

# ANÁLISIS BIOFÍSICO DEL NADO EN LA PISCINA CONTRACORRIENTE: EFECTO DE LA TEMPERATURA DEL AGUA

Ana Gay Párraga

**Resumen:** El objetivo del presente estudio fue analizar los efectos biofísicos del nado en agua fría y templada en la piscina contracorriente. Diez nadadores ( $28.20 \pm 13.15$  años) realizaron dos pruebas de 400m a estilo crol a  $18^\circ$  y  $26^\circ\text{C}$ . La velocidad de nado fue  $1.28 \pm 0.13 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Consumo de oxígeno (" $\dot{V} \text{O}_2$ "), frecuencia cardíaca (FC), concentración de lactato en sangre ([La-]), frecuencia de ciclo (Fc), longitud de ciclo (LC), índice de ciclo ( $\text{IC}$ ), eficiencia propulsiva ( $N_p$ ), percepción subjetiva del esfuerzo (RPE), gasto energético total (E) y gasto energético (C) fueron analizados. Tiempo de nado ( $p=0.294$ ) y " $\dot{V} \text{O}_2$  peak ( $p=0.119$ ) fueron similares para ambas condiciones. Menores valores de [La-] peak ( $p=0.002$ ) y de RPE ( $p=0.001$ ) fueron observados tras el nado a  $18^\circ\text{C}$ . Los valores inferiores tras el nado en agua fría pueden ser debidos a la reducción del volumen sanguíneo y al desarrollo metodológico, particularmente al efecto aprendizaje del uso de la piscina y del snorkel frontal.

**Palabras clave:**  $\text{VO}_2$ , agua fría, gasto energético, eficiencia propulsiva.

## INTRODUCCIÓN

En competiciones de natación en aguas abiertas (ríos, lagos o canales de nado), el uso del neopreno es obligatorio en temperaturas inferiores a  $18^\circ\text{C}$ , siendo su uso opcional entre  $18$  y  $20^\circ\text{C}$  (Marculescu, 2016). En este tipo de competiciones al introducirse en agua fría los nadadores experimentan una respuesta fisiológica conocida como cold-shock response, la cual se caracteriza por una fase de uno a tres minutos de hiperventilación y taquicardia (Tipton, 1989). A pesar de ello, los nadadores de aguas abiertas deben tener la habilidad para nadar largas distancias al 80-90% del consumo máximo de oxígeno (" $\dot{V} \text{O}_{2\text{max}}$ "), requiriendo una alta eficiencia propulsiva

y un mínimo gasto energético (C) para mantener esa intensidad (Baldassarre, Bonifazi, Zamparo y Piacentini, 2017).

Un estudio reciente (Schnitzler, Button, Seifert, Armbrust y Croft, 2017) mostró como nadando  $10^\circ\text{C}$  la frecuencia máxima de respiración ( $\text{beats} \cdot \text{min}^{-1}$ ) y la frecuencia cardíaca media (FC) fue mayor nadando 200 m crol en la piscina contracorriente a  $10$  que a  $28^\circ\text{C}$ , y el tiempo para alcanzar la frecuencia cardíaca máxima (FCmax) fue más corto, sin tener en cuenta el nivel de nado. Estos resultados sugieren que nadar tras el cold-shock response

requiere mayor gasto energético que en condiciones más cálidas. Los nadadores de élite de aguas abiertas son antropométricamente más ligeros y pequeños comparados con los nadadores de piscina (VanHeest, Mahoney y Herr, 2004), poseen alteraciones aeróbicas metabólicas que resultan en una mejora del rendimiento en natación de larga distancia. El objetivo del presente estudio fue clarificar el comportamiento fisiológico y técnico de los nadadores a diferentes temperaturas del agua, analizando variables biofísicas del nado a crol en agua fría y templada. Como hipótesis se propuso que nadar a 18°C producirá un incremento de las demandas fisiológicas y reducirá la eficiencia de nado comparado con el nado a 26°C.

## MÉTODO

### Muestra

Diez nadadores de aguas abiertas y triatletas con  $28.20 \pm 13.15$  años,  $175.90 \pm 5.06$  cm de altura y con  $72.40 \pm 9.40$  kg de masa corporal participaron voluntariamente en este estudio. Su frecuencia de entrenamiento era de seis a siete sesiones a la semana y tenían  $77.9 \pm 11.6\%$  del record en 100 m crol como mejor marca personal. Los participantes proporcionaron el consentimiento informado y el Comité de Ética de Investigación en Seres Humanos de la Universidad de Granada aprobó la elaboración de este estudio.

### Procedimiento

Dos pruebas a estilo crol en la piscina contracorriente (24h de descanso entre ellas) a 18 y 26°C de temperatura del agua se realizaron a la misma velocidad ( $1.28 \pm 0.13$  m·s<sup>-1</sup>), obtenida durante un pre-test de 400 m crol en la piscina de 25 m (salida desde el agua). Todos los participantes realizaron en primer

lugar el ensayo a 26°C debido a las limitaciones de la piscina contracorriente (la temperatura del agua se enfrió tras las pruebas en agua templada). Los participantes se abstuvieron de tomar cafeína y practicar ejercicio extenuante durante los días de las pruebas. Previamente a los test, los participantes realizaron un calentamiento de 15 min de baja a moderada intensidad, seguido por 10 min de descanso pasivo (para asegurar que el ejercicio previo no influenciara el rendimiento en las pruebas; Bailey, Vanhatalo, Wilkerson, DiMenna y Jones, 2009). Los participantes tenían experiencia en el nado en la piscina contracorriente.

### Materiales

El sistema ASPA (análisis automático de rendimiento en natación; Ref: IE\_57161; Figura 1) se utilizó para grabar el pre-test de 400 m crol en la piscina de 25 m. Las variables del intercambio de gases respiratorio y pulmonar fueron medidas directamente usando el analizador de gases portátil K4b2 breath-by-breath unido un sistema de válvulas y al snorkel frontal Aquatrainer® (Cosmed, Rome, Italy; Ribeiro, Figueiredo, Guidetti, Alves, Toussaint, Vilas-Boas y Fernandes, 2016), como se puede ver en la Figura 2. Una cámara subacuática (Full-HD HX-A500, Osaka, Japón) grabando a 50 Hz se colocó perpendicular al plano de desplazamiento en el centro de ambas piscinas (12.50 and 2.35 m en la piscina de 25 m y en la piscina contracorriente respectivamente) para analizar variables técnicas. Dos espacios pre-calibrados de 5 y 1 m de longitud situados en el centro de la piscina de 25 m y de la piscina contracorriente (respectivamente) se usaron como referencia para el video análisis. La piscina contracorriente (Endless Pool Elite Techno Jet Swim 7.5 HP, Aston PA, USA) de 2.4 x 4.7 m de largo, con una velocidad de flujo medida a 0.30 cm de profundidad fue calibrada con FP101 flow probe (Global Water, Gold River, CA; McLean, Palmer, Ice, Truijens y Smith, 2010).

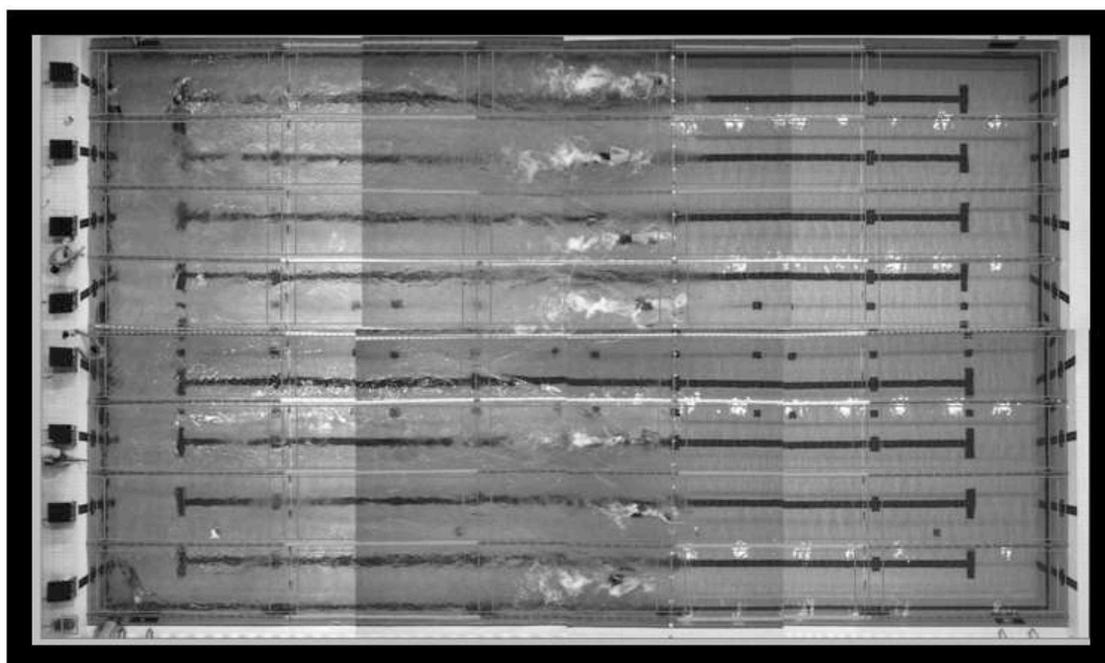


Figura 1. ASPA: Automatic Swimming Performance Analysis; REF.: IE\_57161.

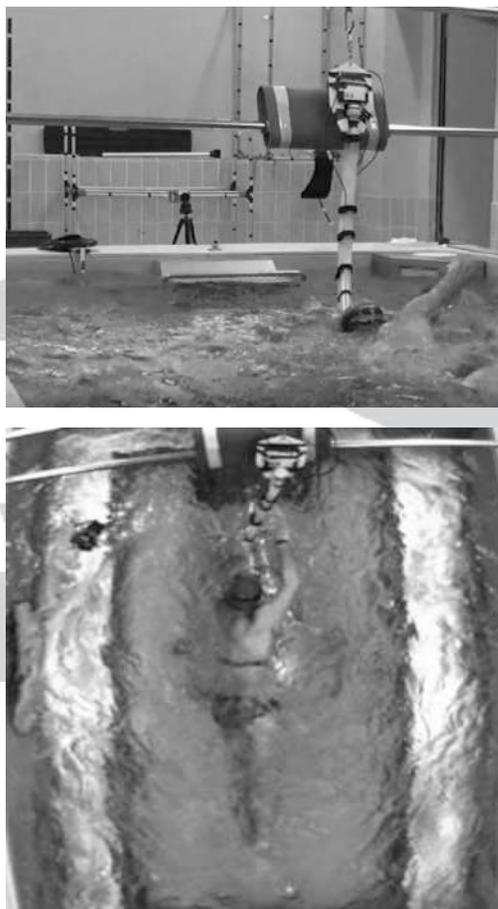


Figura 2. Nadador usando el analizador de gases portátil K4b2 breath-by-breath unido un sistema de válvulas y al snorkel frontal Aquatrainer®.

## Análisis de datos

El modelo mono-exponencial se usó para el tratamiento de los datos de VO<sub>2</sub>. Gasto energético total (E) se obtuvo mediante la adición de los valores netos de VO<sub>2</sub> y [La-], con C, i.e., energía utilizada para cubrir una unidad de distancia a una velocidad dada (Baldassarre et cols., 2017) determinado dividiendo E entre la distancia de nado. La FC se registró usando el monitor Polar S610i (Finlandia), con FCmax obtenida de la media de los últimos 30 s del esfuerzo (mismo procedimiento se usó para obtener el "V" O<sub>2</sub>peak y el ratio respiratorio máximo – RER). Las muestras de sangre en capilares (25 uL) para el análisis de la concentración de lactato ([La-]) fueron recogidas después del ensayo y en el 1, 3, 5 y 7 min durante el período de recuperación usando un analizador de lactato portátil (Lactate Pro, Arkray, Inc., Kyoto, Kapan) para encontrar el máximo valor de [La-] ([La-]peak). Inmediatamente después de las pruebas, los participantes nos indicaron la percepción subjetiva del esfuerzo (RPE; Borg, 1998).

La velocidad media de nado fue medida en cada 100 m del pre-test de 400 m para obtener el valor promedio y ajustarlo durante el nado en la piscina contracorriente. La frecuencia de ciclo (Fc) se obtuvo mediante el análisis de tres ciclos completos de brazada y subsecuentemente longitud de ciclo (LC) e índice de ciclo (IC) fueron calculados. La eficiencia propulsiva (Np) fue estimada según Zamparo, Pendergast, Mollendorf, Termin y Minetti (2005) como sigue:  $Np = [(v \cdot 0.9 / 2\pi \cdot Fc \cdot l) \cdot 2/\pi] \cdot 100$ ; donde l es la distancia entre el hombro y la muñeca durante la fase de

tirón. Los puntos de referencia fueron dibujados en los hombros, muñecas y caderas de los participantes para facilitar el análisis de las variables técnicas.

## Análisis estadístico

Usando el IBM SPSS Statistics (Version 20, IBM SPSS, Chicago, USA), el test de Student para muestras relacionadas fue aplicado para comparar las variables fisiológicas y técnicas en las diferentes temperaturas del agua y Bonferroni post hoc análisis se usó para obtener las diferencias por pares entre las medias ( $\alpha = 0.05$ ). Cohen's d effect se calculó siguiendo el criterio: 0 to 0.19 trivial, 0.2 to 0.59 small, 0.6 to 1.19 moderate, 1.2 to 1.99 large, 2.0 to 3.9 very large and  $> 4.0$  nearly perfect (Hopkins, 2002).

## RESULTADOS

Los datos de las variables fisiológicas y técnicas se muestran en la Tabla 1. El tiempo de nado en la piscina contracorriente fue similar en las condiciones de 18 y 26°C, así como las variables fisiológicas "V" O<sub>2</sub>peak, FCmax, RER, E y C. Sin embargo, [La-]peak y RPE fueron menores en la condición de 18°C lo que explica la menor contribución anaeróbica láctica en agua fría. Nadar a 18 y 26°C no fue diferente desde un punto de vista cinemático, mostrando valores similares de Fc, LC y IC, así como de Np.

**Tabla 1. Cambios en las variables fisiológicas y técnicas a 18 y 26°C.**

Variable	18°C	26°C	t-test (p)	Effect size (d)
Tiempo de nado (s)	313.44 ± 40.10	282.27 ± 58.61	0.294	0.35, Small
$\dot{V}O_{2peak}$ (mL · kg <sup>-1</sup> · min <sup>-1</sup> )	47.54 ± 7.93	51.91 ± 12.49	0.119	-0.54, Small
[La <sup>-</sup> ] <sub>peak</sub> (mmol · l <sup>-1</sup> )	7.46 ± 3.33	11.4 ± 1.58	0.002	-1.42, Large
RPE	5.10 ± 1.91	7.10 ± 1.29	0.001	-1.60, Large
FC <sub>max</sub> (beats · min <sup>-1</sup> )	164.65 ± 9.99	171.18 ± 11.61	0.081	-0.62, Moderate
RER	0.98 ± 0.08	1.03 ± 0.08	0.139	-0.51, Small
E (kJ)	383 ± 60	397 ± 98	0.712	-0.12, Trivial
C (kJ · m <sup>-1</sup> )	0.96 ± 0.15	0.99 ± 0.25	0.698	-0.13, Trivial
Fc (Hz)	0.54 ± 0.04	0.55 ± 0.06	0.115	-0.55, Small
LC (m)	2.39 ± 0.20	2.32 ± 0.20	0.176	0.46, Small
IC (m <sup>2</sup> · s <sup>-1</sup> )	3.06 ± 0.53	2.96 ± 0.44	0.145	0.50, Small
$\eta_p$ (%)	47 ± 4.7	48 ± 6.4	0.325	-0.33, Small

Consumo de oxígeno máximo ( $\dot{V}O_{2peak}$ ), concentración de lactato máxima ([La<sup>-</sup>]<sub>peak</sub>), percepción subjetiva del esfuerzo, Borg (RPE), frecuencia cardíaca máxima (FC<sub>max</sub>), ratio de intercambio respiratorio (RER), gasto energético total (E), gasto energético (C), frecuencia de ciclo (Fc), longitud de ciclo (LC), índice de ciclo (IC), eficiencia propulsiva ( $\eta_p$ ).

## DISCUSIÓN

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar los efectos biofísicos del nado crol en agua fría y templada (18 y 26°C, respectivamente). 18°C es la temperatura en la cual los nadadores deben decidir si usar o no neopreno en las competiciones de natación de aguas abiertas. Los resultados muestran una diferencia no estadísticamente significativa en el tiempo de nado a pesar de que 31 s de diferencia fue evidente entre condiciones. Los datos revelan que nadar a 18°C sin neopreno puede influenciar el rendimiento en 400 m crol ya que menor [La-]<sub>peak</sub> y RPE fueron observados. Aunque " $\dot{V}O_{2peak}$ ", FC<sub>max</sub> y RER no evidencian diferencias significativas nadando en agua fría y templada, una tendencia para valores mayores fue observada a 26°C (~9, 4 y ~5% mayor para " $\dot{V}O_{2peak}$ ", FC<sub>max</sub> y RER, respectivamente). Las variables relacionadas con la técnica mostraron un comportamiento similar entre condiciones sin diferencias estadísticas en Fc, LC, IC y  $\eta_p$ .

Estos resultados inesperados podrían ser debido a que la temperatura del agua (18°C) no fue lo suficientemente fría para provocar el cold-shock response. De hecho, temperaturas de 15°C y menores son normalmente utilizadas para este tipo de estudios. Además, sigue existiendo una falta de información sobre las respuestas fisiológicas durante el nado en aguas frías debido a que la mayoría de los estudios se centran en analizar los efectos producidos en un ejercicio tras una inmersión en agua fría y no realizando la tarea a baja temperatura (ver Bleakley y Davison, 2010 and Broatch, Petersen y Bishop, 2018 para revisión en el tema). Ferrara, Verkerke, Brault y Funai, (2018) estudiaron cómo la contracción muscular requiere menos oxígeno a 25 que a 37°C. Aunque no fue realizado con humanos, puede justificar cómo valores más bajos fueron obtenidos en agua fría en el presente estudio. Añadiendo el hecho de la presencia de la vasoconstricción

como consecuencia de la exposición en agua fría la cual reduce el flujo de volumen sanguíneo (Stocks, Taylor, Tipton y Greenleaf, 2004). Como resultado, la producción de [La-] podría haber sido reducida por el agua fría.

Otra justificación de los valores obtenidos reside en el aspecto metodológico, particularmente en el efecto aprendizaje relacionado con el uso de la piscina contracorriente, la cual podría producir limitaciones mecánicas en las primeras ocasiones de nado (Espinosa, Nordsborg y Thiel, 2015). Aunque los nadadores tuvieran un período de adaptación en la piscina contracorriente, su técnica podría verse afectada en la primera condición experimental realizada (26°C) y, en consecuencia, su requerimiento energético podría ser incrementado, como confirman los valores de E y C. El uso del Aquatrainer® snorkel (ver Ribeiro et cols., 2016 para una descripción detallada) con nadadores amateur, también podría justificar los datos obtenidos. En el futuro, se intentará paliar estas limitaciones usando un orden aleatorio y contrabalanceado en los test y seleccionar un tamaño de muestra con nadadores más experimentados y preparados. Debido a la importancia significativa que tiene nadar a 18°C para el entrenamiento y competición de aguas abiertas (y triatlón), futuros estudios deberían también considerar el análisis de las variables fisiológicas y biomecánicas nadando con y sin neopreno para clarificar si su uso es recomendado o no con el objetivo de beneficiarnos de ello cuando su uso es opcional (entre 18 y 20°C).

## AGRADECIMIENTOS

A los autores les gustaría agradecer a los participantes por su participación voluntaria y desinteresada en el estudio, al Centro

de Investigación, Educación, Innovación e Intervención en Deporte (Universidad de Oporto) por el equipamiento proporcionado para desarrollar el estudio y al grupo de investigación Aquatics Lab: Physical Activity and Sport in Aquatic Environment – CTS 527” (Universidad de Granada).

## FINANCIACIÓN

Este estudio fue financiado por el proyecto DEP2014-59707-P “SWIM: Specific Water Innovative Measurements applied to the development of International Swimmers in Short Swimming Events (50 and 100 m), por el Ministerio de Economía, Industria y Competitividad (Agencia Española de Investigación) y la European Regional Development Fund (ERDF) y por la beca pre-doctoral [FPU16/02629] del Ministerio de Educación, Cultura y Deporte de España. Forma parte de la tesis internacional desarrollada en el programa de doctorado en Biomedicina (B11.56.1), de la Universidad de Granada, Granada, (España).

## REFERENCIAS

- Bailey, S. J.; Vanhatalo, A.; Wilkerson, D. P.; DiMenna, F. J. y Jones, A. M. (2009). Optimizing the “priming” effect: influence of prior exercise intensity and recovery duration on O<sub>2</sub> uptake kinetics and severe-intensity exercise tolerance. *Journal of Applied Physiology*, 107(6), 1743-1756. doi: 10.1152/jappphysiol.00810.2009.
- Baldassarre, R.; Bonifazi, M.; Zamparo, P. y Piacentini, M. F. (2017). Characteristics and Challenges of Open-Water Swimming Performance: A Review. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 1-35. doi: 10.1123/ijsp.2017-0230.
- Bleakley, C. M. y Davison, G. W. (2010). What is the biochemical and physiological rationale for using cold-water immersion in sports recovery? A systematic review. *British Journal of Sports Medicine*, 44(3), 179-187. doi: 10.1136/bjism.2009.065565.
- Borg, G. (1998). Borg’s perceived exertion and pain scales. *Human kinetics*. Champaign, IL, US.
- Broatch, J. R.; Petersen, A. y Bishop, D. J. (2018). The Influence of Post-Exercise Cold-Water Immersion on Adaptive Responses to Exercise: A Review of the Literature. *Sports Medicine*, 1-19. doi: 10.1007/s40279-018-0910-8.
- Espinosa, H. G.; Nordsborg, N. y Thiel, D. V. (2015). Front crawl swimming analysis using accelerometers: A preliminary comparison between pool and flume. *Procedia Engineering*, 112, 497-501. doi: 10.1016/j.proeng.2015.07.231.
- Ferrara, P. J.; Verkerke, A. R.; Brault, J. J. y Funai, K. (2018). Hypothermia Decreases O<sub>2</sub> Cost for ex vivo Contraction in Mouse Skeletal Muscle. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. doi: 10.1249/MSS.0000000000001673.
- Hopkins, W. G. (2002). A scale of magnitudes for effect statistics. *A new view of statistics*, 502. <http://sports.org/resource/stats/effectmag.html>. Accessed 11 January 2018.
- Marculescu, C. (2016). Swimwear for open water swimming events. October 1, 2016 - Submission date for the approval of wetsuits. <https://www.fina.org/content/fina-approved-swimwear>. Accessed 20 December 2017.
- McLean, S. P.; Palmer, D.; Ice, G.; Truijens, M. y Smith, J. C. (2010). Oxygen uptake response to stroke rate manipulation in freestyle swimming. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 42(10), 1909-1913. doi: 10.1249/MSS.0b013e3181d9ee87.
- Ribeiro, J.; Figueiredo, P.; Guidetti, L.; Alves, F.; Toussaint, H.; Vilas-Boas, J. y Fernandes, R. (2016). AquaTrainer® snorkel does not increase hydrodynamic drag but influences turning time. *International Journal Sports Medicine*, 37(4), 324-328. doi: 10.1055/s-0035-1555859.
- Schnitzler, C.; Button, C.; Seifert, L.; Armbrust, G. y Croft, J. L. (2017). Does water temperature influence the performance of key survival skills? *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. doi: 10.1111/sms.12997.
- Stocks, J. M.; Taylor, N. A.; Tipton, M. J. y Greenleaf, J. E. (2004). Human physiological responses to cold exposure. *Aviation Space and Environmental Medicine*, 75(5), 444-457. doi: 10.1113/EP086283.
- Tipton. (1989). The initial responses to cold-water immersion in man. *Clinical science (London, England: 1979)*, 77(6), 581-588. doi: 10.1042/cs0770581.
- VanHeest, J. L.; Mahoney, C. E. y Herr, L. (2004). Characteristics of elite open-water swimmers. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18(2), 302-305. doi: 10.1519/R-13513.1.
- Zamparo, P.; Pendergast, D.; Mollendorf, J.; Termin, A. y Minetti, A. (2005). An energy balance of front crawl. *European Journal of Applied Physiology*, 94(1-2), 134-144. doi: 10.1007/s00421-010-1696-z.