca Wimbu Pro, portados por el sujeto en la espalda, en un chaleco especial. Estos dispositivos utilizan microtecnología para cuantificar las demandas con un sistema híbrido satelital GPS/GNSS (Global Position System/Global Navigation Satellite System) para cuantificación de movimiento y MEMs (Micro Electromechanical System) con acelerómetro triaxial, giroscopio y magnetómetro. Poseen capacidad de registrar muchas variables de carga externa y algunas de carga interna. Permite el seguimiento “online” durante el entrenamiento o competencia y el guardado “offline” de los datos para su análisis posterior.

#### Carga **externa**:

- Distancia total recorrida (m)
- Velocidad máxima (km/h)
- Distancia recorrida > 24 km/h (m)
- Carga del Jugador (Unidades Arbitrarias en función de la aceleración en los 3 ejes del movimiento)

#### Carga **interna**:

- Percepción Subjetiva de Esfuerzo (Puntuación)
- Percepción de Esfuerzo ajustada a la sesión (Puntuación ajustada a la duración de la sesión)
- Variabilidad de Frecuencia Cardíaca (fórmula).

#### Análisis estadístico

Se utilizó el software SPSS para el análisis de las variables.

Las variables continuas se expresan como medias y desvío estándar, o mediana con rangos de valores intercuartiles (IQR). Los datos categóricos se expresan como valor absoluto y porcentual. Las proporciones de las variables categóricas se compararon usando la prueba  $\chi^2$ . Para correlacionar variables se utilizó las pruebas de Pearson, de Spearman o de Mann-Whitney, según el caso. Se considera un valor de  $p \leq 0,05$  como significativo.

Se realizó un análisis estadístico adicional en las variables de rendimiento, entre aquellos sujetos que durmieron 6 hs. o más, respecto a los que durmieron menos de 6 hs. en base a titulares para luego aplicar un t-test para muestras independientes, considerando como estadísticamente significativo  $p \leq 0,05$ .

Se analizó adicionalmente a los sujetos, discriminando jugadores titulares y suplentes y además según su participación en partidos y entrenamientos.

**Maestría en Neurociencias UNAJ**  
**“Alteraciones del Sueño y rendimiento deportivo en futbolistas de alta competencia”**

## VII. Resultados

Respecto a las variables para análisis de sueño (tabla 1), en la puntuación de sueño, con una escala posible de 0 a 100, se obtuvo una media de 86,99 puntos (Desvío Standard (SD)= 14,092), mientras la duración del sueño fue de 7,92 horas (SD= 1,46), con un mínimo de 3,19 horas y un máximo de 12,6 horas. En cuanto a la cantidad de veces que los sujetos se despertaron, se encontró una media de 1,89 (SD=1,37). La cantidad de salidas de la cama encontrada fue de una media de 1,54 (SD= 1,47); mientras la Variabilidad de FC hallada fue de una media de 6,43 RMSSD (SD= 14,01).

Tabla 1: Variables para análisis de sueño

Variables para análisis de sueño		
	Media	SD.
Puntuación de Sueño	86,99	14,09
Duración de sueño	7,93	1,47
Veces despierto	1,89	1,37
Ausencias de cama	1,54	1,47
Variabilidad de F.C.	6,43	14,01

En cuanto a las variables para análisis de rendimiento para expresar la carga externa, se encontró en la distancia recorrida una media de 4464,53 m. (SD= 2317,36). Para la velocidad máxima, la media observada fue de 25,78 km/h (SD= 5,10). Respecto a la distancia a velocidades superiores a 24 km/h, la media fue de 163,83 m. (SD= 184,13). En tanto la carga triaxial de aceleración del jugador fue de 66,60 U.A. (SD= 32,11).

En las variables para expresar la carga interna, la percepción subjetiva de esfuerzo hallada fue de 12,73 U.A. (SD= 7,45). Mientras tanto la percepción subjetiva de esfuerzo ajustada a la duración de la sesión fue de 940,01 U.A. (SD= 418,36).

Tabla 2: Variables para análisis de rendimiento

Variables para análisis de rendimiento (Carga externa y carga interna)		
	Media	SD.
Distancia Recorrida	4464,53	2317,36
Velocidad Máxima	25,78	5,107
Dist. a Veloc. >24 km/h	163,83	184,135
Carga del Jugador	66,6	32,113
Percepción Subj. Esfuerzo	12,73	7,458
Perc. Subj. Esf. ajust. sesión	940,01	418,368

Con el objeto de realizar una mayor discriminación de los hallazgos teniendo en cuenta las probables diferencias existentes en las variables, por una parte, durante entrenamientos respecto a los partidos oficiales y por otra parte las variaciones entre jugadores titulares y suplentes ingresados debido especialmente a la duración diferente y a las prestaciones de

**Maestría en Neurociencias UNAJ****“Alteraciones del Sueño y rendimiento deportivo en futbolistas de alta competencia”**

rendimiento requeridas en cada caso; se realizó un ajuste en el análisis de los datos separando estas tres condiciones:

1-Correlación entre variables de rendimiento y medición de sueño en base a titulares y suplentes ingresados (sólo fechas de partidos): Tabla 3. Se encontraron correlaciones significativas entre duración de sueño y distancia recorrida; entre duración de sueño y distancia recorrida a velocidad > 24 km/h; entre duración de sueño y carga del jugador.

2-Correlación entre variables de rendimiento y medición de sueño en base a titulares (partidos + entrenamientos): Tabla 4. Se encontraron correlaciones significativas entre puntuación de sueño y velocidad máxima, entre puntuación de sueño y percepción subjetiva de esfuerzo ajustada a la duración de la sesión; entre VFC y velocidad máxima, entre VFC y carga del jugador; entre VFC y percepción subjetiva de esfuerzo.

3-Correlación entre variables de rendimiento y medición de sueño en base a titulares (sólo fechas de partidos): Tabla 5. Se encontraron correlaciones significativas entre puntuación de sueño y distancia recorrida >24 km/h; entre puntuación de sueño y carga del jugador; entre duración de sueño y carga del jugador; entre ausencias de la cama y percepción subjetiva de esfuerzo; entre VFC y carga del jugador.

**Maestría en Neurociencias UNAJ**  
**“Alteraciones del Sueño y rendimiento deportivo en futbolistas de alta competencia”**

Tabla 3: Correlación entre variables de rendimiento y medición de sueño en base a titulares y suplentes ingresados (sólo fechas de partidos).

Correlaciones		Distancia Recorrida	Velocidad Máxima	Dist. a Veloc. >24 km/h	Carga del Jugador	Percepción Subj. Esfuerzo	Perc. Subj. Esf. ajust. sesión	Puntuación de Sueño	Duración de sueño	Veces despierto	Ausencias de cama	Variabilidad de F.C.
<b>Distancia Rec</b>	Pearson Co	1	.262	.694	.887	.832	.875	-.323	-.402	-.273	-.037	.205
	Sig. (2-tailed)		.082	.000	.000	.000	.000	.082	.028	.145	.844	.278
	N	45	45	45	45	45	45	30	30	30	30	30
<b>Velocidad Máx</b>	Pearson Co	.262	1	.470	.310	.307	.279	-.048	-.141	-.130	.118	.000
	Sig. (2-tailed)	.082		.001	.038	.040	.064	.800	.458	.495	.533	.999
	N	45	45	45	45	45	45	30	30	30	30	30
<b>Dist. a Veloc. &gt;24</b>	Pearson Co	.694	.470	1	.855	.649	.720	-.353	-.364	-.252	.038	.004
	Sig. (2-tailed)	.000	.001		.000	.000	.000	.056	.048	.180	.841	.985
	N	45	45	45	45	45	45	30	30	30	30	30
<b>Carga del Jugador</b>	Pearson Co	.887	.310	.855	1	.786	.879	-.311	-.365	-.249	.007	.090
	Sig. (2-tailed)	.000	.038	.000		.000	.000	.094	.047	.185	.969	.636
	N	45	45	45	45	45	45	30	30	30	30	30
<b>Percepción Subj. Esf.</b>	Pearson Co	.832	.307	.649	.786	1	.863	-.287	-.320	-.197	.073	-.151
	Sig. (2-tailed)	.000	.040	.000	.000		.000	.125	.085	.298	.700	.427
	N	45	45	45	45	45	45	30	30	30	30	30
<b>Perc. Subj. Esf. ajust. sesión</b>	Pearson Co	.875	.279	.720	.879	.863	1	-.251	-.344	-.266	-.051	-.011
	Sig. (2-tailed)	.000	.064	.000	.000	.000		.182	.063	.155	.787	.953
	N	45	45	45	45	45	45	30	30	30	30	30
<b>Puntuación de Sueño</b>	Pearson Co	-.323	-.048	-.353	-.311	-.287	-.251	1	.876	-.064	-.223	-.018
	Sig. (2-tailed)	.082	.800	.056	.094	.125	.182		.000	.664	.128	.902
	N	30	30	30	30	30	30	48	48	48	48	48
<b>Duración de sueño</b>	Pearson Co	-.402	-.141	-.364	-.365	-.320	-.344	.876	1	.130	-.017	-.009
	Sig. (2-tailed)	.028	.458	.048	.047	.085	.063	.000		.377	.906	.954
	N	30	30	30	30	30	30	48	48	48	48	48
<b>Veces despierto</b>	Pearson Co	-.273	-.130	-.252	-.249	-.197	-.266	-.064	.130	1	.852	.076
	Sig. (2-tailed)	.145	.495	.180	.185	.298	.155	.664	.377		.000	.606
	N	30	30	30	30	30	30	48	48	48	48	48
<b>Ausencias de cama</b>	Pearson Co	-.037	.118	.038	.007	.073	-.051	-.223	-.017	.852	1	.050
	Sig. (2-tailed)	.844	.533	.841	.969	.700	.787	.128	.906	.000		.738
	N	30	30	30	30	30	30	48	48	48	48	48
<b>Variabilidad de F.C.</b>	Pearson Co	.205	.000	.004	.090	-.151	-.011	-.018	-.009	.076	.050	1
	Sig. (2-tailed)	.278	.999	.985	.636	.427	.953	.902	.954	.606	.738	
	N	30	30	30	30	30	30	48	48	48	48	48

**Maestría en Neurociencias UNAJ**  
**“Alteraciones del Sueño y rendimiento deportivo en futbolistas de alta competencia”**

Tabla 4: Correlación entre variables de rendimiento y medición de sueño en base a titulares (partidos + entrenamientos).

<b>Correlaciones</b>												
		<b>Distancia Recorrida</b>	<b>Velocidad Máxima</b>	<b>Dist. a Veloc.&gt;24 km/h</b>	<b>Carga del Jugador</b>	<b>Percepción Subj.Esfuerzo</b>	<b>Perc.Subj.Esf. ajust.sesión</b>	<b>Puntuación de Sueño</b>	<b>Duración de sueño</b>	<b>Veces despierto</b>	<b>Ausencias de cama</b>	<b>Var. F.C.</b>
<b>Distancia Recorrida</b>	Pearson Cor	1	.632	.851	.970	.262	.843	.144	.053	.027	.088	.131
	Sig. (2-tailed)		.000	.000	.000	.000	.000	.056	.484	.719	.246	.084
	N	186	186	186	186	186	186	176	176	176	176	176
<b>Velocidad Máxima</b>	Pearson Cor	.632	1	.567	.631	.187	.616	.158	.050	.030	.013	.178
	Sig. (2-tailed)	.000		.000	.000	.011	.000	.037	.511	.693	.867	.018
	N	186	186	186	186	186	186	176	176	176	176	176
<b>Dist. a Veloc.&gt;24 km/h</b>	Pearson Cor	.851	.567	1	.828	.238	.734	.101	.034	.048	.102	.121
	Sig. (2-tailed)	.000	.000		.000	.001	.000	.182	.653	.531	.177	.109
	N	186	186	186	186	186	186	176	176	176	176	176
<b>Carga del Jugador</b>	Pearson Cor	.970	.631	.828	1	.233	.828	.104	.032	.056	.128	.155
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.000		.001	.000	.171	.669	.459	.091	.039
	N	186	186	186	186	186	186	176	176	176	176	176
<b>Percepción Subj.Esfuerzo</b>	Pearson Cor	.262	.187	.238	.233	1	.188	.057	.041	-.063	-.025	.178
	Sig. (2-tailed)	.000	.011	.001	.001		.010	.453	.585	.408	.746	.018
	N	186	186	186	186	186	186	176	176	176	176	176
<b>Perc.Subj.Esf.ajust.sesión</b>	Pearson Cor	.843	.616	.734	.828	.188	1	.205	.122	.018	.054	.135
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.000	.000	.010		.006	.108	.816	.479	.073
	N	186	186	186	186	186	186	176	176	176	176	176
<b>Puntuación de Sueño</b>	Pearson Cor	.144	.158	.101	.104	.057	.205	1	.881	-.104	-.175	.081
	Sig. (2-tailed)	.056	.037	.182	.171	.453	.006		.000	.161	.018	.279
	N	176	176	176	176	176	176	182	182	182	182	182
<b>Duración de sueño</b>	Pearson Cor	.053	.050	.034	.032	.041	.122	.881	1	.038	-.033	.044
	Sig. (2-tailed)	.484	.511	.653	.669	.585	.108	.000		.606	.661	.551
	N	176	176	176	176	176	176	182	182	182	182	182
<b>Veces despierto</b>	Pearson Cor	.027	.030	.048	.056	-.063	.018	-.104	.038	1	.829	-.026
	Sig. (2-tailed)	.719	.693	.531	.459	.408	.816	.161	.606		.000	.730
	N	176	176	176	176	176	176	182	182	182	182	182
<b>Ausencias de cama</b>	Pearson Cor	.088	.013	.102	.128	-.025	.054	-.175	-.033	.829	1	.021
	Sig. (2-tailed)	.246	.867	.177	.091	.746	.479	.018	.661	.000		.782
	N	176	176	176	176	176	176	182	182	182	182	182
<b>Variabilidad de F.C.</b>	Pearson Cor	.131	.178	.121	.155	.178	.135	.081	.044	-.026	.021	1
	Sig. (2-tailed)	.084	.018	.109	.039	.018	.073	.279	.551	.730	.782	
	N	176	176	176	176	176	176	182	182	182	182	182

**Maestría en Neurociencias UNAJ**  
**“Alteraciones del Sueño y rendimiento deportivo en futbolistas de alta competencia”**

Tabla 5: Correlación entre variables de rendimiento y medición de sueño en base a titulares (sólo fechas de partidos)

**Correlaciones**

		Distancia Recorrida	Velocidad Máxima	Dist. a Veloc. >24 km/h	Carga del Jugador	Percepción Subj. Esfuerzo	Perc. Subj. Esf. ajust. sesión	Puntuación de Sueño	Duración de sueño	Veces despierto	Ausencias de cama	Variabilidad de F.C.
<b>Distancia Recon</b>	Pearson Co	1	-.121	.522	.862	-.125	.670	-.313	-.331	.254	.164	.468
	Sig. (2-tailed)		.549	.005	.000	.533	.000	.222	.194	.325	.529	.058
	N	27	27	27	27	27	27	17	17	17	17	17
<b>Velocidad Máxi</b>	Pearson Co	-.121	1	.385	.004	-.150	-.214	-.082	-.136	-.180	-.086	.101
	Sig. (2-taile	.549		.048	.986	.457	.284	.753	.604	.490	.741	.700
	N	27	27	27	27	27	27	17	17	17	17	17
<b>Dist. a Veloc.&gt;2</b>	Pearson Co	.522	.385	1	.577	-.055	.210	-.508	-.426	.036	.158	.312
	Sig. (2-taile	.005	.048		.002	.783	.293	.037	.088	.890	.545	.223
	N	27	27	27	27	27	27	17	17	17	17	17
<b>Carga del Jugad</b>	Pearson Co	.862	.004	.577	1	-.231	.554	-.524	-.508	.304	.269	.683
	Sig. (2-taile	.000	.986	.002		.246	.003	.031	.037	.235	.296	.003
	N	27	27	27	27	27	27	17	17	17	17	17
<b>Percepción Subj</b>	Pearson Co	-.125	-.150	-.055	-.231	1	.416	-.073	-.026	.397	.536	-.385
	Sig. (2-taile	.533	.457	.783	.246		.031	.782	.921	.114	.026	.127
	N	27	27	27	27	27	27	17	17	17	17	17
<b>Perc.Subj.Esf.aju</b>	Pearson Co	.670	-.214	.210	.554	.416	1	-.167	-.213	.256	.209	-.035
	Sig. (2-taile	.000	.284	.293	.003	.031		.521	.411	.321	.420	.894
	N	27	27	27	27	27	27	17	17	17	17	17
<b>Puntuación de S</b>	Pearson Co	-.313	-.082	-.508	-.524	-.073	-.167	1	.943	-.104	-.232	-.191
	Sig. (2-taile	.222	.753	.037	.031	.782	.521		.000	.693	.371	.463
	N	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
<b>Duración de sue</b>	Pearson Co	-.331	-.136	-.426	-.508	-.026	-.213	.943	1	.090	-.026	-.094
	Sig. (2-taile	.194	.604	.088	.037	.921	.411	.000		.732	.921	.718
	N	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
<b>Veces despierto</b>	Pearson Co	.254	-.180	.036	.304	.397	.256	-.104	.090	1	.853	.376
	Sig. (2-taile	.325	.490	.890	.235	.114	.321	.693	.732		.000	.137
	N	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
<b>Ausencias de ca</b>	Pearson Co	.164	-.086	.158	.269	.536	.209	-.232	-.026	.853	1	.300
	Sig. (2-taile	.529	.741	.545	.296	.026	.420	.371	.921	.000		.242
	N	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
<b>Variabilidad de</b>	Pearson Co	.468	.101	.312	.683	-.385	-.035	-.191	-.094	.376	.300	1
	Sig. (2-taile	.058	.700	.223	.003	.127	.894	.463	.718	.137	.242	
	N	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17

**Maestría en Neurociencias UNAJ**  
**“Alteraciones del Sueño y rendimiento deportivo en futbolistas de alta competencia”**

La cantidad de deportistas que durmieron 6 hs o más, fue superior a los deportistas que durmieron menos de 6 hs. (172 Vs 14 registros)

Aquellos sujetos que durmieron 6 hs. o más recorrieron una mayor distancia 4778,26 m. (SD= 2216,97) que aquellos que durmieron menos de 6 hs: 3289,63 m. (SD= 2748,99).

La velocidad máxima alcanzada en el primer grupo fue de 25,90 km/h (SD= 4,84) Vs 21,31 km/h (SD= 7,59) para el segundo grupo.

Los valores para la distancia a más de 24 km/h para el grupo que durmió más de 6 hs fueron 162,98 m. (SD= 175,56) Vs 120,90 m. (SD= 263,96) para quienes durmieron menos de 6 hs.

En tanto la carga del jugador fue de 70,37 U.A. (SD= 29,10) para el grupo que durmió 6 hs o más y de 53,61 U.A. (SD= 45,46) para los que durmieron menos de 6 hs.

Respecto a la percepción subjetiva de esfuerzo el primer grupo alcanzó un valor de 12,90 U.A. (SD= 8,01) Vs 11,93 U.A. (SD= 2,12) para el segundo grupo. Finalmente, para la percepción subjetiva de esfuerzo ajustada a la duración de la sesión, quienes durmieron 6 hs. o más obtuvieron un valor de 994,68 U.A. (SD=391,71) mientras quienes durmieron menos de 6 hs. 772,93 U.A. (SD= 397,80).

Tabla 6: Variables de rendimiento, entre aquellos sujetos que durmieron 6 hs. o más, respecto a los que durmieron menos de 6 hs. en base a titulares (fechas de partidos + entrenamiento).

<b>Grupo estadístico</b>		<b>Segmentación</b>	<b>N</b>	<b>Mean</b>	<b>Std. Deviation</b>	<b>Std. Error Mean</b>
<b>Distancia Recorrida</b>	<b>Durmió 6h o más</b>		172	4778,26	2.216,97	169,0
	<b>Durmió menos de 6h</b>		14	3289,63	2.748,99	734,7
<b>Velocidad Máxima</b>	<b>Durmió 6h o más</b>		172	25,9	4,84	0,3691
	<b>Durmió menos de 6h</b>		14	21,3	7,59	2,0
<b>Dist. a Veloc.&gt;24 kn</b>	<b>Durmió 6h o más</b>		172	162,98	175,56	13,4
	<b>Durmió menos de 6h</b>		14	120,9	263,77	70,5
<b>Carga del Jugador</b>	<b>Durmió 6h o más</b>		172	70,37	29,10	2,2
	<b>Durmió menos de 6h</b>		14	53,61	45,46	12,2
<b>Percepción Subj. Esf.</b>	<b>Durmió 6h o más</b>		172	12,9	8,02	0,6
	<b>Durmió menos de 6h</b>		14	11,93	2,13	0,6
<b>Perc.Subj.Esf.ajust.</b>	<b>Durmió 6h o más</b>		172	994,68	391,18	29,8
	<b>Durmió menos de 6h</b>		14	772,93	397,80	106,3

Según se representa en la tabla 7, se observaron diferencias estadísticamente significativas, entre quienes durmieron 6 hs. o más vs. quienes durmieron menos de 6 hs. en cuatro de las seis variables analizadas: distancia recorrida: p=0,019 (Gráfico 1); velocidad máxima: p=0,001 (Gráfico 2), carga del jugador: p=0,05 (Gráfico 4) y percepción subjetiva de esfuerzo ajustada a la duración de la sesión: p=0,043 (Gráfico 6). Por lo tanto estas diferencias de rendimiento debidas a la duración del sueño, constituyen los aspectos más relevantes encontrados en el presente estudio.

**Maestría en Neurociencias UNAJ**  
**“Alteraciones del Sueño y rendimiento deportivo en futbolistas de alta competencia”**

	Sueño	Mean	Std.Dev.
Dist. Recorrida (Km)	6h o más	4,778	2,2
	menos de 6h	3,289	2,7

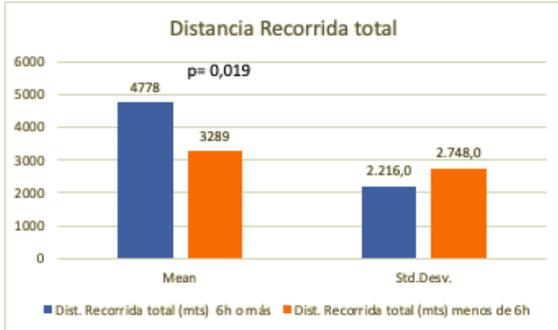


Gráfico 1: Distancia recorrida (mts) según horas de sueño: 6 hs o más Vs menos de 6 hs. Media y SD

	Sueño	Mean	Std.Dev.
Velocidad Máxima (km/h)	6h o más	25,9	4,8
	menos de 6h	21,3	7,5

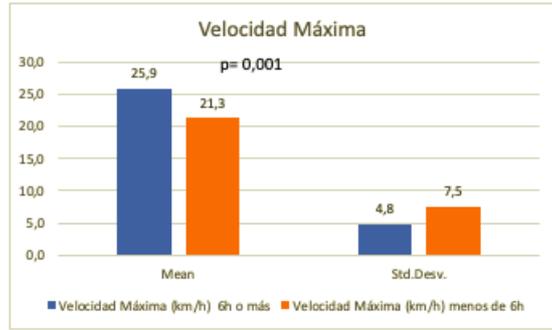


Gráfico 2: Velocidad máxima (km/h) según horas de sueño: 6 hs. o más Vs. menos de 6 hs. Media y SD

	Sueño	Mean	Std.Dev.
Dist. a Veloc.>24 km/h (mts)	6h o más	162,98	17,55
	menos de 6h	120,9	26,37

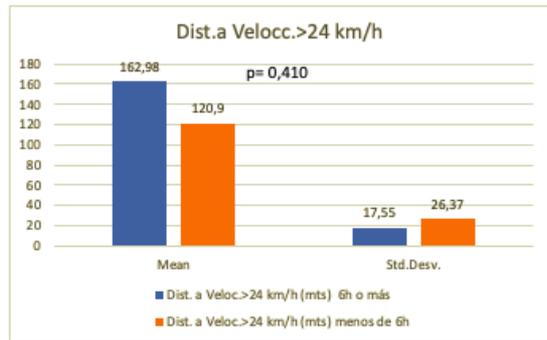


Gráfico 3: Distancia recorrida a veloc.> 24 km/h (mts), según horas de sueño: 6 hs o más Vs menos de 6 hs. Media y SD

	Sueño	Mean	Std.Dev.
Carga del Jugador (UA)	6h o más	70,37	29,1
	menos de 6h	53,61	45,4

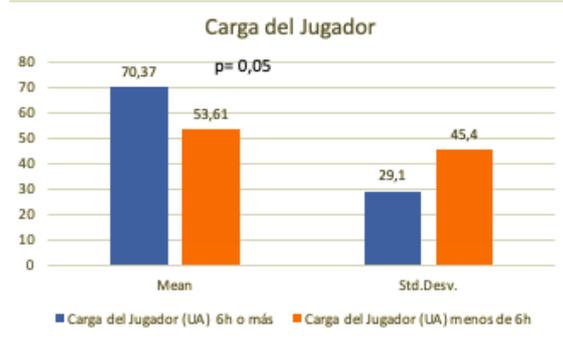


Gráfico 4: Carga del jugador (UA) según horas de sueño: 6 hs o más Vs menos de 6 hs. Media y SD

		Mean	Std.Dev.
Percep.Subj.Esfuerzo (UA)	6h o más	12,9	8,01
	menos de 6h	11,93	2,12

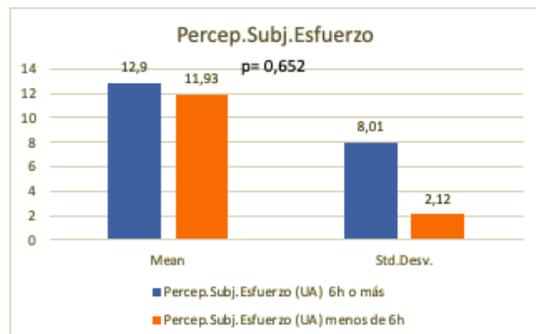


Gráfico 5: Percepción subjetiva de esfuerzo (UA), según horas de sueño: 6 hs o más Vs menos de 6 hs. Media y SD

	Sueño	Mean	Std.Dev.
Perc.Subj.Esf.sesión (UA)	6h o más	994,68	391,1
	menos de 6h	772,93	397,8

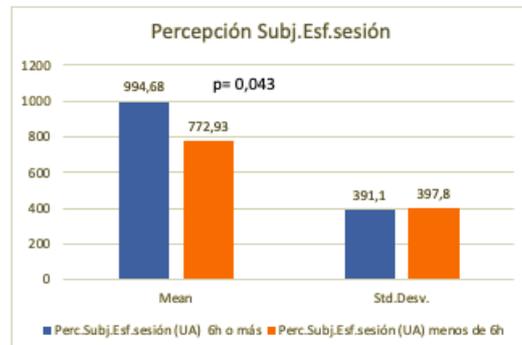


Gráfico 6: Percepción subjetiva de esfuerzo ajustada a la sesión (UA), según horas de sueño: 6 hs o más Vs menos de 6 hs. Media y SD

**Maestría en Neurociencias UNAJ**  
**“Alteraciones del Sueño y rendimiento deportivo en futbolistas de alta competencia”**

Tabla 7: t-test para muestras independientes de variables de rendimiento para quienes durmieron 6 hs o más versus quienes durmieron menos de 6 hs. en base a titulares (fechas de partidos + entrenamiento).

Independent Samples Test		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means				
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference
<b>Distancia Recorrida</b>	Equal variances assumed	.517	.473	2.371	184	.019	1.488.635	627.743
	Equal variances not assumed			1.975	14.410	.068	1.488.635	753.896
<b>Velocidad Máxima</b>	Equal variances assumed	11.700	.001	3.249	184	.001	4,59	1,41
	Equal variances not assumed			2.226	13.874	.043	4,59	2,06
<b>Dist. a Veloc.&gt;24 km/h</b>	Equal variances assumed	.001	.972	.826	184	.410	42.077	50.914
	Equal variances not assumed			.586	13.953	.567	42.077	71.755
<b>Carga del Jugador</b>	Equal variances assumed	2.264	.134	1.973	184	.050	16.753	8.490
	Equal variances not assumed			1.356	13.881	.197	16.753	12.351
<b>Percepción Subj.Esf.</b>	Equal variances assumed	.425	.515	.452	184	.652	.973	2.153
	Equal variances not assumed			1.165	54.761	.249	.973	.835
<b>Perc.Subj.Esf.a just.ses</b>	Equal variances assumed	.132	.717	2.037	184	.043	221.752	108.850
	Equal variances not assumed			2.008	15.120	.063	221.752	110.421

VIII. Discusión y perspectivas futuras.

Los resultados de la presente investigación muestran que las alteraciones del sueño, en especial la disminución de la cantidad de horas (menos de 6 horas de sueño) provocan un variación de la carga interna estadísticamente significativa, manifestada por la PSE ajustada a la duración de la sesión y por la variabilidad de frecuencia cardiaca, lo cual determina una disminución del rendimiento deportivo estadísticamente significativo, manifestado por la carga externa a través de las siguientes variables estudiadas: distancia total recorrida, velocidad máxima alcanzada y la carga de aceleración del jugador en los tres ejes del movimiento.

Dado que una gran evidencia científica confirma la relación entre el sueño y la recuperación posterior al ejercicio y el rendimiento, los procesos cognitivos y la función metabólica; se pone de manifiesto que los factores claves son la restricción de sueño, la mala calidad del sueño y la alteración del ritmo circadiano (Samuels, C. 2009).

De acuerdo con distintas investigaciones, existen aspectos claves para el análisis de la relación sueño-rendimiento deportivo: El sueño insuficiente y la mala calidad son frecuentes entre los atletas, debido a las demandas físicas, de tiempo y las necesidades de desarrollo deportivo y estas alteraciones tienen impactos adversos en la salud, la recuperación, el rendimiento físico, mental, el riesgo de lesiones, y además el riesgo de traumatismo encéfalo craneano o de concusión (Charest, J., & Grandner, M. A. 2020).

Ante la pregunta de los investigadores acerca de si existe conocimiento/conciencia de los deportistas, entrenadores, responsables de equipos y organizaciones deportivas respecto a la importancia sueño, la evidencia demuestra que ya en estudios hechos hace casi una década, se destacaba una conciencia emergente entre los atletas, entrenadores y formadores sobre la importancia del sueño y la necesidad de incorporar estrategias para mejorar el sueño en su planificación y preparación (Venter, E. 2014). Hoy en día con el avance de los métodos de registro y el incremento de los trabajos de investigación, esta tendencia se ha incrementado y se han ido sistematizando los protocolos y las recomendaciones para los estudios de sueño.

**Maestría en Neurociencias UNAJ**  
**“Alteraciones del Sueño y rendimiento deportivo en futbolistas de alta competencia”**

El análisis global de los datos sin discriminar entre jugadores titulares y suplentes y entre situación de entrenamiento o competencia, no permite en primera instancia arribar a conclusiones definitivas. Esto puede deberse en parte a la gran diferencia de tiempo de participación y grado de exigencia, entre la condición de titular y suplente, especialmente cuando se comparan los partidos respecto a los entrenamientos. Sin embargo cuando se realiza un análisis puntual discriminando cada situación particular (condición de titular vs. condición de suplente, situación de entrenamiento Vs. situación de partido), es posible un abordaje superador y posibilita visualizar resultados estadísticos que permiten rechazar la hipótesis nula y aceptar nuestra hipótesis. No hemos hallado en general, este análisis discriminativo entre estas condiciones en otros estudios.

Posiblemente algunos hechos contribuyeron a que no se encontraran diferencias significativas en otras variables estudiadas como distancia recorrida a altas velocidades (> a 24 km/h) y que no se encontraran altas correlaciones de variables de sueño como calidad, tiempo despierto, salidas de la cama con variables de rendimiento. Algunas explicaciones pueden estar dadas por la escasa cantidad de deportistas evaluados, el corto tiempo de duración del estudio que implica la toma de datos de pocos entrenamientos y partidos, el alto nivel de aptitud física de los sujetos participantes que puede compensar en parte las alteraciones del sueño durante un periodo breve y finalmente las condiciones de la convocatoria y concentración de jugadores a la Selección que son muy diferentes de las condiciones habituales en sus clubes y competencias de origen.

En futuros estudios se deberán tener en cuenta y protocolizar aspectos adicionales como alimentación, hidratación, uso de suplementos o medicamentos que afectan el sueño, el cronotipo individual, la diferencia entre sexos, la combinación con cuestionarios subjetivos sobre bienestar, calidad de sueño y recuperación.

Otro aspecto relevante está dado por el uso de dispositivos tecnológicos para valorar tanto las variables de sueño como de rendimiento. En la actualidad no hay una coincidencia exacta respecto a las variables que mide cada dispositivo de diferentes fabricantes, ni de los algoritmos utilizados para determinar cada variable. Determinar protocolos universales, específicos para la cuantificación de cada variable, así como el acceso a los algoritmos y a los datos crudos, podría facilitar la objetividad de los datos recolectados, la validez y confiabilidad de las conclusiones de los estudios. Sería deseable generar una base de datos con variables de sueño y rendimiento para deportistas de diferentes niveles competitivos, de diferentes edades, de ambos sexos y de distintos deportes individuales y de conjunto. Finalmente es destacable que en el presente estudio hemos utilizado tecnología de punta con dispositivos no invasivos en el medio habitual del futbolista, sin alterar las demás condiciones de entrenamiento ni competencia.

Se realizó una revisión y un consenso de expertos en 2020 que luego de analizar los instrumentos de medición del sueño y los efectos de la restricción o inadecuación sobre la performance deportiva, recomendó una caja de herramientas del sueño para los profesionales (que cubre aspectos relativos a la educación sobre el sueño, la detección de los trastornos, la promoción de siestas y las extensiones del sueño) para mitigar los factores de riesgo y optimizar el sueño de los atletas (Walsh, NP et al. 2020).

Las estrategias para mejorar el sueño consisten en aumentar las horas de sueño conocidas como banco de sueño o “sleep banking”, el manejo adecuado de las siestas (cerca de 30 minutos y antes de las 17 horas), regularizar los horarios de ir a la cama y levantarse. De acuerdo con los expertos y organismos internacionales, se recomienda una duración de sueño entre 7 y 9 horas, en el presente estudio se observó que efectivamente una duración de sueño menor a 6 horas repercute negativamente en la expresión del rendimiento deportivo.

Antes de dormir: es recomendable evitar los entrenamientos nocturnos muy tarde y muy intensos ya que elevan las hormonas y neurotransmisores excitatorios sobre los centros reguladores del sueño, evitar el uso elevado de cafeína y otros estimulantes en

**Maestría en Neurociencias UNAJ**  
**“Alteraciones del Sueño y rendimiento deportivo en futbolistas de alta competencia”**

bebidas o suplementos luego de las 17 horas, utilizar alimentos precursores de triptófano (como por ejemplo lácteos y frutos rojos) y líquidos con elevado contenido electrolítico y carbohidratos, que ayudan a mejorar el sueño, evitar el exceso de hidratación para limitar la posibilidad de levantarse a orinar, tener en cuenta la comodidad de la cama, el colchón, almohadas, ropa de cama, utilizar vestimenta cómoda y fresca para dormir, evitar el uso de pantallas al menos 60 minutos antes o usar filtros que neutralizan la luz azul de los dispositivos (que inhiben la secreción de melatonina), anular los leds de la habitación o utilizar antifaz, usar una fuente de luz roja, utilizar técnicas de relajación, escuchar música suave, evitar ruidos ambientales molestos, manejar la temperatura ambiental a bajas temperaturas cercanas a 20 grados (favorece la secreción de melatonina). Otro procedimiento que puede utilizarse es la inducción (arrastré) de ondas cerebrales que promueven el sueño o inhiben el estado de vigilia. Esto puede lograrse por ejemplo con técnicas de meditación y relajación, lo que ha sido demostrado con el electroencefalograma por el enlentecimiento de las ondas cerebrales.

Durante el descanso es necesario mantener la oscuridad, las condiciones de aislación sonora y los rangos óptimos de temperatura evitando cualquier interrupción del ciclo. Otra estrategia a tener en cuenta es agrupar a los deportistas por cronotipo para compartir la habitación.

Los deportistas pueden lograr beneficios por la exposición a la luz simulando un amanecer, previo al despertar sin uso de antifaz, durante los últimos 30 minutos luego de un sueño de 8 horas.

#### IX. Conclusiones:

Las alteraciones del sueño en futbolistas de alto rendimiento modifican la carga interna o repercusión fisiológica sobre el organismo y provocan una disminución del rendimiento deportivo manifestado por la carga externa.

#### X. Debilidades y fortalezas

##### Debilidades:

Uno de los aspectos que puede mejorarse es la cantidad de datos y la duración del estudio, sería deseable ampliar el número de sujetos estudiados (varios equipos), prolongar el tiempo de estudio, realizando el seguimiento del mismo plantel en diferentes convocatorias o durante la realización del Campeonato Mundial propiamente dicho.

Para tener resultados más definitivos sería favorable evaluar en las mismas condiciones a deportistas de distintas Selecciones Nacionales y con los mismos dispositivos y algoritmos.

Otra de las principales cuestiones radica en las otras variables intervinientes y que no fueron analizadas en el presente estudio, como la nutrición, hidratación, cronotipo predominante, utilización de fármacos y suplementos, etc.

##### Fortalezas:

-Se pudo realizar el estudio con jugadores de Selección Nacional, en condiciones de competencia internacional por eliminatorias para el Campeonato Mundial, durante 10 jornadas que incluyeron 3 competencias.

-Fue posible combinar por primera vez en tales condiciones especiales la valoración a distancia de variables de sueño y de rendimiento con dispositivos tecnológicos objetivos y no invasivos.

-Finalmente como condición novedosa por la diferencia exigida en los requerimientos y prestaciones se pudo realizar un análisis discriminativo de las variables en las condiciones de titular, suplente, partidos y entrenamientos.

**Maestría en Neurociencias UNAJ**  
**“Alteraciones del Sueño y rendimiento deportivo en futbolistas de alta competencia”**

### XI. Aportes del presente estudio

De acuerdo a la bibliografía internacional analizada, se realizó por primera vez un estudio con jugadores de Selección Nacional de fútbol, en condiciones de competencia internacional por eliminatorias para el Campeonato Mundial, durante 10 jornadas que incluyeron 3 competencias; combinando variables de sueño y variables de rendimiento en condiciones de alta demanda, con dispositivos tecnológicos no invasivos y con jugadores de altísimo nivel de rendimiento. Los jugadores seleccionados cuyos datos se utilizaron para el presente estudio lograron clasificar y participaron en el Mundial de Fútbol de Qatar 2022.

### XII. Bibliografía

- Acosta MT. Sueño, memoria y aprendizaje [Sleep, memory and learning]. *Medicina (B Aires)*. 2019;79 Suppl 3:29-32. Spanish. PMID: 31603840.
- Adam EK, Quinn ME, Tavernier R, McQuillan MT, Dahlke KA, G. K. (2017). Diurnal cortisol slopes and mental and physical health outcomes: A systematic review and meta-analysis. *Physiology & Behavior*, 176(5), 139–148. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2017.05.018>. Epub 2017 May 24. PMID: 28578301; PMCID: PMC5568897.
- Akers, K. G., Chérasse, Y., Fujita, Y., Srinivasan, S., Sakurai, T., & Sakaguchi, M. (2018). Concise Review: Regulatory Influence of Sleep and Epigenetics on Adult Hippocampal Neurogenesis and Cognitive and Emotional Function. *Stem Cells*, 36(7), 969–976. <https://doi.org/10.1002/stem.2815>
- Baird, M. B., & Asif, I. M. (2018). Medications for Sleep Schedule Adjustments in Athletes. *Sports Health*, 10(1), 35–39. <https://doi.org/10.1177/1941738117743205>
- Bandyopadhyay, A., & Goldstein, C. (2022). Clinical applications of artificial intelligence in sleep medicine: a sleep clinician’s perspective. *Sleep and Breathing*, 0123456789. <https://doi.org/10.1007/s11325-022-02592-4>
- Barbato, G. (2021). REM sleep: An unknown indicator of sleep quality. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(24). <https://doi.org/10.3390/ijerph182412976>
- Barrett, D. (2017). Dreams and creative problem-solving. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1406(1), 64–67. <https://doi.org/10.1111/nyas.13412>
- Basinas, I., McElvenny, D. M., Pearce, N., Gallo, V., & Cherrie, J. W. (2022). A Systematic Review of Head Impacts and Acceleration Associated with Soccer. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(9), 1–29. <https://doi.org/10.3390/ijerph19095488>
- Beattie, C. E., Fahey, J. T., Pullinger, S. A., Edwards, B. J., & Robertson, C. M. (2021). The sensitivity of countermovement jump, creatine kinase and urine osmolality to 90-min of competitive match-play in elite English Championship football players 48-h post-match. *Science and Medicine in Football*, 5(2), 165–173. <https://doi.org/10.1080/24733938.2020.1828614>
- Bender, A., Van Dongen, H., & Samuels, C. (2018). Sleep Quality and Chronotype Differences between Elite Athletes and Non-Athlete Controls. *Clocks & Sleep*, 1(1), 3–12. <https://doi.org/10.3390/clockssleep1010002>
- Benjamin, C. L., Curtis, R. M., Huggins, R. A., Sekiguchi, Y., Jain, R. K., McFadden, B. A., & Casa, D. J. (2020). Sleep Dysfunction and Mood in Collegiate Soccer Athletes. *Sports Health*, 12(3), 234–240. <https://doi.org/10.1177/1941738120916735>
- Bonnar, D., Bartel, K., Kakoschke, N., & Lang, C. (2018). Sleep Interventions Designed to Improve Athletic Performance and Recovery: A Systematic Review of Current

**Maestría en Neurociencias UNAJ**  
**“Alteraciones del Sueño y rendimiento deportivo en futbolistas de alta competencia”**

- Approaches. *Sports Medicine*, 48(3), 683–703. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0832-x>
- Born J, Feld GB. Sleep to upscale, sleep to downscale: balancing homeostasis and plasticity. *Neuron*. 2012 Sep 20;75(6):933-5. doi: 10.1016/j.neuron.2012.09.007. PMID: 22998858.
- Born J, Wilhelm I. System consolidation of memory during sleep. *Psychol Res*. 2012 Mar;76(2):192-203. doi: 10.1007/s00426-011-0335-6. Epub 2011 May 4. PMID: 21541757; PMCID: PMC3278619.
- Braun, A. R., Balkin, T. J., Wesensten, N. J., Carson, R. E., Varga, M., Baldwin, P., Selbie, S., Belenky, G., & Herscovitch, P. (1997). Regional cerebral blood flow throughout the sleep-wake cycle. An H215O PET study. *Brain*, 120(7), 1173–1197. <https://doi.org/10.1093/brain/120.7.1173>
- Brier, M. R., Thomas, J. B., Snyder, A. Z., Benzinger, T. L., Zhang, D., Raichle, M. E., Holtzman, D. M., Morris, J. C., & Ances Dr., B. M. (2012). Loss of intranetwork and internetwork resting state functional connections with Alzheimer’s disease progression. *Journal of Neuroscience*, 32(26), 8890–8899. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.5698-11.2012>
- Campbell, P. G., Stewart, I. B., Sirotic, A. C., Drovandi, C., Foy, B. H., & Minett, G. M. (2021). Analysing the predictive capacity and dose-response of wellness in load monitoring. *Journal of Sports Sciences*, 39(12), 1339–1347. <https://doi.org/10.1080/02640414.2020.1870303>
- Carley DW, Farabi SS. Physiology of Sleep. *Diabetes Spectr*. 2016 Feb;29(1):5-9. doi: 10.2337/diaspect.29.1.5. PMID: 26912958; PMCID: PMC4755451.
- Catai AM, Pastre CM, Godoy MF, Silva ED, Takahashi ACM, Vanderlei LCM. Heart rate variability: are you using it properly? Standardisation checklist of procedures. *Braz J Phys Ther*. 2020 Mar-Apr;24(2):91-102. doi: 10.1016/j.bjpt.2019.02.006. Epub 2019 Feb 26. PMID: 30852243; PMCID: PMC7082649.
- Charest, J., & Grandner, M. A. (2020). Sleep and Athletic Performance: Impacts on Physical Performance, Mental Performance, Injury Risk and Recovery, and Mental Health. *Sleep Medicine Clinics*, 15(1), 41–57. <https://doi.org/10.1016/j.jsmc.2019.11.005>
- Chee, M. W. L., & Zhou, J. (2019). Functional connectivity and the sleep-deprived brain. In *Progress in Brain Research* (1st ed., Vol. 246). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/bs.pbr.2019.02.009>
- Chieffi, S., Carotenuto, M., Monda, V., Valenzano, A., Villano, I., Precenzano, F., Tafuri, D., Salerno, M., Filippi, N., Nuccio, F., Ruberto, M., Luca, V. De, Cipolloni, L., Cibelli, G., Mollica, M. P., Iacono, D., Nigro, E., Monda, M., Messina, G., & Messina, A. (2017). Orexin system: The key for a healthy life. *Frontiers in Neurology*, 8(May), 1–9. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00357>. PMID: 28620314; PMCID: PMC5450021.
- Claudino, J. G., Gabbet, T. J., De Sá Souza, H., Simim, M., Fowler, P., De Alcantara Borba, D., Melo, M., Bottino, A., Loturco, I., D’Almeida, V., Carlos Amadio, A., Cerca Serrão, J., & Nassis, G. P. (2019). Which parameters to use for sleep quality monitoring in team sport athletes? A systematic review and meta-analysis. *BMJ Open Sport and Exercise Medicine*, 5(1), 1–13. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2018-000475>
- Ibarra-Coronado, EG, Ana Ma. Pantaleón-Martínez, Javier Velazquez-Moctezuma, Oscar Prospéro-García, Mónica Méndez-Díaz, Mayra Pérez-Tapia, Lenin Pavón, Jorge Morales-Montor, "La relación bidireccional entre el sueño y la inmunidad contra las infecciones", *Journal of Immunology Research*, vol . . 2015, artículo ID 678164, 14 páginas, 2015. <https://doi.org/10.1155/2015/678164>
- Dement, W. & Kleitman, N. Cyclic variations in EEG during sleep and their relation to eye movements, body motility, and dreaming. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*. 1957 Nov;9(4):673-90. doi: 10.1016/0013-4694(57)90088-3. PMID: 13480240.

**Maestría en Neurociencias UNAJ**  
**“Alteraciones del Sueño y rendimiento deportivo en futbolistas de alta competencia”**

- Dennis EL, Thompson PM. Functional brain connectivity using fMRI in aging and Alzheimer's disease. *Neuropsychol Rev.* 2014 Mar;24(1):49-62. doi: 10.1007/s11065-014-9249-6. Epub 2014 Feb 23. PMID: 24562737; PMCID: PMC4109887.
- Evans, D. A., Jackson, D. T., Kelly, A. L., Williams, C. A., McAuley, A. B. T., Knapman, H., & Morgan, P. T. (2022). Monitoring Postmatch Fatigue During a Competitive Season in Elite Youth Soccer Players. *Journal of Athletic Training, 57*(2), 184–190. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-0245.21>. PMID: 34543430; PMCID: PMC8876877.
- Fang SC, Wu YL, Tsai PS. Heart Rate Variability and Risk of All-Cause Death and Cardiovascular Events in Patients With Cardiovascular Disease: A Meta-Analysis of Cohort Studies. *Biol Res Nurs.* 2020 Jan;22(1):45-56. doi: 10.1177/1099800419877442. Epub 2019 Sep 26. Erratum in: *Biol Res Nurs.* 2020 Jul;22(3):423-425. PMID: 31558032.
- Fernando, V. E., & Behrens, M. I. (2013). Red neural por defecto y enfermedad de Alzheimer. *Revista Medica de Chile, 141*(3), 375–380. <https://doi.org/10.4067/S0034-98872013000300014>
- Fullagar, H. H., Duffield, R., Skorski, S., Coutts, A. J., Julian, R., & Meyer, T. (2015). Sleep and Recovery in Team Sport: Current Sleep-Related Issues Facing Professional Team-Sport Athletes. *International Journal of Sports Physiology and Performance, 10*(8), 950–957. <http://journals.humankinetics.com/ijsp-current-issue/ijsp-volume-10-issue-8-november/sleep-and-recovery-in-team-sport-current-sleep-related-issues-facing-professional-team-sport-athletes%0Apapers2://publication/doi/10.1123/ijsp.2014-0565>
- Fuller, C. B. S. and P. M. (2016). Wake-Sleep Circuitry: An Overview Clifford. *Physiology & Behavior, 176*(1), 139–148. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2017.03.021>. Wake-Sleep
- Goldstein, C. A., Berry, R. B., Kent, D. T., Kristo, D. A., Seixas, A. A., Redline, S., & Brandon Westover, M. (2020). Artificial intelligence in sleep medicine: Background and implications for clinicians. *Journal of Clinical Sleep Medicine, 16*(4), 609–618. <https://doi.org/10.5664/jcsm.8388>
- Goldstein, C. A., Berry, R. B., Kent, D. T., Kristo, D. A., Seixas, A. A., Redline, S., Brandon Westover, M., Abbasi-Feinberg, F., Nisha Aurora, R., Carden, K. A., Kirsch, D. B., Malhotra, R. K., Martin, J. L., Olson, E. J., Ramar, K., Rosen, C. L., Rowley, J. A., & Shelgikar, A. V. (2020). Artificial intelligence in sleep medicine: An American Academy of Sleep Medicine position statement. *Journal of Clinical Sleep Medicine, 16*(4), 605–607. <https://doi.org/10.5664/jcsm.8288>
- Granero-Gil, P., Gómez-Carmona, C. D., Bastida-Castillo, A., Rojas-Valverde, D., De La Cruz, E., & Pino-Ortega, J. (2020). Influence of playing position and laterality in centripetal force and changes of direction in elite soccer players. *PLoS ONE, 15*(4), 1–13. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232123>
- Grünbichler, J., Federolf, P., & Gatterer, H. (2020). Workload efficiency as a new tool to describe external and internal competitive match load of a professional soccer team: A descriptive study on the relationship between pre-game training loads and relative match load. *European Journal of Sport Science, 20*(8), 1034–1041. <https://doi.org/10.1080/17461391.2019.1697374>
- Gupta, L., Morgan, K., & Gilchrist, S. (2017). Does Elite Sport Degrade Sleep Quality? A Systematic Review. In *Sports Medicine* (Vol. 47, Issue 7, pp. 1317–1333). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0650-6>
- Halson, S. L. (2019). Sleep Monitoring in Athletes: Motivation, Methods, Miscalculations and Why it Matters. *Sports Medicine, 49*(10), 1487–1497. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01119-4>.
- Hansen AL, Johnsen BH, Sollers JJ 3rd, Stenvik K, Thayer JF. Heart rate variability and its relation to prefrontal cognitive function: the effects of training and detraining. *Eur J Appl Physiol.* 2004 Dec;93(3):263-72. doi: 10.1007/s00421-004-1208-0. PMID: 15338220.
- Ibáñez V, Silva J, Navarro E, Cauli O. Sleep assessment devices: types, market analysis, and a critical view on accuracy and validation. *Expert Rev Med Devices.* 2019

**Maestría en Neurociencias UNAJ**  
**“Alteraciones del Sueño y rendimiento deportivo en futbolistas de alta competencia”**

- Dec;16(12):1041-1052. doi: 10.1080/17434440.2019.1693890. Epub 2019 Nov 27. PMID: 31774330.
- Inan Omer T, Migeotte Pierre-Francois, Park Kwang-Suk, Etemadi Mozziyar, Tavakolian Kouhyar, Casanella Ramon, Zanetti John, Tank Jens, Funtova Irina, Prisk G. Kim, and Di Rienzo Marco: BALLISTOCARDIOGRAPHY AND SEISMOCARDIOGRAPHY: A REVIEW OF RECENT ADVANCES. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics* · October 2014. DOI: 10.1109/JBHI.2014.2361732
- Janse van Rensburg DC, Jansen van Rensburg A, Fowler PM, Bender AM, Stevens D, Sullivan KO, Fullagar HHK, Alonso JM, Biggins M, Claassen-Smithers A, Collins R, Dohi M, Driller MW, Dunican IC, Gupta L, Halson SL, Lastella M, Miles KH, Nedelec M, Page T, Roach G, Sargent C, Singh M, Vincent GE, Vitale JA, Botha T. Managing Travel Fatigue and Jet Lag in Athletes: A Review and Consensus Statement. *Sports Med.* 2021 Oct;51(10):2029-2050. doi: 10.1007/s40279-021-01502-0. Epub 2021 Jul 14. PMID: 34263388; PMCID: PMC8279034.
- Kellmann, M., Bertollo, M., Bosquet, L., Brink, M., Coutts, A. J., Duffield, R., Erlacher, D., Halson, S. L., Hecksteden, A., Heidari, J., Wolfgang Kallus, K., Meeusen, R., Mujika, I., Robazza, C., Skorski, S., Venter, R., & Beckmann, J. (2018). Recovery and performance in sport: Consensus statement. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(2), 240–245. <https://doi.org/10.1123/ijssp.2017-0759>
- Kölling, S., Duffield, R., Erlacher, D., Venter, R., & Halson, S. L. (2019). Sleep-related issues for recovery and performance in athletes. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 14(2), 144–148. <https://doi.org/10.1123/ijssp.2017-0746>
- Kölling, S., Wiewelhove, T., Raeder, C., Endler, S., Ferrauti, A., Meyer, T., & Kellmann, M. (2016). Sleep monitoring of a six-day microcycle in strength and high-intensity training. *European Journal of Sport Science*, 16(5), 507–515. <https://doi.org/10.1080/17461391.2015.1041062>.
- Krueger JM, Frank MG, Wisor JP, Roy S. Sleep function: Toward elucidating an enigma. *Sleep Med Rev.* 2016 Aug; 28:46-54. doi: 10.1016/j.smrv.2015.08.005. Epub 2015 Aug 28. PMID: 26447948; PMCID: PMC4769986.
- Larentzakis, A., & Lygeros, N. (2021). Artificial intelligence (Ai) in medicine as a strategic valuable tool. *Pan African Medical Journal*, 38. <https://doi.org/10.11604/pamj.2021.38.184.28197>
- Lastella, M., Roach, G. D., Halson, S. L., & Sargent, C. (2015). Sleep/wake behaviours of elite athletes from individual and team sports. *European Journal of Sport Science*, 15(2), 94–100. <https://doi.org/10.1080/17461391.2014.932016>.
- Lastella M, Roach GD, Sargent C. Travel fatigue and sleep/wake behaviors of professional soccer players during international competition. *Sleep Health.* 2019 Apr;5(2):141-147. doi: 10.1016/j.sleh.2018.10.013. Epub 2018 Dec 12. PMID: 30928113.
- Leary, E. B., Watson, K. T., Ancoli-Israel, S., Redline, S., Yaffe, K., Ravelo, L. A., Peppard, P. E., Zou, J., Goodman, S. N., Mignot, E., & Stone, K. L. (2020). Association of Rapid Eye Movement Sleep with Mortality in Middle-aged and Older Adults. *JAMA Neurology*, 77(10), 1241–1251. <https://doi.org/10.1001/jamaneurol.2020.2108>. Erratum in: *JAMA Neurol.* 2020 Oct 1;77(10):1322. PMID: 32628261; PMCID: PMC7550971.
- Li, M., Wang, L., Liu, J. H., & Zhan, S. Q. (2018). Relationships between Rapid Eye Movement Sleep Behavior Disorder and Neurodegenerative Diseases: Clinical Assessments, Biomarkers, and Treatment. *Chinese Medical Journal*, 131(8), 966–973. <https://doi.org/10.4103/0366-6999.229886>
- Li W, Ma L, Yang G, Gan WB. REM sleep selectively prunes and maintains new synapses in development and learning. *Nat Neurosci.* 2017 Mar;20(3):427-437. doi: 10.1038/nn.4479. Epub 2017 Jan 16. PMID: 28092659; PMCID: PMC5535798.
- Meeusen R, Watson P, Hasegawa H, Roelands B, Piacentini MF. Central fatigue: the serotonin hypothesis and beyond. *Sports Med.* 2006;36(10):881-909. doi: 10.2165/00007256-200636100-00006. PMID: 17004850.

**Maestría en Neurociencias UNAJ**  
**“Alteraciones del Sueño y rendimiento deportivo en futbolistas de alta competencia”**

- Miguel, M., Oliveira, R., Loureiro, N., García-Rubio, J. & Ibáñez, S. J. (2021). Load measures in training/match monitoring in soccer: A systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(5), 1–26.  
<https://doi.org/10.3390/ijerph18052721>
- Miles, K. H., Clark, B., Fowler, P. M., Miller, J., & Pumpa, K. L. (2022). What are the sleep characteristics of elite female athletes? A systematic review with meta-analysis. *Biology of Sport*, 39(3), 751–763. <https://doi.org/10.5114/BIOLOSPORT.2022.108705>
- Mintz, Y., & Brodie, R. (2019). Introduction to artificial intelligence in medicine. *Minimally Invasive Therapy and Allied Technologies*, 28(2), 73–81.  
<https://doi.org/10.1080/13645706.2019.1575882>
- Morin, C. M., Drake, C. L., Harvey, A. G., Krystal, A. D., Manber, R., Riemann, D., & Spiegelhalter, K. (2015). Insomnia disorder. *Nature Reviews Disease Primers*, 1, 1–18.  
<https://doi.org/10.1038/nrdp.2015.26>
- Mujika, I., Halson, S., Burke, L. M., Balagué, G., & Farrow, D. (2018). An integrated, multifactorial approach to periodization for optimal performance in individual and team sports. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(5), 538–561.  
<https://doi.org/10.1123/ijsp.2018-0093>
- Nédélec, M., Aloulou, A., Duforez, F., Meyer, T., & Dupont, G. (2018). The Variability of Sleep Among Elite Athletes. *Sports Medicine - Open*, 4(1).  
<https://doi.org/10.1186/s40798-018-0151-2>
- Nédélec, M., Halson, S., Abaidia, A. E., Ahmaidi, S., & Dupont, G. (2015). Stress, Sleep and Recovery in Elite Soccer: A Critical Review of the Literature. In *Sports Medicine* (Vol. 45, Issue 10, pp. 1387–1400). <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0358-z>
- Nedeltcheva, A. V., & Scheer, F. A. J. L. (2014). Metabolic effects of sleep disruption, links to obesity and diabetes. *Current Opinion in Endocrinology, Diabetes and Obesity*, 21(4), 293–298. <https://doi.org/10.1097/MED.000000000000082>. PMID: 24937041; PMCID: PMC4370346.
- Niethard N, Buralgossi A, Born J. Plasticity during Sleep Is Linked to Specific Regulation of Cortical Circuit Activity. *Front Neural Circuits*. 2017 Sep 15;11:65. doi: 10.3389/fncir.2017.00065
- Nixon, J. P., Mavanji, V., Butterick, T. A., Billington, C. J., Kotz, C. M., & Teske, J. A. (2015). Sleep disorders, obesity, and aging: The role of orexin. *Ageing Research Reviews*, 20, 63–73. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2014.11.001>. Epub 2014 Nov 22. PMID: 25462194; PMCID: PMC4467809.
- Ohayon, M. M., Paskow, M., Roach, A., Filer, C., Hillygus, D. S., Chen, M. C., Langer, G., & Hirshkowitz, M. (2019). The National Sleep Foundation's Sleep Satisfaction Tool. *Sleep Health*, 5(1), 5–11. <https://doi.org/10.1016/j.sleh.2018.10.003>
- Oliveira, C., Ferreira, D., Caetano, C., Granja, D., Pinto, R., Mendes, B., & Sousa, M. (2017). Nutrition and Supplementation in Soccer. In *Sports* (Vol. 5, Issue 2). <https://doi.org/10.3390/sports5020028>
- Oliveira, R., Brito, J. P., Martins, A., Mendes, B., Marinho, D. A., Ferraz, R., & Marques, M. C. (2019). In-season internal and external training load quantification of an elite European soccer team. *PLoS ONE*, 14(4), 1–18.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0209393>
- Pesonen, A. K., Kahn, M., Kuula, L., Korhonen, T., Leinonen, L., Martinmäki, K., Gradisar, M., & Lipsanen, J. (2022). Sleep and physical activity – the dynamics of bi-directional influences over a fortnight. *BMC Public Health*, 22(1), 1–7.  
<https://doi.org/10.1186/s12889-022-13586-y>
- Pickering, C., Kiely, J., Grgic, J., Lucia, A., & Del Coso, J. (2019). Can genetic testing identify talent for sport? *Genes*, 10(12). <https://doi.org/10.3390/genes10120972>
- Romdhani, M., Fullagar, H. H. K., Vitale, J. A., Nédélec, M., Rae, D. E., Ammar, A., Chtourou, H., Al Horani, R. A., Ben Saad, H., Bragazzi, N. L., Dönmez, G., Dergaa, I., Driss, T., Farooq, A., Hammouda, O., Harroum, N., Hassanmirzaei, B., Khalladi, K.,

**Maestría en Neurociencias UNAJ**
**“Alteraciones del Sueño y rendimiento deportivo en futbolistas de alta competencia”**

- Khemila, S., ... Chamari, K. (2022). Lockdown Duration and Training Intensity Affect Sleep Behavior in an International Sample of 1,454 Elite Athletes. *Frontiers in Physiology*, 13(June), 1–11. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.904778>. PMID: 35784859; PMCID: PMC9240664.
- Rogers B, Gronwald T. Fractal Correlation Properties of Heart Rate Variability as a Biomarker for Intensity Distribution and Training Prescription in Endurance Exercise: An Update. *Front Physiol*. 2022 May 9;13:879071. doi: 10.3389/fphys.2022.879071. PMID: 35615679; PMCID: PMC9124938.
- Rosenwasser, A. M., & Turek, F. W. (2015). Neurobiology of circadian rhythm regulation. *Sleep Medicine Clinics*, 10(4), 403–412. <https://doi.org/10.1016/j.jsmc.2015.08.003>
- Rusch HL, Rosario M, Levison LM, Olivera A, Livingston WS, Wu T, Gill JM. **The effect of mindfulness meditation on sleep quality: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials.** *Ann N Y Acad Sci*. 2019 Jun;1445(1):5-16. doi: 10.1111/nyas.13996. Epub 2018 Dec 21. PMID: 30575050; PMCID: PMC6557693
- Russell, W., Harrison, R. F., Smith, N., Darzy, K., Shalet, S., Weetman, A. P., & Ross, R. J. M. (2008). Free triiodothyronine has a distinct circadian rhythm that is delayed but parallels thyrotropin levels. *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, 93(6), 2300–2306. <https://doi.org/10.1210/jc.2007-2674>
- Sadek, I., Biswas, J., & Abdulrazak, B. (2019). Ballistocardiogram signal processing: a review. *Health Information Science and Systems*, 7(1), 1–23. <https://doi.org/10.1007/s13755-019-0071-7>
- Samuels C. **Sleep, recovery, and performance: the new frontier in high-performance athletics.** *Phys Med Rehabil Clin N Am*. 2009 Feb;20(1):149-59, ix. doi: 10.1016/j.pmr.2008.10.009. PMID: 19084768.
- Saper CB, Fuller PM. **Wake-sleep circuitry: an overview.** *Curr Opin Neurobiol*. 2017 Jun;44:186-192. doi: 10.1016/j.conb.2017.03.021. Epub 2017 May 31. PMID: 28577468; PMCID: PMC5531075.
- Sargent, C., Lastella, M., Halson, S. L., & Roach, G. D. (2016). The validity of activity monitors for measuring sleep in elite athletes. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 19(10), 848–853. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2015.12.007>
- Sargent, C., Lastella, M., Halson, S. L., & Roach, G. D. (2021). How Much Sleep Does an Elite Athlete Need? *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 1–12. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2020-0896>
- Serin, Y., & Acar Tek, N. (2019). Effect of Circadian Rhythm on Metabolic Processes and the Regulation of Energy Balance. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 74(4), 322–330. <https://doi.org/10.1159/000500071>
- Song, C., Zhang, R., Wang, C., Fu, R., Song, W., Dou, K., & Wang, S. (2021). Sleep quality and risk of cancer: Findings from the English longitudinal study of aging. *Sleep*, 44(3), 1–8. <https://doi.org/10.1093/sleep/zsaa192>
- Stuart, S., Roberts, H., Teo, W., Warmington, S. A., Stuart, S., & Roberts, H. (2018). Effects of training and competition on the sleep of elite athletes : a systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med Epub Ahead of Prin, February*, 1–11. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-099322>
- Tagliazucchi, E., & van Someren, E. J. W. (2017). The large-scale functional connectivity correlates of consciousness and arousal during the healthy and pathological human sleep cycle. *NeuroImage*, 160, 55–72. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2017.06.026>. Epub 2017 Jun 12. PMID: 28619656.
- Teixeira, J. E., Forte, P., Ferraz, R., Leal, M., Ribeiro, J., Silva, A. J., Barbosa, T. M., & Monteiro, A. M. (2021). Monitoring accumulated training and match load in football: A systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(8), 1–47. <https://doi.org/10.3390/ijerph18083906>

**Maestría en Neurociencias UNAJ**  
**“Alteraciones del Sueño y rendimiento deportivo en futbolistas de alta competencia”**

- Tononi, G. (2004). An information integration theory of consciousness. *BMC Neuroscience*, 5, 1–22. <https://doi.org/10.1186/1471-2202-5-42>. PMID: 15522121; PMCID: PMC543470.
- Tononi G, Cirelli C. Sleep and the price of plasticity: from synaptic and cellular homeostasis to memory consolidation and integration. *Neuron*. 2014 Jan 8;81(1):12-34. doi: 10.1016/j.neuron.2013.12.025. PMID: 24411729; PMCID: PMC3921176.
- Tornero-Aguilera JF, Jimenez-Morcillo J, Rubio-Zarapuz A, Clemente-Suárez VJ. Central and Peripheral Fatigue in Physical Exercise Explained: A Narrative Review. *Int J Environ Res Public Health*. 2022 Mar 25;19(7):3909. doi: 10.3390/ijerph19073909. PMID: 35409591; PMCID: PMC8997532.
- Vallat, R., Meunier, D., Nicolas, A., & Ruby, P. (2019). Hard to wake up? The cerebral correlates of sleep inertia assessed using combined behavioral, EEG and fMRI measures. *NeuroImage*, 184, 266–278. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2018.09.033>
- Vallat, R., Türker, B., Nicolas, A., & Ruby, P. (2022). High Dream Recall Frequency is Associated with Increased Creativity and Default Mode Network Connectivity. *Nature and Science of Sleep*, 14(January), 265–275. <https://doi.org/10.2147/NSS.S342137>
- Venter, R. E. (2014). Perceptions of team athletes on the importance of recovery modalities. *European Journal of Sport Science*, 14(SUPPL.1), 37–41. <https://doi.org/10.1080/17461391.2011.643924>. Epub 2012 Feb 29. PMID: 24444246.
- Viegas, F., Ocarino, J. M., de Sousa Freitas, L., Pinto, M. C., Facundo, L. A., Amaral, A. S., Silva, S., de Mello, M. T., & Silva, A. (2022). The sleep as a predictor of musculoskeletal injuries in adolescent athletes. *Sleep Science*, 15(3), 305–311. <https://doi.org/10.5935/1984-0063.20220055>
- Vitale, J. A., Bonato, M., Torre, A. La, & Banfi, G. (2019). Heart rate variability in sport performance: Do time of day and chronotype play a role? *Journal of Clinical Medicine*, 8(5), 1–15. <https://doi.org/10.3390/jcm8050723>
- Vlahoyiannis, A., Aphasimis, G., Bogdanis, G. C., Sakkas, G. K., Andreou, E., & Giannaki, C. D. (2021). Deconstructing athletes' sleep: A systematic review of the influence of age, sex, athletic expertise, sport type, and season on sleep characteristics. In *Journal of Sport and Health Science* (Vol. 10, Issue 4, pp. 387–402). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2020.03.006>
- Vlahoyiannis, A., Sakkas, G. K., Manconi, M., Aphasimis, G., & Giannaki, C. D. (2020). A critical review on sleep assessment methodologies in athletic populations: factors to be considered. *Sleep Medicine*, 74, 211–223. <https://doi.org/10.1016/j.sleep.2020.07.029>
- Walsh NP, Halson SL, Sargent C, Roach GD, Nédélec M, Gupta L, Leeder J, Fullagar HH, Coutts AJ, Edwards BJ, Pullinger SA, Robertson CM, Burniston JG, Lastella M, Le Meur Y, Hausswirth C, Bender AM, Grandner MA, Samuels CH. Sleep and the athlete: narrative review and 2021 expert consensus recommendations. *Br J Sports Med*. 2020 Nov 3;bjssports-2020-102025. doi: 10.1136/bjssports-2020-102025. Epub ahead of print. PMID: 33144349.
- Xie L, Kang H, Xu Q, Chen MJ, Liao Y, Thiyagarajan M, O'Donnell J, Christensen DJ, Nicholson C, Iliff JJ, Takano T, Deane R, Nedergaard M. Sleep drives metabolite clearance from the adult brain. *Science*. 2013 Oct 18;342(6156):373-7. doi: 10.1126/science.1241224. PMID: 24136970; PMCID: PMC3880190.
- Yang, J., Du, Y., Shen, H., Ren, S., Liu, Z., Zheng, D., Shi, Q., Li, Y., & Wei, G.-X. (2022). Mindfulness-Based Movement Intervention to Improve Sleep Quality: A Meta-Analysis and Moderator Analysis of Randomized Clinical Trials. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(16), 10284. <https://doi.org/10.3390/ijerph191610284>
- Zisapel, N. (2018). New perspectives on the role of melatonin in human sleep, circadian rhythms and their regulation. *British Journal of Pharmacology*, 175(16), 3190–3199.

**Maestría en Neurociencias UNAJ**  
**“Alteraciones del Sueño y rendimiento deportivo en futbolistas de alta competencia”**

<https://doi.org/10.1111/bph.14116> .Epub 2018 Jan 15. PMID: 29318587; PMCID: PMC6057895.



Carlos Benitez Franco (Tesista)



Prof. Dra. Mariana Bendersky (Directora de Tesis)

