



Influencia del estado madurativo en el rendimiento deportivo y la respuesta fisiológica de jóvenes nadadores

Influence of maturational status on sport performance and physiological responses in young swimmers

Autores

Jaime Rivera ¹
Miguel Heres ¹
Carlos Lago-Fuentes ²
Nuno Leite ^{3,4}
Susana Pulgar ¹

¹Universidad Europea del Atlántico (España)

²Universidad Internacional de La Rioja (España)

³Universidad de Trás-os-Montes y Alto Douro (Portugal)

⁴Centro de Investigación en Deporte, Salud y Desarrollo Humano (CIDESD) (Portugal)

Autor de correspondencia:
Miguel Heres
miguel.heres@uneatlantico.es

Recibido: 22-01-26

Aceptado: 19-03-26

Cómo citar en APA

Rivera, J., Heres, M., Lago Fuentes, C., Leite, N., & Pulgar, S. (2026). Influencia del estado madurativo en el rendimiento deportivo y la respuesta fisiológica de jóvenes nadadores. *Retos*, 79, 343-354. <https://doi.org/10.47197/retos.v79.118626>

Resumen

Introducción: La maduración biológica es un proceso no lineal que condiciona el desarrollo de las capacidades fisiológicas y el rendimiento deportivo durante la adolescencia, generando diferencias entre deportistas de la misma edad cronológica.

Objetivo: Este estudio analizó la influencia del estado madurativo sobre indicadores fisiológicos y de rendimiento en jóvenes nadadores, evaluados mediante pruebas aeróbicas y anaeróbicas en el medio acuático.

Metodología: Participaron nadadores del programa de tecnificación de la Federación Cantábrica de Natación, con edades entre 12 y 18 años, clasificados en estadios pre-PHV, circa-PHV y post-PHV a partir de medidas antropométricas. Se evaluó la capacidad aeróbica mediante una prueba de 400 m estilo libre, estimándose el VO_{2max} de forma indirecta, y la capacidad anaeróbica a través de sprints máximos de 25, 50 y 100 m. Asimismo, se registraron variables fisiológicas y perceptivas como lactato sanguíneo, frecuencia cardíaca y percepción subjetiva del esfuerzo.

Resultados: Los resultados mostraron diferencias significativas entre estadios madurativos en los tiempos de nado y en el VO_{2max} absoluto, con mejor rendimiento en nadadores post-PHV. Sin embargo, no se observaron diferencias consistentes en la frecuencia cardíaca ni en el esfuerzo percibido.

Discusión: Estos hallazgos coinciden con investigaciones previas que señalan una ventaja de los deportistas más maduros en variables de rendimiento, especialmente en tareas de alta intensidad.

Conclusiones: Estos hallazgos ponen de manifiesto que la maduración biológica influye principalmente en variables mecánicas y estructurales del rendimiento, lo que refuerza la necesidad de considerar el estado madurativo en la evaluación y planificación del entrenamiento en natación formativa.

Palabras clave

Pico de velocidad de crecimiento; maduración biológica; natación formativa; capacidad aeróbica; velocidad.

Abstract

Introduction: Biological maturation is a non-linear process that influences the development of physiological capacities and sport performance during adolescence, generating relevant differences among athletes of the same chronological age.

Objective: This study analyzed the influence of maturational status on different physiological and performance indicators in young swimmers, assessed through aerobic and anaerobic tests conducted in the aquatic environment.

Methodology: Participants were swimmers from the talent development program of the Cantabrian Swimming Federation, aged between 12 and 18 years, classified into pre-PHV, circa-PHV, and post-PHV stages based on anthropometric measurements. Aerobic capacity was assessed using a 400 m freestyle time trial, with maximal oxygen uptake (VO_{2max}) estimated indirectly, while anaerobic capacity was evaluated through maximal sprints over 25, 50, and 100 m. In addition, physiological and perceptual variables such as blood lactate concentration, heart rate, and rating of perceived exertion were recorded.

Results: The results showed significant differences between maturational stages in sprint swimming times and absolute VO_{2max} , with superior performance observed in post-PHV swimmers. However, no consistent differences were found in heart rate or perceived exertion.

Discussion: These findings are consistent with previous research indicating an advantage of more mature athletes in performance-related variables, particularly in high-intensity tasks. **Conclusions:** These findings indicate that biological maturation mainly influences mechanical and structural components of performance, reinforcing the need to consider maturational status, beyond chronological age, when evaluating and planning training in youth swimming.

Keywords

Peak height velocity; biological maturation; youth swimming; aerobic capacity; speed.



Introducción

La maduración biológica es un proceso no lineal que comprende las adaptaciones estructurales y funcionales mediante las cuales el individuo alcanza la etapa adulta del desarrollo (Beunen, 2009). Durante este proceso tienen lugar cambios asincrónicos en distintos tejidos y sistemas, de modo que los ritmos de desarrollo no siempre coinciden con la edad cronológica (Malina et al., 2004). Estas transformaciones, moduladas en gran medida por el sistema endocrino, repercuten tanto en la estructura corporal como en funciones fisiológicas directamente vinculadas al rendimiento deportivo (Malina et al., 2015).

Debido a que la maduración progresa a ritmos distintos entre individuos, deportistas de la misma edad cronológica pueden encontrarse en fases de desarrollo claramente diferentes. Esta variabilidad tiene implicaciones directas en el ámbito deportivo, dado que los jóvenes con una maduración más avanzada suelen presentar mayores dimensiones corporales y una proporción superior de masa magra, lo que se traduce en ventajas temporales en fuerza, potencia y velocidad frente a sus compañeros de maduración tardía (Figueiredo et al., 2009; Malina et al., 2007; Philippaerts et al., 2006; Malina et al., 2015). Estudios recientes en deportistas adolescentes han mostrado que la madurez biológica se asocia con el rendimiento físico durante la adolescencia, especialmente en tareas de velocidad, potencia y resistencia, lo que refuerza la necesidad de considerar el desarrollo biológico al interpretar las diferencias de rendimiento más allá de la edad cronológica (Gundersen et al., 2024). Estas diferencias pueden condicionar los procesos de identificación y selección de talento, favoreciendo de manera desproporcionada a los deportistas más adelantados, a pesar de que dichas ventajas suelen atenuarse o incluso invertirse cuando los individuos de maduración tardía completan su desarrollo (Malina et al., 2015). Esta variabilidad ha impulsado la adopción de estrategias como el bio-banding, que agrupa a los deportistas según su estado de maduración en lugar de su edad cronológica, con el fin de equilibrar las diferencias de desarrollo y optimizar los procesos de entrenamiento y evaluación (Cumming et al., 2017).

Más allá de sus efectos sobre el rendimiento, la interacción entre la maduración y las demandas del entrenamiento puede aumentar el riesgo de lesión en la adolescencia. El crecimiento acelerado característico de esta etapa se ha relacionado con una mayor incidencia de lesiones por sobreuso, especialmente en deportistas sometidos a cargas elevadas o a una especialización temprana (Johnson et al., 2022). Asimismo, una distribución inadecuada del entrenamiento puede favorecer desequilibrios musculares y alteraciones en la coordinación, incrementando el riesgo de lesión y comprometiendo el desarrollo a largo plazo del deportista (Hume y Russell, 2014). En consecuencia, monitorizar el estado madurativo resulta fundamental para ajustar las cargas de entrenamiento y garantizar una progresión acorde al desarrollo biológico (Malina et al., 2015).

En este marco, disponer de métodos válidos para estimar la maduración biológica es esencial para adecuar el entrenamiento al nivel de desarrollo del deportista. Uno de los procedimientos más utilizados es el cálculo de la distancia al pico de velocidad de crecimiento (PHV), que puede estimarse de forma sencilla y fiable mediante el modelo predictivo de Mirwald et al. (2002) a partir de medidas antropométricas. El PHV se alcanza, por término medio, entre los 12 y 15,8 años en varones y entre los 9,3 y 15 años en mujeres, lo que evidencia diferencias relevantes entre sexos en la cronología del desarrollo (Baxter-Jones et al., 2005). Estas diferencias pueden influir en las adaptaciones propias de la pubertad, como el incremento de la masa muscular en varones o el mayor acúmulo de masa grasa en mujeres, afectando de manera distinta a las demandas de cada disciplina deportiva (Malina et al., 2004; Stager y Coyle, 2005).

Las variaciones en el desarrollo físico durante la pubertad subrayan la necesidad de caracterizar con precisión el perfil corporal y funcional de los deportistas jóvenes. En este sentido, la evaluación antropométrica, que incluye el análisis del tamaño, la proporción y la composición corporal, debe complementarse con pruebas de condición física que permitan valorar las capacidades específicas de cada disciplina y el posible efecto de la edad relativa (RAE) (Arede et al., 2019; López-Plaza et al., 2017).

En natación, donde el rendimiento depende de la velocidad de desplazamiento en el agua, las capacidades determinantes varían según la distancia y el estilo (Pyne y Sharp, 2014). En este sentido, estudios recientes en nadadores adolescentes han mostrado que el estado madurativo se asocia de forma significativa con el rendimiento en pruebas de nado, evidenciando una contribución relevante en comparación con otras variables físicas como la potencia muscular, lo que pone de manifiesto la relevancia del desarrollo biológico en la interpretación del rendimiento en natación (Almeida-Neto et al., 2023). No



obstante, el rendimiento en natación también está condicionado por la contribución específica de distintas capacidades físicas en función de la distancia de la prueba. Las pruebas de velocidad requieren una mayor contribución de la potencia anaeróbica, la fuerza explosiva y la eficiencia técnica (Fone y Tillaar, 2022), mientras que en distancias medias adquieren relevancia el componente aeróbico y la resistencia muscular (Price et al., 2024). En las pruebas de fondo, la capacidad aeróbica y la habilidad para mantener una técnica eficiente constituyen los principales determinantes del rendimiento (Pyne et al., 2001). En este contexto, la evaluación de la capacidad aeróbica y anaeróbica es esencial para orientar el entrenamiento. El $VO_2\text{max}$ es uno de los parámetros más utilizados por su asociación con el rendimiento, mientras que la potencia y la capacidad anaeróbica son determinantes en pruebas de corta duración, donde la producción rápida de fuerza influye directamente en el rendimiento (Holmér et al., 1974).

El objetivo de este estudio fue analizar la influencia del estado madurativo sobre distintos indicadores fisiológicos y de rendimiento en jóvenes nadadores, evaluados mediante pruebas aeróbicas y anaeróbicas en el medio acuático.

Método

Se llevó a cabo un estudio cuantitativo cuasiexperimental de diseño transversal, empleando un muestreo no probabilístico por cuotas. El protocolo fue evaluado y aprobado por el Comité de Ética de la Universidad Europea del Atlántico (CEI-41/2024) y se desarrolló conforme a los principios de la Declaración de Helsinki. Tanto los nadadores como sus padres o tutores legales fueron informados detalladamente sobre los objetivos, procedimientos y posibles riesgos del estudio, y otorgaron su consentimiento informado por escrito antes de iniciar su participación.

Con el fin de garantizar la fiabilidad de los datos, se pidió a los nadadores y a sus entrenadores que evitaran realizar sesiones de entrenamiento de alta intensidad durante las 48 horas previas a las pruebas físicas. Esta medida tuvo como objetivo reducir la fatiga aguda y asegurar que los resultados obtenidos reflejaran el rendimiento real de cada sujeto en condiciones óptimas y reproducibles.

Participantes

La muestra del estudio estuvo compuesta por nadadores pertenecientes a distintos clubes de la liga cántabra de natación, todos ellos integrados en el programa de tecnificación de la Federación Cántabra de Natación. Para la selección de los participantes se incluyeron exclusivamente aquellos deportistas que alcanzaban al menos el 85% de la marca mínima establecida por la Federación Española en cualquiera de sus pruebas, con el fin de homogeneizar el nivel competitivo de la muestra.

Dado que el estudio contempló dos protocolos de evaluación diferenciados, una prueba de carácter anaeróbico y otra de carácter aeróbico, la participación no fue idéntica en ambas sesiones. En la prueba aeróbica participaron un total de 24 nadadores, mientras que la prueba anaeróbica fue realizada por 16 nadadores.

Todos los nadadores seguían un programa de entrenamiento estructurado, con una frecuencia de entre cinco y seis sesiones semanales en el agua, ajustadas individualmente por cada club. Asimismo, realizaban un trabajo complementario de fuerza en seco programado de manera independiente por sus entrenadores.

Evaluación

Evaluación del estado madurativo

La maduración biológica se estimó mediante el desfase respecto al PHV, utilizando las ecuaciones antropométricas específicas por sexo propuestas por Mirwald et al. (2002). Este método, ampliamente empleado en población juvenil y deportiva, permite obtener una estimación no invasiva y fiable del estado madurativo a partir de la relación entre la edad cronológica y el desfase de madurez (Cumming et al., 2017; Albaladejo-Saura et al., 2022).

Para su cálculo se registraron la masa corporal, la estatura en bipedestación y la estatura en sedestación mediante una báscula digital (SECA 862®, Hamburgo, Alemania) y un tallímetro portátil (SECA 213®,

Hamburgo, Alemania). La longitud de los miembros inferiores se obtuvo mediante la diferencia entre ambas estaturas. En función del PHV estimado, los nadadores se clasificaron en tres niveles de maduración: Pre-PHV, Circa-PHV y Post-PHV (Cumming et al., 2017).

Evaluación de la capacidad aeróbica

La capacidad aeróbica se evaluó mediante una prueba contrarreloj de 400 m estilo libre, distancia que permite obtener un rendimiento estable bajo predominio del metabolismo aeróbico en nadadores jóvenes (Kalva-Filho et al., 2015a, 2015b).

Dado que no se dispuso de analizadores metabólicos directos, el $VO_2\text{max}$ se estimó de forma indirecta utilizando el test validado de 5 minutos propuesto por Vásquez (2021). Este test permite predecir el $VO_2\text{max}$ a partir de la distancia que el nadador sería capaz de recorrer en 5 minutos de nado continuo. Para ello, la velocidad media obtenida en los 400 m se empleó para estimar la distancia equivalente en 5 minutos, aplicándose posteriormente la ecuación: $VO_2\text{max} = (\text{Distancia estimada en 5 min} - 0,0105) / 7,3766$

Finalmente, el $VO_2\text{max}$ absoluto ($L \cdot \text{min}^{-1}$) se obtuvo mediante extrapolación a partir del valor relativo. El tiempo oficial de la prueba se registró mediante un cronómetro digital Accusplit (Accusplit, Pleasanton, CA).

La concentración de lactato sanguíneo ($[La^-]$) se midió mediante un analizador portátil Lactate Pro (Arkray Inc., Kioto, Japón) inmediatamente después de la prueba y a los 3 minutos post-esfuerzo, intervalo en el que habitualmente se alcanza el pico máximo de lactato en ejercicios de alta intensidad (Kalva-Filho et al., 2015a; Goodwin et al., 2007).

El esfuerzo percibido (RPE) se registró mediante la escala de Borg (Borg, 1982) en dos momentos: antes del inicio de la prueba, para determinar el estado perceptivo basal, y de forma inmediata al finalizar el test, con el fin de cuantificar la percepción de esfuerzo asociada al rendimiento.

Además, se recogieron como variables complementarias la velocidad media de nado y la frecuencia cardíaca (FC) al finalizar la prueba mediante un pulsómetro Polar Vantage NV (Polar Electro Oy, Kempele, Finlandia).

Evaluación de la capacidad anaeróbica

La capacidad anaeróbica se evaluó mediante tres esfuerzos máximos en estilo libre (25, 50 y 100 m), seleccionados por su elevada demanda anaeróbica y siguiendo el protocolo descrito por Nagle et al. (2021). Estas distancias permitieron analizar esfuerzos de diferente duración y reflejar la disminución progresiva de la influencia de la potencia y la técnica a medida que aumenta la distancia, proporcionando así una valoración integral del perfil anaeróbico (Lätt et al., 2009).

Las variables analizadas incluyeron el tiempo empleado en cada sprint, registrado mediante un cronómetro digital Accusplit (Accusplit, Pleasanton, CA); la FC, monitorizada con un pulsómetro Polar Vantage NV (Polar Electro Oy, Kempele, Finlandia); y RPE, evaluado inmediatamente tras cada distancia mediante la escala de Borg (Borg, 1982).

Procedimiento

Las evaluaciones se realizaron en tres sesiones independientes. La primera se destinó a las mediciones antropométricas, mientras que las dos restantes correspondieron a las pruebas de capacidad aeróbica y anaeróbica, programadas en días diferentes y separadas por al menos 48 horas para evitar interferencias derivadas de la fatiga acumulada. Además, se indicó a los nadadores y a sus entrenadores que evitaran sesiones de entrenamiento de alta intensidad durante las 48 horas previas a cada día de pruebas, con el fin de asegurar que las condiciones de evaluación reflejaran el rendimiento real de los deportistas.

El calentamiento previo a las pruebas en piscina incluyó, en primer lugar, una activación general fuera del agua acompañada de ejercicios de movilidad articular. Posteriormente, ya en el agua, los nadadores realizaron un calentamiento específico de natación que incluyó nado continuo, ejercicios técnicos y progresiones a ritmo de prueba. Tras la finalización de cada test, la vuelta a la calma consistió en 200 m de nado suave con el objetivo de favorecer la recuperación fisiológica (Mota et al., 2017).

Análisis de datos



El análisis estadístico se realizó con el software Jamovi (versión 2.6). Las variables continuas se describieron como media \pm desviación estándar (DE), mientras que las variables categóricas (sexo, categoría competitiva y estado madurativo) se presentaron como frecuencias absolutas (n) y porcentajes (%), con el objetivo de reflejar adecuadamente la distribución muestral. La normalidad de las distribuciones se evaluó mediante la prueba de Shapiro–Wilk, y la homogeneidad de varianzas mediante el test de Levene.

Dado que la mayoría de las variables analizadas no cumplían los supuestos paramétricos, se empleó el ANOVA no paramétrico de Kruskal–Wallis para comparar los valores entre estadios madurativos. Cuando se identificaron diferencias significativas, se realizaron comparaciones múltiples mediante el procedimiento Dwass–Steel–Critchlow–Fligner (DSCF).

Con el objetivo de explorar si las diferencias entre estadios madurativos se mantenían al controlar la influencia del sexo y la edad, se realizaron análisis de covarianza (ANCOVA) para cada una de las variables ya analizadas previamente. En estos modelos, el estadio madurativo y el sexo se incluyeron como factores fijos, mientras que la edad cronológica se incorporó como covariable.

No obstante, y teniendo en cuenta que todos los nadadores de la categoría junior/absoluto pertenecían al estadio post-PHV y eran hombres, no existía variabilidad interna que permitiera diferenciar el efecto del sexo y del estado madurativo. Por este motivo, estos participantes se excluyeron del ANCOVA, lo que permitió ajustar el modelo con los grupos restantes. Aun así, los resultados deben interpretarse con prudencia debido al menor tamaño muestral y se presentan como un análisis complementario en el material suplementario.

La significación estadística se estableció en $p < 0.05$ para todas las pruebas. En los análisis no paramétricos, el tamaño del efecto se expresó mediante epsilon-cuadrado (ϵ^2). Para los análisis ANCOVA, el tamaño del efecto se reportó como eta cuadrado parcial (η^2p), interpretado conforme a los criterios derivados de Cohen: efecto pequeño (≈ 0.01), moderado (≈ 0.06) y grande (≈ 0.14).

Resultados

Estado madurativo y capacidad aeróbica

Un total de 24 nadadores completaron la valoración de la capacidad aeróbica. Las características antropométricas y el estado madurativo de estos participantes se presentan en la Tabla 1. Se observó un aumento progresivo de la edad, la estatura y el peso entre categorías competitivas, mientras que el IMC se mantuvo relativamente estable entre los grupos infantil y junior/absoluto. En términos de maduración biológica, la distribución fue acorde a lo esperado: la categoría alevín estuvo compuesta mayoritariamente por nadadores pre-PHV, la infantil por deportistas circa-PHV y la categoría junior/absoluto exclusivamente por sujetos post-PHV. En caso de utilizar tablas y figuras (tabla 1), debe tener en cuenta las siguientes indicaciones.

Tabla 1. Características antropométricas y estado madurativo de los nadadores participantes en la prueba de resistencia.

	Alevín (n = 13)	Infantil (n = 6)	Junior/Absoluto (n = 5)	Total (n = 24)
Hombres	5 (38%)	1 (17%)	5 (100%)	11 (46%)
Mujeres	8 (62%)	5 (83%)	0 (0%)	13 (54%)
Pre-PHV	10 (77%)	0 (0%)	0 (0%)	10 (42%)
Circa-PHV	3 (23%)	5 (83%)	0 (0%)	8 (33%)
Post-PHV	0 (0%)	1 (17%)	5 (100%)	6 (25%)
Edad (años)	13.0 \pm 0.52	14.6 \pm 0.73	17.0 \pm 0.98	14.2 \pm 1.73
Estatura (cm)	159 \pm 6.81	166 \pm 7.12	182 \pm 2.53	166 \pm 10.8
Peso (kg)	49.8 \pm 6.15	60.3 \pm 9.65	72.0 \pm 6.18	57.1 \pm 11.3
IMC (kg/m ²)	19.6 \pm 1.60	21.9 \pm 2.18	21.8 \pm 1.73	20.6 \pm 2.04

Nota. n = tamaño muestral; IMC = índice de masa corporal; PHV = pico de velocidad de crecimiento. Las variables categóricas (sexo y estadio madurativo) se presentan como frecuencias absolutas (n) y porcentajes (%). Las variables continuas (edad, estatura, peso e IMC) se expresan como media \pm desviación estándar (DE).

En relación con las variables fisiológicas y de rendimiento, el análisis mostró diferencias significativas entre estadios de maduración en el VO_2max absoluto ($\chi^2 = 7.56$, $p = 0.023$, $\epsilon^2 = 0.420$) y en la FC una vez finalizada la prueba ($\chi^2 = 8.71$, $p = 0.013$, $\epsilon^2 = 0.484$) ambos con tamaños del efecto elevados. El análisis

post hoc reveló diferencias significativas únicamente en la FC entre los grupos circa-PHV y pre-PHV ($p = 0.012$). Para el $VO_2\text{max}$ absoluto, ninguna de las comparaciones por pares alcanzó significación, pese al efecto global observado.

El resto de variables no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre grupos: $VO_2\text{max}$ relativo ($p = 0.145$), velocidad media ($p = 0.264$), $[La^-]$ justo al momento de finalizar la prueba ($p = 0.090$), $[La^-]$ a los 3 minutos de finalización de la misma ($p = 0.099$) y RPE post-prueba ($p = 0.051$), si bien esta última presentó una tendencia cercana a la significación. Los valores descriptivos y resultados inferenciales se presentan en la Tabla 2, y las comparaciones múltiples DSCF pueden consultarse en la Tabla Suplementaria 1.

Tabla 2. Descriptores y resultados del análisis Kruskal-Wallis para las variables de la prueba aeróbica según el estadio madurativo de los nadadores.

Variable	Pre-PHV (Media± DE)	Circa-PHV (Media± DE)	Post-PHV (Media± DE)	χ^2	p	ε^2
$[La^-]$ (mmol·L ⁻¹)	4.21 ± 1.84	6.55 ± 2.47	7.63 ± 2.28	4.83	0.090	0.268
Lactato 3' (mmol·L ⁻¹)	4.76 ± 2.27	6.46 ± 1.64	7.55 ± 2.64	4.62	0.099	0.257
$VO_2\text{max}$ relativo (mL·kg·min ⁻¹)	47.6 ± 4.03	49.5 ± 2.01	54.7 ± 2.49	3.86	0.145	0.214
$VO_2\text{max}$ absoluto (L·min ⁻¹)	2.33 ± 0.47	2.75 ± 0.25	4.30 ± 0.35	7.56	0.023*	0.420
Velocidad media (m·s ⁻¹)	1.18 ± 0.10	1.20 ± 0.05	1.30 ± 0.08	2.66	0.264	0.148
RPE post-prueba	7.30 ± 0.82	8.25 ± 0.71	7.00 ± 0.98	5.95	0.051	0.331
FC post-prueba (lat·min ⁻¹)	162 ± 20	196 ± 19.5	166 ± 22.3	8.71	0.013*	0.484

Nota. DE = desviación estándar; RPE = percepción subjetiva del esfuerzo; FC = frecuencia cardíaca; $[La^-]$ = lactato sanguíneo; ε^2 = epsilon cuadrado (tamaño del efecto). *significación estadística.

Con el objetivo de explorar si las diferencias observadas entre estadios madurativos se mantenían al controlar la influencia del sexo y la edad, se realizó un análisis ANCOVA excluyendo a los nadadores de la categoría junior/absoluto. Tras esta exclusión, únicamente permaneció un nadador post-PHV perteneciente a la categoría infantil. Este sujeto también fue retirado del análisis, ya que su inclusión impedía la estimación del modelo debido a la ausencia de variabilidad en el sexo dentro de ese estadio madurativo y al reducido tamaño muestral del grupo ($n = 1$). En consecuencia, el ANCOVA se realizó exclusivamente con los grupos pre-PHV ($n = 10$) y circa-PHV ($n = 8$). Los resultados completos se presentan en la Tabla Suplementaria 1.

El estadio madurativo mostró un efecto significativo únicamente en el $VO_2\text{max}$ absoluto, $F(1,14) = 4.38$, $p = 0.033$, con un tamaño del efecto moderado-alto ($\eta^2 p = 0.385$). En el resto de variables no se observaron efectos significativos del estado madurativo: $[La^-]$ al finalizar la prueba ($F(1,14) = 0.53$, $p = 0.600$), $[La^-]$ a los 3 minutos de la finalización de la misma ($F(1,14) = 1.02$, $p = 0.385$), $VO_2\text{max}$ relativo ($F(1,14) = 1.94$, $p = 0.181$), velocidad media obtenida en la prueba ($F(1,14) = 0.91$, $p = 0.425$), RPE post-prueba ($F(1,14) = 2.97$, $p = 0.084$) y FC final ($F(1,14) = 0.79$, $p = 0.389$).

En relación con el sexo, se observaron efectos significativos en el $VO_2\text{max}$ relativo ($F(1,14) = 9.70$, $p = 0.008$), la velocidad media ($F(1,14) = 6.28$, $p = 0.025$) y la FC final ($F(1,14) = 7.14$, $p = 0.018$). En las demás variables no se detectaron efectos significativos del sexo. Por su parte, la edad cronológica no mostró un efecto significativo en ninguna de las variables analizadas ($p > 0.05$ en todos los casos). Finalmente, las comparaciones basadas en medias marginales no mostraron diferencias significativas entre los grupos en ninguna variable del modelo.

Estado madurativo y capacidad anaeróbica

Un total de 16 nadadores completaron la prueba de velocidad. Las características antropométricas y la distribución de los estadios madurativos se presentan en la Tabla 3. En términos de composición por sexo, la categoría alevín estuvo formada mayoritariamente por mujeres, mientras que la categoría junior/absoluto estuvo compuesta exclusivamente por hombres. En relación con la maduración biológica, los nadadores alevines se concentraron principalmente en los estadios pre-PHV y circa-PHV, los infantiles se distribuyeron de manera equivalente entre circa-PHV y post-PHV, y todos los nadadores de la categoría junior/absoluto correspondieron al estadio post-PHV.

En cuanto a las variables antropométricas, se observó un incremento progresivo de la edad, la estatura y el peso a medida que aumentaba la categoría competitiva, mientras que el IMC mostró valores relativamente similares entre categorías, con una ligera elevación en el grupo infantil.



Tabla 3. Características antropométricas y estado madurativo de los nadadores participantes en las pruebas de velocidad.

	Alevín (n = 5)	Infantil (n = 4)	Junior/absoluto (n = 7)	Total (n = 16)
Hombres	1 (20%)	2 (50%)	7 (100%)	10 (62.5%)
Mujeres	4 (80%)	2 (50%)	0 (0%)	6 (37.5%)
Pre-PHV	2 (40%)	0 (0%)	0 (0%)	2 (13%)
Circa-PHV	3 (60%)	2 (50%)	0 (0%)	5 (31%)
Post-PHV	0 (0%)	2 (50%)	7 (100%)	9 (56%)
Edad (años)	13.2 ± 0.60	14.6 ± 0.87	17.3 ± 0.97	15.3 ± 2.02
Estatura (cm)	166 ± 4.72	170 ± 10.7	182 ± 2.40	174 ± 9.18
Peso (kg)	54.8 ± 4.65	66.2 ± 13.9	72.2 ± 5.26	65.2 ± 10.7
IMC (kg/m ²)	19.9 ± 1.45	22.6 ± 2.11	21.8 ± 1.42	21.4 ± 1.87

Nota. n = tamaño muestral; IMC = índice de masa corporal; PHV = pico de velocidad de crecimiento. Las variables categóricas (sexo y estadio madurativo) se presentan como frecuencias absolutas (n) y porcentajes (%). Las variables continuas (edad, estatura, peso e IMC) se expresan como media ± desviación estándar (DE).

El análisis Kruskal–Wallis mostró diferencias significativas entre estadios madurativos en el tiempo de nado para las tres distancias evaluadas: 25 m ($\chi^2 = 8.54$, $p = 0.014$, $\epsilon^2 = 0.569$), 50 m ($\chi^2 = 11.15$, $p = 0.004$, $\epsilon^2 = 0.743$) y 100 m ($\chi^2 = 11.16$, $p = 0.004$, $\epsilon^2 = 0.744$), con tamaños del efecto grandes en todos los casos. Los análisis post hoc indicaron que las diferencias se explican por un rendimiento superior del grupo post-PHV en comparación con los grupos pre-PHV y circa-PHV, alcanzándose significación en las comparaciones Circa-PHV vs. Post-PHV en las tres distancias.

En las variables de RPE no se observaron diferencias significativas entre estadios madurativos ($p = 0.410$ para 25 m; $p = 0.509$ para 50 m; $p = 0.243$ para 100 m). De manera similar, la FC posterior al esfuerzo no difirió entre grupos en ninguna de las distancias ($p = 0.149$ para 25 m; $p = 0.553$ para 50 m; $p = 0.118$ para 100 m).

Los resultados completos del análisis principal se presentan en la Tabla 4, mientras que las comparaciones múltiples mediante el procedimiento DSCF pueden consultarse en la Tabla Suplementaria 1.

Tabla 4. Descriptores y resultados del análisis Kruskal–Wallis para las variables de las pruebas anaeróbicas según el estadio madurativo de los nadadores.

Variable	Pre-PHV (Media ± DE)	Circa-PHV (Media ± DE)	Post-PHV (Media ± DE)	χ^2	p	ϵ^2
Tiempo 25 m (s)	15.2 ± 1.34	15.3 ± 0.40	13.2 ± 1.10	8.54	0.014*	0.569
RPE 25 m	4.50 ± 0.71	6.33 ± 0.58	5.14 ± 1.21	1.78	0.410	0.119
FC 25 m (lat·min ⁻¹)	159 ± 21.2	184 ± 12.5	155 ± 18.5	3.81	0.149	0.254
Tiempo 50 m (s)	31.8 ± 2.76	32.1 ± 1.19	26.4 ± 0.89	11.15	0.004*	0.743
RPE 50 m	7.50 ± 0.71	7.33 ± 0.58	6.43 ± 0.98	1.35	0.509	0.090
FC 50 m (lat·min ⁻¹)	171 ± 4.24	188 ± 19.3	171 ± 13.4	1.19	0.553	0.079
Tiempo 100 m (s)	70.4 ± 3.38	70.4 ± 3.81	58.8 ± 1.22	11.16	0.004*	0.744
RPE 100 m	9.50 ± 0.71	8.67 ± 0.58	7.86 ± 1.07	2.83	0.243	0.189
FC 100 m (lat·min ⁻¹)	180 ± 8.49	198 ± 21.6	174 ± 15.5	4.27	0.118	0.285

Nota. DE = desviación estándar; RPE = percepción subjetiva del esfuerzo; FC = frecuencia cardíaca; ϵ^2 = epsilon cuadrado (tamaño del efecto). * significación estadística.

Con el objetivo de explorar si las diferencias observadas en las pruebas anaeróbicas se mantenían tras ajustar por el sexo y la edad, se realizó un análisis ANCOVA excluyendo a los nadadores de la categoría junior/absoluto, ya que todos ellos pertenecían al estadio post-PHV y eran hombres. Tras esta exclusión, el análisis se efectuó con los grupos pre-PHV, circa-PHV y post-PHV restantes, y los resultados completos se presentan en la Tabla Suplementaria 3.

En ninguna de las distancias evaluadas (25, 50 y 100 m) se observaron efectos significativos del estadio madurativo ni de la edad cronológica en el tiempo final, la frecuencia cardíaca o el RPE ($p > 0.05$ en todos los casos). El sexo mostró un efecto significativo únicamente en el tiempo de 25 m ($F(1,4) = 14.89$, $p = 0.018$), mientras que en el resto de variables no se registraron efectos significativos.

En conjunto, los análisis ajustados no confirmaron las diferencias detectadas en el análisis principal basado en Kruskal–Wallis, lo cual debe interpretarse con cautela debido al reducido tamaño muestral disponible para el ANCOVA.

Discusión

Los resultados indican que el estado madurativo se asocia a diferencias en determinados indicadores fisiológicos y de rendimiento en jóvenes nadadores, aunque estas no se manifiestan de forma uniforme entre variables. En general, los nadadores con mayor grado de maduración presentaron un perfil más favorable, si bien las diferencias significativas se concentraron en parámetros concretos.

En la prueba de 400 m estilo libre, únicamente el VO_2max absoluto mostró diferencias significativas entre estadios madurativos, con tamaños del efecto elevados. Este hallazgo es coherente con los cambios estructurales y funcionales propios del desarrollo puberal, como el aumento de la masa magra y de la capacidad cardiorrespiratoria, que favorecen una mayor capacidad de transporte y utilización del oxígeno (Malina et al., 2004; Baxter-Jones et al., 2005). En esta línea, estudios recientes han mostrado que las adaptaciones en el VO_2max durante la adolescencia están moduladas por el estado madurativo, de modo que los sujetos más avanzados presentan mayores valores absolutos y una respuesta fisiológica más favorable al ejercicio (Enríquez-del-Castillo et al., 2022). No obstante, la ausencia de diferencias significativas en las comparaciones por pares sugiere una progresión gradual del VO_2max durante la adolescencia, más que cambios abruptos entre estadios adyacentes, tal y como ha sido descrito previamente en población joven (Armstrong & Welsman, 2000; Armstrong et al., 2015).

La FC post-esfuerzo también difirió entre estadios madurativos, con valores más elevados en el grupo circa-PHV. Este patrón coincide con lo descrito en la literatura, que señala esta etapa como un periodo de transición fisiológica caracterizado por una menor eficiencia autonómica y una mayor exigencia cardiovascular durante esfuerzos máximos (Buchheit et al., 2011; Fiol-Veny et al., 2018; Nikolaidis et al., 2015). Tras el PHV, la respuesta cardiovascular tiende a estabilizarse, lo que podría explicar los valores observados en los nadadores post-PHV.

Por el contrario, no se observaron diferencias significativas en la concentración de lactato ni en el RPE durante la prueba aeróbica. Estos resultados sugieren que, en estadios de maduración temprana e intermedia, la capacidad glucolítica y la tolerancia al lactato aún no presentan una diferenciación clara, en línea con estudios que describen un desarrollo progresivo de las vías anaeróbicas durante la pubertad (Eriksson et al., 1971; Ratel et al., 2006).

En las pruebas de velocidad, los nadadores post-PHV obtuvieron los mejores tiempos en las tres distancias evaluadas, lo que refuerza la influencia del estado madurativo en acciones de alta intensidad y corta duración. El estado madurativo, junto con el nivel inicial de condición física, contribuye a explicar los cambios en el rendimiento físico a lo largo del tiempo en jóvenes deportistas, lo que subraya su papel como factor clave en la interpretación del rendimiento durante la adolescencia (King et al., 2021). Este rendimiento superior puede explicarse por adaptaciones neuromusculares y hormonales propias de la pubertad, como el aumento de la masa muscular, la mayor proporción de fibras tipo II y el incremento de los niveles de testosterona (Faigenbaum et al., 2009; Lexell et al., 1992; Handelsman, 2017). Además, la mayor diferenciación entre grupos a medida que aumentó la distancia sugiere una contribución progresiva de capacidades fisiológicas estrechamente vinculadas a la maduración biológica (Lätt et al., 2009). En este contexto, el rendimiento en natación durante la adolescencia parece depender de la interacción entre factores fisiológicos y de desarrollo, donde variables como el consumo máximo de oxígeno y la fuerza emergen como principales determinantes del rendimiento, mientras que la maduración biológica actúa modulando dichas capacidades (Sokołowski et al., 2025). Este enfoque también ha sido abordado en el ámbito aplicado, donde se ha observado que el rendimiento físico en jóvenes deportistas varía en función del estado de maduración biológica, lo que refuerza la necesidad de considerar este factor en la evaluación y planificación del entrenamiento (Moya Ortega et al., 2025).

Por otra parte, pese a las diferencias observadas en los tiempos de nado, ni la FC ni el RPE mostraron un patrón diferenciado entre estadios madurativos en las pruebas anaeróbicas. Esta disociación entre rendimiento mecánico y respuesta perceptiva o autonómica sugiere que la maduración biológica influye principalmente en variables físicas del rendimiento, mientras que la percepción del esfuerzo podría verse modulada por factores técnicos y coordinativos, especialmente en el periodo cercano al PHV (Philliparts et al., 2006).

Conclusiones

Los resultados de este estudio indican que el estado madurativo se asocia a diferencias significativas en el rendimiento de jóvenes nadadores, especialmente en los tiempos de nado en pruebas de velocidad y en el VO₂max absoluto, mientras que variables como la FC y el RPE no mostraron un patrón diferenciado entre estadios madurativos. Estos hallazgos sugieren que la maduración biológica influye principalmente en variables mecánicas y estructurales del rendimiento, más que en las respuestas perceptivas o autonómicas al esfuerzo. En este sentido, la consideración del estado madurativo, más allá de la edad cronológica, resulta clave para una adecuada planificación del entrenamiento en etapas formativas de la natación.

Limitaciones

El presente estudio presenta algunas limitaciones que deben considerarse al interpretar los resultados. El tamaño muestral reducido y la distribución desigual de los nadadores entre los estadios madurativos, especialmente en el grupo post-PHV, limitaron la variabilidad interna de los subgrupos y la potencia estadística de los análisis. Asimismo, el desequilibrio de género entre categorías impidió analizar de forma diferenciada los posibles efectos específicos de la maduración en nadadores y nadadoras.

Asimismo, el diseño transversal y la falta de control de variables externas pudieron influir en las respuestas fisiológicas observadas. Futuros estudios deberían emplear diseños longitudinales con muestras más amplias y equilibradas para analizar la evolución del rendimiento en función del estado madurativo.

Agradecimientos

Las autoras y los autores agradecen la colaboración de los clubes y deportistas participantes en el estudio, así como el apoyo del personal técnico y de la Federación Cantabra de Natación, cuya colaboración facilitó la organización y el desarrollo de las evaluaciones.

Financiación

La presente investigación no ha recibido ninguna subvención específica de agencias de financiación del sector público, comercial ni de entidades sin ánimo de lucro.

Referencias

- Almeida-Neto, P. F., de Assis, G. G., da Silva, B. R. C., Medeiros, R. M. V., Bulhões-Correia, A., Oliveira, V. M. M., Queiros, V. S., Paiva, P. H. M., Dantas, P. M. S., & Cabral, B. G. A. T. (2023). Contribution of biological maturation and power of upper and lower limbs to crawl swim performance in adolescent athletes. *Human Movement, 24*(2), 85–93. <https://doi.org/10.5114/hm.2023.117469>
- Arede, J., Ferreira, A.P., Gonzalo-Skok, O., & Leite, N. (2019). Maturation development as a key aspect in physiological performance and player selection in elite male basketball players. *International Journal of Sports Physiology and Performance, 14*(7), 902-910. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2018-0681>
- Albaladejo-Saura, M., Vaquero-Cristóbal, R., García Roca, J. A., & Esperanza-Ros, F. (2022). El efecto de la edad, la maduración biológica y el cuartil de nacimiento en las diferencias cineantropométricas y de aptitud física entre jugadores de voleibol adolescentes masculinos y femeninos. *Children, 9*(1), 58. <https://doi.org/10.3390/children9010058>
- Baxter-Jones, A. D. G., Eisenmann, J. C., & Sherar, L. B. (2005). Controlling for maturation in pediatric exercise science. *Pediatric Exercise Science, 17*(1), 18-30. <https://doi.org/10.1123/pes.17.1.18>



- Beneke, R., & von Duvillard, S. P. (1996). Determination of maximal lactate steady state response in selected sports events. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 28(2), 241–246. <https://doi.org/10.1097/00005768-199602000-00013>
- Beunen, G. (2009). *Physical growth, maturation and performance*. In R. Eston & T. Reilly (Eds.), *Kinanthropometry and exercise physiology laboratory manual: Tests, procedures and data* (pp. 97–124). Routledge.
- Borg, G. A. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 14(5), 377–381.
- Buchheit, M., Al Haddad, H., Mendez-Villanueva, A., Quod, M. J., & Bourdon, P. C. (2011). Effect of maturation on hemodynamic and autonomic control recovery following maximal running exercise in highly trained young soccer players. *Frontiers in Physiology*, 2, 69. <https://doi.org/10.3389/fphys.2011.00069>
- Cumming, S. P., Lloyd, R. S., Oliver, J. L., Eisenmann, J. C., & Malina, R. M. (2017). Bio-banding in sport: applications to competition, talent identification, and strength and conditioning of youth athletes. *Strength & Conditioning Journal*, 39(2), 34–47. <http://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000281>
- Enríquez-del-Castillo, L. A., Ornelas-López, A., De León, L. G., Cervantes-Hernández, N., Quintana-Méndias, E., & Flores, L. A. (2022). Strength and VO₂max changes by exercise training according to maturation state in children. *Children*, 9(7), 938. <https://doi.org/10.3390/children9070938>
- Eriksson, B. O., Karlsson, J., & Saltin, B. (1971). Muscle metabolites during exercise in pubertal boys. *Acta Paediatrica Scandinavica. Supplement*, 217, 154–157. <https://doi.org/10.1111/j.1651-2227.1971.tb05717.x>
- Faigenbaum, A. D., Kraemer, W. J., Blimkie, C. J., Jeffreys, I., Micheli, L. J., Nitka, M., & Rowland, T. W. (2009). Youth resistance training: updated position statement paper from the national strength and conditioning association. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(5 Suppl), S60–S79. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31819df407>
- Figueiredo, A. J., Gonçalves, C. E., Coelho E Silva, M. J., & Malina, R. M. (2009). Characteristics of youth soccer players who drop out, persist or move up. *Journal of Sports Sciences*, 27(9), 883–891. <https://doi.org/10.1080/02640410902946469>
- Fiol-Veny, A., De La Torre-Luque, A., Balle, M., & Bornas, X. (2018). Altered Heart Rate Regulation in Adolescent Girls and the Vulnerability for Internalizing Disorders. *Frontiers in Physiology*, 9, 852. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00852>
- Fone, L., & van den Tillaar, R. (2022). Effect of Different Types of Strength Training on Swimming Performance in Competitive Swimmers: A Systematic Review. *Sports Medicine Open*, 8(1), 19. <https://doi.org/10.1186/s40798-022-00410-5>
- Goodwin, M. L., Harris, J. E., Hernández, A., & Gladden, L. B. (2007). Blood lactate measurements and analysis during exercise: a guide for clinicians. *Journal of Diabetes Science and Technology*, 1(4), 558–569. <https://doi.org/10.1177/193229680700100414>
- Gundersen, H., Kvammen, K. M. N., Vestbøstad, M., Rygh, C. B., & Grendstad, H. (2024). Relationships between bone age, physical performance, and motor coordination among adolescent athletes. *Frontiers in Sports and Active Living*, 6, 1435497. <https://doi.org/10.3389/fspor.2024.1435497>
- Handelsman D. J. (2017). Sex differences in athletic performance emerge coinciding with the onset of male puberty. *Clinical Endocrinology*, 87(1), 68–72. <https://doi.org/10.1111/cen.13350>
- Holmér, I., Lundin, A., & Eriksson, B. O. (1974). Maximum oxygen uptake during swimming and running by elite swimmers. *Journal of Applied Physiology*, 36(6), 711–714. <https://doi.org/10.1152/jappl.1974.36.6.711>
- Kalva-Filho, C. A., Campos, E. Z., Andrade, V. L., Silva, A., Zagatto, A. M., Lima, M., & Papoti, M. (2015a). Relationship of aerobic and anaerobic parameters with 400 m front crawl swimming performance. *Biology of Sport*, 32(4), 333–337. <https://doi.org/10.5604/20831862.1188611>
- Kalva-Filho, C. A., Zagatto, A. M., Araújo, M. I., Santiago, P. R., da Silva, A. S., Gobatto, C. A., & Papoti, M. (2015b). Relationship between aerobic and anaerobic parameters from 3-minute all-out tethered swimming and 400-m maximal front crawl effort. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(1), 238–245. <https://doi.org/10.1519/JSC.00000000000000592>
- Lätt, E., Jürimäe, J., Haljaste, K., Cicchella, A., Purge, P., & Jürimäe, T. (2009). Longitudinal development of physical and performance parameters during biological maturation of young male swimmers. *Perceptual and Motor Skills*, 108(1), 297–307. <https://doi.org/10.2466/PMS.108.1.297-307>



- Lexell, J., Sjöström, M., Nordlund, A. S., & Taylor, C. C. (1992). Growth and development of human muscle: a quantitative morphological study of whole vastus lateralis from childhood to adult age. *Muscle & Nerve*, 15(3), 404–409. <https://doi.org/10.1002/mus.880150323>
- López-Plaza, D., Alacid, F., Muyor, J. M., & López-Miñarro, P. Á. (2017). Sprint kayaking and canoeing performance prediction based on the relationship between maturity status, anthropometry and physical fitness in young elite paddlers. *Journal of Sports Sciences*, 35(11), 1083–1090. <https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1210817>
- Malina, R. M., Bouchard, C., & Bar-Or, O. (2004). Growth, maturation, and physical activity. *Human Kinetics*. <https://doi.org/10.5040/9781492596837>
- Malina, R. M., Ribeiro, B., Aroso, J., & Cumming, S. P. (2007). Characteristics of youth soccer players aged 13-15 years classified by skill level. *British Journal of Sports Medicine*, 41(5), 290–295. <https://doi.org/10.1136/bjsm.2006.031294>
- Malina, R. M., Rogol, A. D., Cumming, S. P., Coelho e Silva, M. J., & Figueiredo, A. J. (2015). Biological maturation of youth athletes: assessment and implications. *British Journal of Sports Medicine*, 49(13), 852–859. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-094623>
- Mirwald, R. L., Baxter-Jones, A. D., Bailey, D. A., & Beunen, G. P. (2002). An assessment of maturity from anthropometric measurements. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(4), 689–694. <https://doi.org/10.1097/00005768-200204000-00020>
- Mota, M. R., Dantas, R. A. E., Oliveira-Silva, I., Sales, M. M., Sotero, R. D. C., Venâncio, P. E. M., Teixeira Júnior, J., Chaves, S. N., & de Lima, F. D. (2017). Effect of self-paced active recovery and passive recovery on blood lactate removal following a 200 m freestyle swimming trial. *Open Access Journal of Sports Medicine*, 8, 155–160. <https://doi.org/10.2147/OAJSM.S127948>
- Moya Ortega, M., Moya Ortega, A. Y., & Martínez del Águila, Ángel. (2025). Influencia del estado de maduración biológica en el desempeño físico de futbolistas entre 11 y 15 años. *Retos*, 74, 197-206. <https://doi.org/10.47197/retos.v74.117265>
- Nagle Zera, J., Nagle, E. F., Nagai, T., Lovalekar, M., Abt, J. P., & Lephart, S. M. (2021). Tethered Swimming Test: Reliability and the Association With Swimming Performance and Land-Based Anaerobic Performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 35(1), 212–220. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002501>
- Nikolaidis, P. T., Buško, K., Afonso, J., Chtourou, H., Padulo, J., Goudas, K., & Heller, J. (2015). The effect of maturity on heart rate responses during training and testing in postpubescent female volleyball players. *Human Physiology*, 41(6), 636–643. <https://doi.org/10.1134/S0362119715060055>
- Philippaerts, R. M., Vaeyens, R., Janssens, M., Van Renterghem, B., Matthys, D., Craen, R., Bourgois, J., Vrijens, J., Beunen, G., & Malina, R. M. (2006). The relationship between peak height velocity and physical performance in youth soccer players. *Journal of Sports Sciences*, 24(3), 221–230. <https://doi.org/10.1080/02640410500189371>
- Price, T., Cimadoro, G., & S Legg, H. (2024). Physical performance determinants in competitive youth swimmers: a systematic review. *BMC Sports Science, Medicine & Rehabilitation*, 16(1), 20. <https://doi.org/10.1186/s13102-023-00767-4>
- Pyne, D. B., Lee, H., & Swanwick, K. M. (2001). Monitoring the lactate threshold in world-ranked swimmers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(2), 291–297. <https://doi.org/10.1097/00005768-200102000-00019>
- Pyne, D. B., & Sharp, R. L. (2014). Physical and energy requirements of competitive swimming events. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 24(4), 351–359. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2014-0047>
- Ratel, S., Duché, P., & Williams, C. A. (2006). Muscle fatigue during high-intensity exercise in children. *Sports Medicine*, 36(12), 1031–1065. <https://doi.org/10.2165/00007256-200636120-00004>
- Sokołowski, K., Krężałek, P., Wądrzyk, Ł., Żegleń, M., & Strzała, M. (2025). Does Higher Maturation Make Age-Grouped Swimmers Faster? A Study on Pubertal Female Swimmers. *Applied Sciences*, 15(3), 1171. <https://doi.org/10.3390/app15031171>
- Vásquez Gómez, J. (2021). Valoración indirecta del consumo máximo de oxígeno a través de test en el medio acuático. *Revista de Ciencias de la Actividad Física*, 22(1), 1–10.

Datos de los/as autores/as y traductor/a:

Jaime Rivera	jaimerivera1402@gmail.com	Autor/a
Miguel Heres	miguel.heres@uneatlantico.es	Autor/a
Carlos Lago-Fuentes	carlos.lagofuentes@unir.net	Autor/a
Nuno Leite	nleite@utad.pt	Autor/a
Susana Pulgar	susana.pulgar@uneatlantico.es	Autor/a