

ADAPTACIONES A LA DEPREDACIÓN DE *CARCHARODON CARCHARIAS*:  
ADAPTACIÓN FISIOLÓGICA “RETE MIRABILE”  
ADAPTATIONS TO PREDATION OF *CARCHARODON CARCHARIAS*: PHYSIOLOGICAL  
ADAPTATION “RETE MIRABILE”

por JESÚS PONCE PÉREZ

FACULTAD DE CIENCIAS, UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

Enviado: 16/11/2023

Aceptado: 26/01/2024

**Resumen:** *C. carcharias* es una especie extraordinaria. De hecho, posee una adaptación fisiológica muy especial que le confiere la capacidad de regular la temperatura interna de sus vísceras. Regula su temperatura mediante un complejo sistema de intercambio de calor “rete mirabile” que funciona gracias a un mecanismo que, por contracorriente, consigue retener el calor generado metabólicamente en lugar de perderlo en el agua ambiental.

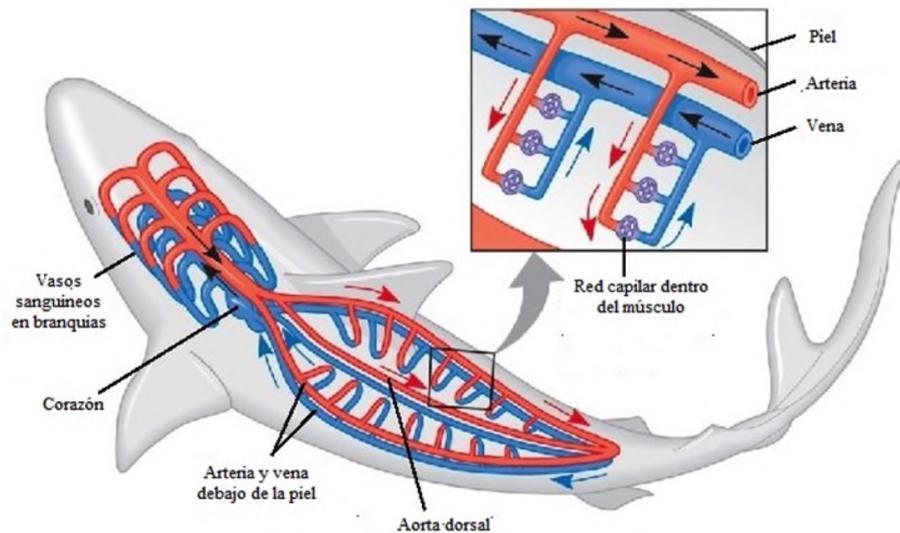
**Abstract:** *C. carcharias* is an extraordinary species. In fact, it possesses a very special physiological adaptation that gives it the ability to regulate the internal temperature of its viscera. It regulates its temperature by means of a complex “rete mirabile” heat exchange system that works thanks to a mechanism that, by counter-current, manages to retain the heat generated metabolically instead of losing it to the ambient water.

**Palabras clave:** Rete mirabile, temperatura, calor, regular, eficiencia

**Keywords:** Rete mirabile, temperature, heat, regulate, efficiency.

El tiburón blanco, *Carcharodon carcharias* (*C. carcharias*), es uno de los depredadores marinos más grandes del mundo, siendo considerado un depredador cuaternario en la red trófica del ecosistema marino. Esto quiere decir que, al encontrarse posicionado en la cima, carece prácticamente de depredadores naturales, con algunas excepciones como pueda ser la orca (*Orcinus orca*) (Compagno, 2001). *C. carcharias* posee un gran número de adaptaciones a la depredación, tanto de tipo fisiológico (*rete mirabile*) como morfológico (cuerpo robusto y fusiforme) o etológico (jerarquías de dominio y comportamientos sociales agonísticos). Los tiburones son peces y, como tales, animales poiquilotermos. Esto quiere decir que, en principio, no poseen mecanismos internos de retención del calor generado metabólicamente, por lo que lo ceden al medio haciendo que su temperatura corporal interna dependa principalmente de los factores ambientales externos. Consecuentemente, no serían capaces de mantener elevada la temperatura interna de sus vísceras digestivas. Esto parecería indicar, en primera instancia, que *C. carcharias* no sería capaz de emulsionar las grasas que incorpora a su dieta al discurrir por el digestivo en estado sólido, lo que nos llevaría a pensar que su alimentación basada

en presas con alto contenido graso no sería energéticamente rentabilizada (de Andrés, 2023). Sin embargo, *C. carcharias* es una especie bastante excepcional. De hecho, posee una adaptación fisiológica muy especial que le confiere la capacidad de regular la temperatura interna de sus vísceras, es decir, posee la capacidad de termorregular y comportarse como un organismo heterotermo. *C. carcharias* es el pez más grande con endotermia regional y, potencialmente, se encuentran entre los peces que más energía demandan (Watanabe et al., 2019). Lidia con las dificultades de la pérdida de calor conductiva (entre el animal y una superficie de contacto) y convectiva (entre el animal y fluidos en movimiento que le rodean, como el agua) gracias a un sistema que le permite mantener la temperatura corporal de sus vísceras, órganos y músculos centrales por encima de la temperatura del ambiente: la *rete mirabile*. Se trata de un complejo sistema de intercambio de calor vascular (red de arteriolas y vénulas muy próximas entre sí) que funciona gracias a un mecanismo que, por contracorriente, consigue retener el calor generado metabólicamente en lugar de perderlo en el agua ambiental (Carey et al., 1982) (Figura 1).



**Figura 1.** Esquema del intercambiador de calor por contracorriente (*rete mirabile*) de *Carcharodon carcharias* (tomada y modificada de Pearson Education, Inc. Publicado como Benjamin Cummings).

*C. carcharias* posee estos intercambiadores de calor en aquellas zonas que, presuntamente, son más sensibles a los cambios de temperatura del agua circundante, conservando así su eficacia funcional al mantener una temperatura más elevada con respecto a la del medio que les rodea. Estos intercambiadores están presentes alrededor del cerebro, ojos (red orbital), músculos del nado (red lateral subcutánea) y estómago y otras vísceras (red suprahepática) (Carey et al., 1982). La sangre caliente, que proviene de los músculos y vísceras, eleva la temperatura de la sangre fría procedente de las branquias que va hacia el corazón y otras partes del cuerpo, permitiendo al tiburón conservar su calor interior hasta los 26°C (Hoyos-Padilla, 2017). Su músculo puede estar hasta 5 °C más caliente que el agua circundante y su estómago hasta 14,3°C o 16°C más caliente que el ambiente (Carey et al., 1982). En 1997 se llevó a cabo un experimento por Goldman sobre la temperatura estomacal de tres tiburones blancos por telemetría acústica en las islas Farallón del Sur, donde se obtuvieron datos que mostraban que la temperatura del estómago se elevó sobre la temperatura ambiente del agua hasta en 14,3°C. La temperatura del estómago varió dentro de un rango estrecho, mientras que la temperatura ambiente del agua fluctuó en un rango mucho mayor, demostrando que esta especie es capaz de regular su temperatura corporal. En 2009 Hoyos-Padilla realizó un estudio, similar al de Goldman, en la isla de Guadalupe en el que estudiaron las temperaturas estomacales internas de los individuos #2 y #3 de los 6 individuos de estudio, además de la temperatura del medio del individuo #3. Los resultados que se obtuvieron fueron que la temperatura estomacal para el periodo de seguimiento varió de 21,8 a 27,3 °C. Las temperaturas promedio del estómago variaron de 25 a 25,8 °C. La temperatura del agua a la que se encontraba el individuo #3 varió de 10 a 18,6 °C. Las diferencias entre temperatura media

del estómago y la del agua circundante variaron de 7 a 15,8 °C (Tabla 1).

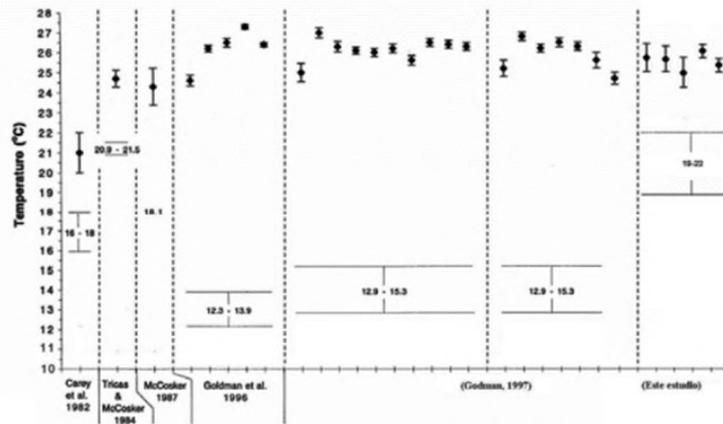
**Tabla 1.** Valores térmicos de la temperatura interna de los tiburones #2 y #3. Te = Temperatura promedio del estómago; Ta= Temperatura promedio del agua circundante (tomada de Hoyos-Padilla, 2009).

Tiburón #	Rango	T <sub>e</sub>	T <sub>a</sub>	Diferencia
2		25.7 ± 0.6	-	-
3	21.8-27.3	25.6 ± 0.6	18.6	7
3	23.6-26.2	25 ± 0.7	12.9	12.1
3	25.5-27.1	25.8 ± 0.3	11.1	14.7
3	25.1-26.6	25.8 ± 0.3	10	15.8

Los resultados de la temperatura interna de Hoyos-Padilla (2009), fueron similares a los encontrados por Goldman (1997) en las Islas Farallones del Sur, pese a que la diferencia en la temperatura del agua superficial en el estudio de Goldman (1997) de 12,9-15,3°C, fue menor que la temperatura registrada en el presente estudio de 19-22 °C (Figura 2).

Los datos que Hoyos-Padilla (2009) registró durante su estudio apoyan la hipótesis propuesta por Goldman (1997), de que *C. carcharias* posee la capacidad de regular y mantener su temperatura interna independientemente de los cambios de la temperatura ambiente del agua que lo rodea. Los principales beneficios que la *rete mirabile* otorgaría a *C. carcharias* serían:

1. Un aumento en su área de distribución por aguas frías.
2. Una contracción muscular muy eficiente y rápida.
3. Una optimización en el procesamiento de la información en su cerebro.
4. Un aumento de la eficiencia en la asimilación de las grasas en el digestivo.



**Figura 2.** Temperatura interna del estómago de tiburones blancos en diferentes partes del mundo durante distintos estudios y su comparación con el estudio de Hoyos-Padilla, 2009. Las desviaciones estándar se muestran para todas las temperaturas. Las líneas punteadas separan estudios y/o individuos y las temperaturas del agua se indican debajo de cada sección (tomado y modificado de Goldman, 1997).

Goldman (1997) estableció que este incremento en las tasas de actividad cerebral, digestiva y muscular procurada por la endotermia, posibilitaría analizar información, ver y nadar mejor, así como procesar alimentos difíciles de digerir. De esta forma, un aumento en la velocidad de digestión permitiría la digestión completa y la asimilación eficiente de grandes cantidades de grasa de pinnípedos, evitando así la defecación de material alimenticio no digerido y aportando una mayor cantidad de energía para cazar y migrar. Este mismo autor argumentó que si *C. carcharias* no tuviera la capacidad de regular una temperatura central corporal elevada, no sería capaz de buscar pingüinos de manera activa y exitosa en las aguas frías de las Islas Farallones del Sur o la isla de Guadalupe, entre otros lugares. Consecuentemente, los beneficios primarios de desarrollar un sistema de retención de calor serían la capacidad de habitar en aguas más frías, donde podría ser un depredador tan eficaz y activo de presas rápidas y ágiles como en aguas cálidas (Goldman, 1997).

## Referencias

- [1] DE ANDRÉS FERNÁNDEZ, A.V., 2023. ¿Está justificada la mala fama del gran tiburón blanco? *The Conversation*. <https://theconversation.com/esta-justificada-la-mala-fama-del-gran-tiburon-blanco-197699>
- [2] CAREY, F.G., KANWISHER, J.W., BRAZIER, O., GABRIELSON, G., CASEY, J.G. y PRATT, H.L., 1982. Temperature and Activities of a White Shark. *Copeia*. S.I.: s.n., pp. 254-260. ISBN 129.68.65.223.
- [3] GOLDMAN, K.J., 1997. Regulation of body temperature in the white shark, *Carcharodon carcharias*. *Journal of Comparative Physiology - B Biochemical, Systemic, and Environmental Physiology*, vol. 167, no. 6, pp. 423-429. ISSN 01741578. DOI 10.1007/s003600050092.
- [4] HOYOS-PADILLA, E.M., 2009. Patrones de movimiento del tiburón blanco (*Carcharodon carcharias*) en Isla Guadalupe, México. S.I.: Instituto Politécnico Nacional: Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas.
- [5] HOYOS-PADILLA, E.M., 2017. El gran tiburón blanco: protector de los océanos. Publicación especial #3. S.I.: Alianza WWF-Fundación Telmex Telcel.