Efecto de las Fases del Ciclo Menstrual sobre el Rendimiento Deportivo, la Oxidación de Sustratos Energéticos y las Diferentes Necesidades en las Mujeres en las Estrategias de Hidratación Deportiva



Investigaciones Feministas



https://www.inmujeres.gob.es/areasTematicas/AreaEstudiosInvestigacion/InvestigacionesFeministas.htm

Efecto de las Fases del Ciclo Menstrual sobre el Rendimiento Deportivo, la Oxidación de Sustratos Energéticos y las Diferentes Necesidades en las Mujeres en las Estrategias de Hidratación Deportiva

Equipo de Autoría:

Juan Del Coso Garrigós (*Universidad Rey Juan Carlos, URJC; Coordinador*)

Beatriz Lara López (*Universidad Camilo José Cela, UCJC; Colaboradora*)

Ester Jiménez Ormeño (*Universidad Autónoma de Madrid, UAM; Colaboradora*)

Verónica Giráldez Costas (*UCJC; Colaboradora*)

María Mendoza Muñoz (*Universidad Loyola; Colaboradora*)

Blanca Romero Moraleda (*UAM; Colaboradora*)

Aleksandra Filip-Stachnick (*Jerzy Kukuczka Academy, Katowice, Polonia; Colaboradora*)

Arturo Casado Alda (*URJC; Colaborador*)

Daniel Collado Mateo (*URJC; Colaborador*)

Christel García Ortiz (*URJC; Contratada con cargo al proyecto*)

2026, 1ª ed.

Edita
Subdirección General de Estudios, Estadísticas y Cooperación
Instituto de las Mujeres
Subsecretaría de Estado de Igualdad y para la Erradicación de la Violencia contra las Mujeres

eNIPO: 050-26-050-7

El Instituto de las Mujeres no se hace responsable de las opiniones expresadas en esta investigación ni de los resultados obtenidos en la misma.

Catálogo de publicaciones de la Administración General del Estado
https://cpage.mpr.gob.es

Efecto de las Fases del Ciclo Menstrual sobre el Rendimiento Deportivo, la Oxidación de Sustratos Energéticos y las Diferentes Necesidades en las Mujeres en las Estrategias de Hidratación Deportiva

CONTENIDOS

Prólogo **2**

Introducción **4**

Marco Teórico **6**

Hipótesis **9**

Variables 9
Estudio 1: Ejercicio de fuerza 10
Variables dependientes *10*
Hipótesis *10*
Estudio 2: Ejercicio aeróbico y metabolismo energético 10
Variables dependientes *11*
Hipótesis *11*
Hipótesis y objetivos específicos del Estudio 2B: Termorregulación e hidratación deportiva *11*

Objetivos **13**

Objetivo general del proyecto 13
Objetivos específicos relacionados con la igualdad 13
Objetivos específicos por estudio 13
Estudio 1 *13*
Estudio 2 *13*

Temporalización y fases de la investigación **14**

Metodología y fuentes **16**

Identificación de las fases del ciclo menstrual 18
Metodología de medición de variables de sudoración 19
Fuentes de información utilizadas 19
Adecuación de la metodología y las fuentes 20

Resultados **21**

Estudio 1: Ejercicio de fuerza 21
Valores de velocidad de ejecución *21*
Valores de potencia *29*
Sentadilla (half-squat) 29
Press de banca (bench press) 29
Peso muerto (deadlift) 30
Remo (Row) 30
Estudio 2: Ejercicio aeróbico 31
Variables metabólicas *31*
Variables ventilatorias *36*
Frecuencia cardiaca *38*
Síntomas menstruales *42*
Cuestionario MSQ adaptado (aeróbico ciclismo) 42
Cuestionario MSQ chino (aeróbico carrera) 44
Variables del Estudio 2B relacionadas con termorregulación *47*
Resultados presentados en Eventos de difusión *50*

Conclusiones y prospectiva **51**

Conclusiones específicas del Estudio 1: Entrenamiento de fuerza 51
Conclusiones específicas del Estudio 2: Metabolismo energético durante el ejercicio aeróbico 52
Conclusiones específicas del Estudio 2B: Termorregulación, balance hídrico y electrolitos durante el ejercicio aeróbico 53
Respuestas cardiovasculares, perceptivas y sintomatología menstrual 54
Implicaciones prácticas y acciones recomendadas 55
Futuras líneas de investigación derivadas de este proyecto 56
Conclusión final 57

Bibliografía **60**

Índice de Figuras

Figura 1. Diseño del Estudio 1. 16

Figura 2. Diseño del Estudio 2. Prueba de ciclismo de 60 minutos a intensidad. 17

Figura 3. .Prueba de carrera de 60 minutos en cinda rodante a intensidad. 17

Figura 4. Procedimiento experimental para la recogida y análisis de electrolitos en sudor mediante técnica de parche absorbente durante el ejercicio de carrera (estudio 2B). 18

Figura 5. Sentadilla (half-squat). Velocidad media (mean velocity). 21

Figura 6. Press de banca (Bench Press). Velocidad media (mean velocity). 22

Figura 7. Peso Muerto (Deadlift). Velocidad media (mean velocity). 23

Figura 8. Remo (Row). Velocidad media (mean velocity). 24

Figura 9. Sentadilla (half-squat). Velocidad pico (peak velocity) 25

Figura 10. Press de banca (bench press). Velocidad pico (peak velocity) 26

Figura 11. Peso muerto (deadlift). Velocidad pico (peak velocity) 27

Figura 12. Remo (row). Velocidad pico (peak velocity) 28

Figura 13. Evolución de la oxidación de grasa (fat oxidation, g/min) a lo largo del ejercicio de ciclismo, diferenciando tres fases del ciclo menstrual: fase folicular temprana (early follicular), fase periovulatoria (peri-ovulatory) y fase lútea media (mid-luteal). 32

Figura 14. Evolución de la oxidación de carbohidratos (CHO oxidation, g/min) a lo largo del ejercicio de ciclismo, diferenciando tres fases del ciclo menstrual: fase folicular temprana (early follicular), fase periovulatoria (peri-ovulatory) y fase lútea media (mid-luteal). 32

Figura 15. Evolución de la energía consumida (energy expenditure, kcal/min) a lo largo del ejercicio de ciclismo, diferenciando tres fases del ciclo menstrual: fase folicular temprana (early follicular), fase periovulatoria (peri-ovulatory) y fase lútea media (mid-luteal). 33

Figura 16. Evolución de la oxidación de grasa (fat oxidation, g/min) a lo largo del ejercicio de carrera, diferenciando tres fases del ciclo menstrual: fase folicular temprana (early follicular), fase periovulatoria (peri-ovulatory) y fase lútea media (mid-luteal). 34

Figura 17. Evolución de la oxidación de carbohidratos (CHO oxidation, g/min) a lo largo del ejercicio de carrera, diferenciando tres fases del ciclo menstrual: fase folicular temprana (early follicular), fase periovulatoria (peri-ovulatory) y fase lútea media (mid-luteal). 35

Figura 18. Evolución de la energía consumida (energy expenditure, kcal/min) a lo largo del ejercicio de carrera, diferenciando tres fases del ciclo menstrual: fase folicular temprana (early follicular), fase periovulatoria (peri-ovulatory) y fase lútea media (mid-luteal). 36

Figura 20. Evolución de la frecuencia cardiaca (heart rate, bpm) a lo largo del ejercicio de carrera, diferenciando tres fases del ciclo menstrual: fase folicular temprana (early follicular), fase periovulatoria (peri-ovulatory) y fase lútea media (mid-luteal). 39

Figura 21. Evolución de la percepción del esfuerzo (RPE, escala de Borg 6-20) a lo largo del ejercicio de ciclismo, diferenciando tres fases del ciclo menstrual: fase folicular temprana (early follicular), fase periovulatoria (peri-ovulatory) y fase lútea media (mid-luteal). 40

Figura 22. Valoración media del esfuerzo percibido (RPE), medida mediante la escala de Borg 6-20, durante un ejercicio de una hora de carrera, en tres fases del ciclo menstrual: fase folicular temprana (early follicular), fase periovulatoria (peri-ovulatory) y fase lútea media (mid-luteal). 41

Figura 23. Puntuación total de los síntomas menstruales expresada en unidades arbitrarias (a.u.) en tres fases del ciclo menstrual: fase folicular temprana (early follicular), fase periovulatoria (peri-ovulatory) y fase lútea media (mid-luteal). 46

Figura 24. Tasa de sudoración (sweat rate, L/h) durante el ejercicio de carrera en tres fases del ciclo menstrual: fase folicular temprana (early follicular), fase periovulatoria (peri-ovulatory) y fase lútea media (mid-luteal). 47

Figura 25. Porcentaje de deshidratación asociado a la tasa de sudoración durante el ejercicio de carrera en tres fases del ciclo menstrual: fase folicular temprana (early follicular), fase periovulatoria (peri-ovulatory) y fase lútea media (mid-luteal). 48

Figura 26. Pérdida total de sodio (Na^+) durante el ejercicio de carrera, expresada en mmol/h, en tres fases del ciclo menstrual: fase folicular temprana (early follicular), fase periovulatoria (peri-ovulatory) y fase lútea media (mid-luteal). 49

Índice de Tablas

Tabla 1.Temporalización de las investigaciones 14

Tabla 2. Resultados del análisis de la varianza de medidas repetidas (ANOVA) y de las comparaciones post hoc por pares para las variables de potencia media y pico (W) a lo largo de las distintas fases del ciclo menstrual (folicular, periovulatoria y lútea) en cada uno de los ejercicios analizados. 29

Tabla 3. Variables analizadas. 36

Figura 19. Evolución de la frecuencia cardiaca (heart rate, bpm) a lo largo del ejercicio de ciclismo, diferenciando tres fases del ciclo menstrual: fase folicular temprana (early follicular), fase periovulatoria (peri-ovulatory) y fase lútea media (mid-luteal). 38

Tabla 4. Intensidad percibida de distintos síntomas físicos y emocionales (expresados en unidades arbitrarias, a.u.) a lo largo de tres fases del ciclo menstrual: fase folicular temprana, fase periovulatoria y fase lútea media. 42

Tabla 5 (provisional). Intensidad percibida de distintos síntomas físicos y emocionales (expresados en unidades arbitrarias, a.u.) a lo largo de tres fases del ciclo menstrual: fase folicular temprana, fase periovulatoria y fase lútea media. 44

Tabla 6 . Respuestas termorreguladoras y perceptivas durante el ejercicio de carrera en tres fases del ciclo menstrual (fase folicular temprana, fase periovulatoria y fase lútea media), expresadas como medias marginales estimadas con su intervalo de confianza del 95 % (IC 95 %). 49

Efecto de las Fases del Ciclo Menstrual sobre el Rendimiento Deportivo, la Oxidación de Sustratos Energéticos y las Diferentes Necesidades en las Mujeres en las Estrategias de Hidratación Deportiva

PRÓLOGO

La publicación que tienes en tus manos ha sido posible gracias a **la línea de subvenciones para investigaciones feministas impulsada por el Instituto de las Mujeres para promover la investigación universitaria sobre la situación de las mujeres en distintas áreas y ámbitos**. Comenzaron en 1984, apenas seis meses después de la creación del Instituto, lo que las convierte en una de las actividades anuales[1] con más recorrido y solvencia de esta Institución.

Año tras año, esta convocatoria cumple con uno de los mandatos normativos que recibió el Instituto desde su creación: "*elaborar informes, estudios y recomendaciones sobre las mujeres en España y sobre materias que afecten a la igualdad de género*"[2]. A su vez, sigue impulsando y apoyando la investigación y los proyectos desarrollados en colaboración con **las universidades públicas**, ya que, **como principales transmisoras del conocimiento en todas las áreas científicas y en el conjunto de ámbitos profesionales, tienen el mandado de impulsar, promover e integrar el principio de igualdad y no discriminación en la sociedad**[3].

El elevado número de proyectos solicitados evidencia un interés creciente en las **investigaciones que sitúan el enfoque de género y la perspectiva interseccional en su eje central**, convirtiéndolo en la hoja de ruta de aquellos equipos de investigación que analizan el impacto de la desigualdad en sus diversos campos de estudio. La pluralidad de solicitudes pone de manifiesto la creciente conciencia entre los equipos de investigación de que la implementación de modelos más sostenibles y beneficiosos para el conjunto de la sociedad requiere del impulso de la equidad y la igualdad. Sin embargo, **para atender esta demanda es fundamental contar con recursos tanto humanos como económicos que permitan hacer realidad el desarrollo de estos proyectos**.

Estas **investigaciones feministas** constituyen un **acervo de conocimiento** que transmite **lecciones aprendidas y buenas prácticas para inspirar nuevos proyectos** en otros contextos que puedan beneficiarse del desarrollo de aquellas propuestas que incorporan el **enfoque de género de manera transversal y sotenida durante todo el proceso** (composición del equipo investigador; planteamiento y fundamentación inicial; metodología y trabajo de campo; presentación de resultados y conclusiones…). De este modo, el desarrollo de estas investigaciones permite *tejer redes, alianzas y prácticas feministas que buscan superar las brechas de género, refuerzan la participación de las mujeres en todos los ámbitos de la sociedad y tranforman el mandato de la masculinidad hegemónica en un modelo sostenible de convivencia democrática en igualdad*.

Además, conscientes de la realidad patriarcal que tradicionalmente ha lastrado el comienzo de la carrera investigadora de las mujeres en el ámbito universitario, **mediante**

1 Excepto en 1986 y durante el periodo 2013-2021.

2 Artículo 3.f) de la Ley 16/1983, de 24 de octubre, de creación del Organismo Autónomo Instituto de la Mujer, BOE núm. 256, de 26/10/1983, https://www.boe.es/eli/es/l/1983/10/24/16/con. El organismo cambió su denominaciónj a **Instituto de las Mujeres** de acuerdo con la disposición adicional final 4.1 de la Ley 11/2020, de 30 de diciembre, de Presupuestos Generales del Estado para el año 2021, BOE núm. 341, de 31/12/2020, https://www.boe.es/eli/es/l/2020/12/30/11/con [Bloque 346: #df-5].

3 Recogiendo los principios de igualdad ya presentes en la Ley Orgánica 6/2001, de 21 de diciembre, de Universidades (BOE núm. 307, de 24/12/2002, https://www.boe.es/eli/es/lo/2001/12/21/6/con), la actual Ley Orgánica 2(2023, de 22 de marzo, del Sistema Universitario (BOE núm. 70, de 23/03/2023, https://www.boe.es/eli/es/lo/2023/03/22/2/con) **reconoce el principio de igualdad como uno de los pilares sobre los que construir "el desarrollo económico, científico y técnológico de nuestra sociedad"**. Reitera su importancia para abordar los "momentos de mergencia climática" que estamos atravesando y subraya cómo "**la comunidad universitaria ha constituido a través de la historia un espacio de libertad intelectual, de espíritu crítico, de tolerancia, de diálogo, de debate, de afirmación de valores éticos y humanistas, de aprendizaje del respeto al medio ambiente y de preservación y creación cultural, abierto a la diversidad de expresiones del espíritu humano**".

esta convocatoria, el Instituto de las Mujeres alienta e impulsa la formación de jóvenes investigadoras, animándolas a formar parte de equipos de investigación interseccionales e interuniversitarios cuyos proyectos reviertan tanto en la sociedad como en el territorio que habitamos, transitamos y forma parte de nuestras vidas. Así, la incorporación de las mujeres jóvenes a la investigación académica, junto a perfiles de otras generaciones, permite vertebrar tanto la producción científica como la indagación teórica integrando una polifonía de voces y perspectivas capaces de impulsar avances en materia de igualdad.

Los rigurosos análisis llevados a cabo en estas investigaciones feministas ofrecen un diagnóstico claro de la realidad que nos rodea, recopilando y sistematizando datos cualitativos y cuantitativos que resultan esenciales para trazar e impulsar políticas de igualdad. Por ello, **el Instituto de las Mujeres sigue impulsando las investigaciones feministas como una herramienta democrática indispensable para impulsar la transformación social necesaria para lograr la igualdad real y efectiva**[4].

Subdirección General de Estudios y Cooperación
Instituto de las Mujeres

4 https://www.inmujeres.gob.es/areasTematicas/AreaEstudiosInvestigacion/InvestigacionesFeministas.htm

INTRODUCCIÓN

La participación de las mujeres en el deporte ha experimentado una evolución notable a lo largo del último siglo, especialmente en el contexto del deporte competitivo y de alto rendimiento. Un claro indicador de este *avance es el aumento progresivo de la representación femenina en los Juegos Olímpicos*, que ha pasado de un 10,5 % de mujeres participantes en los Juegos de Helsinki de 1952 a un 48,8 % en los Juegos Olímpicos de Tokio 2021 (Elliott-Sale et al., 2021). Este crecimiento refleja no solo un cambio social y cultural, sino también una *mayor profesionalización del deporte femenino y un incremento de las exigencias físicas, técnicas y fisiológicas a las que se enfrentan las deportistas*.

Paralelamente a este aumento de la participación femenina, las ciencias del deporte han experimentado un desarrollo exponencial, con un crecimiento sostenido del número de publicaciones científicas en áreas como el entrenamiento, la fisiología del ejercicio, la nutrición deportiva y el rendimiento. Sin embargo, este progreso no ha sido equitativo en términos de representación de género. *A pesar del creciente interés por el deporte femenino, la mayoría de los estudios siguen realizándose en poblaciones masculinas, lo que genera un sesgo estructural en el conocimiento científico disponible* (Cowley et al., 2021). De hecho, se estima que menos del 40 % de los estudios en ciencias de la actividad física y del deporte incluyen mujeres como participantes (Costello et al., 2014).

Esta infrarrepresentación resulta especialmente problemática si se consideran las claras *diferencias anatómicas, fisiológicas y endocrinas* existentes entre mujeres y hombres. Más allá de las diferencias morfológicas, la fisiología femenina se caracteriza por la presencia del ciclo menstrual, un proceso biológico exclusivo de las mujeres que conlleva fluctuaciones hormonales periódicas y potencialmente influyentes sobre múltiples sistemas fisiológicos. En este sentido, *extrapolar de forma directa los hallazgos obtenidos en hombres a mujeres deportistas sin considerar estas particularidades puede conducir a interpretaciones erróneas y a estrategias de entrenamiento, nutrición e hidratación subóptimas* (Cowley et al., 2021).

Uno de los principales motivos que históricamente ha justificado la exclusión de mujeres en los estudios de ciencias del deporte es la variabilidad asociada al ciclo menstrual. *La fluctuación cíclica de las concentraciones de estrógeno y progesterona ha sido considerada un factor de confusión metodológico que dificulta la estandarización de los protocolos experimentales*, ya que implicaría evaluar a las participantes siempre en la misma fase del ciclo menstrual (Meignié et al., 2021). Como consecuencia, muchos estudios han optado por excluir a mujeres o evaluarlas únicamente durante la fase folicular temprana, cuando las concentraciones hormonales son más bajas y estables. De este modo, esta estrategia metodológica ha contribuido a perpetuar el desconocimiento sobre la verdadera influencia del ciclo menstrual en el rendimiento físico, el metabolismo energético y las respuestas fisiológicas al ejercicio. *Revisiones recientes recomiendan adoptar un enfoque individualizado en el tratamiento y análisis de las deportistas, teniendo en cuenta su respuesta específica al ejercicio a lo largo del ciclo menstrual* (McNulty et al., 2020). Un mayor conocimiento de estos cambios cíclicos no solo permitiría *optimizar el rendimiento deportivo*, sino que también podría contribuir a *fomentar la participación de las mujeres y reducir las desigualdades de género tanto en la práctica deportiva como en la investigación científica* (Bruinvels et al., 2017; Emmonds et al., 2019).

En los últimos años, el interés científico por analizar el efecto del ciclo menstrual sobre el rendimiento físico deportivo ha aumentado de forma considerable (Meignié et al., 2021). A pesar de ello, la evidencia disponible sigue siendo limitada y, en muchos casos, poco concluyente. En relación con la producción de fuerza muscular, los estudios existentes muestran resultados dispares, sin que se haya alcanzado un consenso claro sobre la exis-

tencia de diferencias significativas entre las distintas fases del ciclo menstrual (McNulty et al., 2020).

Diversos mecanismos fisiológicos han sido propuestos para explicar una posible variación del rendimiento a lo largo del ciclo menstrual, entre ellos cambios en la activación neuromuscular, alteraciones en el metabolismo de los sustratos energéticos, modificaciones en la termorregulación, variaciones en la composición corporal y cambios en la rigidez de las estructuras pasivas del sistema musculoesquelético (Carmichael et al., 2021; McNulty et al., 2020). Sin embargo, la magnitud y la dirección de estos efectos siguen siendo objeto de debate en la literatura científica.

Más allá del *rendimiento neuromuscular*, el *metabolismo energético* constituye un factor clave en la capacidad de sostener el ejercicio, especialmente en disciplinas de resistencia. Los carbohidratos y las grasas son las principales fuentes de energía para la contracción muscular, y su contribución relativa depende de la intensidad y la duración del ejercicio, así como de variables individuales como la edad, la dieta, el nivel de actividad física, la masa corporal y el sexo (Jeukendrup & Wallis, 2005). *En mujeres, se ha planteado que las fluctuaciones hormonales del ciclo menstrual podrían influir de manera específica en la oxidación de estos sustratos, lo que tendría implicaciones directas sobre el rendimiento y la planificación del entrenamiento*.

Asimismo, *las respuestas termorreguladoras y las necesidades de hidratación durante el ejercicio podrían verse modificadas por el ciclo menstrual*. Las fluctuaciones hormonales pueden alterar la temperatura corporal basal, la sudoración, el flujo sanguíneo cutáneo y la regulación del equilibrio hidroelectrolítico, factores todos ellos determinantes para el rendimiento y la seguridad durante la práctica deportiva (Nguyen et al., 2024; Niu & Goto, 2024). A pesar de su relevancia, estos aspectos han sido poco explorados, y los resultados disponibles son inconsistentes.

En este contexto, *resulta necesario desarrollar investigaciones que analicen de forma integrada el efecto de las fases del ciclo menstrual sobre el rendimiento deportivo*, la oxidación de sustratos energéticos y las respuestas termorreguladoras, utilizando protocolos experimentales más ecológicos y criterios de intensidad individualizados. Este enfoque *permitiría avanzar en la comprensión de la fisiología femenina aplicada al ejercicio y contribuiría al diseño de estrategias de entrenamiento, nutrición e hidratación específicas para mujeres deportistas, basadas en evidencia científica sólida*.

MARCO TEÓRICO

El ciclo menstrual constituye un proceso fisiológico propio de las mujeres que se extiende desde la menarquia hasta la menopausia y delimita su etapa reproductiva. En el ámbito de la salud pública, esta etapa se sitúa convencionalmente entre los 15 y los 49 años, aunque investigaciones recientes indican que la duración media de la edad reproductiva está aumentando progresivamente (Appiah et al., 2021). En este contexto, el estudio de mujeres sanas con ciclos menstruales regulares ofrece un marco adecuado y consistente para profundizar en la comprensión de la fisiología femenina, así como para reducir la infrarrepresentación de las mujeres en las ciencias del deporte.

Un ciclo menstrual considerado normal o eumenorreico presenta una duración aproximada de entre 21 y 35 días, siendo 28 días el valor más habitual (Carmichael et al., 2021). Desde el punto de vista endocrino, el ciclo se divide en dos grandes fases, la fase folicular y la fase lútea, separadas por el evento de la ovulación (Reed & Carr, 2018). No obstante, *debido a las marcadas fluctuaciones hormonales que se producen a lo largo del ciclo, la investigación científica suele centrarse en tres fases clave que representan perfiles hormonales diferenciados*: la *fase folicular temprana (a)*, caracterizada por bajas concentraciones de estrógeno y progesterona; la *fase peri-ovulatoria (b)*, con concentraciones elevadas de estrógeno y bajas de progesterona; y la *fase lútea media (c)*, en la que ambas hormonas alcanzan concentraciones elevadas en sangre (Elliott-Sale et al., 2021).

El estrógeno y la progesterona son las principales hormonas sexuales femeninas y presentan efectos en muchos casos antagónicos. *El estrógeno se asocia con funciones anabolizantes, una mayor excitabilidad neuronal y una mayor eficiencia metabólica*, mientras que *la progesterona se relaciona con procesos catabólicos, una inhibición de la excitabilidad cortical y modificaciones en la regulación térmica y del equilibrio hidroelectrolítico* (Davis & Hackney, 2017; Smith et al., 2002). Como consecuencia, las fluctuaciones cíclicas en las concentraciones séricas de estas hormonas podrían traducirse en cambios en distintos sistemas fisiológicos implicados en el ejercicio físico, incluyendo el rendimiento neuromuscular, el metabolismo energético y los mecanismos de termorregulación.

Desde el punto de vista neuromuscular, se ha planteado la hipótesis de que *la producción de fuerza y la velocidad de ejecución podrían verse favorecidas durante la fase folicular tardía, cuando los niveles de estrógeno son elevados y la progesterona aún se mantiene baja*. Por el contrario, durante la fase lútea media, el pico de progesterona podría asociarse con una reducción del rendimiento neuromuscular debido a su efecto inhibidor sobre la excitabilidad cortical (Carmichael et al., 2021; Gordon et al., 2013). En este sentido, algunos estudios han observado variaciones en parámetros específicos, como la tasa de disparo inicial de las unidades motoras, que fue significativamente mayor durante la fase lútea tardía en comparación con la fase folicular en músculos del cuádriceps (Tenan et al., 2013). Sin embargo, estos hallazgos no son consistentes en la literatura y no permiten establecer conclusiones definitivas.

En relación con la evaluación del rendimiento en el entrenamiento de fuerza, la mayoría de los estudios existentes han empleado protocolos poco ecológicos, basados en mediciones aisladas de torque, fuerza isométrica o fuerza máxima en condiciones altamente controladas. En contraste, el *entrenamiento de resistencia basado en la velocidad* (*velocity-based training, VBT*) ha emergido en los últimos años como un enfoque contemporáneo que *permite monitorizar el rendimiento a través de métricas dinámicas como la velocidad de desplazamiento de la carga y la potencia mecánica, proporcionando una evaluación más representativa de las condiciones reales de entrenamiento*.

A pesar de su creciente aplicación práctica, son escasos los estudios que han examinado si las fases del ciclo menstrual influyen en la velocidad de ejecución o en la producción de fuerza durante protocolos de entrenamiento de fuerza basados en la velocidad. Un estudio reciente realizado por Romero-Moraleda et al. (2019) no encontró diferencias significativas en la fuerza ni en la potencia durante el ejercicio de media sentadilla en máquina Smith entre la fase folicular temprana, la fase periovulatoria y la fase lútea media en mujeres entrenadas. No obstante, este trabajo se centró en un único ejercicio y no incluyó sesiones de entrenamiento con múltiples ejercicios, lo que limita su validez ecológica y su aplicabilidad a programas de entrenamiento de fuerza habituales.

De forma concordante, una revisión sistemática con metaanálisis realizada por McNulty et al. (2020) concluyó que la magnitud de las diferencias de rendimiento entre las distintas fases del ciclo menstrual es probablemente insignificante en términos generales. Sin embargo, los propios autores destacan la necesidad de desarrollar ensayos experimentales de mayor calidad metodológica, con un control más riguroso del estado hormonal y, especialmente, con diseños más válidos desde el punto de vista ecológico. En este sentido, se subraya *la conveniencia de utilizar métricas de rendimiento contemporáneas, como las propias del VBT, que podrían ser más sensibles para detectar cambios sutiles en el rendimiento neuromuscular a lo largo del ciclo menstrual*.

Más allá del rendimiento neuromuscular, el metabolismo energético constituye un factor clave en la capacidad de sostener el ejercicio, especialmente en disciplinas de resistencia. Los carbohidratos y las grasas son las principales fuentes de energía para la contracción muscular, y su contribución relativa depende principalmente de la intensidad y la duración del ejercicio, aunque también se ve influida por factores individuales como la edad, la dieta, el nivel de entrenamiento y el sexo (Jeukendrup & Wallis, 2005). En mujeres, se ha sugerido que las fluctuaciones hormonales del ciclo menstrual podrían influir de manera específica en la oxidación de estos sustratos, particularmente a través de la acción del estrógeno sobre el metabolismo lipídico (Hackney et al., 2021; Oosthuyse & Bosch, 2010).

Con vistas a este problema, desde hace tiempo se han desarrollado proyectos científicos centrados en analizar el papel del ciclo menstrual en el metabolismo durante el ejercicio aeróbico. No obstante, los resultados obtenidos hasta la fecha continúan siendo contradictorios. *Algunos estudios han encontrado una mayor tasa de oxidación de grasas durante la fase lútea en comparación con la fase folicular, especialmente a intensidades de ejercicio bajas o moderadas*, situadas entre el 35 % y el 65 % del consumo máximo de oxígeno (Ashley et al., 2000; Devries et al., 2006; Hackney et al., 1994; Willett et al., 2021). *Por el contrario, otros trabajos no han observado diferencias significativas entre fases del ciclo menstrual durante ejercicio continuo de intensidad moderada* (Horton et al., 2002; Ortega-Santos et al., 2018; Suh et al., 2002; Vaiksaar et al., 2011). Estas discrepancias se atribuyen en gran medida a la heterogeneidad metodológica de los estudios, que difieren en el tipo de ejercicio, la duración, el estado nutricional previo, el número de fases evaluadas y el nivel de entrenamiento de las participantes.

Un aspecto especialmente relevante y escasamente explorado en la literatura es la evaluación del metabolismo de los sustratos a la intensidad correspondiente a la **máxima oxidación de grasas** *(**Fatmax**)*. Esta intensidad representa una condición fisiológica óptima para maximizar la utilización lipídica durante el ejercicio y suele situarse dentro del rango de intensidad moderada (Achten et al., 2002). *La evaluación a intensidad Fatmax permite además minimizar los factores de confusión relacionados con la intensidad del ejercicio, proporcionando un enfoque más sensible y estandarizado para detectar posibles efectos hormonales a lo largo de las distintas fases del ciclo menstrual.*

Por último, el ciclo menstrual también puede influir en los mecanismos de termorregulación y en las necesidades de hidratación durante el ejercicio. En general, existen

diferencias claras entre mujeres y hombres, siendo ellas caracterizadas por menores tasas de sudoración y umbrales de sudoración más elevados (Topham et al., 2022). *En las mujeres, las fluctuaciones hormonales pueden alterar la temperatura corporal basal, el flujo sanguíneo cutáneo, la sudoración y la regulación del equilibrio hidroelectrolítico* (Nguyen et al., 2024; Niu & Goto, 2024). *Durante la fase lútea media, la progesterona parece ejercer un papel dominante sobre el estrógeno, favoreciendo la retención de calor y el aumento de la temperatura corporal* (Charkoudian & Stachenfeld, 2016).

La evidencia empírica disponible sobre las respuestas termorreguladoras a lo largo del ciclo menstrual es limitada e inconsistente. *La mayoría de los estudios no han encontrado diferencias significativas en la tasa de sudoración ni en la concentración de sodio en el sudor entre fases del ciclo menstrual durante el ejercicio aeróbico, aunque existen excepciones puntuales* (Garcia et al., 2006). Además, pocos estudios han evaluado de forma simultánea variables termorreguladoras y metabólicas bajo protocolos de ejercicio con intensidad individualizada.

En conjunto**, la literatura pone de manifiesto la ausencia de consenso sobre el efecto de las fases del ciclo menstrual en el rendimiento neuromuscular, el metabolismo energético y la termorregulación**. Asimismo, *se identifican importantes limitaciones metodológicas*, como el uso de protocolos poco ecológicos, la escasa aplicación de métricas de rendimiento contemporáneas y la falta de intensidades de ejercicio individualizadas. Estas limitaciones refuerzan la necesidad de investigaciones que aborden de manera integrada estas variables, utilizando diseños experimentales que reflejen mejor las condiciones reales de entrenamiento y competición en mujeres deportistas.

HIPÓTESIS

El presente proyecto parte de la premisa de que *el ciclo menstrual constituye una fuente relevante de variabilidad fisiológica en las deportistas, con potencial impacto sobre el rendimiento neuromuscular, el metabolismo de los sustratos energéticos y las respuestas termorreguladoras durante el ejercicio físico*. Las fluctuaciones cíclicas en las concentraciones de estrógeno y progesterona, características de las distintas fases del ciclo menstrual, podrían modular de forma específica estos procesos fisiológicos, dando lugar a diferencias medibles en variables de rendimiento, percepción del esfuerzo y demandas de hidratación.

No obstante, la evidencia científica existente es limitada e inconsistente, en gran medida debido a la utilización de protocolos poco ecológicos, métricas tradicionales de rendimiento y una escasa consideración de la fisiología específica femenina. En este contexto, el presente proyecto se estructura en dos estudios experimentales complementarios que analizan el efecto de las fases del ciclo menstrual como variable independiente principal, bajo condiciones controladas y con diseños de medidas repetidas, con el objetivo de contrastar las hipótesis que se detallan a continuación.

Variables

La **variable independiente principal** y común a los tres estudios es la *fase del ciclo menstrual*, operacionalizada en tres niveles:

a. Fase folicular temprana
b. Fase periovulatoria
c. Fase lútea media

Cada participante completa los protocolos experimentales en las tres fases, siguiendo un diseño cruzado y aleatorizado.

Entre las **variables extrañas** que podrían influir en los resultados se encuentran el estado nutricional, el *nivel de hidratación pre-ejercicio*, la *calidad del sueño*, la *ingesta de suplementos y ayudas ergogénicas*, la *sintomatología menstrual*. Estas variables se controlan mediante estandarización previa, cuestionarios específicos y verificación del cumplimiento de las precondiciones experimentales.

Como **variables de control**, se mantuvieron constantes el entorno experimental, la *intensidad relativa del ejercicio*, el *material empleado* y los *protocolos de medición*, con el fin de minimizar fuentes de variabilidad ajenas al objeto de estudio. En primer lugar, se estandarizaron las condiciones previas a cada sesión: se solicitó a las participantes que mantuvieran su actividad física habitual, evitando ejercicio vigoroso durante las 24 horas previas. En los casos en que se hubiera realizado actividad en ese intervalo, se limitó a ejercicio ligero y estandarizado (20–30 minutos de caminata o carrera/ciclismo suave; ≤9–10 en la escala de Borg 6–20), y se indicó replicar exactamente la misma actividad el día previo a cada una de las tres pruebas para asegurar coherencia intersesión (entre sesiones). Asimismo, se instruyó a todas las participantes para que evitaran el consumo de alcohol, cafeína y cualquier medicamento o suplemento el día anterior, y para que durmieran al menos ocho horas antes de cada visita; el cumplimiento de estas indicaciones se verificó mediante autoinforme en un formulario en línea.

Adicionalmente, *se controló la influencia de la alimentación y del estado hídrico*. Las participantes acudieron al laboratorio *en ayunas (8–12 h)* con el objetivo de evitar la reducción de la oxidación de grasas inducida por una ingesta previa de carbohidratos.

P*ara favorecer la euhidratación, dos horas antes de cada ensayo se recomendó ingerir aproximadamente 7 ml·kg^{-1} de agua* y, a su llegada, se recogió una muestra de orina para confirmar la euhidratación mediante gravedad específica <1,020. En relación con la *dieta*, se registró la ingesta de las 24 horas previas a la primera prueba y se utilizó como referencia para replicarla antes de las pruebas posteriores. Aunque no se prescribió una dieta específica para no alterar los hábitos alimentarios, se proporcionó a cada participante una copia de su registro y se comprobó la coherencia entre sesiones mediante la revisión de posibles desviaciones individuales.

Por último, para reducir la variabilidad asociada al ritmo circadiano y a fluctuaciones hormonales, *los tres protocolos experimentales se realizaron en el mismo intervalo temporal de tres horas para cada participante*, generalmente por la mañana (08:00–12:00). En paralelo, el nivel de entrenamiento de las participantes y la condición de ciclo menstrual regular se consideraron criterios de inclusión, contribuyendo a homogenizar la muestra y a limitar la dispersión interindividual en las respuestas fisiológicas observadas.

Estudio 1: Ejercicio de fuerza

El Estudio 1 se centra en *analizar el efecto de la fase del ciclo menstrual sobre el rendimiento neuromuscular y el esfuerzo percibido durante una sesión de entrenamiento de fuerza basada en la velocidad (velocity-based training, VBT)*, empleando un protocolo estandarizado de *múltiples ejercicios con carga submáxima*, con el fin de garantizar una elevada validez ecológica.

Variables dependientes

Las variables dependientes analizadas en este estudio son:

- *Velocidad media de ejecución de la carga* (metros por segundo, m/s).
- *Fuerza máxima* y *fuerza media* desarrolladas (newtons, N).
- *Índice de esfuerzo percibido* (RPE; unidades arbitrarias de la escala Borg 0–10;).

Hipótesis

Se plantea como hipótesis que *las diferentes fases del ciclo menstrual influyen en el rendimiento neuromuscular durante una sesión de entrenamiento de fuerza basada en la velocidad*, de manera que:

1. *La velocidad de ejecución y la producción de fuerza serán mayores durante las fases del ciclo menstrual caracterizadas por concentraciones elevadas de estrógeno y bajas de progesterona (fase periovulatoria)*, en comparación con la fase folicular temprana y la fase lútea media.
2. *El índice de esfuerzo percibido será mayor durante la fase folicular temprana*, reflejando una mayor percepción subjetiva de fatiga para una misma carga externa.

Estudio 2: Ejercicio aeróbico y metabolismo energético

El Estudio 2 analiza el *efecto del ciclo menstrual sobre la oxidación de sustratos energéticos durante un protocolo de ejercicio aeróbico continuo de una hora de duración en bicicleta y tapiz rodante, realizado a una intensidad individualizada correspondiente a la máxima oxidación de grasas (Fatmax)*.

Variables dependientes

Las variables dependientes incluyen:

- *Tasa de oxidación de grasas* (gramos por minuto, g/min y gramos por hora g/h).
- *Pico de oxidación* de grasas (PFO).
- *Tasa de oxidación de carbohidratos* (gramos por minuto, g/min y gramos por hora g/h).
- *Gasto energético total* (kilocalorías por hora,kcal/h).
- *Variables ventilatorias*: volumen de oxígeno inhalado (VO2 en litros por minuto, L/min), volumen de dióxido de carbono expulsado (VCO2 en litros por minuto, L/min), ventilación (VE en litros por minuto, L/min), cociente respiratorio (RER, VCO2/VO2).
- *Frecuencia cardiaca* (en latidos por minuto, bpm).
- *Esfuerzo percibido* (RPE; Borg 6–20).
- S*íntomas menstruales autorreportados pre-ejercicio*. Se pidió a las mujeres que rellenaran el *Chinese Menstrual Symptom Questionnaire*, utilizado originalmente por Liu et al. (2023) *para evaluar la prevalencia del síndrome premenstrual (SPM)*. Este formulario se compone de 19 ítems/síntomas que pueden puntuarse en una escala Likert de 4 puntos, desde 0 = ninguno, 1 = leve, 2 = moderado hasta 3 = grave, y evalúa 4 ámbitos: ansiedad (4 ítems), retención de líquidos (4 ítems), ansias (6 ítems) y depresión (5 ítems).

Hipótesis

Se plantea la hipótesis de que *el metabolismo de los sustratos energéticos durante el ejercicio aeróbico varía en función de la fase del ciclo menstrual*, de manera que:

1. *La oxidación de grasas será mayor durante la fase lútea media* en comparación con la fase folicular temprana y periovulatoria, *cuando el ejercicio se realice a intensidad Fatmax*.
2. *El esfuerzo percibido podría ser superior durante la fase folicular temprana*.
3. *Los síntomas menstruales serán más intensos y numerosos en fase folicular temprana*, ya que esta coincide con la menstruación.

Hipótesis y objetivos específicos del Estudio 2B: Termorregulación e hidratación deportiva

El Estudio 2B amplía el *análisis del ejercicio aeróbico* al *contexto de la carrera*, *incorporando de forma específica el estudio de las respuestas termorreguladoras, del equilibrio de fluidos y de las necesidades de hidratación durante una hora de ejercicio a intensidad Fatmax en un entorno templado*.

Las *variables dependientes* incluyen:

- *Tasa* de *sudoración* corporal total (L/h).
- *Porcentaje* de *deshidratación* (%).
- *Concentración* de *sodio y potasio en sudor* ([Na^+] y [K^+] en milimoles por litro, mmol/L).

- *Temperatura corporal* (grados centígrados, °C).
- *Peso corporal pre y post* ejercicio (en kilogramos, kg).
- *Saturación muscular de oxígeno* (SmO2, porcentaje) y hemoglobina total ([THb]).
- *Variables cardiorrespiratorias y perceptivas* (RPE, sed, sensación térmica en unidades arbitrarias, a.u.).

Se plantea la hipótesis de que *las respuestas termorreguladoras y del balance hídrico durante el ejercicio aeróbico en carrera difieren en función de la fase del ciclo menstrual*, de manera que:

1. *La tasa de sudoración y la concentración de sodio en el sudor serán menores durante la fase lútea media*, en comparación con las otras dos fases.
2. *El aumento de la temperatura corporal basal durante la fase lútea media podría modificar las respuestas de sudoración y las necesidades de hidratación*, con *implicaciones prácticas para la planificación del ejercicio*.

OBJETIVOS

Objetivo general del proyecto

Analizar el efecto de las diferentes fases del ciclo menstrual sobre el rendimiento neuromuscular, el metabolismo de los sustratos energéticos y las respuestas termorreguladoras durante el ejercicio físico en mujeres con ciclos menstruales regulares, mediante protocolos de ejercicio de fuerza y ejercicio aeróbico, con el fin de generar evidencia científica que permita desarrollar estrategias de entrenamiento e hidratación específicas para mujeres.

Objetivos específicos relacionados con la igualdad

- Contribuir a la *reducción de la brecha de género en las ciencias del deporte*, generando conocimiento basado en evidencia científica obtenida exclusivamente en población femenina, tradicionalmente infrarrepresentada en este ámbito.

- Promover el *diseño de estrategias de entrenamiento individualizadas para las deportistas,* teniendo en cuenta las particularidades fisiológicas asociadas al ciclo menstrual y evitando la extrapolación directa de modelos desarrollados en población masculina.

- Favorecer la *transferencia del conocimiento científico* a la práctica profesional, proporcionando información útil para entrenadoras, entrenadores y profesionales de la actividad física que trabajan con mujeres.

Objetivos específicos por estudio

Estudio 1

Analizar el *efecto de las fases del ciclo menstrual sobre la velocidad de ejecución, la producción de fuerza y el esfuerzo percibido durante sesiones de entrenamiento de fuerza basadas en la velocidad*, empleando protocolos ecológicos de múltiples ejercicios.

Estudio 2

Evaluar la *influencia del ciclo menstrual sobre la oxidación de grasas y carbohidratos durante ejercicio aeróbico en ciclismo realizado a intensidad Fatmax*, así como *sobre el esfuerzo percibido y parámetros fisiológicos asociados*. Específicamente, en el estudio 2B, analizar las respuestas termorreguladoras, del balance hídrico y de la composición electrolítica del sudor durante un ejercicio aeróbico en carrera a intensidad Fatmax, considerando las posibles *implicaciones para las estrategias de hidratación en las deportistas*.

TEMPORALIZACIÓN Y FASES DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación se ejecutó durante 2025 (12 *meses) y se articuló en dos estudios:* Estudio 1 (enero–mayo) y Estudio 2 (febrero–octubre). La coordinación y gestión administrativa se mantuvo a lo largo de todo el periodo, incluyendo la planificación inicial y la disponibilidad de recursos al comienzo del proyecto. La fase de diseño metodológico se concentró principalmente en el primer trimestre, con la selección y validación de herramientas de medición y el envío del protocolo al Comité de ética en los meses iniciales. En paralelo, la captación de participantes se desarrolló entre enero y abril, mediante el contacto con entidades deportivas, entrevistas y elaboración de historias clínicas. La recogida de datos de ambos estudios ocupó el núcleo del proyecto, con la familiarización y pruebas en laboratorio entre los meses de febrero y noviembre Finalmente, el análisis e interpretación de los datos del primer estudio se realizó en los meses de junio y julio; y los del segundo estudio en octubre y noviembre. Por último, la difusión e internacionalización de resultados se realizó mediante comunicaciones en los congresos *European College of Sport Science* 2025 y el II *Congreso Internacional de Nutrición Aplicada a la Mujer Deportista* RED NAMUD, que se realizaron en los meses de julio y noviembre respectivamente.

Tabla 1.*Temporalización de las investigaciones*

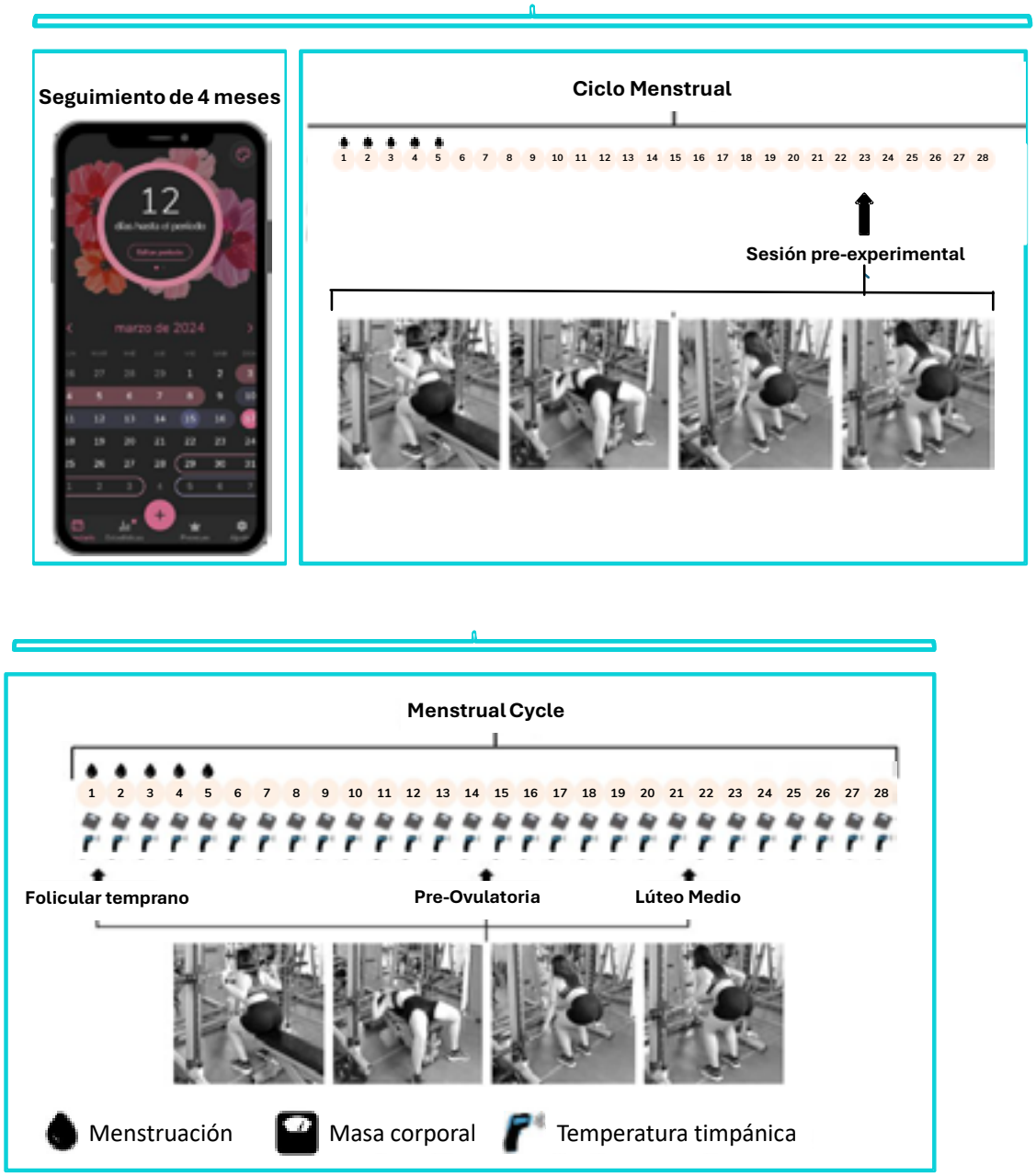
PERIODO AÑO 2025 (12 MESES)	MESES (AÑO)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tarea 1. Coordinación y gestión administrativa												
Investigador responsable: Juan Del Coso Garrigós												
Tarea 1.1 Planificación inicial. Preparativos y disponibilidad de recursos (materiales, técnicos, humanos y financieros)	■	■										
Tarea 1.2 Coordinación técnica y administrativa	■											
Tarea 1.3 Generación de documentación justificativa de la ayuda. Generar informes científico-técnicos y económicos intermedio y final.	■						■				■	■
Tarea 2. Determinar y establecer las herramientas para la medición de respuestas al ejercicio. Determinar y establecer las herramientas para el diagnóstico de la IU y las estrategias de hidratación en la mujer deportista.												
Investigadores responsables: Arturo Casado Alda y Daniel Collado Mateo												
Tarea 2.1 Validación de la medición en ejercicio de fuerza	■											
Tarea 2.2 Validación de la medición en ejercicio aeróbico		■										
Tarea 3. Aprobación del estudio por el Comité de Investigación Ética correspondiente. Aspectos éticos y legales												
Investigador responsable: Juan Del Coso Garrigós												
Tarea 3.1 Memoria del estudio	■											
Tarea 3.2 Hoja diseño del estudio y elaboración Consentimiento Informado	■											
Tarea 3.3 Envío aprobación estudio Comité de ética	■											
Tarea 4. Captación de la población objeto de estudio.												
Investigador: Beatriz Lara López y Verónica Giraldez												
Tarea 4.1 Contacto con gimnasios, entidades deportivas y empresas dedicadas a la actividad física	■	■	■									

Periodo año 2025 (12 meses)	Meses (año)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tarea 4.2 Entrevistas con las mujeres interesadas												
Tarea 4.3 Elaboración de historias clínicas de las mujeres participantes												
Tarea 5. Realización de los protocolos de análisis												
Investigador: Todo el equipo												
Tarea 5.1 Familiarización de las pruebas												
Tarea 5.2 Realización de los test en ejercicio de fuerza												
Tarea 5.3 Realización de los test en ejercicio aeróbico												
Tarea 5.4 Análisis de los datos												
Tarea 6. Difusión, internacionalización y protección de los resultados.												
Investigadores responsables: Blanca Romero Moraleda y Ester Jiménez Ormeño												
Tarea 6.1 Interpretación y escritura de los resultados												
Tarea 6.2 Difusión de los resultados en el Congreso Internacional “European College of Sport Science 2025”												
Tarea 6.3 Difusión de los resultados en el II Congreso Internacional de Nutrición Aplicada a la Mujer Deportista RED NAMUD												
Tarea 6.4 Difusión de los resultados mediante el envío de los artículos a revistas científicas “International Journal of Sports Physiology and Performance”												

METODOLOGÍA Y FUENTES

La presente investigación se desarrolló siguiendo un *diseño experimental y preexperimental, con un enfoque metodológico multimodal orientado a la identificación precisa de las fases del ciclo menstrual y a la medición de variables fisiológicas asociadas*, en particular aquellas relacionadas con la sudoración y la concentración de electrolitos durante el ejercicio (ver figuras 1-4 de diseño experimental asociados a cada estudio).

Figura 1. *Diseño del Estudio 1.*



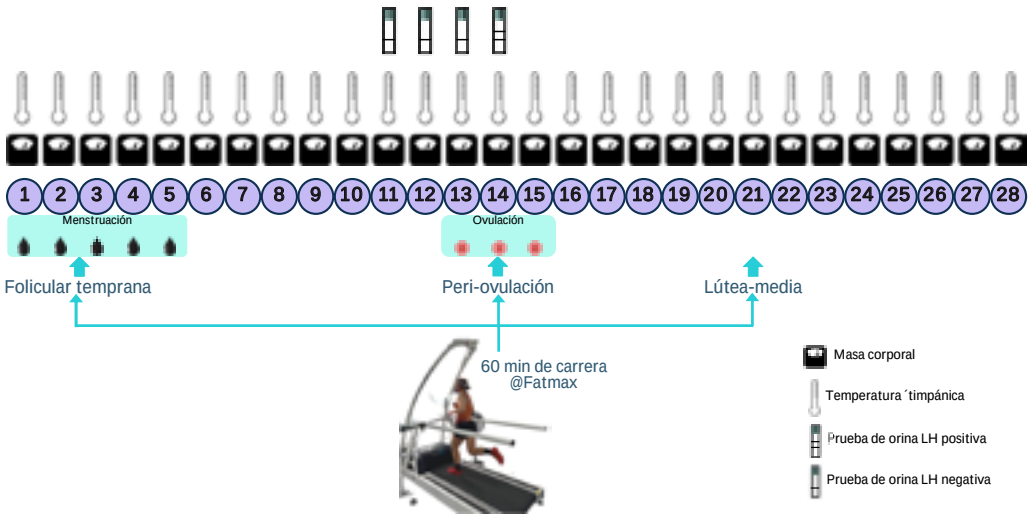
La figura resume el diseño en dos fases. En la fase preexperimental (4 meses) se realizó el seguimiento del ciclo menstrual mediante la aplicación My Calendar. Al final del cuarto mes (≈día 23 de un ciclo teórico de 28 días), las participantes completaron una sesión de familiarización y control, que incluyó la determinación del 1RM en los cuatro ejercicios y series de práctica con las cargas previstas para el estudio. La fase experimental consistió en tres sesiones de prueba realizadas en distintas fases del ciclo: folicular temprana, preovulatoria y lútea media.

***Figura 2**. Diseño del Estudio 2. Prueba de ciclismo de 60 minutos a intensidad.*



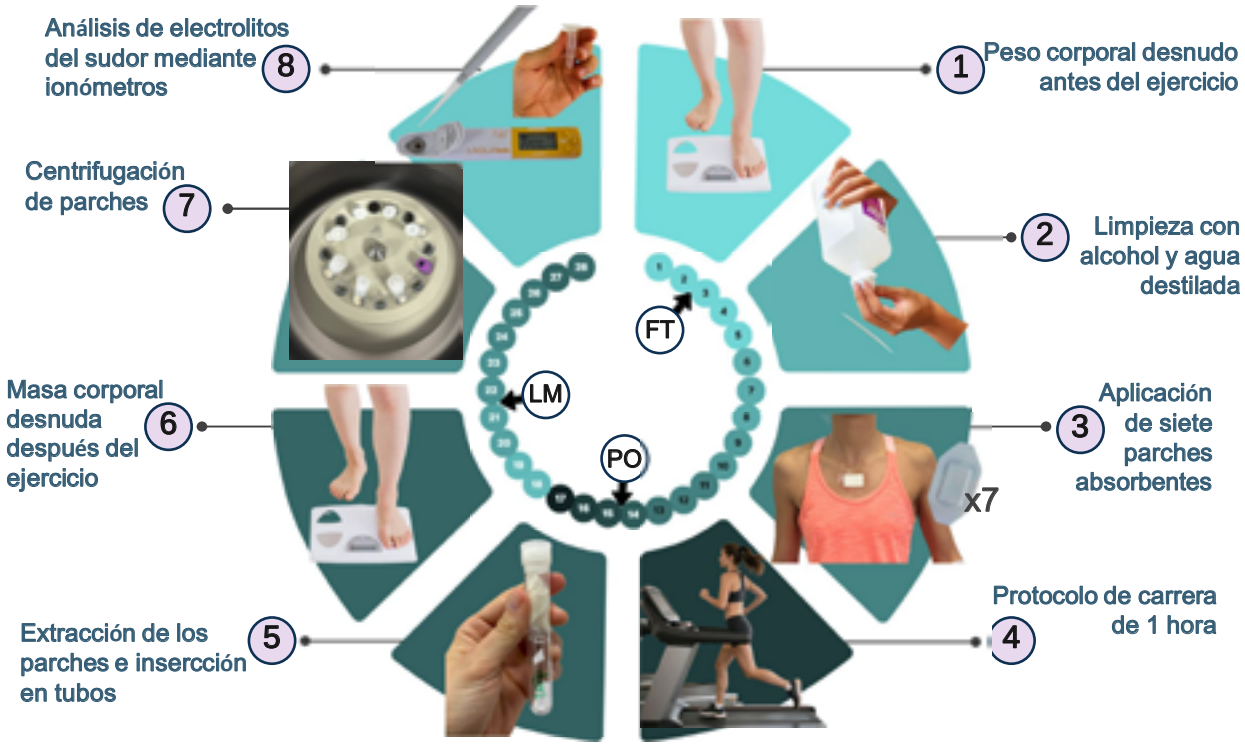
..La figura muestra el protocolo seguido por una participante con un ciclo menstrual idealizado de 28 días. Tras un periodo previo de seguimiento del ciclo menstrual durante 4 meses mediante una aplicación móvil, las participantes registraron a lo largo de un ciclo completo la temperatura timpánica basal, la masa corporal y el pico de hormona luteinizante (LH) mediante tiras reactivas de orina, con el fin de identificar con precisión las fases folicular temprana, periovulatoria y lútea media. En cada una de estas fases, las participantes realizaron una prueba de ciclismo de 60 minutos a intensidad Fatmax, durante la cual se evaluó la oxidación de sustratos mediante análisis de gases y ecuaciones estequiométricas.

***Figura 3**. .Prueba de carrera de 60 minutos en cinda rodante a intensidad.*



Tras un periodo previo de seguimiento del ciclo menstrual durante cinco meses mediante una aplicación móvil, las participantes registraron a lo largo de un ciclo completo la temperatura timpánica basal, la masa corporal y el aumento de la hormona luteinizante (LH) mediante tiras reactivas de orina, con el fin de identificar con precisión el inicio de las fases folicular temprana, preovulatoria y lútea media. En cada una de estas fases, las participantes realizaron una prueba de carrera de 60 minutos en cinta rodante a intensidad Fatmax, correspondiente a la intensidad que provoca la máxima oxidación de grasas..

***Figura 4**. Procedimiento experimental para la recogida y análisis de electrolitos en sudor mediante técnica de parche absorbente durante el ejercicio de carrera (estudio 2B).*



Pasos seguidos: (1) Medición del peso corporal previo al ejercicio en condiciones de desnudez (2) Limpieza de la piel con alcohol y agua destilada; (3) Aplicación del parche absorbente para la recogida de sudor; (4)Realización de una sesión de carrera de 1 hora a la intensidad correspondiente a la máxima oxidación de grasas (Fatmax); (5) Retirada de los parches absorbentes e introducción de las muestras en tubos estériles sellados; (6) Medición del peso corporal posterior al ejercicio en condiciones de desnudez; (7)Centrifugación de las muestras de sudor recogidas en los parches absorbentes; (8) Análisis de los electrolitos del sudor mediante ionometría.
FT: Folicular Temprano (EF: Early Follicular); PO: Pre-Ovulatoria (PO: Pre-Ovulatory); LM: Luteo-Medio (ML: Mid-Luteal).

Identificación de las fases del ciclo menstrual

Para la determinación de las distintas *fases del ciclo menstrual*, se empleó un *enfoque integral basado en la combinación de registros autoinformados y marcadores fisiológicos objetivos*. En primer lugar, todas las participantes descargaron y utilizaron una aplicación móvil específica para el seguimiento del ciclo menstrual (*MyCalendar®, Period-tracker*, EE. UU.), en la que registraron al menos cuatro ciclos menstruales consecutivos previos al inicio del estudio. Estos registros incluyeron fechas de menstruación, duración del ciclo y niveles de malestar premenstrual, lo que permitió *establecer de manera individualizada la duración media del ciclo menstrual*.

Durante la *fase preexperimental*, se proporcionó a las participantes el material necesario para la recogida diaria de datos fisiológicos en condiciones estandarizadas. Concretamente, se midió cada mañana la temperatura timpánica basal mediante un termómetro timpánico, así como la masa corporal mediante una báscula digital, inmediatamente después de despertarse. Asimismo, se utilizó la detección del pico de la hormona luteinizante (LH) en orina mediante tiras reactivas de alta sensibilidad, lo que permitió identificar el periodo periovulatorio.

La determinación de las fases del ciclo menstrual se basó en la integración de estos indicadores. La fase folicular temprana se identificó a partir del inicio de la menstruación y se confirmó mediante los registros históricos del ciclo. La fase periovulatoria se esta-

bleció principalmente por la detección de un resultado positivo en la prueba de LH urinaria, corroborado por cambios fisiológicos adicionales, como el aumento de la temperatura basal o variaciones en la masa corporal respecto a los valores basales. Finalmente, la fase lútea media se programó en función del 75 % de la duración individual del ciclo menstrual y se confirmó retrospectivamente mediante el inicio de la menstruación posterior. Este procedimiento permitió minimizar la variabilidad interindividual y aumentar la probabilidad de que las evaluaciones se realizaran en las fases previstas.

Metodología de medición de variables de sudoración

Específicamente, en el estudio 2B se analizaron *variables de sudoración*, para lo que se empleó la *técnica del parche absorbente*, además de otros métodos fundamentados científicamente.

Previamente al inicio del ejercicio, se registró el peso corporal en condiciones de desnudez para estimar posteriormente las pérdidas hídricas asociadas al esfuerzo. A continuación, la zona de aplicación del parche absorbente preferentemente el muslo o la región lumbar fue limpiada cuidadosamente con alcohol y agua destilada, con el objetivo de eliminar contaminantes externos y *garantizar la integridad de la muestra*. Estas regiones anatómicas se seleccionaron debido a que proporcionan estimaciones más representativas de la concentración de sodio corporal total, en comparación con otras zonas como el antebrazo o la frente, que tienden a sobreestimar dicha concentración.

Tras la limpieza de la piel, se colocó el parche absorbente, diseñado para recoger el sudor producido de forma local durante una sesión de ejercicio continuo de una hora de duración realizada a una intensidad correspondiente a la máxima oxidación de grasas (Fatmax). Finalizado el ejercicio, se retiraron los parches y se introdujeron inmediatamente en tubos estériles sellados. Cuando fue necesario, las muestras se conservaron refrigeradas a 4°C hasta su análisis posterior.

Posteriormente, las muestras de sudor fueron sometidas a *centrifugación* para facilitar la extracción del fluido y se analizaron mediante ionometría para determinar la concentración de sodio ($[Na^+]$) y potasio ($[K^+]$) en el sudor, expresadas en $mmol \cdot L^{-1}$. Aunque la concentración de potasio en el sudor presenta una menor variabilidad interindividual y suele mantenerse dentro de un rango relativamente estrecho (aproximadamente 2–8 $mmol \cdot L^{-1}$), su medición resulta especialmente útil como marcador de control de calidad, permitiendo verificar la adecuada recogida y la ausencia de contaminación de las muestras.

Finalmente, se registró nuevamente el peso corporal en condiciones de desnudez tras el ejercicio, completando así el protocolo experimental. En conjunto, este procedimiento, basado en protocolos ampliamente validados en la literatura científica, permitió obtener medidas fiables y reproducibles de la composición electrolítica del sudor durante el ejercicio.

Fuentes de información utilizadas

La investigación se apoyó fundamentalmente en fuentes científicas primarias y secundarias de alta calidad, procedentes de bases de datos bibliográficas internacionales de reconocido prestigio. Entre las principales fuentes consultadas se incluyen:

- *PubMed*, utilizada para la identificación de estudios biomédicos y fisiológicos relacionados con el ciclo menstrual, la ovulación y los marcadores hormonales.

- *Web of Science* (WOS) y *Scopus*, empleadas para localizar literatura científica revisada por pares sobre metodología experimental, fisiología del ejercicio y análisis de la sudoración y los electrolitos.

- *Artículos científicos de referencia* ampliamente citados, que aportan protocolos validados para la identificación de las fases del ciclo menstrual y la medición de variables fisiológicas.

Adecuación de la metodología y las fuentes

Las fuentes utilizadas han resultado altamente adecuadas para alcanzar los objetivos de la investigación, ya que proceden de revistas científicas indexadas y garantizan un elevado rigor metodológico. La combinación de diferentes bases de datos permitió una cobertura amplia y exhaustiva del estado actual del conocimiento, reduciendo el riesgo de sesgos derivados de una búsqueda limitada.

Desde el punto de vista metodológico, el *enfoque multimodal* empleado para la identificación de las fases del ciclo menstrual se considera especialmente pertinente, dado que integra *marcadores hormonales, térmicos y antropométricos*, lo que incrementa la validez interna del estudio. En este sentido, la metodología se desarrolló fundamentándose específicamente en estudios previos relevantes, tomando como referencia trabajos de autoras como Kirsty Elliott-Sale, Mikaeli A. Carmichael y Xanne Janse de Jonge para la definición operativa y la implementación práctica de los procedimientos de identificación de fases del ciclo menstrual. De forma complementaria, en el Estudio 2B, la estrategia de recogida y análisis de sudor se estructuró siguiendo protocolos ampliamente validados en la literatura, con especial apoyo en las propuestas metodológicas de Lindsay Baker (Baker, 2016, 2017) para la medición de electrolitos en sudor: técnica del parche absorbente y control de calidad mediante el análisis de potasio y condiciones de almacenamiento de las muestras (ver figura 4).

No obstante, durante el desarrollo de la investigación fue necesario introducir *ajustes operativos para adaptarse a la variabilidad interindividual en la duración del ciclo menstrual*. Estas modificaciones afectaron principalmente a la planificación temporal de algunos ensayos para adaptarse a la variabilidad interindividual de los ciclos menstruales. Estas modificaciones no comprometieron el diseño del estudio, sino que contribuyeron a una *mejor alineación entre las fases fisiológicas reales y los momentos de evaluación experimental*.

En conjunto, tanto la metodología aplicada como las fuentes consultadas se consideran coherentes, robustas y adecuadas para la consecución del objeto de la investigación, al apoyarse en evidencia científica sólida y en protocolos previamente contrastados.

RESULTADOS

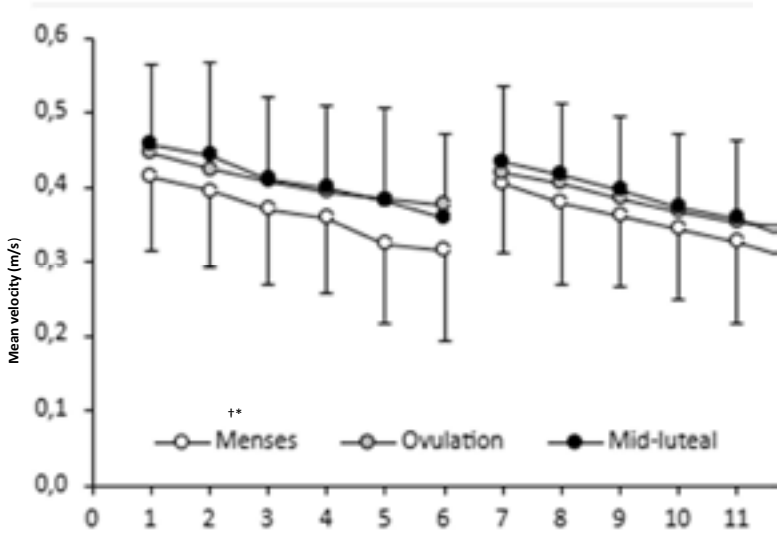
Todos los datos fueron codificados e introducidos en el software *IBM SPSS Statistics 27.0* (SPSS Inc., EE. UU.) para su depuración y análisis. Previamente al análisis inferencial, se verificó la *integridad de la base de datos* (valores perdidos, rangos esperables y coherencia entre variables derivadas), asegurando la correcta correspondencia entre cada participante, fase del ciclo menstrual y condición experimental. Se adoptó un *criterio de significación estadística convencional, estableciendo p < 0,050 como umbral para considerar diferencias o efectos estadísticamente significativos*.

Estudio 1: Ejercicio de fuerza

Se realizó un ANOVA bidireccional para examinar los efectos de la fase del ciclo menstrual, la repetición y su interacción sobre la velocidad media, la velocidad máxima, la potencia media y la potencia máxima durante los ejercicios de media sentadilla, press de banca, peso muerto y remo.

Valores de velocidad de ejecución

Figura 5. *Sentadilla (half-squat). Velocidad media (mean velocity).*



*Evolución de la variable velocidad media (mean velocity) analizada a lo largo de un ejercicio de media sentadilla, diferenciando tres fases del ciclo menstrual: folicular temprana (menses), ovulación o periovulatoria (ovulation) y fase lútea media (mid-luteal). El eje X representa las repeticiones individuales, donde las repeticiones 1 a 6 corresponden al primer set y las repeticiones 7 a 12 al segundo set. Los valores medios se representan mediante puntos, mientras que las barras verticales indican la variabilidad (± desviación estándar). Las diferencias estadísticamente significativas se indican mediante símbolos: † señala una diferencia significativa con respecto a la fase periovulatoria (p < 0,05), mientras que * indica una diferencia significativa con respecto a la fase lútea (p < 0,05).*

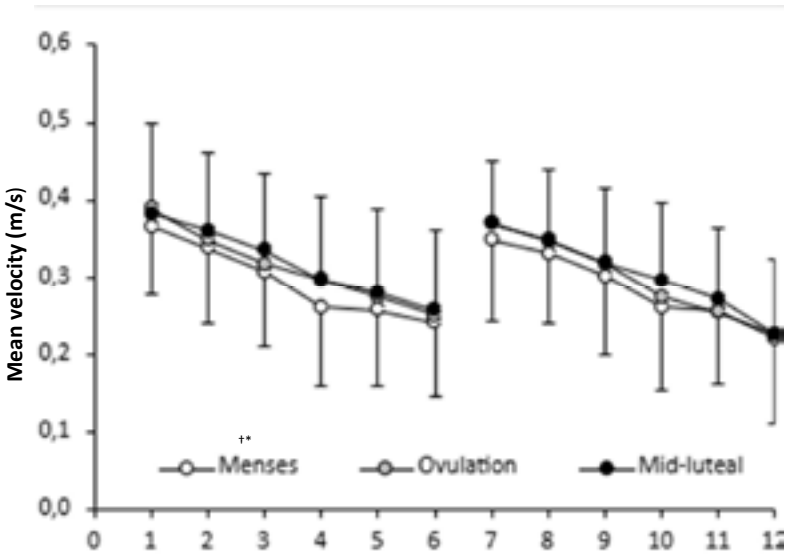
En general, se observa una *tendencia descendente progresiva de la variable a medida que aumentan las repeticiones en las tres fases del ciclo*. Los *valores más elevados se registran de forma consistente durante la fase lútea media*, seguidos por la fase ovulatoria, mientras que la menstruación presenta los valores más bajos a lo largo de todas las repeticiones.

A nivel estadístico, el análisis de la velocidad media (m/s) mostró un efecto principal significativo del ciclo menstrual ($F = 4,91$; $p = 0,01$; $\eta p^2 = 0,20$), indicando que *la fase del ciclo influyó de manera global en los valores de la variable*. Asimismo, se observó un efecto

principal significativo de la repetición ($F = 45,71$; $p < 0,01$; $\eta p^2 = 0,71$), lo que refleja *una disminución progresiva de la velocidad media a medida que avanzaron las repeticiones*. Por el contrario, *no se identificó una interacción significativa entre ciclo menstrual y repetición* ($F = 0,68$; $p = 0,86$; $\eta p^2 = 0,03$), lo que sugiere que el patrón de cambio a lo largo de las repeticiones fue similar en todas las fases del ciclo.

Los análisis *post hoc* revelaron *diferencias estadísticamente significativas entre la fase folicular y la fase periovulatoria* ($p = 0,02$; $d = -0,57$), así como *entre la fase folicular y la fase lútea* ($p < 0,01$; $d = -0,65$), con tamaños del efecto moderados. En cambio, no se observaron diferencias significativas entre la fase periovulatoria y la fase lútea ($p = 0,91$; $d = -0,017$). En conjunto, estos resultados indican que *las diferencias en la velocidad media se concentran principalmente entre la fase folicular y las otras dos fases del ciclo, mientras que la respuesta durante la fase periovulatoria y la fase lútea es comparable*, y que dichas diferencias se mantienen constantes a lo largo de las repeticiones.

***Figura 6**. Press de banca (Bench Press). Velocidad media (mean velocity).*



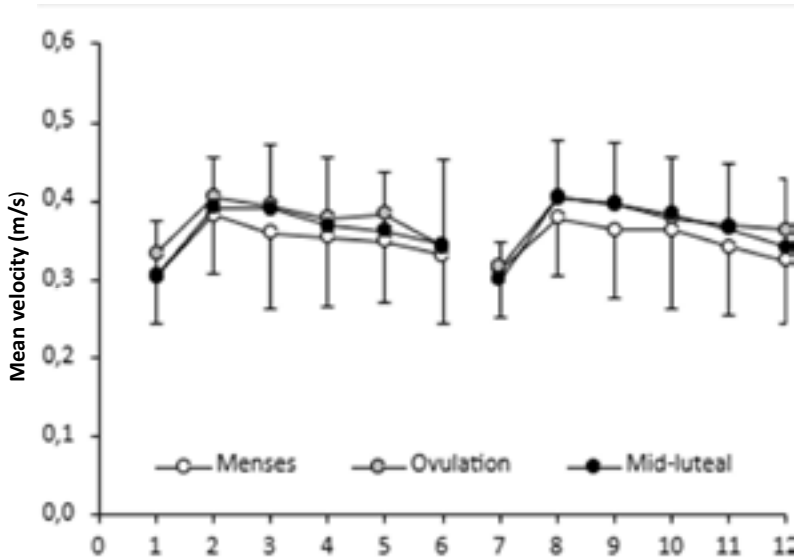
*Evolución de la variable velocidad media (mean velocity) analizada a lo largo de un ejercicio de press de banca, diferenciando tres fases del ciclo menstrual: folicular temprana (menses), ovulación o periovulatoria (ovulation) y fase lútea media (mid-luteal). El eje X representa las repeticiones individuales, donde las repeticiones 1 a 6 corresponden al primer set y las repeticiones 7 a 12 al segundo set. Los valores medios se representan mediante puntos, mientras que las barras verticales indican la variabilidad (± desviación estándar). Las diferencias estadísticamente significativas se indican mediante símbolos: † señala una diferencia significativa con respecto a la fase periovulatoria ($p < 0,05$), mientras que * indica una diferencia significativa con respecto a la fase lútea ($p < 0,05$).*

En términos descriptivos, se observa una *disminución progresiva de la* **velocidad media a lo largo de las repeticiones** *en las tres fases del ciclo menstrual*. De manera consistente, **la fase lútea media presenta los valores más elevados, seguida de la fase periovulatoria**, mientras que la menstruación muestra los valores más bajos en prácticamente todas las repeticiones. A pesar del solapamiento de las barras de error, el patrón relativo entre fases se mantiene estable tanto en el primer como en el segundo set, lo que sugiere **diferencias sistemáticas asociadas a la fase del ciclo**.

El análisis estadístico mostró un efecto principal significativo del ciclo menstrual sobre la velocidad media ($F = 4,65$; $p = 0,01$; $\eta p^2 = 0,20$), así como un efecto principal significativo de la repetición ($F = 86,29$; $p < 0,01$; $\eta p^2 = 0,82$), indicando una *marcada reducción de la velocidad conforme avanzan las repeticiones*. **No se observó una interacción significativa entre ciclo menstrual y repetición** ($F = 1,5$; $p = 0,06$; $\eta p^2 = 0,07$), lo que indica que el patrón de descenso fue similar entre fases.

Los análisis *post hoc* revelaron *diferencias estadísticamente significativas entre la fase folicular (menstruación) y la fase periovulatoria* ($p = 0,01$; $d = -0,45$), así como *entre la fase folicular y la fase lútea* ($p < 0,01$; $d = -0,65$), con tamaños del efecto moderados. En cambio, no se observaron diferencias significativas entre la fase periovulatoria y la fase lútea ($p = 0,42$; $d = -0,18$).

***Figura 7**. Peso Muerto (Deadlift). Velocidad media (mean velocity).*



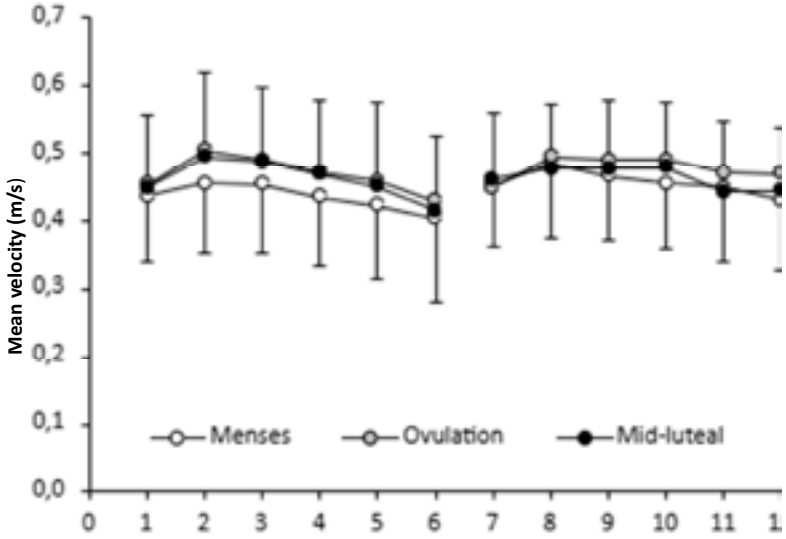
*Evolución de la variable velocidad media (mean velocity) analizada a lo largo de un ejercicio de peso muerto, diferenciando tres fases del ciclo menstrual: folicular temprana (menses), ovulación o periovulatoria (ovulation) y fase lútea media (mid-luteal). El eje X representa las repeticiones individuales, donde las repeticiones 1 a 6 corresponden al primer set y las repeticiones 7 a 12 al segundo set. Los valores medios se representan mediante puntos, mientras que las barras verticales indican la variabilidad (± desviación estándar). Las diferencias estadísticamente significativas se indican mediante símbolos: † señala una diferencia significativa con respecto a la fase periovulatoria ($p < 0,05$), mientras que * indica una diferencia significativa con respecto a la fase lútea ($p < 0,05$).*

En términos descriptivos, *la velocidad media muestra un comportamiento relativamente estable a lo largo de las repeticiones en las tres fases del ciclo menstrual, con un ligero incremento inicial* seguido de pequeñas oscilaciones en ambos sets. De forma general, *la fase lútea media tiende a presentar los valores más altos, seguida de la fase periovulatoria*, mientras que la menstruación muestra valores ligeramente inferiores. No obstante, el amplio solapamiento de las barras de error sugiere una *elevada variabilidad interindividual* y un patrón similar entre fases a lo largo de las repeticiones.

El análisis estadístico **no evidenció un efecto principal significativo del ciclo menstrual sobre la velocidad media** ($F = 2,98$; $p = 0,06$; $\eta p^2 = 0,14$). En cambio, *sí se observó un efecto principal significativo de la repetición* ($F = 19,02$; $p < 0,01$; $\eta p^2 = 0,50$), indicando *cambios en la velocidad media conforme avanzaron las repeticiones*. **No se identificó una interacción significativa entre ciclo menstrual y repetición** ($F = 1,15$; $p = 0,28$; $\eta p^2 = 0,06$), lo que sugiere que la evolución de la velocidad a lo largo de las repeticiones fue comparable entre fases.

Los análisis *post hoc no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre fases del ciclo menstrual, ni entre la fase folicular y la periovulatoria* ($p = 0,03$; $d = -0,52$), ni entre la fase folicular y la fase lútea ($p = 0,14$; $d = -0,34$), *ni entre la fase periovulatoria y la fase lútea* ($p = 0,36$; $d = -0,20$), confirmando que las variaciones observadas no alcanzaron significación estadística.

***Figura 8**. Remo (Row). Velocidad media (mean velocity).*



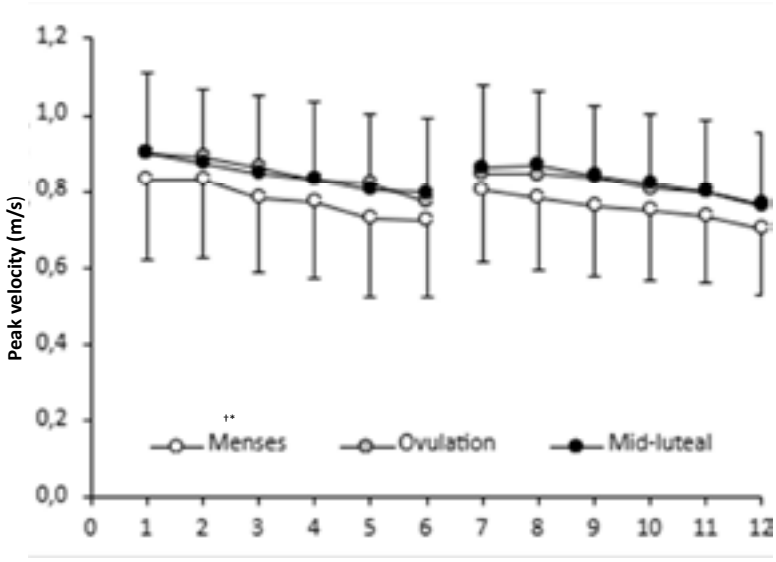
*Evolución de la variable velocidad media (mean velocity) analizada a lo largo de un ejercicio de remo, diferenciando tres fases del ciclo menstrual: folicular temprana (menses), ovulación o periovulatoria (ovulation) y fase lútea media (mid-luteal). El eje X representa las repeticiones individuales, donde las repeticiones 1 a 6 corresponden al primer set y las repeticiones 7 a 12 al segundo set. Los valores medios se representan mediante puntos, mientras que las barras verticales indican la variabilidad (± desviación estándar). Las diferencias estadísticamente significativas se indican mediante símbolos: † señala una diferencia significativa con respecto a la fase periovulatoria ($p < 0,05$), mientras que * indica una diferencia significativa con respecto a la fase lútea ($p < 0,05$)..*

En términos descriptivos, *la* **velocidad media en el ejercicio de remo** *(row) muestra un ligero aumento en las primeras repeticiones, seguido de una disminución progresiva a medida que avanzan las repeticiones, tanto en el primer como en el segundo set*. De forma consistente, *la fase lútea media presenta los valores más elevados, seguida de la fase periovulatoria*, mientras que la menstruación muestra los valores más bajos a lo largo de prácticamente todas las repeticiones. No obstante, el solapamiento de las barras de error indica una *variabilidad considerable y un patrón de respuesta similar entre fases*.

El análisis estadístico no mostró un efecto principal significativo del ciclo menstrual sobre la velocidad media ($F = 2,17$; $p = 0,13$; $\eta p^2 = 0,11$). En contraste, *se observó un efecto principal significativo de la repetición* ($F = 7,25$; $p < 0,01$; $\eta p^2 = 0,29$), lo que indica cambios en la velocidad media a lo largo de las repeticiones. **Tampoco se identificó una interacción significativa entre ciclo menstrual y repetición** ($F = 1,19$; $p = 0,24$; $\eta p^2 = 0,06$), sugiriendo que la evolución de la variable a lo largo de las repeticiones fue comparable entre fases del ciclo.

Los análisis *post hoc* confirmaron la *ausencia de diferencias estadísticamente significativas entre fases del ciclo menstrual,* tanto entre la fase folicular y la periovulatoria ($p = 0,06$; $d = -0,43$), como entre la fase folicular y la fase lútea ($p = 0,17$; $d = -0,32$) y entre la fase periovulatoria y la fase lútea ($p = 0,52$; $d = -0,14$). En conjunto, estos resultados indican que, **para el ejercicio de remo, la velocidad media no se ve significativamente afectada por la fase del ciclo menstrual**.

***Figura 9**. Sentadilla (half-squat). Velocidad pico (peak velocity)*



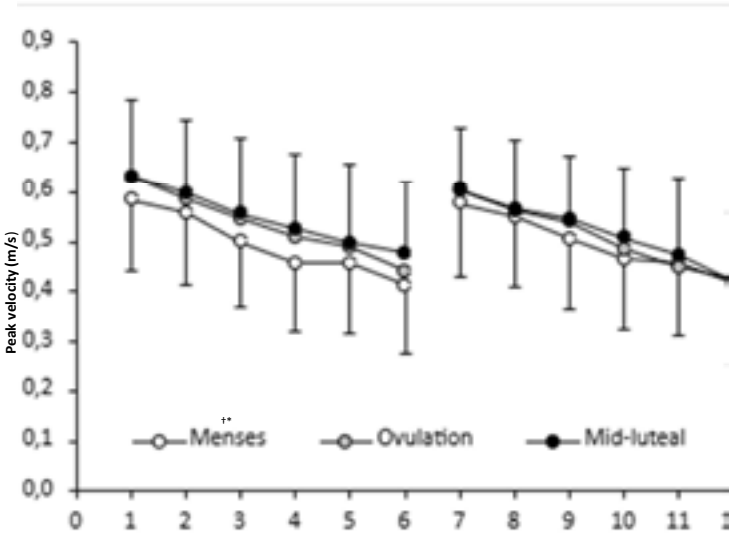
*. Evolución de la variable velocidad pico (peak velocity) analizada a lo largo de un ejercicio de media sentadilla, diferenciando tres fases del ciclo menstrual: folicular temprana (menses), ovulación o periovulatoria (ovulation) y fase lútea media (mid-luteal). El eje X representa las repeticiones individuales, donde las repeticiones 1 a 6 corresponden al primer set y las repeticiones 7 a 12 al segundo set. Los valores medios se representan mediante puntos, mientras que las barras verticales indican la variabilidad (± desviación estándar). Las diferencias estadísticamente significativas se indican mediante símbolos: † señala una diferencia significativa con respecto a la fase periovulatoria (p < 0,05), mientras que * indica una diferencia significativa con respecto a la fase lútea (p < 0,05).*

En términos descriptivos, se aprecia una *disminución progresiva de la velocidad pico a medida que avanzan las repeticiones en las tres fases del ciclo*. De forma consistente, los valores más altos se observan durante la fase lútea media, seguidos por la ovulación, mientras que la menstruación presenta los valores más bajos a lo largo de prácticamente todas las repeticiones. Aunque existe solapamiento entre las barras de error, el patrón relativo entre fases se mantiene estable en ambos sets, lo que sugiere diferencias sistemáticas asociadas a la fase del ciclo.

A continuación, el análisis estadístico reveló un efecto principal significativo del ciclo menstrual sobre la velocidad pico ($F = 5,91$; $p < 0,01$; $\eta p^2 = 0,24$) y un efecto principal significativo de la repetición ($F = 19,99$; $p < 0,01$; $\eta p^2 = 0,51$), reflejando una *reducción de la velocidad conforme avanzan las repeticiones*. **No se identificó una interacción significativa ciclo × repetición** ($F = 0,41$; $p = 0,99$; $\eta p^2 = 0,02$), lo que indica que el descenso a lo largo de las repeticiones fue comparable entre fases.

Los análisis *post hoc* mostraron diferencias significativas entre la fase folicular (menstruación) y la fase periovulatoria ($p = 0,02$; $d = -0,55$), así como entre la fase folicular y la fase lútea ($p < 0,01$; $d = -0,75$). En cambio, no se observaron diferencias entre la fase periovulatoria y la fase lútea ($p = 0,87$; $d = -0,02$).

***Figura 10**. Press de banca (bench press). Velocidad pico (peak velocity)*



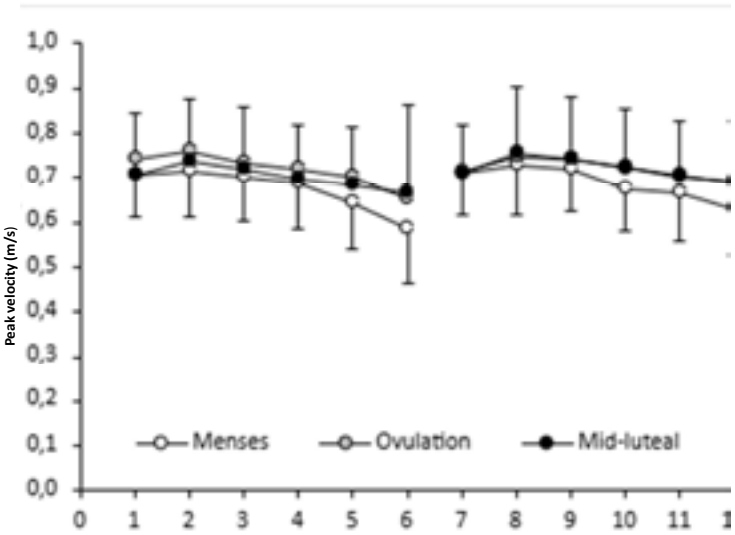
*Evolución de la variable velocidad pico (peak velocity) analizada a lo largo de un ejercicio de press de banca, diferenciando tres fases del ciclo menstrual: folicular temprana (menses), ovulación o periovulatoria (ovulation) y fase lútea media (mid-luteal). El eje X representa las repeticiones individuales, donde las repeticiones 1 a 6 corresponden al primer set y las repeticiones 7 a 12 al segundo set. Los valores medios se representan mediante puntos, mientras que las barras verticales indican la variabilidad (± desviación estándar). Las diferencias estadísticamente significativas se indican mediante símbolos: † señala una diferencia significativa con respecto a la fase periovulatoria (p < 0,05), mientras que * indica una diferencia significativa con respecto a la fase lútea (p < 0,05)..*

En términos descriptivos, l*a velocidad pico durante el ejercicio de press de banca (bench) muestra una disminución progresiva a lo largo de las repeticiones en las tres fases del ciclo menstrual*, tanto en el primer como en el segundo set. De forma consistente, *la fase lútea media presenta los valores más elevados, seguida de la fase periovulatoria*, mientras que la menstruación muestra los valores más bajos en prácticamente todas las repeticiones. A pesar del solapamiento de las barras de error, el patrón relativo entre fases se mantiene estable a lo largo de todo el protocolo, lo que sugiere diferencias sistemáticas asociadas a la fase del ciclo.

El análisis estadístico reveló un **efecto principal significativo del ciclo menstrual sobre la velocidad pico** ($F = 6,40$; $p < 0,01$; $\eta p^2 = 0,25$), *así como un efecto principal significativo de la repetición* ($F = 50,87$; $p < 0,01$; $\eta p^2 = 0,73$), indicando una reducción marcada de la velocidad conforme avanzaron las repeticiones. **No se observó una interacción significativa entre ciclo menstrual y repetición** ($F = 1,57$; $p = 0,04$; $\eta p^2 = 0,08$), lo que sugiere que el patrón de descenso a lo largo de las repeticiones fue similar entre fases.

Los análisis *post hoc* mostraron **diferencias estadísticamente significativas entre la fase folicular (menstruación) y la fase periovulatoria** ($p = 0,01$; $d = -0,57$), así como **entre la fase folicular y la fase lútea** ($p = 0,009$; $d = -0,72$), con tamaños del efecto moderados a grandes. En cambio, no se observaron diferencias significativas entre la fase periovulatoria y la fase lútea ($p = 0,46$; $d = -0,16$), indicando un comportamiento similar entre estas dos fases.

***Figura 11**. Peso muerto (deadlift). Velocidad pico (peak velocity)*



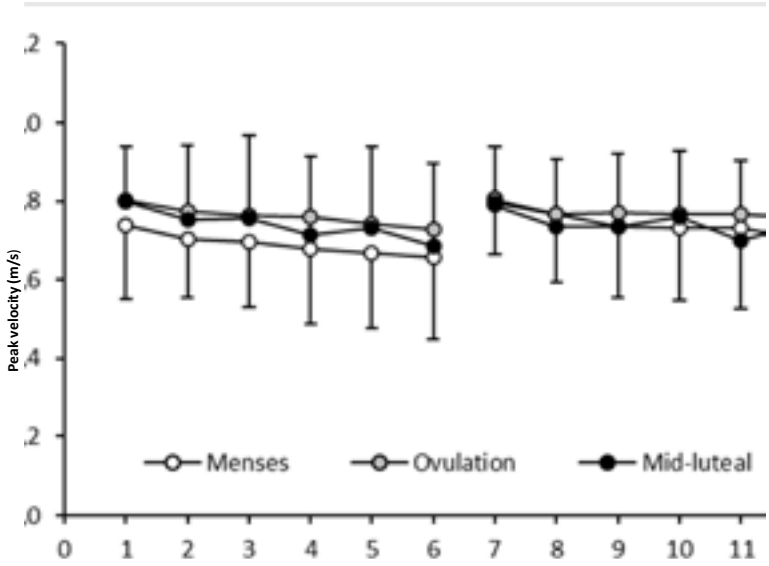
*Evolución de la variable velocidad pico (peak velocity) analizada a lo largo de un ejercicio de peso muerto, diferenciando tres fases del ciclo menstrual: folicular temprana (menses), ovulación o periovulatoria (ovulation) y fase lútea media (mid-luteal). El eje X representa las repeticiones individuales, donde las repeticiones 1 a 6 corresponden al primer set y las repeticiones 7 a 12 al segundo set. Los valores medios se representan mediante puntos, mientras que las barras verticales indican la variabilidad (± desviación estándar). Las diferencias estadísticamente significativas se indican mediante símbolos: † señala una diferencia significativa con respecto a la fase periovulatoria ($p < 0,05$), mientras que * indica una diferencia significativa con respecto a la fase lútea ($p < 0,05$).*

En términos descriptivos, *la velocidad pico durante el ejercicio de peso muerto* (*dead lift*) *muestra una ligera tendencia descendente a lo largo de las repeticiones en las tres fases del ciclo menstrual*, tanto en el primer como en el segundo set. De manera consistente, *la fase lútea media presenta los valores más elevados, seguida de la fase periovulatoria*, mientras que la menstruación muestra los valores más bajos en la mayoría de las repeticiones. No obstante, el solapamiento de las barras de error indica una elevada variabilidad y un patrón de respuesta similar entre fases.

El análisis estadístico no evidenció un efecto principal significativo del ciclo menstrual sobre la velocidad pico ($F = 1,78$; $p = 0,18$; $\eta p^2 = 0,09$). En cambio, se observó un efecto principal significativo de la repetición ($F = 7,12$; $p < 0,01$; $\eta p^2 = 0,27$), indicando cambios en la velocidad pico a lo largo de las repeticiones. **Tampoco se identificó una interacción significativa entre ciclo menstrual y repetición** ($F = 0,87$; $p = 0,62$; $\eta p^2 = 0,04$), lo que sugiere que la evolución de la variable a lo largo de las repeticiones fue comparable entre fases del ciclo.

Los análisis *post hoc* confirmaron la ausencia de diferencias estadísticamente significativas entre fases del ciclo menstrual, tanto entre la fase folicular y la periovulatoria ($p = 0,09$; $d = -0,39$), como entre la fase folicular y la fase lútea ($p = 0,44$; $d = -0,15$) y entre la fase periovulatoria y la fase lútea ($p = 0,28$; $d = -0,25$).

***Figura 12**. Remo (row). Velocidad pico (peak velocity)*



*Evolución de la variable velocidad pico (peak velocity) analizada a lo largo de un ejercicio de peso muerto, diferenciando tres fases del ciclo menstrual: folicular temprana (menses), ovulación o periovulatoria (ovulation) y fase lútea media (mid-luteal). El eje X representa las repeticiones individuales, donde las repeticiones 1 a 6 corresponden al primer set y las repeticiones 7 a 12 al segundo set. Los valores medios se representan mediante puntos, mientras que las barras verticales indican la variabilidad (± desviación estándar).Las diferencias estadísticamente significativas se indican mediante símbolos: † señala una diferencia significativa con respecto a la fase periovulatoria (p < 0,05), mientras que * indica una diferencia significativa con respecto a la fase lútea (p < 0,05).*

En términos descriptivos, *la velocidad pico durante el ejercicio de remo (row) se mantiene relativamente estable a lo largo de las repeticiones en las tres fases del ciclo menstrual*, con ligeras oscilaciones tanto en el primer como en el segundo set. De forma general, *la fase lútea media tiende a presentar los valores más elevados, seguida de la fase periovulatoria*, mientras que la menstruación muestra valores ligeramente inferiores. El amplio solapamiento de las barras de error sugiere un patrón de respuesta similar entre fases a lo largo de todo el protocolo.

El análisis estadístico no mostró un efecto principal significativo del ciclo menstrual sobre la velocidad pico ($F = 2,55$; $p = 0,09$; $\eta p^2 = 0,12$). En cambio, se observó un efecto principal significativo de la repetición ($F = 5,42$; $p < 0,01$; $\eta p^2 = 0,23$), indicando cambios en la velocidad pico conforme avanzaron las repeticiones. **No se identificó una interacción significativa entre ciclo menstrual y repetición** ($F = 1,57$; $p = 0,04$; $\eta p^2 = 0,08$), lo que sugiere que la evolución de la velocidad a lo largo de las repeticiones fue comparable entre fases del ciclo.

Los análisis *post hoc* confirmaron la ausencia de diferencias estadísticamente significativas entre fases del ciclo menstrual, tanto entre la fase folicular y la periovulatoria ($p = 0,06$; $d = -0,42$), como entre la fase folicular y la fase lútea ($p = 0,16$; $d = -0,32$) y entre la fase periovulatoria y la fase lútea ($p = 0,34$; $d = -0,17$).

Valores de potencia

***Tabla 2**. Resultados del análisis de la varianza de medidas repetidas (ANOVA) y de las comparaciones post hoc por pares para las variables de potencia media y pico (W) a lo largo de las distintas fases del ciclo menstrual (folicular, periovulatoria y lútea) en cada uno de los ejercicios analizados.*

Exercise	Variable	Cycle	Repetition	Interaction	Folicular vs peri-ovulatory	Folicular vs luteal	Peri-ovulatory vs luteal
Half-squat	Mean power (W)	F= 1.76 p=0.185	F=27.93 p<0.01	F=0.56 p=0.94	p=0.03	p=0.24	p=0.66
	Peak power (W)	F=2.44 p=0.10	F=9.23 p<0.01	F=0.40 p=0.99	p=0.021	p=0.22	p=0.48
Bench press	Mean power (W)	F=2.79 p=0,07	F=78.11 p<0.01	F=1.14 p=0.29	p=0.05	p=0.06	p=0.73
	Peak power (W)	F=3.65 p=0.03	F=39.84 p<0.01	F=0.99 p=0.47	p=0.02	p=0.04	p=0.57
Deadlift	Mean power (W)	F=3.23 p=0.05	F=19.42 p<0.01	F=1.69 p=0.02	p=0.03	p=0.09	p=0.58
	Peak power (W)	F=0.63 p=0.53	F=8.04 p<0.01	F=1.37 p=0.12	p=0.27	p=0.56	p=0.62
Row	Mean power (W)	F=1.57 p=0.22	F=7.19 p<0.001	F=1.35 p=0.07	p=0.08	p=0.31	p=0.54
	Peak power (W)	F=2.09 p=0.14	F=2.59 p=0.004	F=1.75 p=0.02	p=0.083	p=0.36	p=0.22

Sentadilla (half-squat)

No se observó un efecto principal significativo del ciclo menstrual sobre la potencia media (F = 1,76; p = 0,185). En cambio, se identificó un efecto principal significativo de la repetición (F = 27,93; p < 0,01), indicando cambios en la potencia media a lo largo de las repeticiones. **No se encontró una interacción significativa ciclo × repetición** (F = 0,56; p = 0,94), lo que sugiere un patrón de respuesta similar entre fases del ciclo. Los análisis *post hoc* no mostraron diferencias significativas entre fases: folicular vs. periovulatoria (p = 0,03), folicular vs. lútea (p = 0,24) ni periovulatoria vs. lútea (p=0,66).

No se detectó un efecto principal significativo del ciclo menstrual (F = 2,44; p = 0,10), mientras que sí se observó un efecto principal significativo de la repetición (F = 9,23; p < 0,01). La interacción ciclo × repetición no fue significativa (F = 0,40; p = 0,99). En los análisis *post hoc* se observó una diferencia significativa entre la fase folicular y la periovulatoria (p = 0,021), mientras que no se encontraron diferencias entre la fase folicular y la lútea (p = 0,22) ni entre la fase periovulatoria y la lútea (p = 0,48).

Press de banca (bench press)

No se observó un efecto principal significativo del ciclo menstrual (F = 2,79; p = 0,07), *aunque el valor se aproximó al umbral de significación*. Se identificó un efecto principal significativo de la repetición (F = 78,11; p < 0,01), evidenciando variaciones claras de la potencia a lo largo de las repeticiones **No se encontró una interacción significativa ciclo × repetición** (F = 1,14; p = 0,29). Los análisis *post hoc* no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre fases: folicular vs. periovulatoria (p = 0,05), folicular vs. lútea (p = 0,06) ni periovulatoria vs. lútea (p = 0,73).

Se observó un efecto principal significativo del ciclo menstrual (F = 3,65; p = 0,03), junto con un efecto principal significativo de la repetición (F = 39,84; p < 0,01). La interacción ciclo × repetición no fue significativa (F = 0,99; p = 0,47). *Los análisis post hoc mostraron diferencias significativas entre la fase folicular y la periovulatoria* (p = 0,02) *y entre la fase folicular y la lútea* (p = 0,04), mientras que no se observaron diferencias entre la fase periovulatoria y la lútea (p = 0,57).

Peso muerto (deadlift)

Se identificó un efecto principal significativo del ciclo menstrual (F = 3,23; p = 0,05), así como un efecto principal significativo de la repetición (F = 19,42; p < 0,01). La interacción ciclo × repetición fue significativa (F = 1,69; p = 0,02), lo que sugiere que **la evolución de la potencia a lo largo de las repeticiones difirió entre fases del ciclo**. En los análisis *post hoc* se observaron *diferencias significativas entre la fase folicular y la periovulatoria (*p = 0,03), mientras que no se encontraron diferencias entre la fase folicular y la lútea (p = 0,09) ni entre la fase periovulatoria y la lútea (p = 0,58).

No se observó un efecto principal significativo del ciclo menstrual (F = 0,63; p = 0,53). Sí se identificó un efecto principal significativo de la repetición (F = 8,04; p < 0,01), mientras que *la interacción ciclo × repetición no fue significativa* (F = 1,37; p = 0,12). Los análisis *post hoc* no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre fases: folicular vs. periovulatoria (p = 0,27), folicular vs. lútea (p = 0,56) ni periovulatoria vs. lútea (p = 0,62).

Remo (Row)

No se observó un efecto principal significativo del ciclo menstrual (F = 1,57; p = 0,22), mientras que sí se identificó un efecto principal significativo de la repetición (F = 7,19; p < 0,001). **La interacción ciclo × repetición no alcanzó significación estadística** (F = 1,35; p = 0,07). Los análisis *post hoc* no mostraron diferencias significativas entre fases: folicular vs. periovulatoria (p = 0,08), folicular vs. lútea (p = 0,31) ni periovulatoria vs. lútea (p = 0,54).

No se detectó un efecto principal significativo del ciclo menstrual (F = 2,09; p = 0,14). Se observó un efecto principal significativo de la repetición (F = 2,59; p = 0,004), así como una *interacción significativa ciclo × repetición* (F = 1,75; p = 0,02). *Sin embargo, los análisis post hoc no revelaron diferencias estadísticamente significativas entre fases*: folicular vs. periovulatoria (p = 0,083), folicular vs. lútea (p = 0,36) ni periovulatoria vs. lútea (p = 0,22).

En relación con los objetivos planteados, los resultados del Estudio 1 indican que **las fases del ciclo menstrual ejercen un efecto limitado y ejercicio-dependiente sobre el rendimiento neuromuscular durante sesiones de entrenamiento de fuerza basadas en la velocidad, mientras que la repetición del esfuerzo constituye el principal determinante de la disminución del rendimiento**. De manera consistente, se observaron efectos significativos de la repetición sobre la velocidad y la potencia en todos los ejercicios analizados, reflejando la fatiga acumulada propia de protocolos ecológicos de múltiples repeticiones. En contraste, *el efecto de la fase del ciclo menstrual fue menos uniforme y se manifestó principalmente en variables de velocidad y potencia pico en determinados ejercicios* (especialmente en *bench press* y, de forma puntual, en *deadlift*), con *valores inferiores durante la fase folicular en comparación con las fases periovulatoria y lútea*, mientras que en otros ejercicios no se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre fases. La ausencia generalizada de interacciones ciclo × repetición sugiere que, aunque pueden existir diferencias basales entre fases, **el patrón de respuesta al esfuerzo y la fatiga a lo largo de las repeticiones es similar independientemente del momento del ciclo**.

Estos hallazgos aportan evidencia científica específica en población femenina, contribuyendo directamente a reducir la brecha de género en las ciencias del deporte, al evitar la extrapolación de modelos derivados de estudios realizados mayoritariamente en hombres. Además, los resultados permiten matizar la influencia real del ciclo menstrual sobre el rendimiento neuromuscular, mostrando que **no todas las variables ni todos los ejercicios se ven afectados de igual modo, lo que refuerza la necesidad de un enfoque individualizado y basado en datos en el diseño del entrenamiento de fuerza para mujeres**. Desde una perspectiva de igualdad, esta investigación promueve una práctica profesional más informada y justa, proporcionando a entrenadoras, entrenadores y profesionales de la actividad física criterios objetivos para planificar y ajustar la carga de entrenamiento en mujeres, reconociendo sus particularidades fisiológicas sin sobredimensionar ni trivializar el papel del ciclo menstrual. En conjunto, el estudio impulsa la integración del conocimiento científico con la práctica aplicada, favoreciendo estrategias de entrenamiento más precisas, inclusivas y equitativas para la población femenina.

Estudio 2: Ejercicio aeróbico

Dado el carácter del diseño experimental con medidas repetidas y, por tanto, observaciones correlacionadas dentro de la misma participante y debido que el estudio 2 se realizó posterior al estudio 1, los datos se analizaron mediante *modelos lineales de efectos mixtos* (*Linear Mixed Models; LMM*). Esta estrategia permite modelizar de manera simultánea la *variabilidad interparticipante* (diferencias basales entre mujeres) y la *variabilidad intraparticipante* (cambios dentro de la misma mujer entre fases del ciclo). En este sentido, los LMM resultan especialmente adecuados para *estudios cruzados y de medidas repetidas*, ya que no requieren que todas las participantes aporten exactamente el mismo número de registros en cada punto temporal y permiten incorporar estructuras realistas de dependencia entre observaciones.

En los análisis, la fase del ciclo menstrual se incluyó como efecto fijo (con tres niveles: fase folicular temprana, fase periovulatoria y fase lútea media), al tratarse del factor experimental principal cuya influencia se pretende contrastar. Para modelizar adecuadamente la correlación esperable entre medidas sucesivas tomadas en intervalos regulares dentro de una misma sesión, se especificó una estructura residual autorregresiva de primer orden [AR(1)]. Esta estructura asume que *las observaciones tomadas en momentos cercanos tienden a ser más similares entre sí que aquellas más distantes en el tiempo*, lo cual es coherente con medidas fisiológicas repetidas durante ejercicio continuo. En conjunto, esta aproximación permite estimar con mayor precisión los efectos de la fase del ciclo menstrual, del tiempo y de su interacción, controlando la dependencia inherente a los datos longitudinales obtenidos durante cada ensayo.

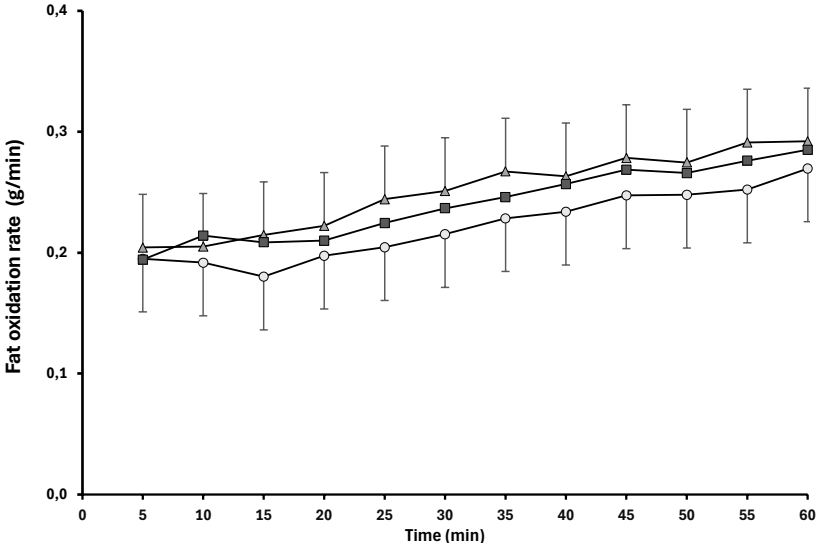
Variables metabólicas

Desde un punto de vista descriptivo, *se observa un incremento progresivo de la oxidación de grasas a medida que avanza el ejercicio en las tres fases del ciclo menstrual*. De forma consistente, *los valores correspondientes a la fase lútea media tienden a situarse ligeramente por encima de los observados en la fase periovulatoria*, mientras que la fase folicular temprana presenta, en general, los valores más bajos. No obstante, el solapamiento de las barras de error entre fases es evidente en la mayoría de los puntos analizados, lo que sugiere una *elevada variabilidad interindividual y un patrón de respuesta globalmente similar entre fases*.

En cuanto al análisis inferencial, **no se observó un efecto principal de la fase del ciclo menstrual sobre la tasa de oxidación de grasas durante el ejercicio** ($F(2,32,9) = 1,514$; $p = 0,282$), **ni una interacción significativa tiempo × fase del ciclo menstrual** ($F(22,395,2) = 0,814$; $p = 0,708$), lo que indica que la evolución temporal de la oxidación de grasas fue

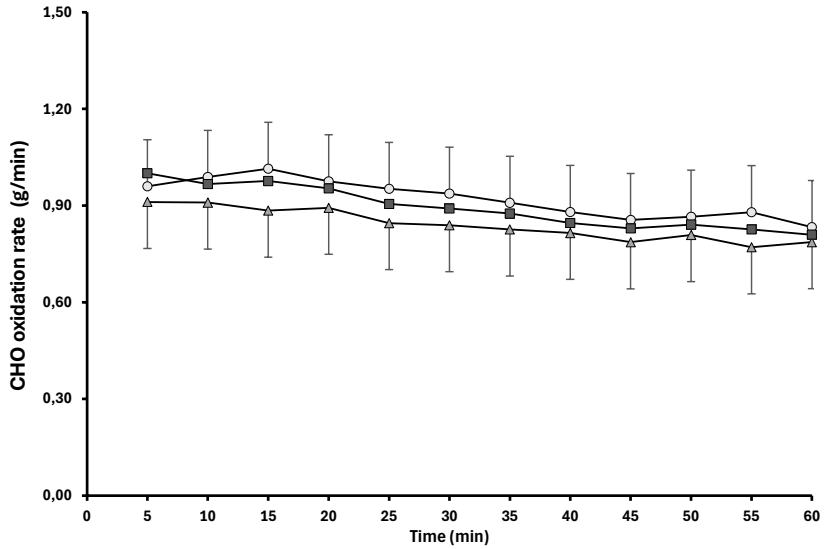
comparable entre fases. Sin embargo, se identificó un efecto principal significativo del tiempo ($F(11,395,2) = 6,438$; $p < 0,001$), confirmando que *la oxidación de grasas aumentó de manera significativa conforme progresó el ejercicio*.

***Figura 13**. Evolución de la oxidación de grasa (fat oxidation, g/min) a lo largo del ejercicio de ciclismo, diferenciando tres fases del ciclo menstrual: fase folicular temprana (early follicular), fase periovulatoria (peri-ovulatory) y fase lútea media (mid-luteal).*



El eje Y representa los valores de la variable estudiada mientras que el eje X indica el tiempo de ejercicio en intervalos de 5 minutos. Los valores se presentan como media ± desviación estándar, representándose las medias mediante símbolos y la variabilidad mediante barras verticales. Las comparaciones por pares entre fases del ciclo menstrual se realizaron mediante pruebas post hoc LSD. Los símbolos de significación indican: (*) diferencias significativas entre la fase folicular temprana y la fase periovulatoria ($p < 0,05$); (†) diferencias significativas entre la fase folicular temprana y la fase lútea media ($p < 0,05$); y (◊) diferencias significativas entre la fase periovulatoria y la fase lútea media ($p < 0,05$)..

***Figura 14**. Evolución de la oxidación de carbohidratos (CHO oxidation, g/min) a lo largo del ejercicio de ciclismo, diferenciando tres fases del ciclo menstrual: fase folicular temprana (early follicular), fase periovulatoria (peri-ovulatory) y fase lútea media (mid-luteal).*

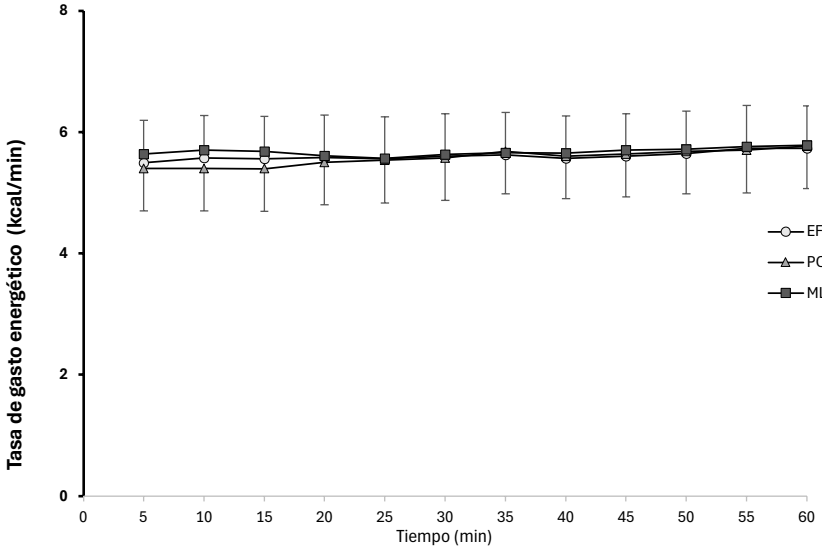


El eje Y representa los valores de la variable estudiada mientras que el eje X indica el tiempo de ejercicio en intervalos de 5 minutos. Los valores se presentan como media ± desviación estándar, representándose las medias mediante símbolos y la variabilidad mediante barras verticales. Las comparaciones por pares entre fases del ciclo menstrual se realizaron mediante pruebas post hoc LSD. Los símbolos de significación indican: (*) diferencias significativas entre la fase folicular temprana y la fase periovulatoria ($p < 0,05$); (†) diferencias significativas entre la fase folicular temprana y la fase lútea media ($p < 0,05$); y (◊) diferencias significativas entre la fase periovulatoria y la fase lútea media ($p < 0,05$)..

Desde un punto de vista descriptivo, se observa una *ligera tendencia descendente de la oxidación de carbohidratos a medida que avanza el ejercicio en las tres fases del ciclo menstrual*. De forma general, *los valores correspondientes a la fase folicular temprana tienden a situarse ligeramente por encima de los observados en la fase periovulatoria y la fase lútea media*, especialmente en los primeros compases del ejercicio. No obstante, el solapamiento de las barras de error entre fases es evidente a lo largo de todo el protocolo, lo que sugiere una elevada variabilidad interindividual y un patrón de respuesta globalmente similar entre las distintas fases del ciclo.

En cuanto al análisis inferencial, **no se observó un efecto principal de la fase del ciclo menstrual sobre la tasa de oxidación de carbohidratos** ($F(2,35,6) = 1,312$; $p = 0,235$), **ni una interacción significativa tiempo × fase del ciclo menstrual** ($F(22,388,8) = 0,893$; $p = 0,605$), lo que indica que la evolución temporal de la oxidación de carbohidratos fue comparable entre fases. Sin embargo, se identificó un efecto principal significativo del tiempo ($F(11,388,8) = 3,540$; $p < 0,001$), confirmando que *la oxidación de carbohidratos disminuyó de manera significativa conforme progresó el ejercicio, independientemente de la fase del ciclo menstrual*.

Figura 15. *Evolución de la energía consumida (energy expenditure, kcal/min) a lo largo del ejercicio de ciclismo, diferenciando tres fases del ciclo menstrual: fase folicular temprana (early follicular), fase periovulatoria (periovulatory) y fase lútea media (mid-luteal).*



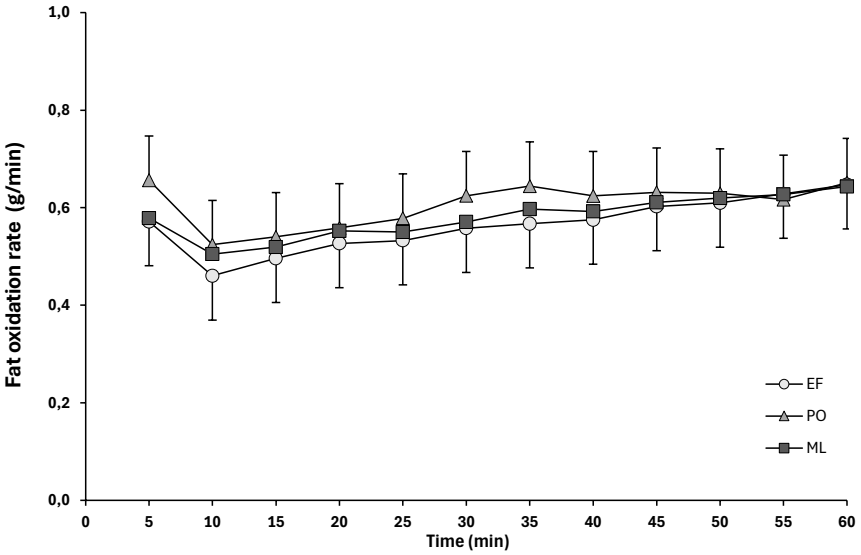
El eje Y representa los valores de la variable estudiada mientras que el eje X indica el tiempo de ejercicio en intervalos de 5 minutos. Los valores se presentan como media ± desviación estándar, representándose las medias mediante símbolos y la variabilidad mediante barras verticales. Las comparaciones por pares entre fases del ciclo menstrual se realizaron mediante pruebas post hoc LSD. Los símbolos de significación indican: (*) diferencias significativas entre la fase folicular temprana y la fase periovulatoria ($p < 0,05$); (†) diferencias significativas entre la fase folicular temprana y la fase lútea media ($p < 0,05$); y (◊) diferencias significativas entre la fase periovulatoria y la fase lútea media ($p < 0,05$)..

Desde un punto de vista descriptivo, el gasto energético se mantiene relativamente estable a lo largo del ejercicio en las tres fases del ciclo menstrual, con ligeras oscilaciones alrededor de valores similares durante todo el protocolo. No se aprecian diferencias visuales claras entre fases, y el amplio solapamiento de las barras de error indica una *elevada variabilidad interindividual y un patrón de respuesta comparable entre las distintas fases del ciclo menstrual*.

En cuanto al análisis inferencial, **no se observó un efecto principal de la fase del ciclo menstrual sobre el gasto energético durante el ejercicio** ($F(2,29,7) = 0,169$; $p = 0,845$), **ni una interacción significativa tiempo × fase del ciclo menstrual** ($F(22,423,5) = 0,681$; $p = 0,859$), lo que indica que la evolución temporal del gasto energético fue similar entre fases.

Sin embargo, se identificó un efecto principal significativo del tiempo (F(22,423,5) = 0,681; p = 0,025), lo que sugiere la presencia de *cambios sutiles, pero estadísticamente detectables en el gasto energético a medida que avanzó el ejercicio, independientemente de la fase del ciclo menstrual*.

***Figura 16**. Evolución de la oxidación de grasa (fat oxidation, g/min) a lo largo del ejercicio de carrera, diferenciando tres fases del ciclo menstrual: fase folicular temprana (early follicular), fase periovulatoria (peri-ovulatory) y fase lútea media (mid-luteal).*

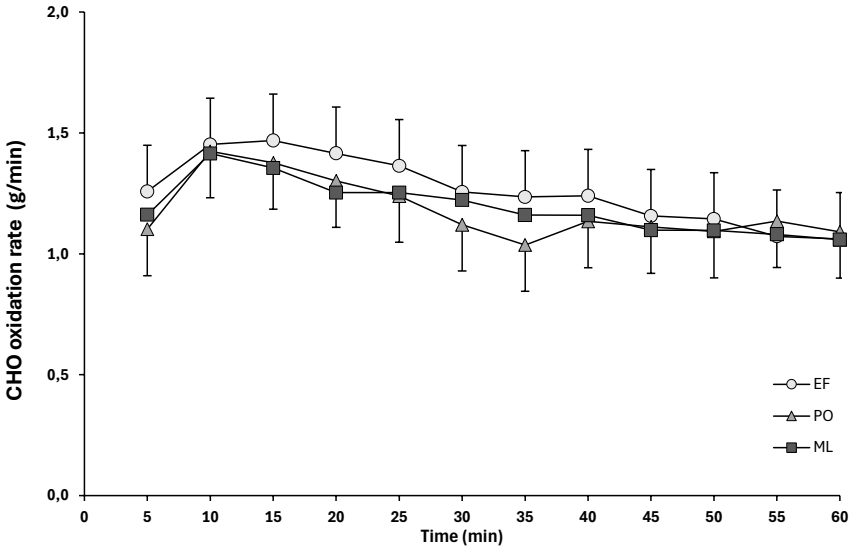


El eje Y representa los valores de la variable estudiada mientras que el eje X indica el tiempo de ejercicio en intervalos de 5 minutos. Los valores se presentan como media ± desviación estándar, representándose las medias mediante símbolos y la variabilidad mediante barras verticales. Las comparaciones por pares entre fases del ciclo menstrual se realizaron mediante pruebas post hoc LSD. Los símbolos de significación indican: (*) diferencias significativas entre la fase folicular temprana y la fase periovulatoria (p < 0,05); (†) diferencias significativas entre la fase folicular temprana y la fase lútea media (p < 0,05); y (◊) diferencias significativas entre la fase periovulatoria y la fase lútea media (p < 0,05).

Desde un punto de vista descriptivo, se observa una *disminución inicial de la oxidación de grasas en los primeros minutos de ejercicio, seguida de un incremento progresivo conforme avanza el tiempo*, patrón que se repite de forma similar en las tres fases del ciclo menstrual. A lo largo de todo el protocolo, *los valores correspondientes a la fase periovulatoria tienden a situarse ligeramente por encima de los observados en la fase lútea media*, mientras que la fase folicular temprana presenta, en general, valores ligeramente inferiores, especialmente en los primeros compases del ejercicio. No obstante, el solapamiento de las barras de error entre fases es amplio en la mayoría de los puntos temporales, lo que sugiere una *elevada variabilidad interindividual y un comportamiento globalmente comparable entre fases*.

En cuanto al análisis inferencial, **no se observó un efecto principal de la fase del ciclo menstrual sobre la tasa de oxidación de grasas durante la carrera** (F(2,46,4) = 2,065; p = 0,138), **ni una interacción significativa tiempo × fase del ciclo menstrual** (F(22,325,3) = 0,715; p = 0,825), lo que indica que la evolución temporal de la oxidación de grasas fue similar entre fases. Sin embargo, se identificó un efecto principal significativo del tiempo (F(11,395,2) = 14,008; p < 0,001), confirmando que *la oxidación de grasas aumentó de manera significativa a medida que progresó el ejercicio, independientemente de la fase del ciclo menstrual*.

***Figura 17**. Evolución de la oxidación de carbohidratos (CHO oxidation, g/min) a lo largo del ejercicio de carrera, diferenciando tres fases del ciclo menstrual: fase folicular temprana (early follicular), fase periovulatoria (peri-ovulatory) y fase lútea media (mid-luteal).*

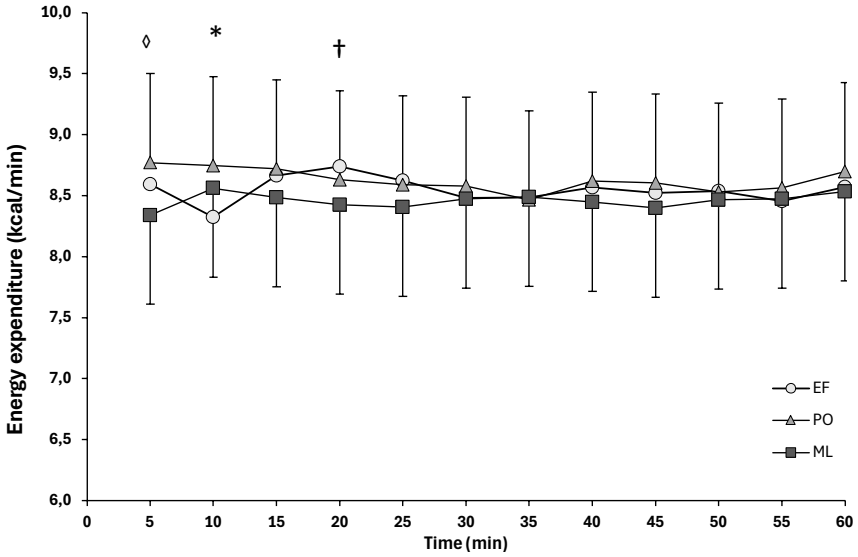


El eje Y representa los valores de la variable estudiada mientras que el eje X indica el tiempo de ejercicio en intervalos de 5 minutos. Los valores se presentan como media ± desviación estándar, representándose las medias mediante símbolos y la variabilidad mediante barras verticales. Las comparaciones por pares entre fases del ciclo menstrual se realizaron mediante pruebas post hoc LSD. Los símbolos de significación indican: (*) diferencias significativas entre la fase folicular temprana y la fase periovulatoria ($p < 0,05$); (†) diferencias significativas entre la fase folicular temprana y la fase lútea media ($p < 0,05$); y (◊) diferencias significativas entre la fase periovulatoria y la fase lútea media ($p < 0,05$).

Desde un punto de vista descriptivo, se observa un *incremento inicial de la oxidación de carbohidratos durante los primeros minutos de ejercicio, seguido de una disminución progresiva conforme avanza el tiempo, patrón que se reproduce de manera similar en las tres fases del ciclo menstrual*. De forma general, *los valores correspondientes a la fase folicular temprana tienden a situarse ligeramente por encima de los observados en la fase periovulatoria y la fase lútea media en los primeros compases del ejercicio, mientras que estas diferencias se atenúan a medida que progresa el protocolo*. El solapamiento de las barras de error entre fases es evidente a lo largo de todo el ejercicio, lo que indica una elevada variabilidad interindividual y un comportamiento globalmente comparable entre fases.

En cuanto al análisis inferencial, **no se observó un efecto principal de la fase del ciclo menstrual sobre la tasa de oxidación de carbohidratos durante la carrera** ($F(2,52,2) = 1,570$; $p = 0,218$), **ni una interacción significativa tiempo × fase del ciclo menstrual** ($F(22,307,9) = 0,703$; $p = 0,837$), lo que sugiere que la evolución temporal de la oxidación de carbohidratos fue similar entre fases. Sin embargo, se identificó un efecto principal significativo del tiempo ($F(11,307,9) = 11,018$; $p < 0,001$), confirmando que *la oxidación de carbohidratos varió de manera significativa a lo largo del ejercicio, independientemente de la fase del ciclo menstrual*.

***Figura 18**. Evolución de la energía consumida (energy expenditure, kcal/min) a lo largo del ejercicio de carrera, diferenciando tres fases del ciclo menstrual: fase folicular temprana (early follicular), fase periovulatoria (peri-ovulatory) y fase lútea media (mid-luteal).*



. El eje Y representa los valores de la variable estudiada mientras que el eje X indica el tiempo de ejercicio en intervalos de 5 minutos. Los valores se presentan como media ± desviación estándar, representándose las medias mediante símbolos y la variabilidad mediante barras verticales. Las comparaciones por pares entre fases del ciclo menstrual se realizaron mediante pruebas post hoc LSD. Los símbolos de significación indican: (*) diferencias significativas entre la fase folicular temprana y la fase periovulatoria (p < 0,05); (†) diferencias significativas entre la fase folicular temprana y la fase lútea media (p < 0,05); y (◊) diferencias significativas entre la fase periovulatoria y la fase lútea media (p < 0,05).

Desde un punto de vista descriptivo, *el gasto energético se mantiene relativamente estable a lo largo del ejercicio en las tres fases del ciclo menstrual, con ligeras oscilaciones en torno a valores similares durante todo el protocolo*. De forma general, *los valores correspondientes a la fase periovulatoria tienden a situarse ligeramente por encima* de los observados en la fase folicular temprana y la fase lútea media, especialmente en los primeros minutos del ejercicio, mientras que estas diferencias visuales *se atenúan conforme avanza el tiempo*. A lo largo de todo el ejercicio se observa un amplio solapamiento de las barras de error, lo que indica una elevada variabilidad interindividual.

En cuanto al análisis inferencial, *se identificó un efecto principal significativo de la fase del ciclo menstrual sobre el gasto energético durante la carrera* ($F(2,68,0) = 3,294$; $p = 0,043$), lo que indica diferencias globales entre fases. Los análisis *post hoc* revelaron **diferencias estadísticamente significativas en los puntos temporales de 5, 10 y 20 minutos,** *coincidiendo con las diferencias descriptivas observadas en la fase inicial del ejercicio*. Sin embargo, **no se observó una interacción significativa tiempo × fase del ciclo menstrual** ($F(22,279,5) = 1,340$; $p = 0,144$), **ni un efecto principal del tiempo** ($F(11,279,5) = 0,796$; $p = 0,644$), lo que sugiere que el gasto energético se mantuvo estable a lo largo del ejercicio y que las diferencias entre fases no variaron de forma significativa con el paso del tiempo.

Variables ventilatorias

***Tabla 3**. Variables analizadas.*

Variable (unidades)	Early follicular	Peri-ovulatory	Mid-luteal	F	*p*	Post-hoc
Grasa total oxidada (g)	13.32 [10.76, 15.88]	15.04 [12.48, 17.60]	14.44 [11.83, 17.05]	0.979	0.388	

Variable (unidades)	Early follicular	Peri-ovulatory	Mid-luteal	F	*p*	Post-hoc
Carbohidratos totales oxidados (g)	55.26 [47.14, 63.37]	50.39 [42.28, 58.50]	53.52 [45.31, 61.72]	1.397	0.265	
Energía total consumida (kcal)	320.55 [262.10, 378.99]	318.61 [260.16, 377.05]	324.45 [265.88, 383.03]	0.177	0.839	
V̇O2 promedio (L·min-1)	1.14 [1.00, 1.28]	1.14 [1.00, 1.28]	1.15 [1.01, 1.30]	0.132	0.877	
V̇CO2 promedio (L·min-1)	1.01 [0.88, 1.13]	0.99 [0.86, 1.11]	1.01 [0.88, 1.13]	0.361	0.700	
Cociente respiratorio promedio (RER)	0.88 [0.87, 0.90]	0.87 [0.85, 0.88]	0.87 [0.86, 0.89]	1.497	0.241	
Ventilación promedio (L·min-1)	34.68 [30.14, 39.21]	33.50 [28.97, 38.04]	35.43 [30.87, 39.98]	1.556	0.229	

En relación con la oxidación total de grasas, **no se observó un efecto significativo de la fase del ciclo menstrual** (F = 0,979; p = 0,388). *Aunque descriptivamente la oxidación de grasas fue ligeramente mayor en la fase periovulatoria*, seguida de la fase lútea media y la fase folicular temprana, los amplios intervalos de confianza y la ausencia de diferencias *post hoc* indican que estas variaciones no fueron estadísticamente relevantes.

De manera similar, **los carbohidratos totales oxidados no mostraron diferencias significativas entre fases** (F = 1,397; p = 0,265). *Los valores fueron ligeramente superiores en la fase folicular temprana y la fase lútea* media en comparación con la fase periovulatoria, pero estas diferencias descriptivas no alcanzaron significación estadística.

La energía total consumida durante el ejercicio fue comparable entre las tres fases del ciclo menstrual (F = 0,177; p = 0,839). Los valores medios se mantuvieron prácticamente constantes, lo que sugiere que el coste energético global del ejercicio fue independiente de la fase del ciclo.

En cuanto a las variables cardiorrespiratorias, **no se observaron diferencias significativas en el consumo de oxígeno promedio** ($\dot{V}O_2$) entre fases (F = 0,132; p = 0,877), con valores muy similares en las tres condiciones. Del mismo modo, la producción de dióxido de carbono promedio ($\dot{V}CO_2$) no mostró un efecto de la fase del ciclo (F = 0,361; p = 0,700).

El cociente respiratorio promedio (RER) tampoco difirió significativamente entre fases (F = 1,497; p = 0,241). Aunque se observó una *ligera tendencia a valores algo menores en la fase periovulatoria*, esta variación no fue suficiente para indicar cambios relevantes en la utilización relativa de sustratos energéticos en función del ciclo menstrual.

Por último, **la ventilación promedio no presentó diferencias estadísticamente significativas entre fases** (F = 1,556; p = 0,229). *Los valores fueron ligeramente mayores en la fase lútea media*, con valores intermedios en la fase folicular temprana y algo menores en la fase periovulatoria, pero nuevamente sin significación estadística.

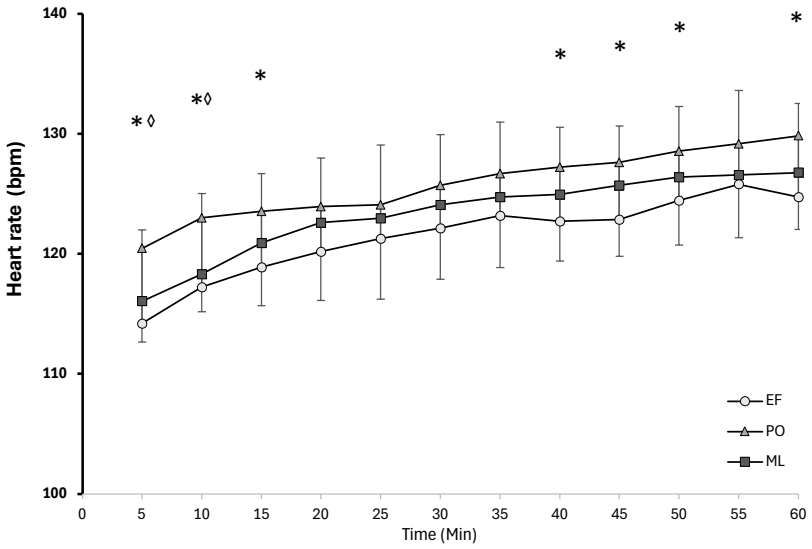
En conjunto, los resultados de esta tabla indican que **la fase del ciclo menstrual no influyó de manera significativa en la oxidación total de grasas o carbohidratos, el consumo energético ni en las principales respuestas cardiorrespiratorias durante el ejercicio**. Estos hallazgos refuerzan la idea de que, *bajo las condiciones evaluadas, el metabolismo energético y la respuesta ventilatoria al ejercicio se mantienen estables a lo largo del ciclo menstrual, independientemente de la fase considerada*.

A la luz de los objetivos planteados y de los resultados obtenidos en el Estudio 2, los hallazgos muestran de manera consistente que, *durante ejercicio aeróbico realizado a intensidad Fatmax tanto en ciclismo como en carrera, la fase del ciclo menstrual no ejerce una influencia significativa sobre la oxidación de grasas y carbohidratos, el consumo energético total ni sobre la mayoría de los parámetros fisiológicos y termorreguladores evaluados, incluyendo la ventilación, el consumo y la producción de gases, la tasa de sudoración, el porcentaje de deshidratación y las pérdidas totales de sodio*. En todos los protocolos se observó un *marcado efecto del tiempo*, reflejando las adaptaciones fisiológicas propias del ejercicio prolongado, mientras que la ausencia de efectos principales o interacciones con la fase del ciclo indica una respuesta metabólica y termorreguladora estable a lo largo del ciclo menstrual.

Asimismo, los resultados permiten **desmitificar la idea de una elevada inestabilidad metabólica femenina asociada al ciclo menstrual**, proporcionando información objetiva que puede ser transferida a entrenadoras, entrenadores y profesionales del ejercicio físico para el diseño de programas de entrenamiento e hidratación basados en evidencia, evitando enfoques restrictivos o injustificados para las deportistas. En conjunto, el estudio refuerza un modelo de práctica profesional más equitativo, informado y específico para mujeres, alineado con los objetivos científicos y sociales del proyecto.

Frecuencia cardiaca

Figura 19. *Evolución de la frecuencia cardiaca (heart rate, bpm) a lo largo del ejercicio de ciclismo, diferenciando tres fases del ciclo menstrual: fase folicular temprana (early follicular), fase periovulatoria (periovulatory) y fase lútea media (mid-luteal).*



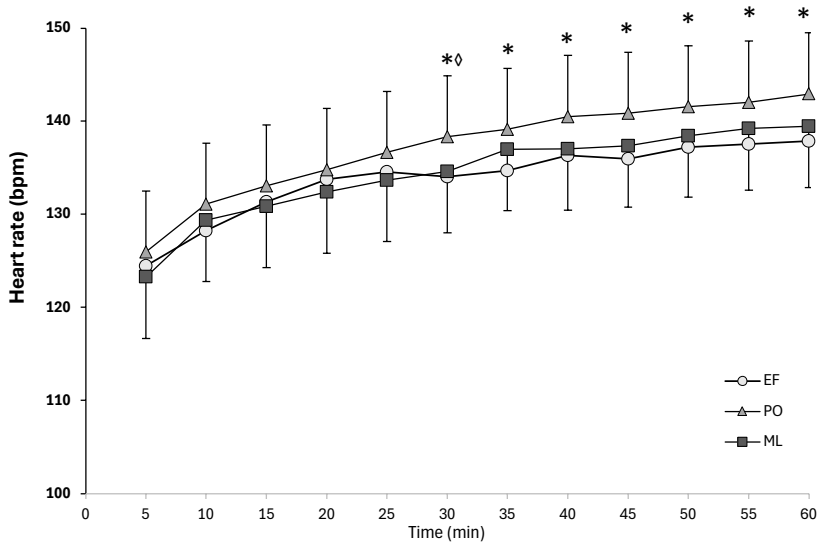
. El eje Y representa los valores de la variable estudiada mientras que el eje X indica el tiempo de ejercicio en intervalos de 5 minutos. Los valores se presentan como media ± desviación estándar, representándose las medias mediante símbolos y la variabilidad mediante barras verticales. Las comparaciones por pares entre fases del ciclo menstrual se realizaron mediante pruebas post hoc LSD. Los símbolos de significación indican: (*) diferencias significativas entre la fase folicular temprana y la fase periovulatoria (p < 0,05); (†) diferencias significativas entre la fase folicular temprana y la fase lútea media (p < 0,05); y (◊) diferencias significativas entre la fase periovulatoria y la fase lútea media (p < 0,05).

Desde un punto de vista descriptivo, *la frecuencia cardíaca aumenta progresivamente a lo largo del ejercicio en las tres fases del ciclo menstrual*. De forma consistente, los valores correspondientes a la fase periovulatoria se sitúan por encima de los observados en la fase lútea media, mientras que la fase folicular temprana presenta los valores más bajos durante la mayor parte del protocolo. Estas diferencias son más evidentes en determinados momentos del ejercicio, aunque existe un solapamiento parcial de las barras de error entre fases.

En cuanto al análisis inferencial, **no se observó un efecto principal estadísticamente significativo de la fase del ciclo menstrual sobre la frecuencia cardíaca** (F(2,29,2) = 3,305; p = 0,051), *si bien el valor se aproximó al umbral de significación*. Por el contrario, *se identificó un efecto principal significativo del tiempo* (F(11,402,5) = 14,371; p < 0,001), indicando un incremento progresivo de la frecuencia cardíaca conforme avanzó el ejercicio. **No se observó una interacción significativa tiempo × fase del ciclo menstrual** (F(22,402,5) = 0,901; p = 0,594), lo que sugiere que el patrón de aumento de la frecuencia cardíaca a lo largo del tiempo fue similar entre fases.

Los análisis *post hoc* mostraron que **la frecuencia cardíaca durante la fase periovulatoria fue significativamente mayor que durante la fase folicular temprana en varios puntos temporales** (p < 0,05), lo que indica la presencia de *diferencias puntuales* entre fases, a pesar de la ausencia de un efecto principal global de la fase del ciclo menstrual.

Figura 20. *Evolución de la frecuencia cardiaca (heart rate, bpm) a lo largo del ejercicio de carrera, diferenciando tres fases del ciclo menstrual: fase folicular temprana (early follicular), fase periovulatoria (peri-ovulatory) y fase lútea media (mid-luteal).*



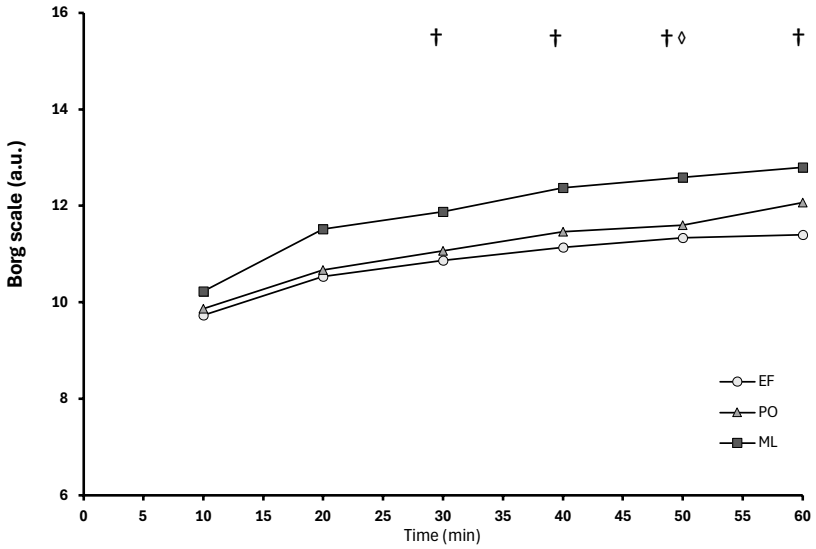
. El eje Y representa los valores de la variable estudiada mientras que el eje X indica el tiempo de ejercicio en intervalos de 5 minutos. Los valores se presentan como media ± desviación estándar, representándose las medias mediante símbolos y la variabilidad mediante barras verticales. Las comparaciones por pares entre fases del ciclo menstrual se realizaron mediante pruebas post hoc LSD. Los símbolos de significación indican: (*) diferencias significativas entre la fase folicular temprana y la fase periovulatoria (p < 0,05); (†) diferencias significativas entre la fase folicular temprana y la fase lútea media (p < 0,05); y (◊) diferencias significativas entre la fase periovulatoria y la fase lútea media (p < 0,05).

Desde un punto de vista descriptivo, **la frecuencia cardíaca aumenta progresivamente a lo largo del ejercicio en las tres fases del ciclo menstrual**. De forma consistente, los valores correspondientes a la fase periovulatoria se sitúan por encima de los observados en la fase lútea media y la fase folicular temprana, especialmente a partir de la mitad del ejercicio. Estas diferencias se hacen más evidentes conforme avanza el tiempo, aunque se mantiene un solapamiento parcial de las barras de error entre fases.

En cuanto al análisis inferencial, *se observó un efecto principal significativo de la fase del ciclo menstrual sobre la frecuencia cardíaca* (F(11,389,5) = 3,353; p = 0,047), indicando diferencias globales entre fases. Los análisis *post hoc* revelaron que **la frecuencia cardíaca fue significativamente mayor en la fase periovulatoria en comparación con la fase folicular temprana desde el minuto 30 hasta el final del ejercicio** (p = 0,007–0,045). Asimismo, la frecuencia cardíaca en la fase periovulatoria fue significativamente superior a la observada en la fase lútea media en el minuto 30 de ejercicio.

Adicionalmente, se identificó un efecto principal significativo del tiempo (F(11,361,7) = 34,447; p < 0,001), confirmando *el incremento progresivo de la frecuencia cardíaca conforme avanzó el ejercicio*. **No se observó una interacción significativa tiempo × fase del ciclo menstrual** (F(22,361,7) = 1,122; p = 0,320), lo que indica que el patrón temporal de aumento de la frecuencia cardíaca fue similar entre fases, a pesar de las *diferencias en los valores absolutos observadas en determinados momentos del ejercicio*.

Figura 21*. Evolución de la percepción del esfuerzo (RPE, escala de Borg 6-20) a lo largo del ejercicio de ciclismo, diferenciando tres fases del ciclo menstrual: fase folicular temprana (early follicular), fase periovulatoria (periovulatory) y fase lútea media (mid-luteal).*



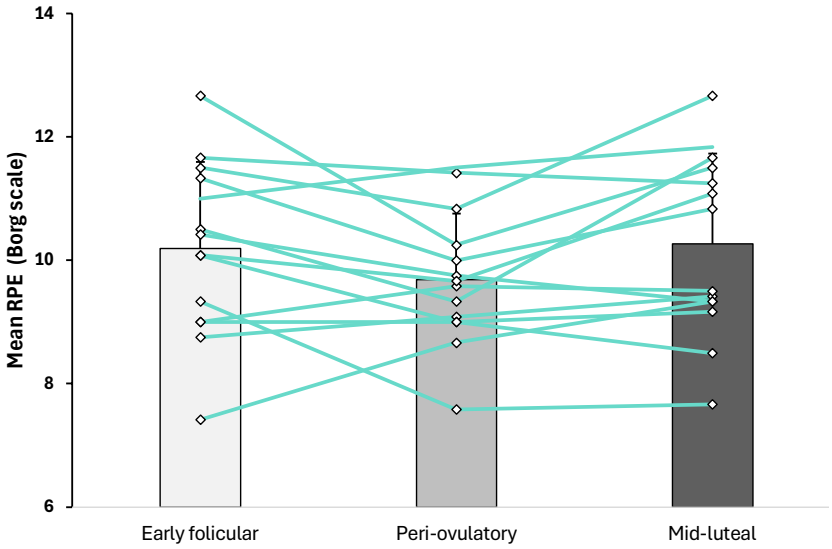
. El eje Y representa los valores de la variable estudiada mientras que el eje X indica el tiempo de ejercicio en intervalos de 5 minutos. Los valores se presentan como media ± desviación estándar, representándose las medias mediante símbolos y la variabilidad mediante barras verticales. Las comparaciones por pares entre fases del ciclo menstrual se realizaron mediante pruebas post hoc LSD. Los símbolos de significación indican: (*) diferencias significativas entre la fase folicular temprana y la fase periovulatoria (p < 0,05); (†) diferencias significativas entre la fase folicular temprana y la fase lútea media (p < 0,05); y (◊) diferencias significativas entre la fase periovulatoria y la fase lútea media (p < 0,05).

Desde un punto de vista descriptivo, **el esfuerzo percibido aumenta progresivamente a lo largo del ejercicio en las tres fases del ciclo menstrual**. De manera consistente, *los valores correspondientes a la fase lútea media se sitúan por encima de los observados en la fase folicular temprana y la fase periovulatoria* durante la mayor parte del protocolo. *Las diferencias entre fases se hacen más evidentes conforme avanza el ejercicio*, especialmente en la segunda mitad, aunque se mantiene un cierto solapamiento de las barras de error en algunos puntos temporales iniciales.

En cuanto al análisis inferencial, se observó un efecto principal significativo de la fase del ciclo menstrual sobre el esfuerzo percibido (F(2,29,1) = 3,524; p = 0,043), así como un efecto principal significativo del tiempo (F(5,186,9) = 23,672; p < 0,001), lo que confirma un incremento progresivo del esfuerzo percibido conforme avanzó el ejercicio. **No se identificó una interacción significativa tiempo × fase del ciclo menstrual** (F(10,186,9) = 0,691; p = 0,732), indicando que el patrón temporal de aumento del esfuerzo fue similar entre fases.

Los análisis *post hoc* revelaron que *el esfuerzo percibido durante la fase lútea media fue significativamente mayor que durante la fase folicular temprana* en todos los puntos temporales, excepto a los 10 y 20 minutos tras el inicio del ejercicio (p < 0,05). Además, el esfuerzo percibido en la fase lútea media fue significativamente superior al observado en la fase periovulatoria en el minuto 50 del ejercicio (p < 0,05), lo que sugiere una *mayor percepción de esfuerzo en la fase lútea media, especialmente en los momentos finales del protocolo*.

***Figura 22**. Valoración media del esfuerzo percibido (RPE), medida mediante la escala de Borg 6-20, durante un ejercicio de una hora de carrera, en tres fases del ciclo menstrual: fase folicular temprana (early follicular), fase periovulatoria (peri-ovulatory) y fase lútea media (mid-luteal).*



. Las barras representan los valores medios de RPE en cada fase, mientras que los puntos y las líneas superpuestas muestran los valores individuales y su evolución, permitiendo visualizar la variabilidad interindividual y los cambios dentro de cada participante.

Desde un punto de vista descriptivo, se observa que *el RPE medio es ligeramente menor en la fase periovulatoria, mientras que tiende a ser más elevado en la fase lútea media*, con valores intermedios durante la fase folicular temprana. No obstante, la dispersión de los datos es amplia y se aprecia un solapamiento considerable entre fases, así como *respuestas individuales heterogéneas*, con participantes que incrementan o disminuyen su percepción del esfuerzo de manera distinta a lo largo del ciclo menstrual.

En cuanto al análisis inferencial, los resultados de las pruebas de efectos fijos de tipo III indican que **no se observó un efecto principal significativo de la fase del ciclo menstrual sobre el RPE medio** ($F(2,26) = 2{,}734$; $p = 0{,}084$), aunque el valor de *p* muestra una *tendencia hacia la significación estadística*. Como era esperable, se observó un efecto significativo de la intersección ($F(1,13) = 1002{,}586$; $p < 0{,}001$). En conjunto, estos resultados sugieren que, *aunque descriptivamente la percepción del esfuerzo parece ser ligeramente mayor en la fase lútea media y menor en la fase periovulatoria, las diferencias globales entre fases no alcanzan significación estadística*, poniendo de manifiesto una *elevada variabilidad interindividual* en la respuesta perceptiva al ejercicio a lo largo del ciclo menstrual.

A partir de los resultados obtenidos para la frecuencia cardíaca y el esfuerzo percibido durante los ejercicios aeróbicos de ciclismo y carrera a intensidad Fatmax, se observa que *las respuestas cardiovasculares y perceptivas muestran una influencia limitada pero específica de la fase del ciclo menstrual*, alineándose parcialmente con los objetivos del Estudio 2. En ambos modos de ejercicio, *la frecuencia cardíaca aumentó progresivamente a lo largo del tiempo, reflejando la carga fisiológica propia del ejercicio aeróbico prolongado*, con un efecto principal robusto del tiempo tanto en ciclismo como en carrera. En el ciclismo, aunque no se detectó un efecto principal significativo de la fase del ciclo, sí se observaron diferencias puntuales, con una *frecuencia cardíaca mayor en la fase periovulatoria frente a la fase folicular temprana* en varios momentos del ejercicio, lo que sugiere una *modulación sutil pero consistente de la respuesta cardiovascular según la fase del ciclo*. En la carrera, esta modulación fue más evidente, observándose un efecto principal significativo de la fase del ciclo menstrual, con *valores de frecuencia cardíaca sistemáticamente más elevados en la fase periovulatoria a partir del minuto 30* en comparación con la fase folicular temprana y, de forma puntual, con la fase lútea media, sin que ello alterase

el patrón temporal de respuesta, dado que no se identificaron interacciones significativas fase × tiempo.

En relación con *el esfuerzo percibido*, los resultados indican que este *aumenta de manera progresiva a lo largo del ejercicio en todas las fases, con un efecto claro del tiempo tanto en ciclismo como en carrera*. Durante el *ciclismo*, se observó además un *efecto principal significativo de la fase del ciclo menstrual*, caracterizado por una *mayor percepción del esfuerzo en la fase lútea media*, especialmente en la segunda mitad del ejercicio, en comparación con la fase folicular temprana y, en momentos concretos, con la fase periovulatoria. En la *carrera*, aunque las diferencias globales entre fases no alcanzaron significación estadística, se mantuvo un *patrón descriptivo coherente, con valores más bajos de RPE en la fase periovulatoria y más elevados en la fase lútea media*, acompañado de una elevada variabilidad interindividual.

Desde la perspectiva de los objetivos del proyecto, estos resultados refuerzan la n*ecesidad de considerar la fase del ciclo menstrual en la interpretación del esfuerzo interno, más que en la prescripción rígida de la carga externa*. Asimismo, la investigación contribuye de forma directa a la promoción de la igualdad en las ciencias del deporte, al generar conocimiento fisiológico y perceptivo específico en mujeres, evitando la extrapolación de respuestas obtenidas en población masculina y proporcionando información útil para entrenadoras, entrenadores y profesionales de la actividad física. De este modo, los resultados favorecen el desarrollo de estrategias de entrenamiento aeróbico más ajustadas, equitativas y basadas en evidencia.

Síntomas menstruales

Cuestionario MSQ adaptado (aeróbico ciclismo)

Tabla 4. *Intensidad percibida de distintos síntomas físicos y emocionales (expresados en unidades arbitrarias, a.u.) a lo largo de tres fases del ciclo menstrual: fase folicular temprana, fase periovulatoria y fase lútea media.*

Variable (unidades)	Early follicular	Peri-ovulatory	Mid-luteal	F	*p*	Post-hoc
1. Deprimida (a.u.)	2.0 [1.6, 2.4]	1.6 [1.2, 2.0]	1.9 [1.5, 2.5]	1.248	0.303	
2. Dolor o incomodidad abdominal (a.u.)	2.8 [2.3, 3.3]	1.5 [0.9, 2.0]	1.5 [1.0, 2.1]	7.713	0.002	early follicular > peri-ovulatory, p = 0.001 early follicular > mid-luteal, p = 0.003
3. Cansada, letárgica (a.u.)	3.0 [2.5, 3.5]	2.5 [2.0, 3.1]	2.6 [2.0, 3.1]	1.017	0.375	
4. Necesitando medicinas para el dolor (a.u.)	1.6 [1.2, 2.0]	1.1 [0.7, 1.4]	1.0 [0.6, 1.4]	3.617	0.040	early follicular > peri-ovulatory, p = 0.037 early follicular > mid-luteal, p = 0.022
5. Débil, mareada (a.u.)	1.7 [1.3, 2.1]	1.3 [0.9, 1.7]	1.7 [1.3, 2.1]	1.234	0.302	
6. Tensa, nerviosa (a.u.)	1.6 [1.1, 2.1]	1.8 [1.3, 2.3]	1.5 [1.0, 2.0]	0.632	0.539	
7. Diarrea (a.u.)	1.2 [0.9, 1.5]	1.5 [1.1, 1.8]	1.1 [0.8, 1.5]	1.173	0.324	
8. Dolor de espalda (a.u.)	1.9 [1.5, 2.4]	1.3 [0.9, 1.8]	1.7 [1.2, 2.2]	2.364	0.114	
9. Pechos doloridos (a.u.)	2.7 [2.3, 3.2]	1.2 [0.8, 1.6]	1.2 [0.8, 1.7]	20.029	<0.001	early follicular > peri-ovulatory, p < 0.001 early follicular > mid-luteal, p < 0.001

Variable (unidades)	Early follicular	Peri-ovulatory	Mid-luteal	F	*p*	Post-hoc
10. Ganando peso (a.u.)	2.3 [1.9, 2.8]	1.5 [1.1, 2.0]	1.4 [1.0, 1.9]	6.961	0.004	early follicular > peri-ovulatory, p = 0.005 early follicular > mid-luteal, p = 0.002
11. Estreñida (a.u.)	1.3 [0.9, 1.8]	1.1 [0.6, 1.5]	1.6 [1.2, 2.1]	1.168	2.114	
12. Área abdominal hinchada (a.u.)	3.3 [2.8, 3.9]	1.6 [1.1, 2.1]	1.6 [1.1, 2.1]	20.968	<0.001	early follicular > peri-ovulatory, p < 0.001 early follicular > mid-luteal, p < 0.001
13. Náuseas (a.u.)	1.1 [1.0, 1.2]	1.0 [0.9, 1.1]	1.1 [1.0, 1.2]	0.520	0.599	
14. Dolor de cabeza (a.u.)	2.0 [1.4, 2.6]	1.6 [1.0, 2.2]	1.8 [1.2, 2.4]	0.606	0.553	

Estos valores se obtuvieron a través del cuestionario pre-ejercicio Menstrual Symptom Questionnaire (Chesney & Tasto, 1975) Los valores se presentan como media [intervalo de confianza] para cada fase. Asimismo, se incluyen los resultados del análisis estadístico, con los valores de F y p correspondientes al efecto principal de la fase del ciclo menstrual, así como los resultados de las comparaciones post hoc cuando se identificaron diferencias estadísticamente significativas entre fases.

1. **Sentirse deprimida**.
   No se observaron diferencias significativas entre fases (F = 1,248; p = 0,303). Aunque descriptivamente la puntuación fue ligeramente mayor en la fase folicular temprana, la percepción de ánimo deprimido fue comparable entre fases.

2. **Dolor o incomodidad abdominal**.
   Se observó un efecto significativo de la fase del ciclo (F = 7,713; p = 0,002). *La intensidad del dolor abdominal fue significativamente mayor en la fase folicular temprana* en comparación con la fase periovulatoria (p = 0,001) y la fase lútea media (p = 0,003).

3. **Cansada, letárgica.**
   No se encontraron diferencias significativas entre fases (F = 1,017; p = 0,375). La sensación de fatiga fue elevada en todas las fases, con valores ligeramente superiores en la fase folicular temprana.

4. **Necesidad de medicación para el dolor**.
   Se identificó un efecto significativo de la fase del ciclo (F = 3,617; p = 0,040). *La necesidad de medicación fue mayor en la fase folicular temprana* en comparación con la fase periovulatoria (p = 0,037) y la fase lútea media (p = 0,022).

5. **Sensación de debilidad o mareo**
   No se observaron diferencias significativas entre fases (F = 1,234; p = 0,302). La intensidad de este síntoma fue similar en la fase folicular temprana y la fase lútea media, y ligeramente menor en la fase periovulatoria.

6. **Tensa, nerviosa**.
   No se detectaron diferencias significativas (F = 0,632; p = 0,539). La percepción de tensión o nerviosismo fue comparable en las tres fases del ciclo.

7. **Diarrea**.
   No se observaron diferencias significativas entre fases (F = 1,173; p = 0,324), aunque descriptivamente los valores fueron ligeramente mayores durante la fase periovulatoria.

8. **Dolor de espalda**.
   No se identificó un efecto significativo de la fase del ciclo (F = 2,364; p = 0,114). No obstante, descriptivamente el dolor de espalda tendió a ser mayor en la fase folicular temprana.

9. **Pechos doloridos**.
   Se observó un efecto muy significativo de la fase del ciclo (F = 20,029; p < 0,001). *La intensidad del dolor mamario fue significativamente mayor en la fase folicular temprana* en comparación con la fase periovulatoria y la fase lútea media (ambas p < 0,001).

10. **Sensación de aumento de peso**.
    Se identificó un efecto significativo de la fase del ciclo (F = 6,961; p = 0,004). *La percepción de aumento de peso fue mayor en la fase folicular temprana* frente a la fase periovulatoria (p = 0,005) y la fase lútea media (p = 0,002).

11. **Estreñimiento**.
    No se observaron diferencias significativas entre fases. Aunque descriptivamente la puntuación fue mayor en la fase lútea media, el análisis estadístico no confirmó un efecto de la fase del ciclo.

12. **Área abdominal hinchada**.
    Se observó un efecto muy significativo de la fase del ciclo (F = 20,968; p < 0,001). *La sensación de hinchazón abdominal fue significativamente mayor en la fase folicular temprana* en comparación con la fase periovulatoria y la fase lútea media (ambas p < 0,001).

13. **Náuseas**.
    No se encontraron diferencias significativas entre fases (F = 0,520; p = 0,599). La intensidad de las náuseas fue baja y similar en todas las fases del ciclo.

14. **Dolor de cabeza**.
    No se observó un efecto significativo de la fase del ciclo menstrual (F = 0,606; p = 0,553). Aunque descriptivamente el dolor de cabeza fue *ligeramente mayor en la fase folicular temprana*, las diferencias *no alcanzaron significación estadística*.

Cuestionario MSQ chino (aeróbico carrera)

Tabla 5 (provisional). *Intensidad percibida de distintos síntomas físicos y emocionales (expresados en unidades arbitrarias, a.u.) a lo largo de tres fases del ciclo menstrual: fase folicular temprana, fase periovulatoria y fase lútea media.*

Variable (unidades)	Early follicular	Peri-ovulatory	Mid-luteal	F	*p*	Post-hoc
A. Ansiedad	3.5 ± 2.5	1.5 ± 1.4	2.1 ± 1.9	6.167	0.046	early follicular > pre-ovulatory, p = 0.043
1. Tensa, nerviosa (a.u.)	0.7 ± 0.6	0.6 ± 0.5	0.4 ± 0.5	2.273	0.321	
2. Cambios de humor (a.u.)	1.2 ± 0.9	0.4 ± 0.5	0.6 ± 0.7	7.900	0.019	early follicular > pre-ovulatory, p = 0.034 early follicular > mid-luteal, p = 0.038
3. Irritabilidad (a.u.)	0.8 ± 0.9	0.4 ± 0.7	0.8 ± 0.8	3.769	0.152	
4. Ansiedad (a.u.)	0.7 ± 0.9	0.3 ± 0.5	0.4 ± 0.5	2.800	0.247	
B. Retención de líquidos	3.9 ± 2.4	2.1 ± 1.9	2.6 ± 2.5	6.865	0.032	early follicular > pre-ovulatory, p = 0.027 early follicular > mid-luteal, p = 0.018
5. Aumento de peso (a.u.)	1.1 ± 1.0	0.5 ± 0.8	0.5 ± 0.7	8.273	0.016	early follicular > mid-luteal, p = 0.020

Variable (unidades)	Early follicular	Peri-ovulatory	Mid-luteal	F	*p*	Post-hoc
6. Hinchazón de las extremidades (a.u.)	0.6 ± 1.0	0.5 ± 0.8	0.6 ± 1.0	0.500	0.779	
7. Sensibilidad mamaria (a.u.)	1.0 ± 1.0	0.5 ± 0.7	0.7 ± 0.6	2.545	0.280	
8. Distensión abdominal (a.u.)	1.2 ± 0.9	0.6 ± 0.7	0.7 ± 0.9	4.345	0.114	
C. Antojos / Deseo de comida	4.4 ± 3.4	1.9 ± 1.4	3.8 ± 2.3	8.629	0.013	early follicular > pre-ovulatory, p = 0.020 mid-luteal > pre-ovulatory, p = 0.011
9. Dolor de cabeza (a.u.)	0.3 ± 0.6	0.2 ± 0.6	0.2 ± 0.6	2.000	0.368	
10. Antojo de dulces(a.u.)	1.5 ± 1.0	0.6 ± 0.6	1.4 ± 0.8	8.296	0.016	early follicular > pre-ovulatory, p = 0.014 mid-luteal > pre-ovulatory, p = 0.038
11. Aumento del apetito (a.u.)	1.3 ± 1.0	0.7 ± 0.8	1.4 ± 0.8	4.727	0.094	
12. Palpitaciones (a.u.)	0.3 ± 0.6	0.0 ± 0.0	0.2 ± 0.4	2.600	0.273	
13. Fatiga (a.u.)	1.0 ± 0.8	0.4 ± 0.5	0.7 ± 0.8	5.429	0.066	
14. Mareo o desmayo(a.u.)	0.1 ± 0.3	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	2.000	0.368	
D. Depresión	1.6 ± 2.1	0.8 ± 1.4	1.0 ± 1.3	2.438	0.296	
15. Depresión (a.u.)	0.3 ± 0.5	0.1 ± 0.3	0.2 ± 0.4	1.500	0.472	
16. Olvidos(a.u.)	0.4 ± 0.8	0.3 ± 0.7	0.4 ± 0.7	0.286	0.867	
17. Llanto (a.u.)	0.3 ± 0.6	0.2 ± 0.4	0.2 ± 0.4	0.000	1.000	
18. Confusión(a.u.)	0.4 ± 0.7	0.1 ± 0.3	0.2 ± 0.4	3.714	0.156	
19. Insomnio (a.u.)	0.4 ± 0.5	0.2 ± 0.4	0.1 ± 0.3	2.333	0.311	

Estos valores se obtuvieron a través del cuestionario pre-ejercicio Chinese Menstrual Symptom Questionnaire (Liu et al., 2023) Los valores se presentan como media [intervalo de confianza] para cada fase. Asimismo, se incluyen los resultados del análisis estadístico, con los valores de F y p correspondientes al efecto principal de la fase del ciclo menstrual, así como los resultados de las comparaciones post hoc cuando se identificaron diferencias estadísticamente significativas entre fases. Tabla todavía provisional, requiere de un cambio de aproximación estadística.

En el dominio de *ansiedad*, se observó un efecto significativo de la fase del ciclo para la puntuación global (χ^2 = 6,167; p = 0,046), con *valores mayores en la fase folicular temprana que en la fase periovulatoria* (p = 0,043). Sin embargo, al analizar los ítems individuales del dominio, "tensa/nerviosa" no mostró diferencias significativas (p = 0,321), "irritabilidad" tampoco varió entre fases (p = 0,152) y el ítem específico de "ansiedad" no alcanzó significación (p = 0,247). En cambio, "*cambios de humor*" sí mostró diferencias entre fases (χ^2 = 7,900; p = 0,019), siendo mayor en la fase folicular temprana respecto a la fase periovulatoria (p = 0,034) y también respecto a la fase lútea media (p = 0,038).

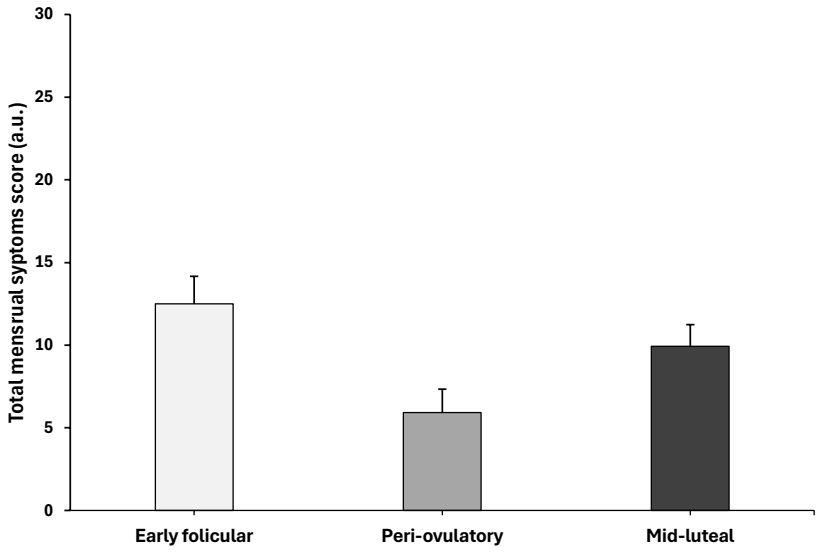
En cuanto a *retención de líquidos, la puntuación global difirió significativamente entre fases* (χ^2 = 6,865; p = 0,032), con *valores más altos en la fase folicular temprana* que en la fase periovulatoria (p = 0,027) y que en la fase lútea media (p = 0,018). A nivel de síntomas concretos, el "*aumento de peso*" presentó un efecto significativo (χ^2 = 8,273; p = 0,016), con *mayor puntuación en la fase folicular temprana* frente a la fase lútea media (p = 0,020). No obstante, *la "hinchazón de las extremidades" no mostró diferencias* (p = 0,779), *la "sensibilidad mamaria" tampoco* (p = 0,280) y *la "distensión abdominal" no al-*

canzó significación estadística (p = 0,114), aunque descriptivamente fue más alta en la fase folicular temprana.

Respecto al *dominio de antojos/deseo de comida*, se observó un efecto significativo de la fase del ciclo en la puntuación global (χ^2 = 8,629; p = 0,013). Los antojos fueron *mayores tanto en la fase folicular temprana como en la fase lútea media* en comparación con la fase periovulatoria (p = 0,020 y p = 0,011, respectivamente), lo que sugiere que la fase periovulatoria se asocia con menor deseo de comida. En los ítems específicos, el "antojo de dulces" también mostró diferencias (χ^2 = 8,296; p = 0,016), siendo mayor en la fase folicular temprana (p = 0,014) y en la fase lútea media (p = 0,038) respecto a la fase periovulatoria. En cambio, el "dolor de cabeza" no varió entre fases (p = 0,368), el "aumento del apetito" no alcanzó significación (p = 0,094), las "palpitaciones" no mostraron diferencias (p = 0,273), *la "fatiga" presentó una tendencia sin llegar a significación* (p = 0,066) y el "mareo/desmayo" fue muy bajo y sin diferencias entre fases (p = 0,368).

En el dominio de depresión, no se observaron diferencias significativas entre fases ni en la puntuación global (p = 0,296) ni en los ítems específicos: "depresión" (p = 0,472), "olvidos" (p = 0,867), "llanto" (p = 1,000), "confusión" (p = 0,156) e "insomnio" (p = 0,311), indicando un perfil relativamente estable de estos síntomas a lo largo del ciclo en esta muestra.

Figura 23 *Puntuación total de los síntomas menstruales expresada en unidades arbitrarias (a.u.) en tres fases del ciclo menstrual: fase folicular temprana (early follicular), fase periovulatoria (peri-ovulatory) y fase lútea media (mid-luteal).*



Las barras representan los valores medios, mientras que las barras de error indican la variabilidad de los datos (± desviación estándar).

Desde un punto de vista descriptivo, *la puntuación total de los síntomas menstruales es mayor en la fase folicular temprana, seguida de la fase lútea media*, mientras que la fase periovulatoria presenta los valores más bajos. Este patrón sugiere una *mayor carga sintomática al inicio del ciclo*, con una reducción clara durante la fase periovulatoria y un incremento intermedio en la fase lútea media.

En cuanto al análisis inferencial, los resultados muestran que *las puntuaciones totales de los síntomas menstruales fueron significativamente más altas en la fase folicular temprana* en comparación con la fase periovulatoria (p < 0,001) y con la fase lútea media (p = 0,004). Asimismo, la fase lútea media presentó puntuaciones significativamente superiores a la fase periovulatoria (p < 0,001). En conjunto, estos resultados confirman *la existencia de diferencias significativas en la carga global de síntomas menstruales entre las fases*

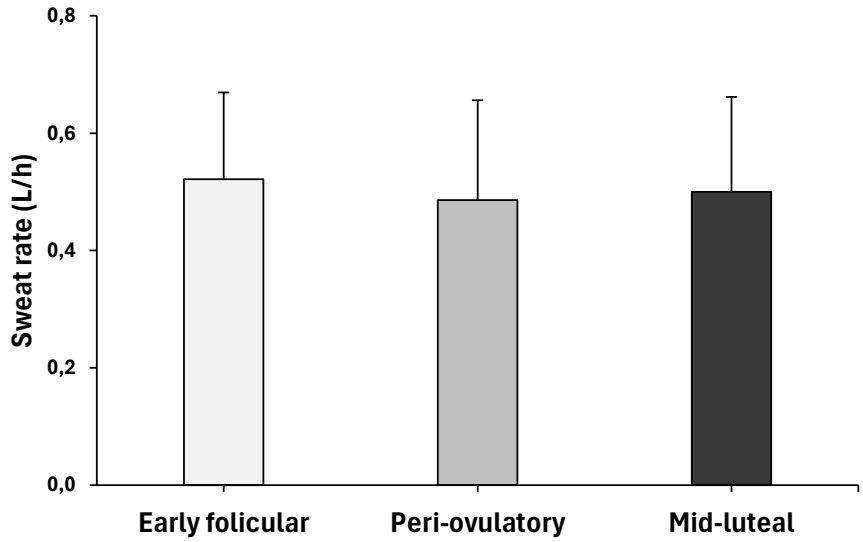
del ciclo, con la fase periovulatoria asociada a la menor sintomatología y la fase folicular temprana a la mayor.

A partir de los resultados obtenidos en el análisis de los síntomas menstruales evaluados mediante el MSQ adaptado, tanto en el contexto del ejercicio aeróbico en ciclismo como en carrera, se observa de manera consistente que *la fase del ciclo menstrual influye principalmente en la carga subjetiva de síntomas, más que en las respuestas fisiológicas objetivas al ejercicio*. En ambos protocolos, *la fase folicular temprana se asoció con una mayor intensidad global de síntomas*, especialmente aquellos relacionados con dolor abdominal, hinchazón, sensibilidad mamaria, necesidad de medicación para el dolor, percepción de aumento de peso y cambios de humor, mientras que la fase periovulatoria se caracterizó sistemáticamente por la menor sintomatología.

Estos resultados cumplen de forma directa los objetivos del Estudio 2, al demostrar que, **si bien el ciclo menstrual no altera de manera sustancial el metabolismo energético ni las respuestas termorreguladoras durante el ejercicio aeróbico a intensidad Fatmax, sí condiciona de forma relevante la experiencia subjetiva previa al ejercicio, lo que puede influir en la predisposición, adherencia y tolerancia al esfuerzo**. Desde una perspectiva aplicada, estos hallazgos refuerzan la *importancia de considerar la sintomatología menstrual en la planificación del entrenamiento, no tanto para modificar la intensidad o las estrategias metabólicas, sino para ajustar la carga percibida, la comunicación equipo de entrenamiento–deportista y la toma de decisiones diaria, especialmente durante la fase folicular temprana*.

Variables del Estudio 2B relacionadas con termorregulación

Figura 24. *Tasa de sudoración (sweat rate, L/h) durante el ejercicio de carrera en tres fases del ciclo menstrual: fase folicular temprana (early follicular), fase periovulatoria (peri-ovulatory) y fase lútea media (mid-luteal).*



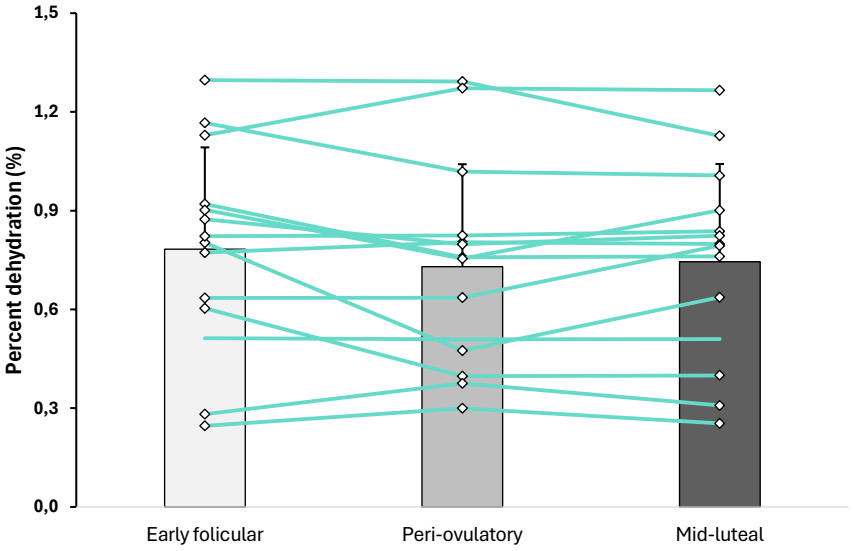
. Las barras representan los valores medios, mientras que las barras de error indican la variabilidad de los datos (intervalo de confianza).

Desde un punto de vista descriptivo, *la tasa de sudoración presenta valores muy similares entre las tres fases del ciclo menstrual*, sin diferencias visuales claras. Los valores medios se sitúan alrededor de 0,5 L/h en todas las fases, con un amplio solapamiento de las barras de error, lo que sugiere una *respuesta termorreguladora comparable* a lo largo del ciclo.

En cuanto al análisis inferencial, *no se observó un efecto principal significativo de la fase del ciclo menstrual sobre la tasa de sudoración*. Concretamente, los valores fueron de 0,52 [0,43, 0,62] L/h en la fase folicular temprana, 0,49 [0,39, 0,58] L/h en la fase periovulatoria y 0,50 [0,41, 0,59] L/h en la fase lútea media, sin diferencias estadísticamente significativas entre fases (p = 0,210). En conjunto, estos resultados indican que la tasa de sudoración se mantiene estable a lo largo del ciclo menstrual, independientemente de la fase considerada.

Asimismo, *la fase lútea media presentó puntuaciones significativamente superiores a la fase periovulatoria* (p < 0,001). En conjunto, estos resultados confirman la existencia de diferencias significativas en la carga global de síntomas menstruales entre las fases del ciclo, con la fase periovulatoria asociada a la menor sintomatología y la fase folicular temprana a la mayor.

***Figura 25**. Porcentaje de deshidratación asociado a la tasa de sudoración durante el ejercicio de carrera en tres fases del ciclo menstrual: fase folicular temprana (early follicular), fase periovulatoria (peri-ovulatory) y fase lútea media (mid-luteal).*

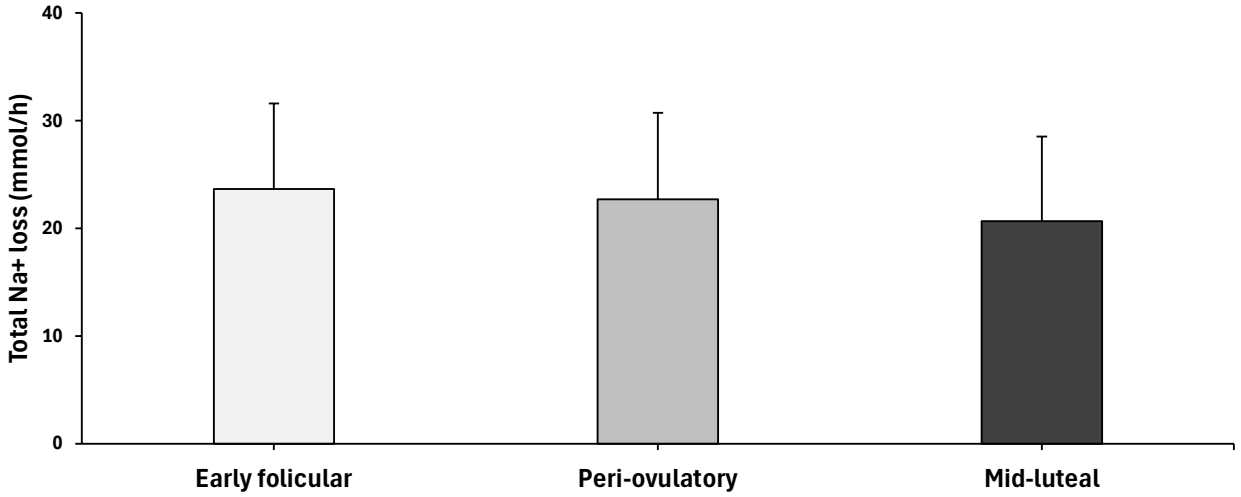


. Las barras representan los valores medios, mientras que los puntos y las líneas superpuestas reflejan los valores individuales y su evolución intraindividual a lo largo de las distintas fases del ciclo, permitiendo visualizar la variabilidad entre participantes.

Desde un punto de vista descriptivo, *el porcentaje de deshidratación es similar entre las tres fases del ciclo menstrual*, con valores medios comparables y un amplio solapamiento de las barras de error. A nivel individual, se observa una marcada *variabilidad interindividual*, con participantes que presentan incrementos o descensos del porcentaje de deshidratación entre fases, sin un patrón uniforme asociado a una fase concreta del ciclo.

En cuanto al análisis inferencial, *no se observó un efecto principal significativo de la fase del ciclo menstrual sobre el porcentaje de deshidratació*n (p = 0,207). Estos resultados indican que, bajo las condiciones evaluadas, la deshidratación relativa inducida por el ejercicio no se ve influida de manera significativa por la fase del ciclo menstrual, reforzando la estabilidad de la respuesta termorreguladora e hídrica a lo largo del ciclo.

Figura 26. *Pérdida total de sodio (Na^+) durante el ejercicio de carrera, expresada en mmol/h, en tres fases del ciclo menstrual: fase folicular temprana (early follicular), fase periovulatoria (peri-ovulatory) y fase lútea media (mid-luteal).*



Las barras representan los valores medios, mientras que las barras de error indican la variabilidad de los datos.

Tabla 6. *Respuestas termorreguladoras y perceptivas durante el ejercicio de carrera en tres fases del ciclo menstrual (fase folicular temprana, fase periovulatoria y fase lútea media), expresadas como medias marginales estimadas con su intervalo de confianza del 95 % (IC 95 %).*

Variable (unidades)	Early follicular	Peri-ovulatory	Mid-luteal	*p*
Percepción de esfuerzo promedio (Borg scale 6-20, a.u.)	10 [9, 11]	9 [9, 10]	10 [10, 11]	.088
Sensación de sed promedio [+1 (para nada sedienta,9 (muy sedienta) a.u.]	3 [3, 4]	3 [2, 4]	3 [2, 4]	.490
Sensación térmica promedio [+4 (mucho frío), −4 (mucho calor) a.u.]	-2 [-2, -1]	-1 [-2, -1]	-1 [-2, -1]	.753
Temperatura timpánica promedio(°C)	36.7 [36.6, 36.8]	36.7 [36.6, 36.7]	36.7 [36.6, 36.8]	.295

Para cada variable se incluye el valor de p asociado al efecto de la fase del ciclo menstrual.

En relación con la *percepción de esfuerzo promedio*, evaluada mediante la escala de Borg de 6 a 20 puntos, *no se observaron diferencias significativas entre fases* (p = 0,088). Descriptivamente, la percepción del esfuerzo fue ligeramente menor en la fase periovulatoria (9 [9, 10]) en comparación con la fase folicular temprana y la fase lútea media (ambas 10), aunque estas diferencias no alcanzaron significación estadística.

La sensación de sed promedio, valorada en una escala de 1 (“para nada sedienta”) a 9 (“muy sedienta”), *fue similar en las tres fases del ciclo menstrual* (p = 0,490). Los valores se mantuvieron en torno a puntuaciones bajas-moderadas (mediana de 3), lo que sugiere una percepción de sed comparable independientemente de la fase del ciclo.

En cuanto a la *sensación térmica promedio*, evaluada en una escala que va de +4 (“mucho frío”) a −4 (“mucho calor”), *tampoco se observaron diferencias significativas entre fases* (p = 0,753). Descriptivamente, las participantes reportaron una sensación térmica ligeramente hacia el calor en todas las fases, con valores muy similares entre la fase folicular temprana, la fase periovulatoria y la fase lútea media.

Por último, *la temperatura timpánica promedio mostró valores prácticamente idénticos entre fases del ciclo menstrual*, situándose alrededor de 36,7 °C, sin diferencias

estadísticamente significativas (p = 0,295). Esto indica que la temperatura corporal central se mantuvo estable durante el ejercicio con independencia de la fase del ciclo menstrual.

Estos resultados indican que, *bajo condiciones controladas de ejercicio aeróbico en carrera a intensidad Fatmax, las respuestas termorreguladoras e hídricas en mujeres con ciclos menstruales regulares son robustas y poco sensibles a las fluctuaciones hormonales propias del ciclo*.

En relación con los objetivos del proyecto, estos hallazgos cumplen de forma directa el objetivo específico del Estudio 2B, al aportar evidencia de que *las estrategias de hidratación y reposición electrolítica no requieren ajustes sistemáticos en función de la fase del ciclo menstrual, al menos en este contexto de ejercicio*. Desde una perspectiva de igualdad, la relevancia de estos resultados es doble. Por un lado, contribuyen a reducir la brecha de género en las ciencias del deporte, proporcionando datos objetivos y específicos en población femenina. Por otro, ayudan a **desmontar supuestos no fundamentados sobre una supuesta mayor vulnerabilidad termorreguladora de las mujeres en determinadas fases del ciclo**.

Resultados presentados en Eventos de difusión

Dado que los estudios se han desarrollado a lo largo del año 2025, hasta la fecha no se ha derivado todavía ninguna publicación en forma de artículo científico en revistas indexadas; no obstante, los resultados obtenidos han sido ya difundidos en foros científicos internacionales de reconocido prestigio. En concreto, el proyecto ha estado presente en dos congresos internacionales: el congreso del *European College of Sport Science* (ECSS), celebrado en Rimini en el mes de julio, y el congreso de la Red NaMUD, financiada por el Consejo Superior de Deportes (CSD), celebrado en noviembre. En ambos eventos se presentaron los principales hallazgos del proyecto tanto mediante un póster científico como a través de una comunicación oral, lo que ha permitido una primera transferencia del conocimiento generado y el intercambio de resultados con la comunidad científica especializada, constituyendo un paso previo clave para futuras publicaciones científicas.

CONCLUSIONES Y PROSPECTIVA

El presente proyecto tuvo como objetivo general *analizar el efecto de las distintas fases del ciclo menstrual sobre el rendimiento neuromuscular, el metabolismo de los sustratos energéticos y las respuestas termorreguladoras durante el ejercicio físico en mujeres con ciclos menstruales regulares, mediante protocolos de ejercicio de fuerza y ejercicio aeróbico*, con el fin último de generar evidencia científica que permita el desarrollo de estrategias de entrenamiento e hidratación específicas para mujeres. Los resultados obtenidos permiten extraer una serie de conclusiones sólidas y coherentes que, en conjunto, contribuyen a matizar de forma rigurosa el papel del ciclo menstrual en la respuesta fisiológica y perceptiva al ejercicio.

El proyecto contribuye de forma directa a la reducción de la brecha de género en las ciencias del deporte, al generar evidencia científica sólida obtenida exclusivamente en población femenina, un colectivo históricamente infrarrepresentado en la investigación fisiológica. Al demostrar que **muchas de las supuestas limitaciones asociadas al ciclo menstrual carecen de base fisiológica objetiva**, el estudio ayuda a **desmitificar narrativas restrictivas que han condicionado la participación y el desarrollo deportivo de las mujeres**.

Asimismo, los resultados promueven un enfoque de igualdad basado en el rigor científico, en el que se reconocen las particularidades fisiológicas femeninas sin sobredimensionarlas ni utilizarlas como justificación para una diferenciación injustificada del entrenamiento.

De manera global, los resultados indican que **las fluctuaciones hormonales propias del ciclo menstrual no comprometen de forma sustancial la capacidad fisiológica de las mujeres para realizar ejercicio de fuerza o ejercicio aeróbico, ni alteran de manera relevante el metabolismo energético, la termorregulación o el balance hídrico cuando el ejercicio se realiza bajo condiciones controladas.** En contraste, los efectos más consistentes asociados a la fase del ciclo *se manifiestan en el plano perceptivo y subjetivo*, particularmente en la percepción del esfuerzo y en la carga de síntomas menstruales, lo que subraya la importancia de diferenciar entre limitaciones fisiológicas reales y experiencias subjetivas asociadas al ciclo.

Conclusiones específicas del Estudio 1: Entrenamiento de fuerza

Los resultados del Estudio 1 permiten extraer conclusiones detalladas y de gran relevancia sobre la relación entre el ciclo menstrual y el rendimiento neuromuscular durante sesiones de entrenamiento de fuerza basadas en la velocidad. En primer lugar, se confirma de manera consistente que *la repetición del esfuerzo y la acumulación de fatiga constituyen el principal factor determinante del descenso progresivo del rendimiento, independientemente del ejercicio analizado y de la fase del ciclo menstrual*. Este hallazgo refuerza la validez de los modelos de entrenamiento de fuerza basados en la velocidad y pone de manifiesto que los mecanismos de fatiga neuromuscular operan de forma similar a lo largo del ciclo.

En relación con la influencia de la fase del ciclo menstrual, los resultados muestran un efecto limitado, heterogéneo y dependiente del ejercicio y de la variable específica. En algunos ejercicios y parámetros concretos, especialmente en *variables de velocidad pico y potencia pico*, se observaron *valores ligeramente inferiores durante la fase folicular temprana* en comparación con las fases periovulatoria y lútea media. Sin embargo, estas

diferencias no fueron generalizadas ni consistentes a lo largo de todos los ejercicios, y en numerosos casos no alcanzaron significación estadística.

Un aspecto clave es la *ausencia de interacciones significativas entre la fase del ciclo menstrual y la repetición en la mayoría de los análisis*. Este resultado indica que, aunque puedan existir diferencias puntuales en valores absolutos entre fases, el patrón de fatiga y la respuesta al volumen de trabajo se mantienen estables a lo largo del ciclo. Desde una perspectiva aplicada, esto sugiere que *las mujeres responden de forma similar a la carga de entrenamiento de fuerza en términos de degradación del rendimiento, independientemente del momento del ciclo*.

En conjunto, el Estudio 1 aporta evidencia sólida para *cuestionar enfoques tradicionales que proponen reducir sistemáticamente la intensidad o el volumen del entrenamiento de fuerza en determinadas fases del ciclo menstrual*. Los resultados apoyan un modelo de **planificación flexible e individualizada, en el que la fase del ciclo se considere un elemento contextual más, pero no un criterio determinante**. La monitorización objetiva del rendimiento (velocidad, potencia) y la percepción subjetiva del esfuerzo emergen como herramientas clave para ajustar el entrenamiento de manera precisa y equitativa.

Conclusiones específicas del Estudio 2: Metabolismo energético durante el ejercicio aeróbico

El Estudio 2 permite establecer conclusiones claras sobre la influencia del ciclo menstrual en el metabolismo energético durante ejercicio aeróbico realizado a intensidad Fatmax, tanto en ciclismo como en carrera. Los resultados muestran de manera consistente que **la fase del ciclo menstrual no ejerce un efecto significativo sobre la oxidación total de grasas ni de carbohidratos, ni sobre el consumo energético total durante el ejercicio**, lo que indica que la utilización de sustratos energéticos se mantiene estable a lo largo del ciclo bajo condiciones de intensidad controlada.

Las variaciones observadas en la oxidación de grasas y carbohidratos estuvieron dominadas por un efecto robusto del tiempo, reflejando los *cambios metabólicos propios del ejercicio prolongado, y no por la fase del ciclo menstrual*. Este patrón se reprodujo de forma consistente en ambos modos de ejercicio, lo que refuerza la generalización de los hallazgos dentro del contexto aeróbico analizado.

Asimismo, las principales variables cardiorrespiratorias asociadas al metabolismo energético, incluyendo el consumo de oxígeno ($\dot{V}O_2$), la producción de dióxido de carbono ($\dot{V}CO_2$), el cociente respiratorio y la ventilación, no mostraron diferencias significativas entre fases del ciclo menstrual. Estos resultados indican que *los mecanismos fisiológicos que regulan el suministro y la utilización de oxígeno durante el ejercicio aeróbico funcionan de manera comparable a lo largo del ciclo*.

Desde un punto de vista aplicado, el Estudio 2 aporta un mensaje claro y de gran utilidad práctica: la prescripción del ejercicio aeróbico a intensidad Fatmax no requiere ajustes sistemáticos en función de la fase del ciclo menstrual. Esto simplifica la planificación del entrenamiento aeróbico en mujeres y evita introducir modificaciones basadas en supuestos no respaldados por la evidencia científica. Al mismo tiempo, estos resultados refuerzan la idea de que **las mujeres pueden entrenar de forma continua y consistente a lo largo del ciclo sin comprometer la eficacia metabólica del entrenamiento**.

Finalmente, los hallazgos del Estudio 2 contribuyen a desmontar la percepción de una elevada inestabilidad metabólica femenina asociada al ciclo menstrual, aportando evidencia que apoya una visión más estable y robusta del metabolismo energético en mujeres

activas. En este sentido, el estudio constituye un paso relevante hacia una comprensión más precisa y menos sesgada de la fisiología femenina durante el ejercicio aeróbico.

En el Estudio 2, centrado en el ejercicio aeróbico realizado a intensidad Fatmax, los resultados muestran de manera consistente que *la fase del ciclo menstrual no ejerce un efecto significativo sobre la oxidación total de grasas ni de carbohidratos, ni sobre el consumo energético total, tanto en ciclismo como en carrera*. Las variaciones observadas a lo largo del ejercicio estuvieron dominadas por un claro efecto del tiempo, reflejando los *cambios metabólicos esperables durante ejercicio prolongado, y no por la fase del ciclo*.

Asimismo, las variables cardiorrespiratorias asociadas al metabolismo energético, incluyendo el consumo de oxígeno ($\dot{V}O_2$), la producción de dióxido de carbono ($\dot{V}CO_2$), el cociente respiratorio y la ventilación, se mantuvieron estables entre fases del ciclo menstrual. Estos hallazgos refuerzan la idea de que, *bajo condiciones controladas de intensidad relativa, el organismo femenino presenta una respuesta metabólica robusta y consistente a lo largo del ciclo menstrual*.

Desde un punto de vista aplicado, estos resultados indican que *la prescripción de ejercicio aeróbico a intensidad Fatmax no requiere ajustes sistemáticos en función de la fase del ciclo menstrual*, lo que simplifica la planificación del entrenamiento y evita introducir modificaciones innecesarias basadas en supuestos no respaldados por la evidencia.

Conclusiones específicas del Estudio 2B: Termorregulación, balance hídrico y electrolitos durante el ejercicio aeróbico

Los resultados del Estudio 2B muestran de forma clara que *la fase del ciclo menstrual no influye de manera significativa en las respuestas termorreguladoras e hídricas durante ejercicio aeróbico en carrera a intensidad Fatmax*. La tasa de sudoración, el porcentaje de deshidratación y la pérdida total de sodio fueron comparables entre la fase folicular temprana, la fase periovulatoria y la fase lútea media.

Del mismo modo, las variables perceptivas y fisiológicas relacionadas con la termorregulación, como la sensación térmica, la sensación de sed, la temperatura timpánica y la percepción global del esfuerzo, no mostraron diferencias significativas entre fases del ciclo. Estos hallazgos indican que, en mujeres con ciclos menstruales regulares, *la capacidad para regular la temperatura corporal y mantener el equilibrio hídrico durante el ejercicio es estable a lo largo del ciclo menstrual*.

Desde una perspectiva práctica, estos resultados sugieren que *las estrategias de hidratación y reposición electrolítica no necesitan ser modificadas en función de la fase del ciclo menstrual*, al menos en contextos de ejercicio aeróbico controlado a intensidad moderada. Este hallazgo resulta especialmente relevante en un contexto en el que persiste la creencia de que determinadas fases del ciclo menstrual requieren estrategias diferenciadas de hidratación o una mayor suplementación con sodio. Los resultados de esta investigación cuestionan dicha asunción, sugiriendo que *las recomendaciones de hidratación y reposición electrolítica pueden y deben basarse en factores clásicos y bien establecidos, como la duración e intensidad del ejercicio, las condiciones ambientales, el nivel de aclimatación al calor y las características individuales de la deportista, sin introducir ajustes adicionales condicionados únicamente por la fase del ciclo menstrual*.

Además, estos resultados trascienden el ámbito del entrenamiento físico y presentan *implicaciones claras para otros campos aplicados, como la nutrición deportiva y la educación nutricional*. La evidencia generada contribuye a evitar recomendaciones nutri-

cionales innecesariamente complejas o restrictivas para mujeres deportistas, favoreciendo mensajes más claros, coherentes y basados en evidencia científica. En este sentido, el estudio apoya una **visión integrada en la que la planificación nutricional y de hidratación en mujeres se diseñe desde un enfoque individualizado, contextual y funcional, pero no condicionado de forma automática por el ciclo menstrual,** promoviendo prácticas más eficientes, realistas y equitativas tanto en el ámbito deportivo como en el de la salud.

Respuestas cardiovasculares, perceptivas y sintomatología menstrual

Los resultados relativos a las *respuestas cardiovasculares* y perceptivas permiten identificar un plano de análisis diferenciado dentro del conjunto del proyecto, en el que la fase del ciclo menstrual muestra *una influencia más perceptible que en las variables puramente metabólicas o termorreguladoras, aunque siempre de magnitud moderada y sin implicaciones limitantes para el rendimiento*.

En relación con la frecuencia cardíaca, los resultados muestran que esta variable presenta un *comportamiento dinámico dominado principalmente por el efecto del tiempo, reflejando el incremento progresivo de la carga cardiovascular a medida que avanza el ejercicio*. No obstante, en determinados contextos —especialmente durante el ejercicio en carrera— se observaron *valores de frecuencia cardíaca ligeramente superiores en la fase periovulatoria*, particularmente a partir de la mitad del ejercicio. Estas diferencias, aunque estadísticamente significativas en algunos puntos temporales, no se acompañaron de interacciones significativas fase × tiempo, lo que indica que *el patrón global de respuesta cardiovascular se mantiene estable a lo largo del ciclo*.

Desde una perspectiva fisiológica, estas variaciones podrían estar relacionadas con cambios sutiles en la regulación autonómica o en la respuesta hemodinámica asociados a las fluctuaciones hormonales, sin que ello implique un mayor coste fisiológico real o una menor tolerancia al ejercicio. En este sentido, *la frecuencia cardíaca emerge como una variable sensible a la fase del ciclo, pero no como un indicador de limitación funcional*.

En cuanto al esfuerzo percibido, los resultados muestran de forma consistente un incremento progresivo a lo largo del ejercicio, confirmando el papel del tiempo y de la acumulación de fatiga como principales determinantes de la percepción del esfuerzo. Sin embargo, a diferencia de las variables fisiológicas objetivas, *el esfuerzo percibido mostró una mayor dependencia de la fase del ciclo menstrual, con valores generalmente más elevados durante la fase lútea media, especialmente en la segunda mitad del ejercicio*.

Este hallazgo resulta particularmente relevante desde el punto de vista aplicado, ya que pone de manifiesto que la fase del ciclo menstrual puede influir en la interpretación subjetiva de la carga interna, incluso cuando la carga externa y las respuestas fisiológicas objetivas permanecen constantes. En la práctica, esto implica que *una misma sesión de entrenamiento puede ser vivida como más exigente en determinadas fases del ciclo, sin que ello refleje necesariamente una menor capacidad de rendimiento*.

La combinación de estos resultados sugiere que las respuestas cardiovasculares y perceptivas actúan como un puente entre la fisiología objetiva y la experiencia subjetiva del ejercicio, siendo especialmente útiles para comprender la variabilidad interindividual y diaria en la tolerancia al esfuerzo. En este contexto, la integración de medidas como la frecuencia cardíaca y el esfuerzo percibido en la monitorización del entrenamiento adquiere un valor añadido, no para justificar restricciones sistemáticas, sino para *optimizar la comunicación, la autoregulación y la individualización del entrenamiento en las deportistas*.

En conjunto, el análisis de este plano diferencial refuerza la idea central del proyecto: *el ciclo menstrual no limita la capacidad fisiológica para entrenar o competir, pero sí puede modular la vivencia interna del esfuerzo, lo que debe ser tenido en cuenta en la interpretación de las respuestas al entrenamiento y en el acompañamiento profesional de las deportistas*.

Uno de los hallazgos más consistentes del proyecto es que *la carga de síntomas menstruales varía de forma significativa a lo largo del ciclo, con una mayor intensidad global durante la fase folicular temprana*, una reducción marcada durante la fase periovulatoria y un perfil intermedio durante la fase lútea media. Estos cambios se observaron *principalmente en síntomas relacionados con dolor, hinchazón, sensibilidad mamaria, cambios de humor y antojos alimentarios*.

Estos resultados ponen de manifiesto que, **aunque la fisiología del ejercicio permanece estable, la experiencia subjetiva previa y durante el ejercicio puede verse condicionada por la sintomatología menstrual, lo que tiene implicaciones relevantes para la adherencia, la motivación y la percepción del esfuerzo**.

Implicaciones prácticas y acciones recomendadas

Los resultados obtenidos en el presente proyecto permiten derivar una serie de implicaciones prácticas de alto valor aplicado, orientadas tanto al ámbito del entrenamiento y la preparación física como al de la salud, la educación y la gestión deportiva. Una de las principales aportaciones es la evidencia de que **no es necesario ni recomendable aplicar modificaciones rígidas o predeterminadas del entrenamiento basadas exclusivamente en la fase del ciclo menstrual**, especialmente cuando dichas modificaciones no están respaldadas por cambios fisiológicos objetivos en el rendimiento, el metabolismo o la termorregulación.

En el ámbito del entrenamiento de **fuerza**, se recomienda mantener una planificación basada en los principios clásicos de individualización, progresión y control de la carga, utilizando herramientas objetivas como la velocidad de ejecución y la potencia, complementadas con indicadores subjetivos como el esfuerzo percibido. La fase del ciclo menstrual puede ser considerada como un factor contextual, pero no como un criterio determinante para reducir cargas o limitar el estímulo de entrenamiento de manera sistemática. En este sentido, resulta especialmente relevante *evitar enfoques que restrinjan la exposición al entrenamiento de calidad durante fases concretas del ciclo sin una justificación individual clara*.

En relación con el entrenamiento **aeróbico**, los resultados indican que la prescripción de ejercicio a intensidad Fatmax puede realizarse de forma consistente a lo largo del ciclo menstrual, sin necesidad de ajustes específicos en la intensidad o duración en función de la fase. Esto facilita la programación del entrenamiento y refuerza la idea de que *las mujeres pueden entrenar de manera regular y continuada sin que el ciclo menstrual suponga una limitación fisiológica objetiva*. No obstante, s*e recomienda prestar atención a las respuestas perceptivas, especialmente durante la fase lútea media, en la que el esfuerzo percibido puede ser mayor*, *y durante la fase periovulatoria, donde la frecuencia cardíaca podría ser sustancialmente superior*, lo que requeriría de una **monitorización y ajuste de la carga** por parte de entrenadores teniendo en cuenta este parámetro.

En cuanto a las **estrategias de hidratación y reposición electrolítica**, los hallazgos del Estudio 2B permiten afirmar que no es necesario modificar de forma sistemática la ingesta de líquidos o sodio en función de la fase del ciclo menstrual durante ejercicio aeróbico de intensidad moderada. En la práctica, esto supone una simplificación relevante para entrenadoras, entrenadores y deportistas, ya que las recomendaciones de hidratación

pueden basarse en factores como la duración, la intensidad del ejercicio y las condiciones ambientales, *sin introducir ajustes adicionales vinculados al ciclo menstrual*.

Desde una perspectiva de educación y transferencia del conocimiento, se recomienda implementar acciones formativas dirigidas a profesionales del deporte que integren estos resultados, con el objetivo de *combatir mitos persistentes sobre el ciclo menstrual y promover una visión basada en la evidencia*. Asimismo, resulta clave *fomentar entornos de entrenamiento en los que la sintomatología menstrual pueda ser comunicada y gestionada de manera abierta y normalizada*, evitando tanto la invisibilización como la sobrerreacción ante el ciclo menstrual.

Finalmente, a nivel institucional y organizativo, los resultados apoyan el **desarrollo de políticas deportivas con perspectiva de género, que reconozcan las particularidades fisiológicas femeninas sin traducirlas en limitaciones estructurales para la participación, el rendimiento o el acceso a oportunidades deportivas**.

Como síntesis final de este apartado, es importante subrayar que las recomendaciones propuestas derivan de los resultados obtenidos bajo condiciones metodológicas y contextuales específicas (población con ciclos regulares, protocolos y entornos controlados, e intensidades de ejercicio definidas). Por tanto, aunque constituyen una base útil y aplicable para orientar la práctica profesional con mujeres deportistas, **no deben interpretarse como prescripciones universales**. Se requiere más investigación, con muestras más amplias y diversas, diseños longitudinales, distintos niveles de rendimiento, condiciones ambientales variadas y contextos reales de entrenamiento y competición, para consolidar, matizar o ampliar estas propuestas y avanzar hacia guías de intervención cada vez más precisas, personalizadas y basadas en evidencia.

Futuras líneas de investigación derivadas de este proyecto

El presente proyecto abre múltiples líneas de investigación futura que permitirán profundizar y ampliar el conocimiento generado. Entre ellas, destacan:

- El *estudio de poblaciones con perfiles hormonales distintos* (uso de anticonceptivos hormonales, perimenopausia, élite deportiva).
- El análisis del *impacto del ciclo menstrual en condiciones ambientales extremas*.
- La profundización en la *variabilidad interindividual* y en enfoques personalizados basados en la *respuesta subjetiva*.
- Estudios *longitudinales* que evalúen adaptaciones al entrenamiento a largo plazo.

Una de las principales direcciones consiste en analizar si los patrones observados se mantienen en poblaciones con características diferentes, como mujeres que utilizan anticonceptivos hormonales, mujeres en etapas de transición hormonal (perimenopausia o posparto) o deportistas de alto nivel, en quienes las demandas fisiológicas y psicológicas pueden ser significativamente mayores.

Otra línea prioritaria es el estudio del impacto del ciclo menstrual en condiciones ambientales extremas, como altas temperaturas, elevada humedad o altitud, donde las respuestas termorreguladoras y de hidratación adquieren un papel más crítico. En estos contextos, es posible que las diferencias entre fases del ciclo menstrual se magnifiquen o adquieran relevancia práctica.

Asimismo, los resultados ponen de manifiesto la necesidad de avanzar hacia enfoques que integren la variabilidad interindividual, superando análisis basados únicamente en medias grupales. Estudios futuros deberían incorporar diseños longitudinales y análisis intraindividuales que permitan identificar perfiles de respuesta diferenciados al ciclo menstrual, facilitando una verdadera personalización del entrenamiento.

Otra línea de especial interés es la investigación de las adaptaciones crónicas al entrenamiento en función del momento del ciclo menstrual, evaluando si la distribución de estímulos de entrenamiento a largo plazo en distintas fases puede influir en las ganancias de fuerza, resistencia o composición corporal.

Además, resulta fundamental profundizar en la interacción entre sintomatología menstrual, percepción del esfuerzo y adherencia al entrenamiento, explorando estrategias psicológicas, educativas y organizativas que permitan minimizar el impacto negativo de los síntomas sobre la participación deportiva, sin patologizar el ciclo menstrual.

De forma complementaria, una línea de investigación emergente de especial interés es el estudio de la *interacción entre el ciclo menstrual y factores genéticos*. Investigaciones futuras podrían analizar cómo polimorfismos genéticos relacionados con el metabolismo energético, la termorregulación, la función cardiovascular, la inflamación o la percepción del dolor modulan la respuesta al ejercicio en las distintas fases del ciclo menstrual. Este enfoque permitiría avanzar hacia modelos de entrenamiento y nutrición de precisión, en los que la variabilidad genética contribuya a explicar por qué algunas mujeres experimentan mayores cambios perceptivos o fisiológicos a lo largo del ciclo, mientras que otras muestran una respuesta notablemente estable.

Asimismo, resulta prioritario *profundizar en la relación entre el ciclo menstrual y las demandas específicas de diferentes modalidades deportivas.* Los resultados del presente proyecto se han obtenido en contextos de ejercicio de fuerza general y ejercicio aeróbico a intensidad controlada; sin embargo, deportes con perfiles fisiológicos y técnicos muy diferenciados —como deportes de resistencia prolongada, deportes de equipo intermitentes, disciplinas de alta potencia, deportes de combate o deportes con alta carga cognitiva— podrían mostrar patrones distintos de interacción con el ciclo menstrual. El análisis específico por deporte permitiría generar recomendaciones más ajustadas al contexto real de entrenamiento y competición.

Otra línea relevante es la integración del ciclo menstrual en estudios que analicen la toma de decisiones, el rendimiento técnico-táctico y las demandas cognitivas durante el ejercicio y la competición. Dado que algunos de los efectos del ciclo parecen manifestarse principalmente en el plano perceptivo y emocional, resulta pertinente investigar si determinadas fases del ciclo influyen en aspectos como la *concentración*, la *percepción del riesgo*, la *toma de decisiones bajo fatiga* o el *rendimiento técnico en situaciones de alta presión*.

Finalmente, la combinación de enfoques fisiológicos, genéticos, perceptivos y contextuales permitirá avanzar hacia una comprensión más completa y realista del impacto del ciclo menstrual en el deporte, consolidando una ciencia del deporte verdaderamente inclusiva, capaz de generar conocimiento aplicable, riguroso y sensible a la diversidad fisiológica femenina.

Conclusión final

El conjunto de resultados obtenidos en el presente proyecto permite extraer una conclusión global clara y fundamentada: **el ciclo menstrual no constituye una barrera fisiológica para el rendimiento deportivo ni para la práctica regular de ejercicio físico en mujeres con ciclos menstruales regulares**, aunque sí *representa un factor modulador relevante*

de la experiencia subjetiva del ejercicio, particularmente en lo relativo a la percepción del esfuerzo y a la sintomatología menstrual. Esta distinción entre capacidad fisiológica objetiva y vivencia perceptiva resulta clave para interpretar adecuadamente el papel del ciclo menstrual en el deporte y evitar enfoques simplistas o reduccionistas.

En relación con el rendimiento neuromuscular y el entrenamiento de fuerza (Estudio 1), los resultados demuestran que *la fatiga asociada a la repetición del esfuerzo es el principal determinante del descenso del rendimiento, mientras que la influencia de la fase del ciclo menstrual es limitada, específica y no sistemática*. Este hallazgo refuerza la idea de que **las mujeres pueden entrenar fuerza de manera consistente a lo largo de todo el ciclo, y que las decisiones sobre carga y volumen deben basarse prioritariamente en la respuesta individual al entrenamiento** y no en presunciones ligadas a una fase concreta del ciclo menstrual.

En cuanto al metabolismo energético durante ejercicio aeróbico a intensidad Fatmax (Estudio 2), *la ausencia de diferencias significativas en la oxidación de grasas y carbohidratos, así como en el consumo energético total y las principales variables cardiorrespiratorias, confirma que las fluctuaciones hormonales propias del ciclo menstrual no alteran de forma relevante la utilización de sustratos energéticos bajo condiciones controladas*. Estos resultados aportan seguridad y claridad a la prescripción del ejercicio aeróbico en mujeres, mostrando que **no son necesarios ajustes sistemáticos de la intensidad o la duración del entrenamiento en función de la fase del ciclo**.

Los resultados del Estudio 2B, centrado en las respuestas termorreguladoras, el balance hídrico y la composición electrolítica del sudor, aportan una contribución especialmente relevante desde el punto de vista aplicado. La estabilidad observada en la tasa de sudoración, el grado de deshidratación, la pérdida total de sodio y las variables perceptivas asociadas indica que *la capacidad de las mujeres para regular la temperatura corporal y mantener el equilibrio hídrico durante el ejercicio se mantiene constante a lo largo del ciclo menstrual*. Esta evidencia permite **descartar la necesidad de estrategias de hidratación o reposición electrolítica diferenciadas por fase del ciclo**, simplificando la planificación y evitando recomendaciones innecesariamente complejas.

De forma complementaria, el análisis de las respuestas cardiovasculares y perceptivas pone de manifiesto que, *aunque la frecuencia cardíaca y el esfuerzo percibido pueden mostrar variaciones moderadas en determinadas fases del ciclo, estas diferencias no comprometen el rendimiento ni alteran el patrón global de respuesta al ejercicio*. Su relevancia radica principalmente en la interpretación del esfuerzo interno y en la gestión diaria del entrenamiento, subrayando la **importancia de integrar indicadores subjetivos junto a las medidas objetivas**.

Uno de los aportes más consistentes del proyecto es la *caracterización de la sintomatología menstrual*, que muestra una *mayor carga durante la fase folicular temprana*, una reducción clara durante la fase periovulatoria y un perfil intermedio en la fase lútea media. Estos resultados evidencian que **el impacto del ciclo menstrual se manifiesta principalmente en el bienestar y la percepción, y no en la capacidad fisiológica**, lo que tiene implicaciones directas para la adherencia al ejercicio, la motivación y la comunicación entre deportistas y profesionales.

Desde una perspectiva transversal, el proyecto realiza una aportación significativa a la reducción de la brecha de género en las ciencias del deporte, al generar evidencia robusta y específica en población femenina, desafiando modelos tradicionales basados en la extrapolación desde hombres. Al mismo tiempo, *evita tanto la invisibilización del ciclo menstrual como su sobredimensionamiento como factor limitante, promoviendo una visión equilibrada, basada en datos y respetuosa con la diversidad fisiológica femenina*.

En conjunto, los resultados de esta investigación contribuyen a sentar las bases de **una práctica deportiva más justa, informada y equitativa, en la que las mujeres puedan entrenar y competir sin restricciones infundadas, pero con un reconocimiento explícito de su experiencia subjetiva**. La integración de estos hallazgos en el ámbito del entrenamiento, la nutrición y la educación física permitirá avanzar hacia *modelos de intervención más individualizados y basados en evidencia*, al tiempo que abre nuevas y prometedoras líneas de investigación que profundicen en la compleja interacción entre biología, percepción y contexto deportivo en mujeres.

BIBLIOGRAFÍA

Achten, J., Gleeson, M., & Jeukendrup, A. E. (2002). Determination of the exercise intensity that elicits maximal fat oxidation. ***Medicine and Science in Sports and Exercise***, 34(1), 92–97. https://doi.org/10.1097/00005768-200201000-00015

Appiah, D., Nwabuo, C. C., Ebong, I. A., Wellons, Melissa. F., & Winters, S. J. (2021). Trends in Age at Natural Menopause and Reproductive Life Span Among US Women, 1959-2018. ***JAMA***, 325(13), 1328–1330. https://doi.org/10.1001/JAMA.2021.0278

Ashley, Candi D., Bishop, P., Smith, J. F., Reneau, P., & Perkins, Cindy. (2000). Menstrual Phase Effects on Fat and Carbohydrate Oxidation During Prolonged Exercise in Active Females. ***Journal of Exercise Physiology Online***, 3(4), 67–73. asep.org

Baker, Lindsay. B. (2016). Sweat testing methodology in the field: Challenges and best practices. ***Sports Science Exchange***, 29(161), 1–6.

Baker, Lindsay. B. (2017). Sweating Rate and Sweat Sodium Concentration in Athletes: A Review of Methodology and Intra/Interindividual Variability. ***Sports Medicine***, 47, 111–128. https://doi.org/10.1007/s40279-017-0691-5

Bruinvels, Georgie, Burden, R. J., McGregor, Alison J., Ackerman, Kathryn E., Dooley, M., Richards, T., & Pedlar, C. (2017). Sport, exercise and the menstrual cycle: Where is the research? ***British Journal of Sports Medicine***, 51(6), 487–488. https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-096279

Carmichael, Mikaeli Anne, Thomson, Rebecca Louise, Moran, Lisa Jane, & Wycherley, T. P. (2021). The impact of menstrual cycle phase on athletes' performance: a narrative review. ***International Journal of Environmental Research and Public Health***, 18(4), 1–24. https://doi.org/10.3390/ijerph18041667 MDPI

Charkoudian, Nisha, & Stachenfeld, Nina. (2016). Sex hormone effects on autonomic mechanisms of thermoregulation in humans. ***Autonomic Neuroscience***, 196, 75–80. https://doi.org/10.1016/J.AUTNEU.2015.11.004 PubMed

Chesney, Margaret A., & Tasto, D. L. (1975). The development of the menstrual symptom questionnaire. ***Behaviour Research and Therapy***, 13(4), 237–244. https://doi.org/10.1016/0005-7967(75)90028-5 ResearchGate

Costello, J. T., Bieuzen, F., & Bleakley, C. M. (2014). Where are all the female participants in Sports and Exercise Medicine research? ***European Journal of Sport Science***, 14(8), 847–851. https://doi.org/10.1080/17461391.2014.911354

Cowley, Emma S., Olenick, Alyssa A., McNulty, Kelly L., & Ross, Emma Z. (2021). "Invisible Sportswomen": The Sex Data Gap in Sport and Exercise Science Research. ***Women in Sport and Physical Activity Journal***, 29(2), 146–151. https://doi.org/10.1123/wspaj.2021-0028

Davis, Hope. C., & Hackney, A. C. (2017). The Hypothalamic–Pituitary–Ovarian Axis and Oral Contraceptives: Regulation and Function. ***Sex Hormones, Exercise and Women: Scientific and Clinical Aspects***, 1–17. https://doi.org/10.1007/978-3-319-44558-8_1

Devries, Michaela C., Hamadeh, M. J., Phillips, S. M., & Tarnopolsky, M. A. (2006). Menstrual cycle phase and sex influence muscle glycogen utilization and glucose turnover during moderate-intensity endurance exercise. ***American Journal of Physiology. Regulatory, Integrative and Comparative Physiology***, 291(4), 1120–1128. https://doi.org/10.1152/ajpregu.00700.2005 PubMed

Elliott-Sale, Kirsty J., Minahan, Clare L., de Jonge, Xanne A. K. J., Ackerman, Kathryn E., Sipilä, Sarianna, Constantini, Naama W., Lebrun, Constance M., & Hackney, A. C. (2021). Methodological Considerations for Studies in Sport and Exercise Science with Women as Participants: A Working Guide for Standards of Practice for Research on Women. ***Sports Medicine***, 51(5), 843–861. https://doi.org/10.1007/s40279-021-01435-8 PubMed

Emmonds, Stacey, Heyward, O., & Jones, B. (2019). The Challenge of Applying and Undertaking Research in Female Sport. ***Sports Medicine - Open***, 5(1). https://doi.org/10.1186/s40798-019-0224-x PubMed

Garcia, A. M. C., Lacerda, M. G., Fonseca, I. A. T., Reis, F. M., Rodrigues, L. O. C., & Silami-Garcia, E. (2006). Luteal phase of the menstrual cycle increases sweating rate during exercise. ***Brazilian Journal of Medical and Biological Research***, 39(9), 1255–1261. https://doi.org/10.1590/S0100-879X2006005000007

Gordon, D., Hughes, Felicity., Young, Katherine., Scruton, A., Keiller, D., Caddy, O., Baker, J., & Barnes, R. (2013). The effects of menstrual cycle phase on the development of peak torque under isokinetic conditions. ***Isokinetics and Exercise Science***, 21(4), 285–291. https://doi.org/10.3233/IES-130499

Hackney, A. C., McCracken-Compton, Mary. A., & Ainsworth, Barbara. (1994). Substrate responses to Submaximal Exercise in the Midfollicular and Midluteal Phases of the Menstrual Cycle. *International Journal of Sport Nutrition*, 4, 299–308. https://doi.org/10.1123/ijsn.4.3.299

Hackney, A. C., Minson, C. T., & Tchounwou, P. B. (2021). Menstrual Cycle Hormonal Changes and Energy Substrate Metabolism in Exercising Women: A Perspective. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(19), 10024. https://doi.org/10.3390/IJERPH181910024

Horton, Tracy. J., Miller, Emily. K., Glueck, Deborah., & Tench, Kathleen. (2002). No effect of menstrual cycle phase on glucose kinetics and fuel oxidation during moderate-intensity exercise. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 282(4), E752–E762. https://doi.org/10.1152/ajpendo.00238.2001

Jeukendrup, A. E., & Wallis, G. A. (2005). Measurement of Substrate Oxidation During Exercise by Means of Gas Exchange Measurements. *International Journal of Sports Medicine*, 26, 28–37. https://doi.org/10.1055/s-2004-830512

Liu, X., Liu, Z. Z., Yang, Y., & Jia, C. X. (2023). Prevalence and Associated Factors of Premenstrual Syndrome in Chinese Adolescent Girls. *Child Psychiatry and Human Development*. https://doi.org/10.1007/s10578-023-01624-8

McNulty, Kelly Lee, Elliott-Sale, Kirsty Jayne, Dolan, Eimear, Swinton, P. A., Ansdell, P., Goodall, S., Thomas, K., & Hicks, Kirsty Marie. (2020). The Effects of Menstrual Cycle Phase on Exercise Performance in Eumenorrheic Women: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*, 50(10), 1813–1827. https://doi.org/10.1007/s40279-020-01319-3

Meignié, Alice, Duclos, Martine., Carling, C., Orhant, E., Provost, Peggy., Toussaint, J. F., & Antero, Juliana. (2021). The Effects of Menstrual Cycle Phase on Elite Athlete Performance: A Critical and Systematic Review. *Frontiers in Physiology,* 12, 654585. https://doi.org/10.3389/FPHYS.2021.654585/BIBTEX

Nguyen, Mai-Linh, Nguyen, Sherilyn, Sood, Nikita, Marivada, Snigdha, Magaldino, Alexandra, & Mayrovitz, H. N. (2024). Physiological Changes in Women's Skin During the Menstrual Cycle: A Scoping Review. *Cureus*, 16(12). https://doi.org/10.7759/CUREUS.75286 PubMed

Niu, Z., & Goto, T. (2024). Effects of individual characteristics and local body functions on sweating response: A review. *International Journal of Biometeorology*, 68(11), 2185. https://doi.org/10.1007/S00484-024-02758-7

Oosthuyse, Tanja., & Bosch, A. N. (2010). The Effect of the Menstrual Cycle on Exercise Metabolism Implications for Exercise Performance in Eumenorrhoeic Women. *Sports Medicine*, 40(3), 207–227. https://doi.org/10.2165/11317090-000000000-00000

Ortega-Santos, Carmen. P., Barba-Moreno, Laura., Cupeiro, Rocio., & Peinado, Ana. B. (2018). Substrate oxidation in female adults during endurance exercise throughout menstrual cycle phases: IronFEMME pilot study. *Journal of Human Sport and Exercise*, 13(3), 553–565. https://doi.org/10.14198/jhse.2018.133.07

Reed, B. G., & Carr, B. R. (2018). The normal menstrual cycle and the control of ovulation. www.endotext.org

Romero-Moraleda, Blanca., Coso, J. Del, Gutiérrez-Hellín, J., Ruiz-Moreno, C., Grgic, J., & Lara, Beatriz. (2019). The influence of the menstrual cycle on muscle strength and power performance. *Journal of Human Kinetics*, 68(1), 123–133. https://doi.org/10.2478/HUKIN-2019-0061

Smith, M. J., Adams, Linda. F., Schmidt, P. J., Rubinow, D. R., & Wassermann, E. M. (2002). Effects of ovarian hormones on human cortical excitability. *Annals of Neurology*, 51(5), 599–603. https://doi.org/10.1002/ANA.10180

Suh, S., Casazza, Gretchen. A., Horning, M. A., Miller, B. F., & Brooks, G. A. (2002). Luteal and follicular glucose fluxes during rest and exercise in 3-h postabsorptive women. *Journal of Applied Physiology*, 93(1), 42–50. https://doi.org/10.1152/japplphysiol.01080.2001

Tenan, M. S., Peng, Yi. Ling., Hackney, A. C., & Griffin, Lisa. (2013). Menstrual cycle mediates vastus medialis and vastus medialis oblique muscle activity. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 45(11), 2151–2157. https://doi.org/10.1249/MSS.0B013E318299A69D

Topham, T. H., Smallcombe, J. W., Clark, B., Brown, H. A., Telford, R. D., Jay, O., & Périard, J. D. (2022). Influence of sex and biological maturation on the sudomotor response to exercise-heat stress: are girls disadvantaged? *American Journal of Physiology - Regulatory Integrative and Comparative Physiology*, 323(2), R161–R168. https://doi.org/10.1152/AJPREGU.00328.2021

Vaiksaar, Sille., Jürimäe, J., Mäestu, J., Purge, P., Kalytka, Svetlana., Shakhlina, N., & Jürimäe, T. (2011). No effect of menstrual cycle phase on fuel oxidation during exercise in rowers. *European Journal of Applied Physiology*, 111(6), 1027–1034. https://doi.org/10.1007/s00421-010-1730-1

Willett, Hannah N., Koltun, Kristen J., & Hackney, A. C. (2021). Influence of Menstrual Cycle Estradiol-β-17 Fluctuations on Energy Substrate Utilization-Oxidation during Aerobic, Endurance Exercise. International Journal of Environmental *Research and Public Health*, 18(13), 7209. https://doi.org/10.3390/IJERPH18137209

@InstMujeres

@InstMujeres

@InstMujeres

Instituto de las Mujeres

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE IGUALDAD
Instituto de las Mujeres

GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE IGUALDAD

Instituto de las Mujeres

