

Los mamíferos marinos, buzos por naturaleza

Marine mammals, divers by nature

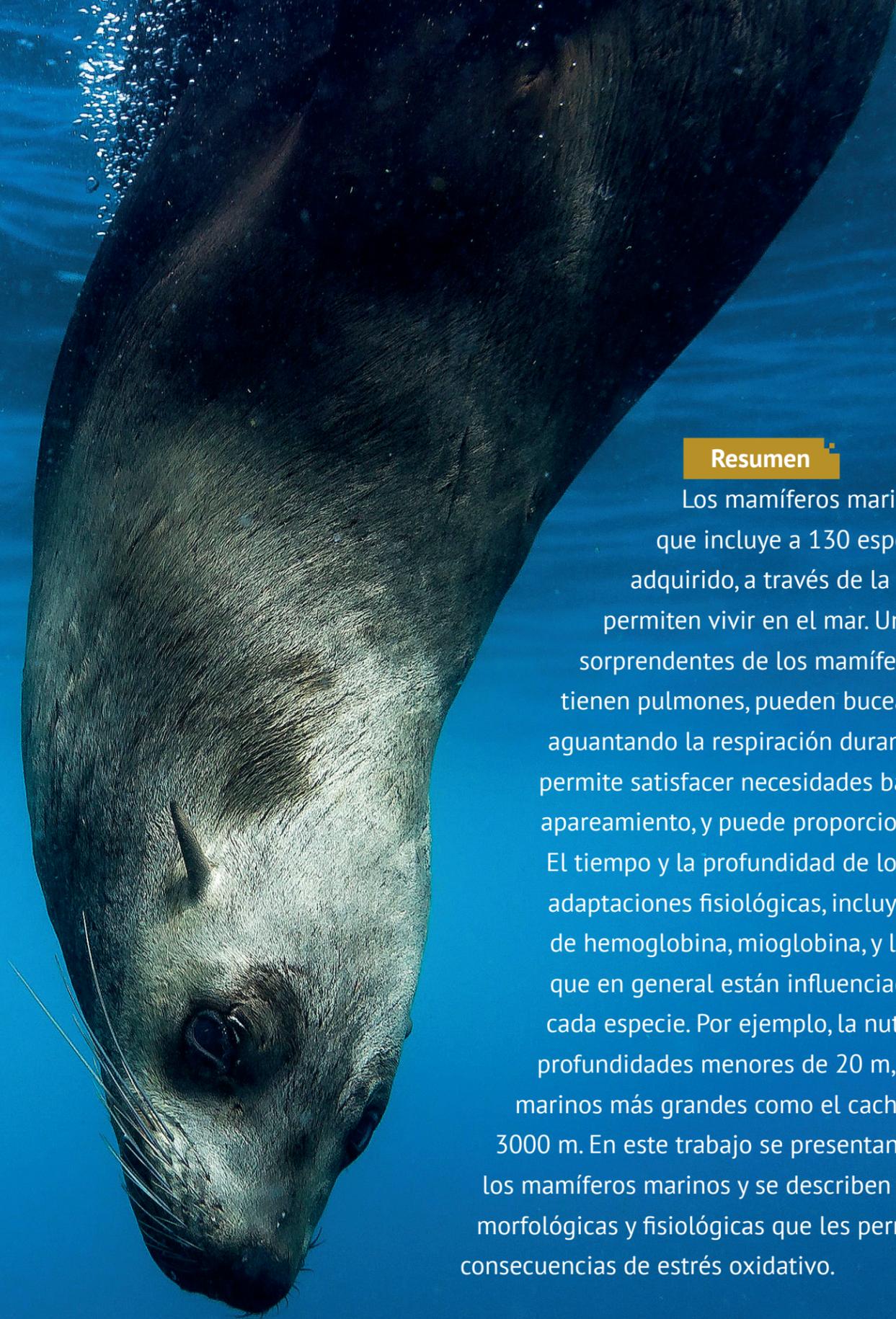
Autores

Tania Zenteno-Savín¹, Alejandra Camacho Uscanga²,
Samantha Lazcano Sánchez², Taryn E. Symon¹,
Claudia J. Hernández-Camacho³

Resumen

Los mamíferos marinos son un grupo variado, que incluye a 130 especies. Estos animales han adquirido, a través de la evolución, rasgos que les permiten vivir en el mar. Una de las características más sorprendentes de los mamíferos marinos es que, aunque tienen pulmones, pueden bucear a grandes profundidades aguantando la respiración durante largos períodos. Bucear les permite satisfacer necesidades básicas como alimentación o apareamiento, y puede proporcionar protección de depredadores. El tiempo y la profundidad de los buceos están asociados a adaptaciones fisiológicas, incluyendo aumentos en las reservas de hemoglobina, mioglobina, y las defensas antioxidantes, que en general están influenciadas por las dimensiones de cada especie. Por ejemplo, la nutria marina puede alcanzar profundidades menores de 20 m, mientras que mamíferos marinos más grandes como el cachalote puede descender hasta 3000 m. En este trabajo se presentan las características generales de los mamíferos marinos y se describen brevemente las adaptaciones morfológicas y fisiológicas que les permiten bucear sin sufrir las consecuencias de estrés oxidativo.

Palabras clave: ballenas, delfines, focas, lobos marinos, marsopas, buceo





Abstract

Marine mammals are a diverse group, including 130 species. These animals have acquired, through evolution, traits that allow them to live at sea. One of the most striking features of marine mammals is that, although they have lungs, they can dive to great depths while holding their breath for extended periods. Diving allows them to meet basic needs such as feeding, mating, and can provide protection from predators. The duration and depth of the dives is associated to physiological adaptations, including increased hemoglobin and myoglobin reserves, and antioxidant defenses, that can be influenced by the size of each species. For example, sea otters can reach depths of less than 20 m, while larger marine mammals such as the sperm whale can descend up to 3000 m. This paper presents the general characteristics of marine mammals and briefly describes the morphological and physiological adaptations that allow them to dive without suffering the consequences of oxidative stress.

Key words: whales, dolphins, seals, sea lions, porpoises, diving.

Introducción

Los mamíferos marinos son un grupo muy variado, que incluye aproximadamente 130 especies. El término hace referencia a aquellos mamíferos que, a través de la evolución, han desarrollado características que les permiten vivir en el mar y ser excelentes buceadores. Los mamíferos marinos y terrestres

comparten algunas de estas características; cuentan con glándulas mamarias que les permiten alimentar a sus crías, son capaces de regular su temperatura y poseen pelo.

Las especies de mamíferos marinos que realizan algunas actividades en tierra (p. ej. reproducción, cuidado de las crías, descanso) conservan el pelo por todo el cuerpo, mientras que las especies que son completamente acuáticas han perdido la mayoría del pelo. Cuando nacen, los odontocetos (p. ej. delfines, marsopas, y cachalotes) tienen pelo sensorial en el hocico llamado vibrisas, similar a los bigotes de un gato que, dependiendo de la especie, se pueden caer después del nacimiento (**Figura 1a**). Los mysticetos (p. ej. las ballenas jorobada, de aleta y azul), además de tener vibrisas en el hocico (**Figura 1b**) y atrás de las aberturas nasales, tienen barbas dentro de la boca (**Figura 1c**) que están compuestas de queratina, el mismo material del que

¹Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. Planeación Ambiental y Conservación. Instituto Politécnico Nacional 195, Playa Palo Santa Rita Sur, La Paz, Baja California Sur, 23096 – México

²Universidad Autónoma de Baja California Sur. Departamento Académico de Ciencias Marinas y Costeras. Carretera al Sur KM 5.5, Apartado Postal 19B, La Paz, Baja California Sur, 23080 – México

³Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. Instituto Politécnico Nacional. Av. Instituto Politécnico Nacional s/n, Playa Palo de Santa Rita Sur, La Paz, Baja California Sur, 23096 – México

*Autor de correspondencia: tzenteno04@cibnor.mx, (612) 123-8502

está hecho el cabello humano. Los manatíes y dugongos tienen vibrisas alrededor de la boca, y en parches en todo el cuerpo (**Figura 1d**).

Los mamíferos buceadores pertenecen a la clase Mammalia y se dividen en 3 órdenes. El orden Cetartiodactyla incluye cetáceos como los mysticetos (ballenas barbadas) y odontocetos (delfines y marsopas); en el orden Sirenia se encuentran los manatíes y dugongos, y el orden Carnívora agrupa a los lobos marinos, focas, morsas, nutrias y el oso polar (Heckel *et al.*, 2018). Estos mamíferos buceadores se encuentran en todas las latitudes y en ambientes marinos y dulceacuícolas.

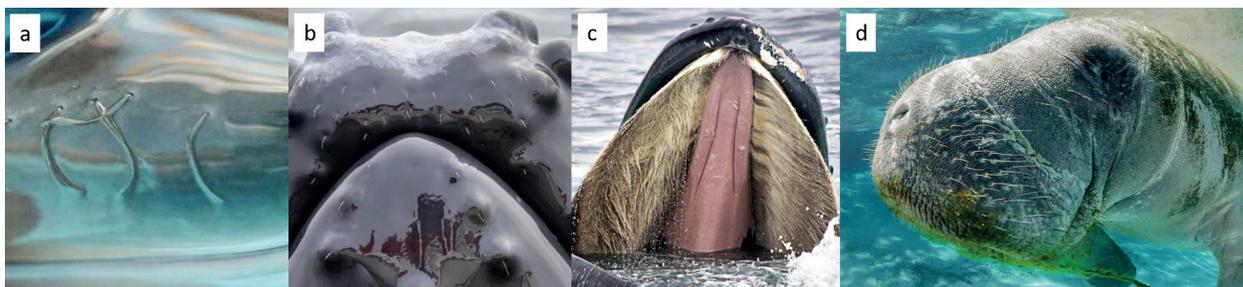


Figura 1. El pelo en cetáceos y sirenios: **a**) vibrisas en el hocico de un delfín nariz de botella (*Tursiops truncatus*) neonato; **b**) vibrisas en el hocico de una ballena jorobada (*Megaptera novaeangliae*); **c**) las barbas de una ballena jorobada (*Megaptera novaeangliae*); **d**) vibrisas alrededor de la boca y parches de pelo corporal en manatí (*Trichechus* spp.). Imágenes modificadas de los originales de Robert Uyeyama, Bertie Gregory, John Tunney, y Carol Grant, respectivamente.

Independientemente del lugar donde habitan, la mayoría de estos mamíferos tienen que bucear para conseguir su alimento. La capacidad de buceo varía ampliamente, siendo las focas, los cachalotes, los zifidos y los narvales los que realizan buceos más profundos (1000-3000 m) y de mayor duración (60-140 min). En contraste, las nutrias y los lobos finos apenas descienden entre 8 y 100 m y pasan menos de 20 minutos bajo el agua (Kvitek *et al.*, 1993; Schreer y Kovacs, 1997; Bodkin *et al.*, 2004). Aunque hay muy poca información sobre las vaquitas marinas (*Phocoena sinus*), que son marsopas endémicas de México, se cree que bucean por tiempos cortos (83 segundos en promedio) (Silber *et al.*, 1988). La dieta de los mamíferos marinos es muy diversa e incluye moluscos, crustáceos, equinodermos, peces, aves y otros mamíferos marinos (Berta y Sumich, 1999).

Las ballenas barbadas, la foca cangrejera y la foca leopardo tienen modificaciones anatómicas en el aparato bucal (p. ej. barbas o dientes modificados) que les permiten alimentarse de zooplancton. Los sirenios son los únicos herbívoros (Best, 1981). Entre las especies de mamíferos marinos, el tamaño corporal también varía en un rango muy amplio. La nutria marina (*Enhydra lutris*) es el mamífero buceador más pequeño; los adultos pueden pesar entre 35 y 45 kg y medir hasta 1.4 metros. El mamífero marino más grande es la ballena azul (*Balaenoptera musculus*) cuyo peso máximo sólo puede ser estimado y se propone que es del orden de 180,000 kg y llega a medir



hasta 30 m. La masa corporal de un mamífero marino puede influir su capacidad de buceo (profundidad, tiempo, o ambos), aunque en algunas especies parece que no hay una relación claramente definida (Schreer y Kovacs, 1997). Por ejemplo, aunque la ballena azul es el mamífero marino más grande y, en teoría debe ser capaz de bucear muy profundo, sólo alcanza 100 m de profundidad máxima durante sus buceos (Schreer y Kovacs, 1997; Caruso *et al.*, 2021).

En el territorio marítimo mexicano se distribuyen 32 especies de mamíferos marinos a lo largo de las regiones occidentales de la península de Baja California, el Golfo de California y el océano Pacífico, y se distribuyen 27 especies de mamíferos marinos en el Golfo de México y el Mar Caribe (Heckel *et al.*, 2018).

Ballenas y delfines

Hoy en día, el infraorden Cetacea es un grupo conformado por alrededor de 90 especies, que se dividen en dos superfamilias vivas. La superfamilia Mysticeti incluye a las ballenas barbadas, que se caracterizan por poseer *barbas* en lugar de dientes, que les sirven para filtrar el alimento del agua (Busquets-Vass *et al.*, 2017). Las especies de la superfamilia Odontoceti (delfines, narvales, belugas, zífidos, cachalotes y marsopas) evolucionaron de un animal carnívoro y, a diferencia de los misticetos, éstos sí poseen dientes (Medrano-González *et al.*, 2019; Berta y Sumich, 1999). Aunque los misticetos y odontocetos comparten algunas características, su evolución fue independiente y, en ambos casos, a partir de animales terrestres relacionados con los ungulados o mamíferos con pezuñas (Berta y Sumich, 1999; López-López, 2017). Hoy en día, el pariente vivo más cercano a los cetáceos es el hipopótamo.

Los cetáceos tienen adaptaciones morfológicas y fisiológicas para vivir todo el tiempo en el medio acuático. El cuerpo de las ballenas y delfines tiene una forma peculiar, como torpedo;

durante el período evolutivo, las extremidades anteriores de estos mamíferos adoptaron la forma de aletas, las posteriores desaparecieron y presentan una aleta caudal bilobulada en posición horizontal, la cual es sumamente fuerte y les permite propulsarse a través del agua. Los cetáceos han perdido la mayoría de su pelo corporal, pero tienen una capa de grasa subcutánea (debajo de la piel) que cumple muchas funciones, incluyendo la de aislante térmico, razón por la cual pueden vivir en ambientes muy fríos en ambos polos. A lo largo de su evolución, el cráneo de los cetáceos se modificó y se orientaron las fosas nasales en posición vertical de tal manera que los misticetos tienen un par de aberturas nasales y los odontocetos tienen sólo una; éstas están formadas de piel y músculo y se sitúan en la parte superior de la cabeza, lo que les permite respirar eficientemente cuando se encuentran en la superficie (Berta y Sumich, 1999; Medrano-González *et*

al., 2019); además, la mayoría de los cetáceos desarrollaron una aleta dorsal, característica que los hace únicos entre los mamíferos (Reynolds III y Rommel, 1999; Medrano-González y Urbán-Ramírez, 2019; López-López, 2017). Los odontocetos tienen un órgano graso al frente del cráneo, conocido como melón, que ayuda a enfocar las emisiones de sonidos, cuyos ecos, recibidos por paquetes de grasa dentro de la mandíbula inferior, les permiten percibir el ambiente que los rodea en mayor medida, en un proceso llamado ecolocalización o ecubicación (Medrano-González *et al.*, 2019). Quizás la especie de cetáceo más famosa, debido a la forma de su cabeza y su papel histórico en la caza de ballenas, es el cachalote (*Physeter macrocephalus*) (**Figura 2a**). El órgano de espermaceti (**Figura 2b**) que conforma la mayor parte de la cabeza del cachalote está compuesto en gran parte por sustancias (éteres) cerosas que son líquidas a la temperatura corporal y sólidas a temperatura ambiente (Rice, 2009). Históricamente, se creía que la función principal del órgano de espermaceti era ayudar a lograr una flotabilidad neutra, a cualquier profundidad dentro de la columna de agua, mediante el control de la temperatura de los éteres (Clarke, 1970). Aunque esta teoría sigue siendo debatida, la creencia actual es que la función principal de este órgano es formar y enfocar señales acústicas utilizadas para la ecolocalización (Whitehead, 2018).

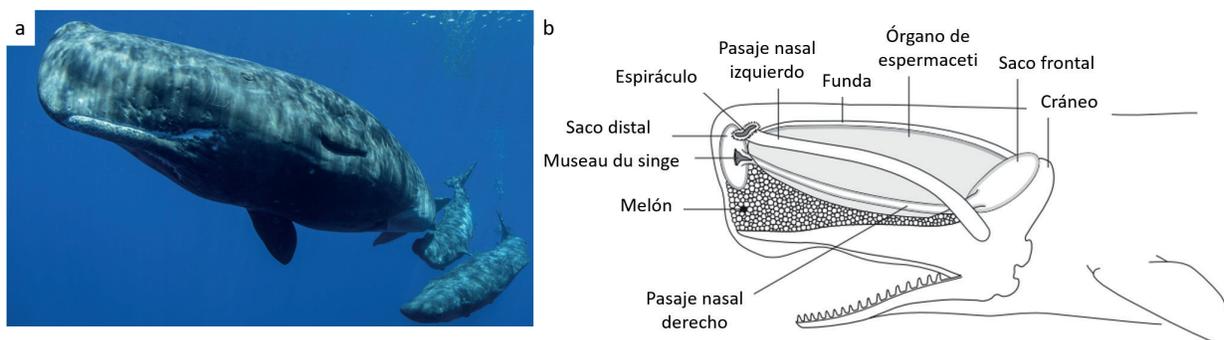


Figura 2. Muchas estructuras dentro de **a**) la cabeza de los cachalotes, tienen funciones importantes; por el ejemplo, **b**) el órgano de espermaceti puede contribuir a la ecolocalización y flotabilidad. Figura modificada de la fotografía y diagrama de Mike Korostelev y Whitehead (2018), respectivamente.

Lobos marinos, focas y morsas

Los pinnípedos pertenecen al orden Carnívora. Se reconocen alrededor de 35 especies de lobos marinos, focas y morsas, que se pueden clasificar en tres familias. La familia Phocidae incluye focas y elefantes marinos (Gray, 1827; Vázquez-Medina, 2007). La familia Otariidae, conformada por lobos finos y lobos marinos, y la familia Odobenidae, que es una familia monoespecífica, es decir, que abarca un solo género y una especie, la morsa (*Odobenus rosmarus*), con tres subespecies (Berta *et al.*, 2015). Los pinnípedos evolucionaron a partir de un ancestro de los úrsidos (osos) (Berta y Churchill, 2012).



La palabra pinnípedo, proviene del latín ‘*penna*’, que significa “*aleta*” y ‘*pedis*’ que hace referencia a la palabra “*pies*”; entonces podríamos traducir pinnípedo a “*pies en forma de aleta*”. Estos carnívoros, a pesar de estar adaptados al medio marino, como se evidencia por la anatomía corporal alargada y las extremidades en forma de aletas, dependen del medio terrestre para el descanso y la reproducción (Aguilar-García y Verplancken-Elorriaga, 2019). Las morsas y los lobos marinos usan sus cuatro extremidades para caminar en tierra debido a la morfología pélvica; en cambio, las focas no pueden usar sus aletas para caminar, porque las delanteras son muy cortas y las traseras están en posición horizontal respecto al resto del cuerpo. Cuando las focas se mueven en tierra se ven muy graciosas porque se tienen que arrastrar. Cuando están en el agua, los otáridos usan las aletas anteriores y los fócidos las aletas posteriores para impulsarse. Las morsas

son las únicas que utilizan las cuatro extremidades para moverse en el agua (Aguilar-García y Verplancken-Elorriaga, 2019).

En general, los pinnípedos dan a luz, crían a los cachorros y descansan en tierra, y se alimentan y pueden aparearse en el mar o en tierra. Los pinnípedos monogámicos (la mayoría de las focas) forman parejas que sólo cambian cada año o que se mantienen juntas varias temporadas de reproducción sin necesidad de competir con otros machos para aparearse (Cassini, 1999). En contraste, los pinnípedos poligínicos (los lobos marinos, lobos finos y algunas focas) defienden territorios y forman harems en tierra con varias hembras y sus crías (Cassini, 1999).

Las adaptaciones de los pinnípedos a la vida acuática incluyen la modificación de las extremidades en aletas y, al igual que los cetáceos, adaptaciones fisiológicas para bucear en busca de sus presas (Reynolds III y Rommel, 1999). Los lobos finos tienen un denso pelaje a prueba de agua, que les permite mantener una capa de aire que funciona como aislante térmico. Los lobos marinos y las focas también tienen pelo, pero su principal aislante es la gruesa capa de grasa que rodea sus cuerpos (Kvadsheim y Aarseth, 2006). Las morsas prácticamente carecen de pelo.

Los mamíferos marinos son excelentes buzos

Al igual que los humanos, los mamíferos marinos tienen respiración pulmonar pero, debido a sus hábitos alimenticios, los mamíferos marinos bucean para perseguir a sus presas. A diferencia de los humanos, no necesitan usar un tanque de aire para realizar una inmersión prolongada. Ello implica que deben aguantarse la respiración mientras bucean y que deben ir a la superficie para poder tomar una bocanada de aire y, así, recargar el almacén de oxígeno en sangre y tejidos, y eliminar el dióxido de carbono y otros productos metabólicos.

El buceo en los mamíferos marinos es una adaptación fisiológica que les permite satisfacer necesidades básicas como

alimentación y protección de sus depredadores principales, orcas y tiburones (Elsner, 2002). Se ha sugerido que, en animales como los delfines, el buceo es una actividad recreativa y social (Wells y Scott, 2002). Todos los mamíferos marinos son buenos buceadores, pero la capacidad para bucear depende de cada especie. Por ejemplo, la ballena azul (*B. musculus*) realiza buceos a un máximo de 100 metros de profundidad y por 45 minutos; quizá porque su alimento, los eufáusidos (también conocidos como krill), no se encuentra a profundidades mayores (Rubio-Casillas, 1992).

Los elefantes marinos (*Mirounga spp.*) pasan cerca del 90% de su tiempo bajo el mar, aunque estos mamíferos generalmente bucean por periodos de 20 minutos y a profundidades de 600 metros, son capaces de sumergirse hasta por 2 horas y rebasar los 1600 metros de profundidad. Las ballenas picudas, también conocidas como zifidos o mesoplodontes (por ejemplo, *Mesoplodon densirostris*) comúnmente descienden entre 800 y 1000 metros, con tiempos de buceo de 50 minutos, pero se han registrado buceos de hasta 1888 metros de profundidad y 85 minutos de inmersión (Thornton y Hochachka, 2004).

¿Cómo es que los mamíferos marinos bucean?

A través de la ventilación pulmonar, los mamíferos obtenemos el oxígeno que requieren nuestras células, desechamos el dióxido de carbono, que es un producto del metabolismo celular, y mantenemos el balance ácido-base (pH) de nuestro cuerpo. Durante el buceo, los mamíferos marinos suspenden la ventilación pulmonar de manera voluntaria; es decir, se aguantan la respiración (apnea). En todos los mamíferos, al principio de cada inmersión, inicia una serie de ajustes fisiológicos involuntarios conocida como la respuesta al buceo. Esta respuesta incluye una disminución del ritmo cardíaco (bradicardia), constricción de vasos sanguíneos (vasoconstricción) y distribución

del flujo sanguíneo al sistema nervioso central, que resulta en la restricción del flujo sanguíneo (isquemia) en los tejidos tolerantes a la hipoxia (disminución del contenido de oxígeno); al final del buceo, se revierten estos cambios y se restablece el flujo sanguíneo (reperfusión) a todos los tejidos (Kooyman y Ponganis, 1998; Elsner, 1999; Kanatous *et al.*, 1999, 2002).

Como consecuencia, durante los períodos de apnea, no hay aporte de oxígeno del aire al cuerpo a través del sistema pulmonar, pero las células continúan consumiendo oxígeno y produciendo dióxido de carbono; si no se reinicia la ventilación pulmonar, eventualmente en los tejidos habrá condiciones de hipoxia o anoxia, lo que resulta en la acumulación de dióxido de carbono (hipercapnia) y acidosis (pH bajo). Los mamíferos marinos han desarrollado, a lo largo de la evolución, mecanismos que les permiten realizar buceos prolongados



y sobrevivir la asfixia (la combinación de hipoxia, hipercapnia y acidosis) progresiva (Elsner y Gooden, 1983). Estos mecanismos incluyen: mayor volumen sanguíneo, mayores concentraciones de hemoglobina en sangre y mioglobina (proteína que almacena oxígeno, similar a la hemoglobina) en músculos esqueléticos (del cuerpo) y cardíacos (del corazón), mayores actividades y concentraciones de antioxidantes, y mayor densidad mitocondrial (organelo celular encargado de la respiración en la célula) en algunos tejidos en comparación con los mamíferos terrestres (Kooyman y Ponganis, 1998; Elsner, 1999; Kanatous *et al.*, 1999, 2002). De manera similar, hay estudios que sugieren que la expresión de neuroglobina (una hemoproteína de la familia de las globinas que se encuentra en las neuronas cerebrales y tiene la capacidad de unirse al oxígeno) es mayor en los cetáceos en comparación con las focas y los mamíferos terrestres; lo que puede proporcionar una mayor protección contra las consecuencias de la hipoxia e isquemia/reperfusión (Schneuer *et al.*, 2012). En conjunto, estos mecanismos confieren a los mamíferos marinos una mayor capacidad de almacenar oxígeno en sangre y otros tejidos y, de esta manera, protegerlos de los daños asociados al estrés oxidativo (la pérdida del balance entre la producción de especies reactivas de oxígeno ERO y las defensas antioxidantes) en comparación con mamíferos terrestres.

Los ciclos de isquemia/reperfusión asociados con la respuesta al buceo aumentan la producción de ERO, que son intermediarios en el metabolismo de oxígeno y aumentan el riesgo de daño asociado al estrés oxidativo (Halliwell y Gutteridge, 2001). El estrés oxidativo está asociado a más de 100 enfermedades, incluyendo el cáncer, asma, diabetes, e hipertensión, en animales, incluso en los humanos. En mamíferos marinos, los ciclos de isquemia/reperfusión asociados al buceo aparentemente aumentan la producción de ERO, pero no el daño oxidativo (Zenteno-Savín y Elsner, 2000; Zenteno-Savín *et al.*, 2002). Esto se

debe a los efectos protectores de los antioxidantes enzimáticos (p. ej. superóxido dismutasa, catalasa, y glutatión reductasa) y no-enzimáticos (i.e. glutatión y vitaminas A, C, y E). Se han reportado mayores actividades de antioxidantes enzimáticos, y concentraciones de antioxidantes no-enzimáticos en sangre y otros tejidos de mamíferos marinos, que en mamíferos terrestres, probablemente como una adaptación para reducir el daño oxidativo (Elsner *et al.*, 1995, 1998; Wilhem-Filho *et al.*, 2002; Allen y Vázquez-Medina, 2019). Además, parece que el nivel de protección antioxidante en los tejidos de los mamíferos marinos varía en relación con su capacidad de buceo (p. ej. buceos largos vs. cortos y buceos superficiales vs. profundos) (Cantú-Medellín *et al.*, 2011).

Aún queda mucho por aprender sobre la relación entre la respuesta al buceo y el estrés oxidativo en los mamíferos marinos. Sin embargo, está claro que este

tema amerita examinar posibles aplicaciones futuras. Por ejemplo, si conocemos y aplicamos las herramientas que les permiten a los mamíferos marinos tolerar períodos largos de apnea ¿podemos ayudar a los humanos que sufren enfermedades relacionadas al estrés oxidativo, como el síndrome de muerte súbita en infantes? Si una mayor capacidad antioxidante contribuye a que los pinnípedos, sirenios y cetáceos toleren períodos de isquemia/reperfusión ¿podemos prevenir el daño oxidativo observado en infartos o embolias en humanos con apoyo de tratamientos antioxidantes? Estas son algunas de las preguntas que se están abordando en centros de investigación en México y otros países a través de estudios comparativos de bioquímica y fisiología en diferentes especies de mamíferos.

Literatura Citada:

- Aguilar-García, M.C. y R.F. Verplancken-Elorriaga (2019). Los pinnípedos: carnívoros acuáticos altamente especializados. *Revista Ciencia*, (70): 70-79.
- Allen, K. N. y J. P. Vázquez-Medina (2019). Natural Tolerance to Ischemia and Hypoxemia in Diving Mammals: A Review. *Frontiers in Physiology*, (10): 1199. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.01199>
- Berta, A. y M. Churchill. (2012). Pinniped taxonomy: review of currently recognized species and subspecies, and evidence used for their description. *Mammal Review* (42): 207-234.
- Berta, A. y J. L. Sumich. (1999). Marine mammals. Evolutionary biology. Academic Press, San Diego. 494 p.
- Berta A., Sumich J., Kovacs K. (2015) Marine Mammals: Evolutionary Biology, Third Edition. Academic Press. San Diego. 738 p. ISBN: 9780123970022
- Best, R. C. (1981). Foods and feeding habits of wild and captive Sirenia. *Mammal Review* (11): 3-29.
- Bodkin, J. L., G. G. Esslinger y D. H., Monson. (2004). Foraging depths of sea otters and implications to coastal marine communities. *Marine Mammal Science* (20): 305-321.
- Busquets-Vass, G., S. D. Newsome, J. Calambokidis, G. Serra-Valente, J. K. Jacobsen, S. Aguíñiga-García, D. Gendron. (2017). Estimating blue whale skin isotopic incorporation rates and baleen growth rates: Implications for assessing diet and movement patterns in mysticetes. *PlosOne*. 12(5): e0177880. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0177880>
- Cantú-Medellín, N., B. Byrd, A. Hohn, J. P. Vázquez-Medina, y T. Zenteno-Savín (2011). Differential antioxidant protection in tissues from marine mammals with distinct diving capacities. Shallow/short vs. deep/long divers. *Comparative Biochemistry and Physiology. Part A*, 158(4): 438–443. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2010.11.029>



- Caruso F., Hickmott L., Warren .D., Segre P., Chiang G., Bahamonde P., Español-Jiménez S., LI S., Bocconcelli A. (2021) Diel differences in blue whale (*Balaenoptera musculus*) dive behavior increase nighttime risk of ship strikes in northern Chilean Patagonia. *Integrative Zoology*. 16(4): 594-611. <https://doi.org/10.1111/1749-4877.12501>
- Cassini, M. H. (1999). The evolution of reproductive systems in pinnipeds. *Behavioral Ecology* (10): 612-616.
- Clarke, M. R. (1970). Function of the spermaceti organ of the sperm whale. *Nature* 228: 873-874.
- Elsner, R. (1999). Living in water: solutions to physiological problems. In: Reynolds III, J.E. y S.A. Rommel (Eds.), *Biology of Marine Mammals*. Smithsonian Institution Press, Washington D.C., pp. 73– 116.
- Elsner, R. (2002). Cetacean physiology, Overview. *Encyclopedia of Marine Mammals*. Academic Press. San Diego. 333-340 pp.
- Elsner, R. y B.A. Gooden (1983). Diving and asphyxia. A comparative study of animals and man. *Monogr. Physiol. Soc.* (140): 1 –168.
- Elsner, R., S.Øyasaeter, O.L. Saugstad, y A. Scytte-Blix. (1995). Seal adaptations for long dives: recent studies of ischemia and oxygen radicals. In: Blix, A., S.L. Walloe y O. Ultang, (Eds.), *Developments in Marine Biology, Whales, Seals, Fish and Man*. International Symposium on the Biology of Marine Mammals in the North East Atlantic. Tromso, Norway, 1994, vol. 4. Elsevier Science B.V, Amsterdam, pp. 371– 376.
- Elsner, R., S. Øyasaeter, R. Almaas y O.L. Saugstad (1998). Diving seals, ischemia-reperfusion and oxygen radicals. *Comp. Biochem. Physiol. A* (119): 975–980.
- Grant, C. 2013. Manatee Classics. En: <https://manatees.photoshelter.com/image/I0000MohZNWx2Tfo>, 29 de septiembre de 2021.
- Gregory, B. 2011. West Coast Adventure Story. En: <http://www.bertiegregory.com/stills#/vancouver-island>, 11 de septiembre de 2021.
- Halliwell, B. y J.M.C. Gutteridge (2001). *Free Radicals in Biology and Medicine*. Oxford University Press. Oxford, UK. 936 pp.
- Heckel, G., M.G. Ruiz Mar, Y. Schramm y U. Gorter, (2018). Atlas de Distribución y Abundancia de Mamíferos Marinos en México. Universidad Autónoma de Campeche. 186 p. DOI:10.26359/epomex.cemie022018
- Kanatous, S.B., L.V. DiMichele, D.F. Cowan y R.W. Davis (1999). High aerobic capacities in the skeletal muscles of pinnipeds: adaptations to diving hypoxia. *J. Appl. Physiol.* (86): 1247– 1256.

- Kanatous, S.B., R.W. Davis, R. Watson, L. Polasek, T.M. Williams y O. Mathieu-Costello (2002). Aerobic capacities in the skeletal muscles of Weddell seals: key to longer dive durations. *J. Exp. Biol.* (205): 3601–3608.
- Korostelev, M. (2020). Who knew that's how they did it? Stunning pictures show mother sperm whale feeding its calf by injecting milk into the sea. En <https://www.dailymail.co.uk/news/article-8920863/Stunning-pictures-mother-sperm-whale-feeding-calf-injecting-milk-sea.html>, 30 de septiembre de 2021.
- Kvadsheim, P. H. y J. J. Aarseth. (2006). Thermal function of phocid seal fur. *Marine Mammals Science* (18): 952-962.
- Kvitek, R. G., C. E. Bowley y M. Staedler. (1993). Diet and foraging behavior of sea otters in southeast Alaska. *Marine Mammal Science* (9): 168-181.
- Kooyman, G.L. y P.J. Ponganis (1998). The physiological basis of diving to depth: birds and mammals. *Annu. Rev. Physiol.* (60), 19– 32.
- López-López, L. (2017). Cetáceos: Los mamíferos más salaos. Ecologistas en acción. 2 pp.
- Medellín-Cantú, N. (2008). Comparación de los indicadores de estrés oxidativo entre diferentes especies de odontocetos. Tesis de Maestría. Centro de investigaciones biológicas del Noroeste, S.C. 106 pp.
- Medrano-González L., K. Acevedo-Whitehouse y A. Paniagua-Mendoza. (2019). Evolución y adaptación de los mamíferos marinos a la vida en el mar. *Revista Ciencia.* (70): 8-14.
- Medrano-González L. y J. Urbán-Ramírez, (2019). Mamífero marino: identidad, diversidad y conservación. *Revista Ciencia.* (70): 8-14.
- Reynolds III, J. E. y S. A. Rommel. (1999). Biology of marine mammals. Smithsonian Institution Press.
- Rice, D. W. (2009). Spermaceti. Encyclopedia of Marine Mammals. Academic Press. San Diego. 1098-1099pp.
- Rubio-Casillas, A. (1992). Algunos aspectos sobre la biología de los cetáceos, principalmente de la Ballena Gris (*Eschrichtius rubustus*): Análisis documental. Universidad de Guadalajara. 104 p.
- Schneuer, M., S. Flachsbarth., N. U. Czech-Damal., L. P. Folkow., U. Siebert y T. Burmester. (2012). Neuroglobin of seals and whales: Evidence for a divergent role in the diving brain. *Neuroscience* 223: 35-44.
- Schreer, J. F. y K. M. Kovacs. (1997). Allometry of diving capacity in air-breathing vertebrates. *Canadian Journal of Zoology* (75): 339-358.
- Silber, G. K., M. W. Newcomer y G. J. Barros. (1988). Observations on the behavior and ventilation cycles of the vaquita, *Phocoena sinus*. *Marine Mammal Science* 4(1): 62-67.



- Thornton, S.J y P.W. Hochachka (2004). Oxygen and the diving seal. *Undersea Hyperb Med.* 81-85 pp.
- Tunney, J. 2017. Not so nice: new study finds baleen whales were once biters. En: <https://www.australiangeographic.com.au/news/2017/08/not-so-nice-new-study-finds-baleen-whales-were-once-biters/>, 11 de septiembre de 2021.
- Uyeyama, R. 2002. *Akeakamai's Baby Page*. En: <http://www.dolphinleap.com/akebaby/>, 11 de septiembre de 2021.
- Wells, R.S y M.D. Scott (2002). Bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus* y *T. aduncus*). Encyclopedia of Marine Marine Mammals. Academic Press. San Diego. 122-128pp.
- Whitehead, H. (2018). Sperm Whale. Encyclopedia of Marine Mammals. Academic Press. San Diego. 919-925pp.
- Wilhem-Filho, D., F. Sell, M. Ghislandi, F. Carrasquedo, C.G. Fraga, J.P. Wallauer, P.C. Simoes-Lopes y M.M. Uhart (2002). Comparison between the antioxidant status of terrestrial and diving mammals. *Comp. Biochem. Physiol., A* (133): 885–892.
- Vázquez-Medina, J.P. (2007). Defensas Antioxidantes en Pinnípedos. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. 88p.
- Zenteno-Savín, T. y R. Elsner (2000). Differential oxidative stress in ringed seal tissues. *Free Radic. Biol. Med.* (29): S139.
- Zenteno-Savín, T., E. Clayton-Hernández y R. Elsner (2002). Diving seals: are they a model for coping with oxidative stress? *Comp. Biochem. Physiol., C* (133): 527– 536.

Cita de artículo:

Zenteno-Savín T., A. Camacho Uscanga, S. Lazcano Sánchez, T. E. Symon y C. J. Hernández-Camacho. 2022. Los mamíferos marinos, buzos por naturaleza. Recursos Naturales y Sociedad, 2022. Vol. 8 (1): 59-70. <https://doi.org/10.18846/renaysoc.2022.08.08.01.0004>

Sometido: 13 de agosto de 2021

Revisado: 10 de septiembre de 2021

Aceptado: 18 de octubre de 2021

Editor asociado: Dr. Enrique Alejandro Gómez Gallardo Unzueta.

Diseño gráfico editorial: Lic. Gerardo Hernández