
Estudio de la influencia de los ritmos circadianos sobre el rendimiento deportivo. Revisión bibliográfica.

Trabajo Final de Máster Alimentación en la Actividad Física y el Deporte

Autora: Victoria Ayala Briongos

Director: Manuel Martínez Bebiá

Octubre 2020



Esta obra está bajo una licencia de Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada
(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/deed.es>)

 Reservados todos los derechos. Está prohibida la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la impresión, la reprografía, el microfilm, el tratamiento informático o cualquier otro sistema, así como la distribución de ejemplares mediante alquiler y préstamo, sin la autorización escrita del autor o de los límites que autorice la Ley de Propiedad Intelectual.

Índice

Resumen	4
Abstract	5
Abreviaturas	6
1. Introducción.....	7
1.1. Cronobiología y ritmos circadianos.....	7
1.2. Cronotipos.....	8
1.3. Estudio de los ritmos biológicos.....	8
1.4. Sincronización de los ritmos circadianos.....	9
1.5. Importancia de la hora del día sobre el rendimiento físico y deportivo.....	10
1.6. Pruebas físicas para medir el rendimiento.....	11
2. Objetivos.....	12
3. Preguntas investigables.....	12
4. Metodología.....	13
5. Resultados.....	15
6. Discusión.....	25
7. Aplicabilidad y nuevas líneas de investigación.....	28
8. Conclusiones.....	30
9. Bibliografía.....	31

Resumen

Introducción. La cronobiología, disciplina científica que estudia los ritmos biológicos de los seres vivos, es un término que ha ganado terreno en el mundo deportivo. Recientemente numerosos estudios han señalado que la hora del día en que se practica deporte influye en la obtención de un buen rendimiento físico.

Objetivos. Esta revisión tiene como objetivo estudiar la relación entre los ritmos circadianos y el rendimiento físico, según los últimos datos publicados. Además se estudiarán los procesos fisiológicos implicados en la respuesta física y se analizarán diferencias según el tipo de deporte y las características de los atletas.

Metodología. Se realizó una búsqueda bibliográfica través de cinco bases de datos (Pubmed, Scopus, ResearcherGate, Google Scholar, Biblioteca UOC), centrándose en los artículos publicados en los últimos diez años y escritos en inglés y castellano.

Resultados. 27 artículos se ajustaron a los criterios de inclusión. La temperatura corporal es un factor que muestra patrón circadiano con un pico marcado hacia las primeras horas de la tarde, momento en el que el desempeño físico es máximo bien sea velocidad, agilidad, distancia recorrida, potencia de salto... Siendo la percepción del esfuerzo también superior por la tarde. Respecto al cronotipo, parece ser que los vespertinos son los más afectados por practicar deporte fuera de su hora idónea, mostrándose una tendencia hacia los tipos matutinos según avanza la edad.

Conclusiones. Las sesiones de entrenamiento se deben planificar según el momento del día óptimo para cada atleta, respetar el cronotipo individual es fundamental. La desincronización de los ritmos circadianos puede provocar disminución en el rendimiento físico.

Palabras clave

Revisión, ritmos circadianos, cronotipo, actividad física, rendimiento deportivo.

Abstract

Background. Chronobiology is the scientific discipline of study of biological rhythms, a term that has gained ground in the sports world. Recently numerous studies have indicated that the time of day in which sports are practiced influences the achievement of good physical performance.

Objectives. The aim of this review was to study the relationship between circadian rhythms and physical performance, according to the latest published data. In addition, it will be studied the physiological processes involved in the physical response and the differences according to the type of sport and athletes' characteristics.

Method. A bibliographic search was carried out through five databases (Pubmed, Scopus, ResearchGate, Google Scholar, UOC Library), focusing on articles published in the last ten years and written in English and Spanish.

Results. 27 papers met the inclusion criteria. Body temperature is a factor that shows a circadian pattern with a marked peak in the early afternoon, time of the day at which physical performance is at its highest, i.e. speed, agility, distance covered, jumping power... The perception of effort is also higher in the afternoon. Regarding the chronotype, evening types seem to be the most affected to do sports out of their optimal time-of-day. The tendency shows more morning types as age increases.

Conclusions. Training sessions should be planned according to the optimal time of day for each athlete. It's essential to take into account individual chronotype. The desynchronization of circadian rhythms can cause a decrease in physical performance.

Key words

Review, circadian rhythms, chronotype, physical activity, sports performance.

Abreviaturas

6-MRT: *Test* de carrera de 6 minutos.

AGIL: T-*test* de agilidad.

AM: Antes del mediodía.

AUTOMeq: *Automated Morningness-Eveningness Questionnaire*.

CMJ: Prueba de salto con contramovimiento.

FCmax: Frecuencia cardíaca máxima.

IAT: *Test* de agilidad Illinois.

IGFMP-3: Proteína 3 de unión al factor de crecimiento parecido a la insulina.

JCR: Factor de impacto revista.

MVC: *Test* de máxima contracción voluntaria.

NSQ: Núcleo supraquiasmático.

PM: Después del mediodía.

POMS: Perfil de estados de ánimo.

RPE: Índice de esfuerzo percibido

RSA: *Test* de *sprints* repetidos.

RSSJA: Salto con *sprint*.

SJT: Prueba de salto vertical.

YBT: Y-balance *test*.

YYIRT: Prueba Yo-Yo intermitente.

1. Introducción.

En el mundo del deporte siempre prima la búsqueda de factores que favorezcan el aumento del rendimiento deportivo. Entre los atletas profesionales y los *amateurs*, es objeto de deseo la obtención de unos mejores resultados.

Vivimos en las denominadas “sociedades del rendimiento”, en donde se valora más la obtención de una mejor clasificación con respecto al resto que, la transmisión de valores tan importantes en el deporte como son: la competitividad, el esfuerzo, el trabajo en equipo, el *fair-play*, mantenerse sano...

Y es en este afán de mejora continua, donde las ciencias del deporte desde hace muchos años centran sus esfuerzos, y han introducido recientemente el concepto de cronobiología en la actividad física.

1.1. Cronobiología y ritmos circadianos.

La cronobiología es la ciencia que estudia los ritmos biológicos endógenos que son los ciclos internos que presentan todos los seres vivos (1).

Existen varios tipos de ritmos biológicos, los circadianos, los ultradianos y los infradianos, siendo los circadianos los más importantes por actuar en el periodo de tiempo correspondiente a 24 horas (1–3). Los ultradianos que refieren a un periodo de tiempo inferior a 20 horas, y los infradianos a ciclos superiores de 28 horas, en este último se distinguen, circaseptanos (7 días), circatrigintanos (30 días) y circanuales (360 días) (4).

El organismo presenta un “reloj biológico central” localizado en el hipotálamo, concretamente en el núcleo supraquiasmático (NSQ) que recibe y emite información (1–3). Estos ritmos se ajustan a elementos del entorno, principalmente al ciclo luz/oscuridad, siendo la luz su principal sincronizador ambiental (*zeitgeber*) (2,5).

Otros estímulos exógenos son: la ingesta de comida, el estrés, la actividad física, el sueño..., también denominados *zeitgebers*, palabra que proviene del alemán y se refiere a todo aquel estímulo externo capaz de ayudar a mantener la periodicidad de los ritmos circadianos (1).

El NSQ recibe estímulos luminosos vía retino-hipotalámica y con esta información coordina vía señales endocrinas o neurales el resto de “relojes periféricos” (6). Estos “relojes” también tienen capacidad de funcionar de forma autónoma e independiente, y se sitúan por todo el organismo: riñón, páncreas, tejido adiposo, tejido muscular... (7).

1.2. Cronotipos.

El cronotipo se conoce como la hora de preferencia individual biológica para hacer actividades y para descansar (1). Así, se clasifica en cronotipo matutino o alondra la preferencia de la mañana para realizar actividades y acostarse pronto. Mientras que, el cronotipo vespertino o búho es el que sitúa los momentos de mayor actividad por la tarde, retrasando más la hora de irse a dormir. Entre ambos, se localiza el cronotipo intermedio, el mayoritario entre la población adulta (5).

El cronotipo individual fácilmente se puede conocer mediante la realización del “*Automated Morningness-Eveningness Questionnaire*” (AutoMEQ) (1–3).

1.3. Estudio de los ritmos biológicos.

Son numerosos los factores que afectan a la actividad física, entre ellos se encuentran los procesos fisiológicos con ciclo aproximado de 24 horas, presión arterial, temperatura corporal, secreción de hormonas y metabolismo energético de nutrientes (1).

La **presión arterial** muestra un ritmo en humanos con un descenso durante la noche para favorecer la reducción del estrés cardiovascular y, un aumento hacia la hora del despertar debido a la mayor liberación de catecolaminas (norepinefrina), lo que se conoce como “*morning surge*”. (8). Específicamente se produce un descenso de la presión arterial del 10% – 20% por la noche con respecto a la mañana (9,10).

La **temperatura corporal** presenta su cumbre hacia las últimas horas de la tarde, siendo el mínimo entre las 4:00 – 5:00 horas de la madrugada (Fig. 1) (1,2,11).

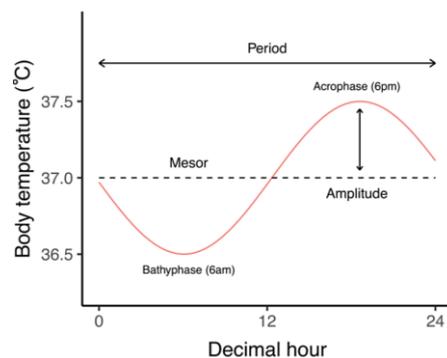


Figura 1: Cambios circadianos de la temperatura corporal (12).

Entre las **hormonas** que presentan patrón circadiano se encuentran la melatonina producida en la glándula pineal y en la retina, y el cortisol, liberado por la glándula suprarrenal. La **melatonina**, juega un papel clave en el control de los ritmos vigilia/sueño al actuar como mediador entre los estímulos externos lumínicos y el hipotálamo. Así, se sintetiza en presencia de oscuridad, alcanzándose su máxima liberación durante la

noche entre las 23:00 – 5:00 horas, momento en que se produce una disminución de la presión arterial y de la frecuencia cardiaca (11). Ahora bien, la exposición lumínica (luz azulada) por la noche y la práctica de actividad física intensa a últimas horas del día, provocan un descenso drástico de los niveles de esta hormona, y como consecuencia, se dificulta el sueño (4,11).

El **cortisol**, glucocorticoide cuyos niveles se incrementan durante la noche, alcanza su máximo en la primera parte de la mañana, momento a partir del cual su concentración empieza a descender, con un mínimo registrado hacia las últimas horas de la tarde (1). Estos mayores niveles de cortisol en sangre se relacionan con el aumento de la presión arterial y de la frecuencia cardiaca. En cierta manera el cortisol prepara al organismo para afrontar las actividades que se van a realizar durante el resto del día (9).

El **metabolismo de los nutrientes**, incluyendo la ingesta de alimentos y la secreción de insulina, presenta control desde el NSQ con una autorregulación desde los “relojes periféricos” (1).

Para el **metabolismo de lípidos**, se han hallado valores superiores de triglicéridos en sangre durante la noche que tras la ingesta de comidas durante el día. Esto se debe al aumento de los niveles de insulina por la mañana, hormona que suprime la liberación de ácidos grasos desde el tejido adiposo (6).

Para el caso del **metabolismo de la glucosa**, está demostrado la mejor tolerancia a la misma por la mañana (1,4,13). Momento del día en que la insulina presenta mayor sensibilidad, con el incremento en la captación de glucosa para disminuir la hiperglucemia postprandial. La síntesis de esta hormona está controlada por las células β -pancreáticas de los islotes de Langerhans, en donde el cortisol y la melatonina también actúan para modular su liberación (1).

Aunque, para garantizar una mejor tolerancia a la glucosa, se aconseja mantener los ritmos circadianos bien sincronizados. Vigilar los ciclos sueño/vigilia, ingesta/ayuno y el tipo de comidas que se realizan, porque afectan al normal uso de la glucosa y a la correcta secreción de la insulina (4,13).

1.4. Sincronización de los ritmos circadianos.

Como se ha mencionado previamente, estos ciclos cuentan con diversos factores endógenos y exógenos para su sincronización. La presencia de *zeitgebers* como: luz mientras se duerme, ingesta durante la noche o actividad en momentos de reposo, hacen que los ritmos circadianos se desajusten y por ende, que se produzcan

alteraciones en el rendimiento deportivo al verse afectados el metabolismo energético, la secreción de hormonas... (1).

La **dieta** tiene una gran influencia sobre los ritmos circadianos, la primera comida tras el ayuno más largo, es decir, el desayuno, es el principal sincronizador. Este momento del día es cuando el organismo requiere unos mayores niveles de energía para afrontar el resto de actividades diarias, la mayor actividad simpática a primera hora del día provoca el mayor número de reacciones metabólicas. Asimismo se da un incremento del vaciamiento gástrico lo que conlleva la mayor absorción intestinal, con la superior tolerancia a la glucosa (14).

Los deportistas deben vigilar el tipo de alimentación y la frecuencia (regularidad) de sus tomas (1). Las comidas ricas en grasas se clasifican como potentes cronodisruptores, porque actúan modificando la expresión de genes circadianos o "*clock genes*", genes que activan o desactivan otros factores dando lugar a cambios fisiológicos en las células en periodos de 24 horas (15). Y es que, los niveles de lípidos en el organismo están bajo control circadiano, con la implicación de numerosos "relojes periféricos". Así, las dietas altas en grasas provocan desincronización circadiana con alteraciones metabólicas perjudiciales para la salud de los atletas (16).

1.5. Importancia de la hora del día sobre el rendimiento físico y deportivo.

Muchos estudios defienden que los atletas profesionales y *amateurs* presentan un mayor rendimiento deportivo cuando la actividad física se practica por la tarde. Este aumento en la *performance* es el resultado de la sincronización entre los ritmos fisiológicos, psicológicos y metabólicos. Todos estos parámetros alcanzan su cumbre hacia las primeras horas de la tarde, en coordinación con los procesos cardiovasculares que también muestran patrón circadiano (4,13). Concretamente, la temperatura corporal se ha estimado en 0,9°C superior por la tarde (11), lo cual favorece el uso de los hidratos de carbono en lugar de grasas como sustrato energético, y se incrementan las uniones musculares entre actina y miosina (8,17).

Por ende, entrenar por la tarde incrementa la hipertrofia muscular, aunque el mecanismo no está del todo claro (6). Pero, parece ser que los mayores niveles de fuerza se deben al incremento en la liberación de calcio desde el retículo sarcoplasmático, con el aumento de la unión de este ion a la actina-miosina, produciendo la mayor actividad

miosina ATPasa (8,17,18). De cualquier forma se ha visto que la práctica regular de actividad física durante la tarde favorece la mejor acción muscular (6).

1.6. Pruebas físicas para medir el rendimiento.

En deporte existen diversos *tests* físicos, así, según el parámetro que se quiera estudiar se usarán unos u otros.

- **Prueba Yo-Yo intermitente** (YYIRT), estima la capacidad aeróbica, carreras de 20 metros con 10 segundos de recuperación, se llega al agotamiento (19).
- **Test Wingate**, valora la capacidad anaeróbica, sobre cicloergómetro con resistencia (g/kg peso corporal), pedalear lo más rápido posible durante 60 segundos (19).
- **Test de sprints repetidos** (RSA), estima la potencia máxima, sobre cicloergómetro realizar un mínimo de dos *sprints* (inferiores a 10 segundos), descansos no superiores a 90 segundos. Puede realizarse con o sin resistencia (g/kg) (19).
- **Test de carrera de 6 minutos** (6-MRT) para hallar la potencia máxima, correr la máxima distancia posible en 6 minutos (19).
- **Prueba de Cooper**, igual que 6-MRT, pero, durante 12 minutos (19).
- **Prueba de salto vertical** (SJT), con los brazos elevados saltar e intentar tocar el punto más alto de una pared. Las pruebas de salto se emplean para estudiar la potencia (19).
- **Prueba de salto con contramovimiento** (CMJ), en posición ergida con las manos en la cadera y las piernas a 90°, saltar lo más alto posible, aterrizar con las piernas rectas (19).
- **Prueba de salto con *sprint*** (RSSJA), prueba que consiste en: *sprint*, trote, salto vertical de 10 metros y *sprint* para volver al punto inicial (19).
- **Y-Balance test** (YBT), valora el equilibrio, mantenerse con una pierna mientras se extiende la otra lo más lejos posible en varias direcciones (19).
- **Test de agilidad Illinois** (IAT), para estimar la agilidad, carrera de 10 metros seguido de un *zig-zag* entre conos y terminar con un *sprint* de otros 10 metros (19).
- **T-test de agilidad** (AGIL), en forma de "T", correr en línea recta 10 metros, 5 metros derecha, 10 metros izquierda y 5 metros al centro, terminar en el punto inicial (19).
- **Test de contracción máxima voluntaria** (MVC), para analizar la fuerza, sobre un dinamómetro manual ejercer la máxima fuerza posible (19).

Aparte de valorar el desempeño atlético, también se suelen estimar ciertos parámetros psicológicos, para ello, se emplean el **índice de esfuerzo percibido** (RPE) y el **perfil de estados de ánimo** (POMS) que mide 6 estados de ánimo diferentes (ansiedad, depresión, enfado, vitalidad, fatiga y desconcierto) (20).

2. Objetivos.

1. Estudiar la influencia de los ritmos circadianos sobre el rendimiento físico y deportivo a través de una revisión bibliográfica estructurada.
 - 1.1. Estudiar los efectos de los ritmos circadianos sobre los procesos fisiológicos involucrados en la actividad física y deportiva.
 - 1.2. Estudiar la importancia de la hora del día sobre el rendimiento físico y deportivo.
 - 1.3. Estudiar qué cronotipo se ve más afectado por practicar deporte fuera de su hora habitual de entreno.
 - 1.4. Analizar posibles diferencias en el efecto de los ritmos circadianos sobre el rendimiento físico y deportivo según el tipo de deporte (aeróbico, anaeróbico, individual o colectivo) y las características de los atletas (profesionales, *amateurs*, género y edad).

3. Preguntas investigables.

1. ¿En atletas profesionales y *amateurs*, tener en cuenta el cronotipo a la hora de hacer ejercicio, frente a los que hacen deporte según disponibilidad horaria, supone la obtención de mejores resultados físicos (tiempos de carrera, número de repeticiones máximas, potencia alcanzada...)?
2. ¿En atletas profesionales y *amateurs*, conocer sus ritmos circadianos, en comparación con su estado físico, presenta mayor utilidad para valorar los cambios de las funciones fisiológicas propias del deporte (secreción de hormonas, temperatura corporal...)?
3. ¿En atletas profesionales y *amateurs*, el rendimiento de deportes aeróbicos, frente al de modalidades anaeróbicas, depende de la hora del día de ejercicio?
4. ¿En atletas profesionales y *amateurs*, la práctica de deportes colectivos, en comparación con la práctica de deportes individuales, supone la obtención de unos peores resultados dadas las variaciones de cronotipo dentro de un mismo equipo?
5. ¿En deportistas profesionales y *amateurs*, entrenar a una hora del día adecuada según su cronotipo, en comparación con horarios variables, supone la generación de un mejor desempeño físico?

6. ¿En deportistas jóvenes y adultos, femeninos y masculinos, el cronotipo, frente al género y la edad, influye más en la *performance* deportiva a la hora de hacer ejercicio?

4. Metodología.

La metodología para la elaboración del presente trabajo de revisión bibliográfica consistió en la búsqueda bibliográfica de artículos científicos por las principales bases de datos disponibles, Biblioteca UOC, Pubmed, Scopus, ResearchGate y Google Scholar. Se usaron los operados booleanos “AND” y “OR”, y las palabras claves siguientes:

- Cronobiología.
- Cronotipo.
- Ritmos circadianos.
- Hora del día.
- Actividad física.
- Rendimiento.
- Rendimiento físico.
- Rendimiento deportivo.
- Temperatura corporal.
- Secreción de hormonas.
- Cambios fisiológicos.
- Ingesta de alimentos.
- Hora de comer.

Se limitó la búsqueda de artículos a un periodo de tiempo no superior a 10 años, es decir, publicados entre los años 2010 a 2020 y escritos en inglés o castellano. Asimismo, se incluyeron estudios experimentales y estudios caso-control.

Con estos criterios básicos todas las publicaciones encontradas en las cinco bases de datos pasaron a la siguiente fase de selección (Fig. 2).

Tras el análisis del título, en la primera etapa se excluyeron a aquellos artículos que no eran de interés para el presente trabajo, principalmente por no referirse a rendimiento y cronotipo; o aquellos otros que mencionaban aspectos relacionados con el sueño, *jet-lag*, rendimiento cognitivo y/o académico, enfermedades, colectivos poblacionales específicos (personas mayores) y factores ambientales (humedad, altitud...). Estos fueron los criterios de exclusión aplicados en la primera fase de selección (Fig. 2).

La segunda etapa de selección consistió en la lectura preliminar del resumen de los artículos remanentes.

Los criterios de exclusión en este caso fueron: resumen no relevante, estudios que investigaban exclusivamente el papel de la actividad física como *zeitgeber* y estudios con análisis específico de los genes que se relacionan con ritmos circadianos (Fig. 2).

Por el contrario, los criterios de inclusión fueron: estudios realizados sobre atletas practicantes de modalidades deportivas colectivas e individuales, y de deportes aeróbicos y anaeróbicos. El sexo (femenino y masculino) y la edad (jóvenes y adultos) de los participantes tampoco fue motivo de exclusión. Asimismo, se incluyeron los artículos referidos tanto a actividad física como deportiva.

Por último, en la tercera fase de selección, se excluyeron a aquellos artículos no disponibles a texto completo.

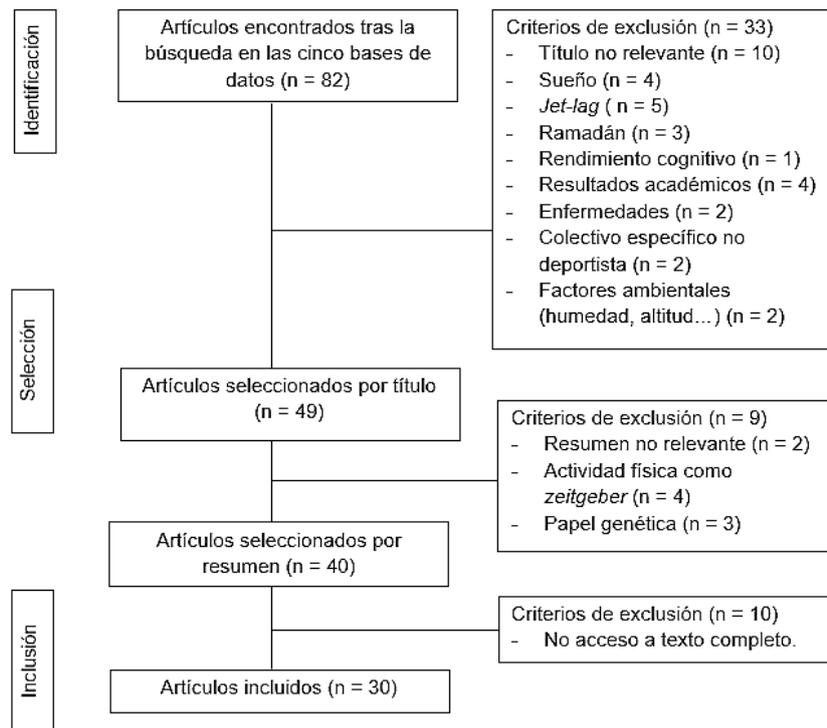


Figura 2. Diagrama de flujo del proceso de selección de artículos.

5. Resultados

A continuación, se muestran los resultados de los artículos incluidos en esta revisión bibliográfica, los estudios están ordenados según el objetivo al que hagan referencia. En total se han analizado 27 artículos, ordenados por año de publicación.

Para responder a cómo los ritmos circadianos afectan a los procesos fisiológicos involucrados en la actividad física y deportiva (objetivo 1) se han encontrado un total de 4 artículos (Tabla 1).

Estudio	JCR	Participantes	Objetivos	Protocolo experimental	Resultados
Pullinger et al, 2018 (21).	2,486	12 deportistas <i>amateurs</i> varones, 21 ± 2,3 años.	Investigar si aumentar la temperatura (medida en temperatura rectal* (Trec)) matutina a valores de la tarde o a un nivel "óptimo" (38,5°C), implica una mayor temperatura muscular (Tm) y un cambio en el rendimiento.	Test RSA sobre cinta de correr (10 x 3-s + 30-s). *Calentamiento previo, correr 5 min a 10 km/h e inmersión en agua (39 – 40°C).	<u>Trec y Tm en reposo</u> : Superior (+ 0,48 ± 0,05°C) y (+ 0,69°C) PM (17:30 horas). <u>Potencia y velocidad</u> : Inferior AM (7:30 horas). El aumento de la Trec AM a valores PM o el incremento de la Trec AM o Trec PM a valores óptimos no supuso la mejora del rendimiento deportivo.
Aloui et al, 2017 (22).	1,410	11 estudiantes de ciencias de la actividad física varones, 21 ± 0,48 años.	Investigar el efecto de la hora del día sobre el rendimiento físico, el daño muscular y la respuesta hormonal.	Test YYIRT.	<u>Parámetros fisiológicos</u> . Frecuencia cardiaca: Superior PM (17 horas). Consumo de oxígeno: Superior PM. Temperatura oral: Superior (+ 0,6°C) PM. <u>Daño muscular</u> . [lactato]: No diferencias significativas. [creatina quinasa]: No diferencias significativas. [lactato deshidrogenasa]: Superior PM.

					<u>Respuesta hormonal.</u> [cortisol]: Superior AM (7 horas). [testosterona]: Superior AM.
Burley et al, 2016 (23).	2,740	40 varones, n = 24 grupo entrenamiento de fuerza, 21,4 ± 1,9 años. n = 16 grupo control (no entrenamiento), 16,22 ± 2 años.	Determinar el impacto del entrenamiento de fuerza bien sea matutino o vespertino sobre factores anabólicos y catabólicos.	3 sets de 10 repeticiones 80%RM (repetición máxima).	<u>Grupo entrenamiento.</u> <u>Anabólicos.</u> IGFBP-3 (proteína 3 de unión al factor de crecimiento parecido a la insulina): Elevado PM (18 horas). Factor miogénico: Elevado pre ejercicio PM y post ejercicio AM (8 horas). Diámetro vascular: Elevado pre ejercicio PM. <u>Catabólicos.</u> Cortisol: Reducido pre y post ejercicio PM. <u>Grupo control.</u> Cortisol: Reducido PM.
Küüsmaa et al, 2016 (24).	2,522	42 varones, n = 9 – EM(R+F) 36,1 ± 6,5 años. n = 9 – EM(F+R) 30,8 ± 5,0 años. n = 12 – EV(R+F) 31,4 ± 4,6 años. n = 12 – EV(F+R) 31,4 ± 6,5 años.	Examinar el efecto de un entrenamiento de mañana (EM) de 6:30 – 10 horas y de tarde (EV) de 16:30 – 20 horas, sobre la fuerza muscular, la capacidad aeróbica y los niveles de testosterona y cortisol.	12 semanas de entrenamiento fuerza (F) y otras 12 semanas de resistencia (R).	<u>Hipertrofia:</u> Entrenamiento AM, aumento en todos los grupos 1-12 semanas, 13-24 semanas solo en EV(F+R) y EV(R+F). <u>Hormonas:</u> Descenso valores de AM a PM de 1- 24 semanas. Ausencia diferencias significativas entre hora del día y grupos.

Tabla 1. Efectos de los ritmos circadianos sobre los procesos fisiológicos involucrados en el deporte (objetivo 1).

Para los resultados de los efectos de la hora del día sobre el rendimiento físico y deportivo (objetivo 2), se han incluido 15 artículos (Tabla 2).

Estudio	JCR	Participantes	Objetivos	Protocolo experimental	Resultados
Lok et al, 2020 (25).	3,998	144 nadadores olímpicos (72 ♂ y 72 ♀), Atenas 2004, Pekín 2008, Londres 2010 y Río de Janeiro 2012.	Determinar cómo la hora del día y los ritmos circadianos afectan a los resultados deportivos de atletas bajo condiciones de máxima motivación.	Pruebas olímpicas: espalda 100-200m brazo 100-200m mariposa 100-200m crol 50-100-200m.	Los mejores tiempos fueron para las competiciones PM (17:12 horas), y el peor rendimiento fue en pruebas AM (5:12 horas). Las pruebas clasificatorias fueron 0,5% más lentas que las semi-finales y estas a su vez un 0,2% más lentas que las finales.
Silveira et al, 2020 (26).	2,468	16 ciclistas <i>amateurs</i> varones, 34,81 ± 5,76 años.	Analizar los resultados de variables motoras y fisiológicas según la hora del día.	Contrarreloj de bicicleta de montaña de 20 minutos.	<u>Frecuencia de pedaleo</u> : Mayor AM (10:30 horas) <u>Temperatura</u> : Superior (+6,66 ± 1,73°C) PM (18:30 horas). No diferencias significativas (potencia, [lactato] y frecuencia cardíaca).
Knaier et al, 2019 (27).	2,486	19 deportistas <i>amateurs</i> varones, 24,1 ± 2,5 años.	Investigar las variaciones de fuerza isométrica e isocinética de brazos, piernas y tronco, en un mismo día y entre días.	<i>Test</i> YBT, <i>test</i> CMJ y pruebas de fuerza con dinamómetro.	La diferencia entre fuerza máxima y mínima fue mayor (tres veces superior) según la hora del día que según el día, para pierna, brazo y tronco.
Chtourou et al, 2018 (28).	3,367	14 judokas profesionales varones, 21 ± 1 años.	Examinar el efecto de la hora del día sobre repeticiones cortas a máxima intensidad y variables psicológicas.	<i>Test</i> RSSJA, <i>test</i> CMJ (6 saltos), <i>test</i> RPE y <i>test</i> POMS.	<u>RSSJA</u> : Ausencia de diferencias significativas. <u>CMJ</u> : Diferencias significativas solo en los saltos 3º y 4º, mayor altura de salto PM (17 horas). No diferencias significativas saltos 1º, 2º, 5º y 6º. <u>RPE</u> : Mayor esfuerzo percibido PM. <u>POMS</u> : Vitalidad superior PM.

Aloui et al, 2017 (22).	1,410	11 estudiantes varones, 21 ± 0,48 años.	Investigar el efecto de la hora del día sobre el rendimiento físico.	Test YYIRT.	<u>Rendimiento físico.</u> Distancia recorrida: Superior PM (17 horas). Velocidad: Superior PM.
López-Samanes et al, 2016 (29).	2,597	13 tenistas profesionales varones, 22,5 ± 3,7 años.	Estudiar el efecto del ritmo circadiano sobre la respuesta física de tenistas.	Test CMJ, test MVC, test AGIL, carreras de 10 y 4 metros (velocidad).	<u>CMJ</u> : Mayor altura de salto PM (16:30 horas) <u>MVC</u> : Ausencia diferencias significativas. <u>AGIL</u> : Tiempo de carrera inferiores PM. <u>Carrera 10 metros</u> : Más rápidos PM. <u>Velocidad</u> : Más veloces PM.
Henst et al, 2015 (30).	2,486	Maratonianos. Surafricanos (92 profesionales (P) y 94 <i>amateurs</i> (A)). Holandeses (90 P y 98 A).	Estudiar el efecto de la hora del día y el cronotipo según los resultados deportivos y, establecer diferencias entre atletas.	Tiempos registrados de los participantes en maratón y media maratón.	<u>Media maratón</u> : Mejores tiempos en surafricanos profesionales matutinos AM (6:30 horas), este grupo registró también la mejor marca personal. <u>Maratón</u> : No diferencias significativas.
Kunorozva et al, 2014 (31).	2,597	20 ciclistas <i>amateurs</i> varones, 39,8 ± 7,7 años.	Estudiar la respuesta física de ciclistas matutinos a pruebas físicas realizadas en diferentes horas del día.	17 minutos sobre cicloergómetro a 60%, 80% y 90% FCmax (frecuencia cardiaca máxima). Test RPE.	<u>Temperatura</u> : Pico PM (14 – 18 horas). <u>Cicloergómetro</u> : No diferencias significativas. <u>RPE</u> : 80% FCmax, mayor percepción esfuerzo PM (22 horas) y, 90% FCmax PM (18 horas). A 60% FCmax, hubo diferencias significativas, pero no se especifican las horas.
West et al, 2014 (32).	2,973	16 jugadores profesionales de rugby varones, 21 ± 4 años.	Examinar el efecto de la hora del día sobre la temperatura corporal y la potencia de salida.	Test CMJ.	<u>CMJ</u> : Potencia de salida superior PM (17 horas) que AM (10 horas). <u>Temperatura</u> : Superior (+ 0,26 ± 0,13°C) PM.

<p>Di Cagno et al, 2013 (33).</p>	<p>1,806</p>	<p>92 gimnastas femeninas. Profesionales (n = 42): 13,3 ± 0,5 años. <i>Amateurs</i> (n = 50): 12,8 ± 1,7 años.</p>	<p>Examinar el efecto de la hora del día sobre actividades de coordinación y de fuerza en gimnastas profesionales y <i>amateurs</i>.</p>	<p>Coordinación (lanzamiento atrás de balón, saltos de 1 metro y <i>sprints</i> en diferentes direcciones) y fuerza (salto desde plataforma y saltos con pierna alterna en línea recta).</p>	<p><u>Fuerza</u>: Mejores resultados grupo de profesionales PM (19 horas) y, grupo <i>amateur</i> AM (8:30 horas). <u>Orientación</u>: Diferencias significativas solo en las pruebas de <i>sprint</i>, tiempos inferiores grupo <i>amateur</i> AM. <u>Temperatura</u>: Superior PM en ambos grupos. Mayor AM y PM en <i>amateurs</i> que con respecto a profesionales.</p>
<p>Petit et al, 2013 (34).</p>	<p>1,245</p>	<p>13 ciclistas <i>amateurs</i> varones. 17,3 ± 1,6 años.</p>	<p>Examinar si el rendimiento físico depende de la hora del día.</p>	<p><i>Test</i> RSA (2 x 10-s + resistencia de frenado generada por una pendiente del 5%).</p>	<p><u>RSA</u>: Rendimiento superior en pruebas PM (12:30, 14:30, 16:30, 18:30 horas) que AM (8:30, 10:30 horas).</p>
<p>Smith et al, 2013 (35).</p>	<p>4,805</p>	<p>106 partidos de fútbol de equipos profesionales de Estados Unidos desde 1970 hasta 2011.</p>	<p>Estudiar si los equipos de fútbol profesionales jugarían mejor si los partidos coinciden con su pico circadiano de rendimiento.</p>	<p>Resultados deportivos de equipos de la costa oeste (WC) y de la costa este (EC).</p>	<p><u>Partidos de tarde</u>: Equipos WC mayor puntuación que los EC en 70 partidos, mientras que los equipos EC fueron superiores en 36 partidos. <u>Partidos de mañana</u>: No diferencias significativas.</p>
<p>Chtourou et al, 2012 (36).</p>	<p>1,22</p>	<p>20 futbolistas <i>amateurs</i> varones, 17,6 ± 0,6 años.</p>	<p>Estudiar el efecto de la hora del día sobre la capacidad aeróbica y anaeróbica.</p>	<p><i>Test</i> YYIRT, <i>test</i> Wingate (30-s, + 60 g/kg resistencia) y <i>test</i> RSA (5 x 6-s,</p>	<p><u>Capacidad aeróbica</u>. YYIRT: Rendimiento mayor PM (17 horas). <u>Capacidad anaeróbica</u>. Wingate: Rendimiento mayor PM.</p>

				30-s + 0,7 g/kg resistencia)	RSA: Rendimiento mayor PM solo para los dos primeros <i>sprints</i> .
Zarrouk et al, 2012 (37).	2,566	12 estudiantes de ciencias de la actividad física varones, 21,2 ± 1,8 años.	Investigar el efecto de la hora del día sobre la potencia muscular y la actividad electromiográfica.	<i>Test</i> RSA sobre cicloergómetro (5 x 6-s, 30-s) y electromiografía en la pierna.	<u>RSA</u> : Potencia mayor PM (18 horas) que AM (6 horas) en los 3 primeros <i>sprints</i> . 2 últimos <i>sprints</i> , no diferencias significativas. <u>Electromiografía</u> : No diferencias significativas. <u>Temperatura</u> : Superior (+ 0,7 ± 0,3°C) PM.
Lericollais et al, 2011 (38).	3,255	20 varones voluntarios, 21,2 ± 1,4 años.	Estudiar la repuesta física en dos horas del día diferentes.	<i>Test</i> Wingate (60-s, 75 g/kg resistencia).	<u>Frecuencia de pedaleo</u> : Mayor PM (18 horas) en los primeros 20 segundos. No diferencias significativas para el resto de la sesión. <u>Potencia</u> : Mayor PM. <u>Temperatura</u> : Pico de la curva PM.

Tabla 2. Importancia de la hora del día sobre el rendimiento físico y deportivo (objetivo 2).

Para los resultados acerca de qué cronotipo es el más afectado por entrenar a una hora del día no habitual (objetivo 3), se han analizado un total de 8 artículos (Tabla 3).

Estudio	JCR	Participantes	Objetivos	Protocolo experimental	Resultados
Mulè et al, 2020 (39).	0,820	22 estudiantes (14♂ y 8♀). 20,1 ± 2 años. Matutinos (8♂ + 3♀) Vespertinos (6♂ + 5♀).	Evaluar el efecto del cronotipo sobre el rendimiento aeróbico, la frecuencia cardiaca y el nivel de esfuerzo percibido.	<i>Test</i> de Cooper y <i>test</i> RPE.	<u>RPE</u> : Pre y post <i>test</i> Cooper, mayor esfuerzo percibido AM (9 horas) por vespertinos y PM (17 horas) por matutinos. <u>Cooper y frecuencia cardiaca</u> : No ausencias significativas.

Roveda et al, 2020 (40).	2,486	75 futbolistas <i>amateurs</i> , varones, 14,9 ± 1,79 años. Matutinos (n = 25) Vespertinos (n = 25) Intermedios (n = 25)	Estudiar los resultados de actividades motoras específicas del fútbol según el cronotipo y la hora del día.	<i>Test IAT, test SJT y test 6-MRT.</i>	<u>IAT</u> : Más ágiles matutinos PM (18 horas) y vespertinos AM (9 horas). <u>SJT</u> : Mayor altura de salto, matutinos AM y vespertinos PM. <u>6-MRT</u> : Mayor distancia recorrida, matutinos AM y vespertinos PM.
Anderson et al, 2018 (41).	3,7	27 nadadores <i>amateurs</i> (8 ♂ y 19 ♀). 18 – 22 años. Matutinos (n = 3) Vespertinos (n = 7) Intermedios (n = 17)	Estudiar el efecto de la hora del día, la hora de preferencia de ejercicio y el cronotipo sobre el rendimiento deportivo.	200 metros <i>crol.</i>	Los tipos vespertinos (cronotipo y preferencia horaria) muestran un hándicap a entrar AM (6:30 horas) en comparación con los matutinos. Vespertinos: 3,2% más lentos AM. Preferencia horaria a entrenar por la tarde: 6,3% más lentos AM.
Facer-Childs et al, 2018 (42).	8,551	56 voluntarios (33 ♀ y 23 ♂). Matutinos (n = 25): 22,8 ± 4,5 años. Vespertinos (n = 31): 20,8 ± 3 años.	Estudiar el impacto del cronotipo sobre el rendimiento físico según la hora del día.	<i>Test MVC.</i>	<u>Matutinos</u> : El mayor rendimiento fue PM (14 horas) y el menor PM (20 horas). <u>Vespertinos</u> : Mejores resultados PM (14 y 20 horas) que AM (8 horas). AM los resultados de los matutinos fueron mejores que vespertinos.
Facer-Childs y Brands-taetter, 2015 (43).	9,601	20 jugadores profesionales de hockey, 20,4 años. Matutinos (n = 5) Intermedios (n = 10) Vespertinos (n = 5)	Investigar cómo el cronotipo afecta al rendimiento físico.	Carreras de 20 metros.	<u>Pico de rendimiento según la hora del día</u> . Máximo (16 – 19 horas), medio (10 – 13 horas) y mínimo (7 horas). Matutinos: 12,97 ± 1,43 horas. Intermedios: 15,81 ± 0,51 horas. Vespertinos: 19,66 ± 0,67 horas.

Facer-Childs y Brands-taetter 2015 (44).	2,889	7 equipos <i>amateur</i> de fútbol (2 ♀) y 5 de hockey (4 ♀). 21,5 ± 3,96 años.	Estudiar la influencia del cronotipo individual en el resultado final del equipo.	Resultados de partidos disputados por la mañana y por la tarde.	Los vespertinos fueron los que más influyeron sobre el rendimiento final del equipo, a mayor número de este tipo de atletas, a una hora más tarde se producirá la cumbre en el desempeño físico.
Rae et al, 2015 (45).	2,580	26 nadadores <i>amateurs</i> (18 ♂ y 8 ♀). 32,6 ± 5,7 años. Matutinos (n = 15) Intermedios (n = 11)	Comparar los tiempos de natación, el esfuerzo percibido y el estado de ánimo, de pruebas realizadas por la mañana y por la tarde, teniendo en cuenta el cronotipo.	200 metros <i>crol</i> , <i>test RPE</i> y <i>test POMS</i> .	<u>Tiempos carrera</u> : Más rápidos matutinos AM (6:30 horas), intermedios más rápidos PM (18:30 horas). <u>POMS</u> : Matutinos menos fatiga y más energía AM. Intermedios más energía PM. <u>RPE</u> : No diferencias significativas. <u>Temperatura</u> : Inferior (- 0,38 ± 0,01°C) AM.
Rossi et al, 2015 (46).	1,245	46 estudiantes (27 ♂ y 19 ♀). 24,8 ± 7,2 años. Matutinos (n = 10) Intermedios (n = 27) Vespertinos (n = 9)	Analizar la respuesta psico-fisiológica según la hora del día y el cronotipo.	Subir 3 veces y bajar 2 veces una cuesta de 306 metros con un desnivel de 14,2%. <i>Test RPE</i> .	<u>RPE</u> : Mayor esfuerzo percibido en vespertinos que matutinos AM (8:30 horas). <u>Prueba física y frecuencia cardiaca</u> : No diferencias significativas.

Tabla 3. Tipo de cronotipo más afectado por entrenar a una hora del día no habitual (objetivo 3).

Para los resultados de los efectos de los ritmos circadianos sobre el rendimiento según el tipo de deporte, aeróbico, anaeróbico, individual colectivo, así como, según las características de los deportistas, bien sean profesionales o *amateurs* y, según el género y la edad (objetivo 4), se han incluido 6 artículos (Tabla 4).

Estudio	JCR	Participantes	Objetivos	Protocolo experimental	Resultados
Merikanto et al, 2020 (47).	3,038	Adolescentes tempranos, n = 353 (187 ♀ + 166 ♂), 12,3 ± 0,5 años. Adolescentes tardíos, n = 171 (98 ♀ + 73 ♂) 16,9 ± 0,1 años.	Examinar los niveles de actividad física según la preferencia circadiana en adolescentes tempranos y adolescentes tardíos.	Actigrafía en reloj inteligente que mide los patrones de sueño y la actividad física durante dos días.	<u>Nivel de actividad física</u> : Descenso del 40% en niños y 32% en niñas de los 12 a los 17 años. Los más activos fueron los niños de 12 años. <u>Sedentarismo</u> : Aumento del 25% en niñas y del 30% en niños de 12 a 17 años. Los niños de 17 años fueron los más sedentarios.
Küusmaa et al, 2016 (24).	2,522	42 varones, n = 9 – EM(R+F) 36,1 ± 6,5 años. n = 9 – EM(F+R) 30,8 ± 5,0 años. n = 12 – EV(R+F) 31,4 ± 4,6 años. n = 12 – EV(F+R) 31,4 ± 6,5 años.	Examinar el efecto de un entrenamiento de mañana (EM) de 6:30 – 10 horas y de un entrenamiento de tarde (EV) de 16:30 – 20 horas, sobre la fuerza muscular, la capacidad aeróbica y los niveles de testosterona y cortisol.	12 semanas de entrenamiento fuerza (F) y otras 12 de resistencia (R).	<u>Fuerza muscular</u> : Entrenamiento AM y PM, aumento similar 1-24 semanas independientemente del grupo. <u>Capacidad aeróbica</u> : Entrenamiento AM, mayor en todos los grupos 1-12 semanas, 13-24 semanas solo en EM(R+F) y EV(R+F). Entrenamiento PM, incremento en todos los grupos 1-12 semanas, 13-24 semanas en los grupos EM(R+F), EV(R+F) y EV(F+R).
Facer-Childs y Brands-taetter 2015 (44).	2,889	7 equipos <i>amateur</i> de fútbol (2 ♀) y 5 de hockey (4 ♀). 21,5 ± 3,96 años.	Estudiar la influencia del cronotipo individual en el resultado final del equipo.	Resultados de partidos disputados por la mañana y por la tarde.	Los vespertinos fueron los que más influyeron sobre el rendimiento final del equipo, a mayor número de este tipo de atletas, a una hora más tarde se producirá la cumbre en el desempeño físico.

Henst et al, 2015 (30).	2,486	Maratonianos. Surafricanos (92 profesionales (P) y 94 <i>amateurs</i> (A)). Holandeses (90 P y 98 A).	Estudiar el efecto de la hora del día y el cronotipo según los resultados deportivos y establecer diferencias entre atletas.	Tiempos registrados de los participantes en maratón y media maratón.	<u>Media maratón</u> : Mejores tiempos en surafricanos profesionales matutinos AM (6:30 horas), este grupo registró también la mejor marca personal. <u>Maratón</u> : No diferencias significativas.
Di Cagno et al, 2013 (33).	1,806	92 gimnastas femeninas. Profesionales (n = 42): 13,3 ± 0,5 años. <i>Amateurs</i> (n = 50): 12,8 ± 1,7 años.	Examinar el efecto de la hora del día sobre actividades de coordinación y de fuerza en gimnastas profesionales y <i>amateurs</i> .	Coordinación (lanzamiento atrás de balón, saltos de 1 metro y <i>sprints</i> en diferentes orientaciones) y fuerza (salto desde plataforma y saltos con pierna alterna en línea recta).	<u>Fuerza</u> : Mejores resultados grupo de profesionales PM (19 horas) y, grupo <i>amateur</i> AM (8:30 horas). <u>Orientación</u> : Diferencias significativas solo en las pruebas de <i>sprint</i> , tiempos inferiores grupo <i>amateur</i> AM. <u>Temperatura</u> : Superior PM en ambos grupos. Mayor AM y PM en <i>amateurs</i> que con respecto a profesionales.
Chtourou et al, 2012 (36).	1,22	20 futbolistas <i>amateurs</i> varones, 17,6 ± 0,6 años.	Estudiar el efecto de la hora del día sobre la capacidad aeróbica y anaeróbica.	<i>Test</i> YYIRT, <i>test</i> Wingate (30-s, + 60 g/kg resistencia) y <i>test</i> RSA (5 x 6-s, 30-s + 0,7 g/kg resistencia)	<u>Capacidad aeróbica</u> . YYIRT: Rendimiento mayor PM (17 horas). <u>Capacidad anaeróbica</u> . Wingate: Rendimiento mayor PM. RSA: Rendimiento mayor PM solo para los dos primeros <i>sprints</i> .

Tabla 4. Diferencias de rendimiento físico y deportivo según el tipo de deporte y las características de los atletas (objetivo 4).

6. Discusión.

Para responder al primer objetivo de esta revisión que fue estudiar cómo los ritmos circadianos influyen en los procesos fisiológicos involucrados en la respuesta física del organismo, no se encontraron demasiados estudios ($n = 4$), aun así, queda claro que la temperatura corporal es superior por la tarde (17 – 18 horas) (Tabla 1) (21,22). Ahora bien, el aumento condicionado de forma exógena de esta temperatura no supone la obtención de un mejor rendimiento deportivo. Esto podría deberse a que este incremento tiene que estar producido de forma endógena desde las señales que envía el NSQ (21).

Asimismo, se han hallado cifras superiores en la frecuencia cardiaca y en el consumo de oxígeno por la tarde (22). Todo esto podría implicar la mejor respuesta física PM, en donde también influyen los niveles de hormonas. Como bien se ha visto, los niveles de cortisol descienden considerablemente por la tarde, al igual que los de testosterona (Tabla 1) (22–24). Aunque estos bajos niveles de esta hormona anabólica parecen no influir demasiado en la superior hipertrofia muscular por la tarde (24), que puede deberse al aumento de otros factores anabólicos como la IGFBP-3 (23).

Mencionar ciertas limitaciones de los estudios encontrados, al ser las muestras poblaciones pequeñas y la edad de los participantes similar (21 – 35 años). Tampoco permiten establecer diferencias entre géneros, al estar todas las muestras formadas exclusivamente por varones (21–24).

Respecto al objetivo 2 sobre la importancia que tiene la hora del día en el rendimiento físico, los artículos científicos encontrados en este ámbito son bastante más numerosos ($n = 15$). Actualmente, los entrenadores y los deportistas son más conscientes de la importancia que tiene la hora del día de entrenamiento en la consecución de unos buenos resultados.

En general el rendimiento se ha estimado superior PM, concretamente entorno a las 16:30 – 19 horas, es decir, hacia las primeras horas de la tarde (Tabla 2) (22,25,26,28,29,31–34,36–38). Porque, no importa tanto el día de la semana que se entrene, sino la hora del día en que se haga, esta es la que más modifica la respuesta física del organismo (27). Aunque en algunos casos el rendimiento se ha cuantificado en superior AM (26,30,33), esto puede deberse al tipo de cronotipo, los matutinos tienen la preferencia horaria de realizar las tareas de mayor actividad por la mañana (30).

En este punto, cabe analizar si la hora del día influye de la misma manera sobre el rendimiento físico de modalidades aeróbicas que de anaeróbicas. Y es que, los resultados de las pruebas físicas aeróbicas muestran mayor consenso, 5 de los 6 artículos encontrados sobre rendimiento aeróbico muestran mejores datos para pruebas PM (Tabla 2) (22,25,26,29,36).

Para las pruebas anaeróbicas los hallazgos muestran menor consenso al no haber siempre diferencias significativas AM y PM (28,31). Sin embargo, en general prima los mejores resultados (distancia recorrida, velocidad, potencia de salto, tiempo empleado...) PM, hacia las primeras horas de la tarde (Tabla 2) (22,29,32,34,36). Esto podría deberse a que en este tipo de *tests* lo más importante es la potencia y la fuerza del primer instante, por ello, que en series de varios saltos o *sprints*, se obtengan mejores resultados en las primeras repeticiones pero no en el resto de intentos (28,36–38). Esto podría estar relacionado con los niveles de glucógeno muscular, reserva energética fundamental en actividades de fuerza, los cuales se “agotan” rápidamente tras el esfuerzo inicial.

Aunque no es un objetivo como tal, cabe analizar los factores psicológicos de las escalas RPE y POMS. Estos factores comportamentales juegan un papel fundamental en el desempeño físico. Así, se estima que la mayor percepción del esfuerzo (escala RPE) se da por la tarde según avanza la hora del día, esto podría suponer un menor rendimiento, pero, no es así debido a que la vitalidad (escala POMS) también es superior PM (28,31). Además, se ha visto que el factor motivacional de las competiciones en comparación con las sesiones de entrenamiento también podría influir (25,35).

En cuanto a las limitaciones, la mayoría de los artículos incluidos para responder al objetivo 2, están realizados sobre atletas varones, únicamente dos de ellos cuentan con presencia femenina (25,33). Asimismo, la edad también limita la extrapolación de estos resultados a otros individuos, y es que, la mayoría de los estudios ($n = 7$) establece un rango de edad entorno a los 20 – 24 años, únicamente en dos estudios se superan los 30 años y solo son tres los realizados en menores. Cabe resaltar la dificultad de búsqueda de artículos con personas adultas con edades comprendidas entre los 40 – 65 años, colectivo en donde también sería interesante ver cómo afecta la hora del día a su vida cotidiana, más estudios son necesarios en este colectivo.

Para responder al objetivo 3 sobre cómo el cronotipo influye en la respuesta física según la hora del día en que se practique la actividad física, los resultados de los estudios incluidos ($n = 8$) no son claros ni concluyentes. Varios de ellos muestran no hallar diferencias significativas en los parámetros fisiológicos, aunque sí, en las variables psicológicas. Siendo los vespertinos fueron los más afectados por entrenar por la mañana, más que los matutinos PM (Tabla 3) (40,41,45,46). Además, son estos tipos los que más condicionan los resultados de deportes colectivos, con una tendencia favorable hacia las horas más avanzadas del día (44).

Para los resultados de pruebas físicas, en algunos estudios el rendimiento de matutinos fue mayor AM, y el de vespertinos PM (40,42,43). Aunque los matutinos también muestran mejores resultados PM (40,42). Lo que sí está claro, es que la hora cumbre de rendimiento

en matutinos es hacia las primeras horas de la tarde (40,42,43), situándose la de vespertinos hacia las últimas horas de la tarde (Tabla 3) (42–44).

Existen ciertas limitaciones en este aspecto, al ser escasos los estudios que se centran en estudiar los cronotipos intermedios, la mayoría de ellos comparan matutinos y vespertinos. Aun así, los tipos intermedios muestran mejores resultados deportivos por la tarde entre las 16 – 18:30 horas, franja horaria similar a la de matutinos (43,45).

Respecto al objetivo 4, son pocos los artículos científicos encontrados (n = 6) que comparen el rendimiento físico o deportivo según el tipo de deporte (aeróbico, anaeróbico, individual, colectivo) y las características de los atletas (profesionales, *amateurs*, género y edad), lo cual limita mucho la obtención de unas conclusiones.

Analizando el estudio con mayor factor de impacto, que relacionaba el nivel de actividad física con el género y la edad, muestra como en la adolescencia es más común el sedentarismo entre niños que entre niñas, aunque en ambos casos aumenta con la edad (47).

Para entrenamientos anaeróbicos, un estudio muestra ausencia de diferencias significativas en el rendimiento según la hora del día, es decir, la fuerza muscular es independiente del momento del día (24). Aunque, dependiendo de las características de los atletas sí puede haber variaciones, por ejemplo, un estudio llevado a cabo sobre deportistas femeninas sugiere que las profesionales pueden beneficiarse de realizar ejercicios de fuerza PM, mientras que, las *amateurs* lo harían AM (33). Otro estudio sobre género masculino, establece que los *amateurs* también obtendrían buenas puntuaciones PM (36). Sin embargo, estos dos estudios tienen un menor JCR, por lo tanto, se puede decir que el nivel de fuerza no se relaciona con la hora del día.

Para el caso de deportes aeróbicos los resultados deportivos son mejores PM (36), resalta lo encontrado en un estudio realizado sobre maratonianos con mejores tiempos de carrera de media maratón AM (6:30 horas), esto se puede explicar por el cronotipo de los participantes, al ser matutinos se prefiere hacer actividad a primeras horas de la mañana (30). Pero, otro estudio que comparaba los efectos de un entrenamiento de fuerza y resistencia durante 24 semanas según la hora del día, siendo AM de 6:30 – 10 horas, resultó ser también mejor la capacidad aeróbica a estas horas de la mañana para todos los grupos durante las primeras 12 semanas, pero también lo fue PM (16:30 – 20 horas) (Tabla 4) (24).

A nivel de deportes de equipo, la hora del día en que se disputen los partidos influye en la obtención de un buen resultado, ahora bien, a más individuos con cronotipo vespertino a una hora más tarde se producirá el pico del rendimiento. De ahí, la importancia de conocer el cronotipo que presentan los atletas que conforman un equipo. La obtención de un buen resultado parece ser que sí está ligado a la hora del día (44).

7. Aplicabilidad y nuevas líneas de investigación.

Este estudio permite conocer cuál es la hora del día más adecuada para cada individuo para realizar actividad física, entrenadores y atletas pueden aplicar los resultados de estudio a la práctica deportiva diaria, así, en deporte aeróbicos realizar ejercicio por la tarde sería lo más aconsejable. Pero, para los anaeróbicos el momento del día no influye demasiado.

Además, según el tipo de cronotipo, en modalidades individuales, los vespertinos se benefician de practicar deporte a últimas horas de la tarde, al igual que en deportes de equipo donde son mayoría. Mientras que, la hora indicada para matutinos y moderados es en las primeras horas de la tarde.

Dada la escasez de estudios que incluyen al género femenino en edades adultas, las nuevas líneas de investigación se plantean entorno a averiguar, cómo la hora del día influye en los resultados físicos de mujeres practicantes de deportes de resistencia.

Diseño y tipo de estudio.

Se plantea un estudio experimental sobre población adulta femenina deportista *amateur* para investigar cómo afecta practicar deporte según el cronotipo individual y la hora del día.

Protocolo experimental.

Las participantes según el deporte que realicen deben completar las siguientes distancias: 800 metros estilo libre en natación, 7 km carrera, 10 km ciclismo y 5 km andar. En tres sesiones diferentes con hora de inicio: 8:00, 17:00 y 19:00 horas. Se registra el tiempo que tardan en alcanzar la distancia marcada. Cada participante tiene que realizar un total de 10 sesiones (3 sesiones semanales). De forma que:

- Cronotipo matutino: 5 sesiones 17 horas y 5 sesiones 19 horas.
- Cronotipo intermedio: 5 sesiones 17 horas y 5 sesiones 19 horas.
- Cronotipo vespertino: 5 sesiones 17 horas y 5 sesiones 8 horas.

Población diana.

Se escogerá una muestra poblacional representativa de mujeres que habiten en territorio español de edades entre los 30 – 50 años, que afirmen realizar actividad física recreacional (*amateur*) de forma habitual, bien sea, mínimo de 2 días semanales con 1 hora diaria de una de las siguientes actividades deportivas: natación, ciclismo y correr; o mínimo de 3 días semanales con 1 hora diaria de andar (entorno a 100 pasos por minuto).

Sistema de recogida de datos.

Se registrarán los tiempos empleados en completar las distancias marcadas en el protocolo experimental. Los datos se recogerán en un documento *Excel* de forma anónima para garantizar la privacidad de las participantes.

VARIABLES DE ESTUDIO.

- Dependientes.
 - Género: Femenino.
 - Edad: 30 – 50 años.
 - Cronotipo según los resultados del cuestionario AutoMEQ (48).
 - Matutino extremo: 86 – 70.
 - Matutino moderado: 69 – 59.
 - Intermedio: 58 – 42.
 - Vespertino moderado: 41 – 31.
 - Vespertino extremo: 30 – 16.
 - Tipo de deporte: Andar, natación, correr y ciclismo.
- Independientes.
 - Hora del día de actividad: 8:00, 17:00 y 19:00 horas.
 - Nivel de actividad: Minutos/distancia recorrida.

Análisis de datos.

Se usará el programa informático SPSS para realizar el análisis estadístico con las pruebas de correlación para averiguar la relación entre la edad y los valores obtenidos del AutoMEQ y, para analizar la relación entre la edad y el nivel de actividad. Asimismo se empleará la prueba ANOVA (con la premisa que son distribuciones paramétricas) para comparar la media del nivel de actividad según el tipo de deporte, para comparar la media del nivel de actividad según el cronotipo y para comparar la media del nivel de actividad de cada cronotipo y cada deporte según la hora del día.

Consideraciones éticas.

Los métodos usados para el desarrollo de este estudio cumplen con los criterios éticos recogidos en la Declaración de Helsinki para la experimentación en humanos, y están aprobados por el Comité Ético de Experimentación de la Universidad de Sevilla.

8. Conclusiones.

1. La temperatura corporal está muy relacionada con el rendimiento físico, el pico en la temperatura coincide con el momento de mayor actividad, que es entre las 17 – 18 horas.
2. La hipertrofia muscular es mayor por la tarde por el incremento de hormonas como la IGFBP-3.
3. La hora del día influye más en los resultados deportivos que el día de la semana que se haga la actividad física.
4. El momento del día óptimo para realizar cualquier ejercicio físico según los ritmos circadianos es entre las 16:30 – 18:30 horas.
5. Se debe valorar el factor motivacional de las competiciones, al poder modificarse el rendimiento deportivo independientemente de la hora del día que se dispute la competición.
6. Los individuos con cronotipo vespertino son los más afectados por practicar deporte fuera de su hora óptima.
7. Los individuos con cronotipo vespertino son los que más influyen en los resultados del equipo, a un mayor número de estos a una hora más avanzada se producirá el mejor desempeño físico.
8. El momento más adecuado para realizar actividad física para matutinos es hacia las primeras horas de la tarde, y para vespertinos hacia las últimas horas de la tarde.
9. En ejercicios de fuerza la hora del día no influye demasiado en el rendimiento físico. Pero, en actividades aeróbicas los mejores resultados se obtienen por la tarde.
10. Se debe tener en cuenta el cronotipo de los atletas que forman los equipos deportivos para conocer cuál es el mejor momento del día para realizar los entrenamientos, y valorar la cantidad de individuos vespertinos, por ser los que más condicionan al equipo.

9. Bibliografía.

1. Postolache TT, Gulati A, Okusaga OO, Stiller JW. An Introduction to Circadian Endocrine Physiology: Implications for Exercise and Sports Performance. In: Hackney A., Constantini N. (eds) *Endocrinology of Physical Activity and Sport. Contemporary Endocrinology*. Humana, Cham. 2020. p. 363–90.
2. Vitale JA, Weydahl A. Chronotype, Physical Activity, and Sport Performance: A Systematic Review. *Sport Med*. 2017;47:1859–68.
3. Vitosevic B. The circadian clock and human athletic performance. *Nat Sci*. 2017;7(1):1–7.
4. Bellastella G, De Bellis A, Maiorino MI, Paglionico VA, Esposito K, Bellastella A. Endocrine rhythms and sport: it is time to take time into account. *J Endocrinol Invest*. 2019;42:1137–47.
5. Roden L, Rudner T, Rae D. Impact of chronotype on athletic performance: current perspectives. *ChronoPhysiology Ther*. 2017;7:1–6.
6. Aoyama S, Shibata S. Time-of-Day-Dependent Physiological Responses to Meal and Exercise. *Front Nutr*. 2020;7(18):1–12.
7. Mirizio GG, Nunes RSM, Vargas DA, Foster C, Vieira E. Time-of-Day Effects on Short-Duration Maximal Exercise Performance. *Sci Rep*. 2020;10(9485):1–17.
8. Sabzevari Rad R, Mahmoodzadeh Hosseini H, Shirvani H. Circadian rhythm effect on military physical fitness and field training: a narrative review. *Sport Sci Health*. 2020;
9. Hower IM, Harper SA, Buford TW. Circadian rhythms, exercise, and cardiovascular health. *J Circadian Rhythms*. 2018;16(1)(7):1–8.
10. Douma LG, Gumz ML. Circadian clock-mediated regulation of blood pressure. *Free Radic Biol Med*. 2018;119:108–14.
11. Serin Y, Acar Tek N. Effect of Circadian Rhythm on Metabolic Processes and the Regulation of Energy Balance. *Ann Nutr Metab*. 2019;74:322–30.
12. Coiffard B, Diallo AB, Mezouar S, Leone M, Mege J-L. A tangled Threesome: Circadian Rhythms, Body Temperature Variations, and the Immune System. *Biology (Basel)*. 2021;10(65):1–16.

13. Kantermann T, Forstner S, Halle M, Schlangen L, Roenneberg T, Schmidt-Trucksäss A. The stimulating effect of bright light on physical performance depends on internal time. *PLoS One*. 2012;7(7):1–7.
14. Ruddick-Collins LC, Johnston JD, Morgan PJ, Johnstone AM. The Big Breakfast Study: Chrono-nutrition influence on energy expenditure and bodyweight. *Nutr Bull*. 2018;43:174–83.
15. Ruddick-Collins LC, Morgan PJ, Johnstone AM. Mealtime: A circadian disruptor and determinant of energy balance? *J Neuroendocrinol*. 2020;32:1–18.
16. Pickel L, Sung HK. Feeding Rhythms and the Circadian Regulation of Metabolism. *Front Nutr*. 2020;7(39):1–20.
17. Teo W, Newton MJ, McGuigan MR. Circadian rhythms in exercise performance: Implications for hormonal and muscular adaptation. *J Sport Sci Med*. 2011;10:600–6.
18. Shibata S, Tahara Y. Circadian rhythm and exercise. *J Phys Fit Sport Med*. 2014;3(1):65–72.
19. Science for Sport. Performance Testing - Science for Sport [Internet]. 2020 [cited 2020 Dec 19]. Available from: <https://www.scienceforsport.com/performance-testing-articles/>
20. Gil-Moreno-De-Mora G, Palmi Guerrero J, Prat-Subirana JA. Valoración de la percepción subjetiva de la fatiga en motoristas de competición Rally-Raid Dakar. *Acción Psicológica*. 2017;14(1):93–104.
21. Pullinger SA, Oksa J, Clark LF, Guyatt JWF, Newlove A, Burniston JG, et al. Diurnal variation in repeated sprint performance cannot be offset when rectal and muscle temperatures are at optimal levels (38.5°C). *Chronobiol Int*. 2018;35(8):1054–65.
22. Aloui K, Abdelmalek S, Chtourou H, Wong DP, Boussetta N, Souissi N. Effects of time-of-day on oxidative stress, cardiovascular parameters, biochemical markers, and hormonal response following level-1 Yo-Yo intermittent recovery test. *Physiol Int*. 2017;104(1):77–90.
23. Burley SD, Whittingham-Dowd J, Allen J, Grosset JF, Onambele-Pearson GL. The differential hormonal milieu of morning versus evening may have an impact on muscle Hypertrophic Potential. *PLoS One*. 2016;11(9):1–14.

24. K usmaa M, Schumann M, Sedliak M, Kraemer WJ, Newton RU, Malinen JP, et al. Effects of morning versus evening combined strength and endurance training on physical performance, muscle hypertrophy, and serum hormone concentrations. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2016;41(12):1285–94.
25. Lok R, Zerbini G, Gordijn MCM, Beersma DGM, Hut RA. Gold, silver or bronze: circadian variation strongly affects performance in Olympic athletes. *Sci Rep.* 2020;10(16088):1–6.
26. Silveira A, Alves F, Teixeira AM, Rama L. Chronobiological Effects on Mountain Biking Performance. *Int J Environ Res Public Health.* 2020;17(6458):1–9.
27. Knaier R, Infanger D, Cajochen C, Schmidt-Trucksass A, Faude O, Roth R. Diurnal and day-to-day variations in isometric and isokinetic strength. *Chronobiol Int.* 2019;36(11):1537–49.
28. Chtourou H, Engel FA, Fakhfakh H, Fakhfakh H, Hammouda O, Ammar A, et al. Diurnal variation of short-term repetitive maximal performance and psychological variables in elite judo athletes. *Front Physiol.* 2018;9(1499):1–7.
29. López-Samanes  , Moreno-Pérez D, Mat -Muñoz JL, Domínguez R, Pallar s JG, Mora-Rodríguez R, et al. Circadian rhythm effect on physical tennis performance in trained male players. *J Sports Sci.* 2016;35(21):2121–8.
30. Henst RHP, Jaspers RT, Roden LC, Rae DE. A chronotype comparison of South African and Dutch marathon runners: The role of scheduled race start times and effects on performance. *Chronobiol Int.* 2015;32(6):858–68.
31. Kunorozva L, Roden LC, Rae DE. Perception of effort in morning-type cyclists is lower when exercising in the morning. *J Sports Sci.* 2014;32(10):917–25.
32. West DJ, Cook CJ, Beaven MC, Kilduff LP. The influence of the time of day on core temperature and lower body power output in elite rugby union seven players. *J strength Cond Res.* 2014;28(6):1524–8.
33. di Cagno A, Battaglia C, Giombini A, Piazza M, Fiorilli G, Calcagno G, et al. Time of day - Effects on motor coordination and reactive strength in elite athletes and untrained adolescents. *J Sport Sci Med.* 2013;12:182–9.
34. Petit E, Bourdin H, Mougin F, Tio G, Haffen E. Time-of-day effects on psychomotor and physical performances in highly trained cyclists. *Percept Mot Skills.* 2013;117:376–88.

35. Smith RS, Efron B, Mah CD, Malhotra A. The impact of circadian misalignment on athletic performance in professional football players. *Sleep*. 2013;36(12):1999–2001.
36. Chtourou H, Hammouda O, Souissi H, Chamari K, Chaouachi A, Souissi N. Diurnal variations in physical performances related to football in young soccer players. *Asian J Sports Med*. 2012;3(3):139–44.
37. Zarrouk N, Chtourou H, Rebai H, Hammouda O, Souissi N, Dogui M, et al. Time of day effects on repeated sprint ability. *Int J Sports Med*. 2012;33:975–80.
38. Lericollais R, Gauthier A, Bessot N, Davenne D. Diurnal evolution of cycling biomechanical parameters during a 60-s Wingate test. *Scand J Med Sci Sport*. 2011;21:106–14.
39. Mulè A, Castelli L, Galasso L, Bruno E, Roveda E, Caumo A, et al. Circadian Tipology and physical performance in adolescent soccer players. 2018;1(2007):2018.
40. Roveda E, Mulè A, Galasso L, Castelli L, Scurati R, Michielon G, et al. Effect of chronotype on motor skills specific to soccer in adolescent players. *Chronobiol Int*. 2020;37(4):552–63.
41. Anderson A, Murray G, Herlihy M, Weiss C, King J, Hutchinson E, et al. Circadian effects on performance and effort in collegiate swimmers. *J Circadian Rhythms*. 2018;16(1):1–9.
42. Facer-Childs ER, Boling S, Blanos GM. The effects of time of day on cognitive and physical performance in healthy volunteers. *Sport Med*. 2018;4(47):1–12.
43. Facer-Childs E, Brandstaetter R. The impact of circadian phenotype and time since awakening on diurnal performance in athletes. *Curr Biol*. 2015;25:518–22.
44. Facer-Childs E, Brandstaetter R. Circadian phenotype composition is a major predictor of diurnal physical performance in teams. *Front Neurol*. 2015;6:1–11.
45. Rae DE, Stephenson KJ, Roden LC. Factors to consider when assessing diurnal variation in sports performance: the influence of chronotype and habitual training time-of-day. *Eur J Appl Physiol*. 2015;115:1339–49.
46. Rossi A, Formenti D, Vitale JA, Calogiuri G, Weydahl A. The effect of chronotype on psychophysiological responses during aerobic self-paced exercises. *Percept Mot Skills*. 2015;121(3):840–55.

47. Merikanto I, Kuula L, Lahti J, Räikkönen K, Pesonen AK. Eveningness associates with lower physical activity from pre- to late adolescence. *Sleep Med.* 2020;74:189–98.
48. Horne JA, Ostberg O. A self assessment questionnaire to determine Morningness Eveningness in human circadian rhythms. *Int J Chronobiol.* 1976;4:97–110.