

CETÁCEOS: REYES DEL BUCEO

Javier Moliner Gosálbez

Biólogo Especialista en el Medio Marino; Email: smec@ono.com

Los cetáceos son mamíferos acuáticos, y como tales, comparten con nosotros todas las características identificativas del grupo; en este artículo nos centraremos en aquellas características que los hacen únicos y les han permitido evolucionar y adentrarse en el inhóspito medio marino hasta cerrar todo su ciclo reproductivo con independencia del mundo terrestre del que proceden. Estos cambios evolutivos les han permitido realizar grandes migraciones por todo el planeta, adentrarse en las gélidas aguas de los casquetes polares, y colonizar todos los mares y la mayoría de grandes ríos de nuestro planeta.

El inicio de la colonización marina, tuvo su comienzo hace más de 50 millones de años con la aparición del *Pakicetus inachus*, el cual, presentaba una cierta desviación de las narinas hacia la parte superior del cráneo. Este animal desarrollaba su vida junto a los grandes ríos, cazando pequeños peces y accediendo a un nicho ecológico todavía por conquistar.

Los primeros cambios que desarrollan para adentrarse dentro del agua son la modificación de los huesos del cráneo hacia un alargamiento de los huesos premaxilar y maxilar, y la reducción de los huesos nasales con el consiguiente desarrollo del esplanocráneo y neurocráneo, permitiendo el desarrollo de un encéfalo muy voluminoso. El hueso maxilar se ha desplazado posteriormente cubriendo el hueso frontal hasta casi alcanzar la cresta nugal, colocándose lateralmente por encima de la órbita, y quedando la región nasal como una superficie inclinada con la pendiente orientada rostralmente (Figura 1). Con este adelanto, son capaces de respirar en superficie sin tener que levantar la cabeza, al igual que los hombres hemos desarrollado el tubo *snorkel* con esa misma finalidad.

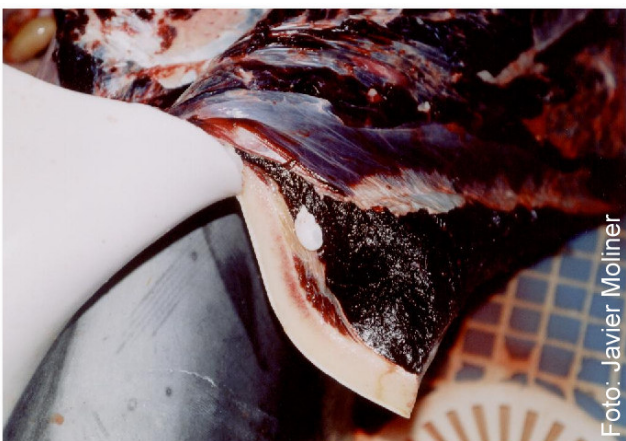


Foto: Javier Moliner



Foto: Javier Moliner

Figura 1. Cráneo de un cetáceo primitivo.

Más tarde, este originario cetáceo emparentado con los artiodáctilos, (posiblemente con los mesoquínidos), desarrolló un cuerpo más esbelto, ofreciendo una menor resistencia al agua, y fue perdiendo progresivamente las extremidades posteriores hasta quedar solamente algunos resquicios de cintura pélvica en los cetáceos actuales; su cuerpo se fue comprimiendo a modo de huso; las vértebras cervicales se han fusionado en la mayoría para dar mayor rigidez al cuello, y se han ido desarrollando dos grandes paquetes musculares dorsales y ventrales que desarrollan igual potencia (Fish, 1991) insertados en una larga columna vertebral.

Las extremidades anteriores poseen húmero, cúbito, ulna, carpo, metacarpo, y cuatro dedos con un gran número de falanges, todos ellos reunidos bajo un tejido cartilaginoso y piel que los hace rígidos, siendo usadas fundamentalmente como timones; por el contrario, las aletas dorsales cuando se presentan, y la caudal dispuesta horizontalmente (principal órgano locomotor) no tienen una base ósea, sino que presentan un tejido fibroso y de grasa muy vascularizado.

Han desarrollado un integumento muy especializado, con unas fuertes uniones dermoepidérmicas a base de digitaciones o papilas (Flynn, 1994), con una superficie externa formando pequeñas ondulaciones que podrían evitar turbulencias en el agua, y en la

que han perdido todos los pelos (presentes en el hocico de neonatos) y toda estructura córnea. Tanto el pene de los machos, como los pezones de las hembras, se encuentran dentro de cavidades musculares aislados de las corrientes, consiguiendo grandes velocidades con un gasto mínimo de energía.



Con estas adaptaciones, se han convertido en unos grandes nadadores, pero si han de pasar más tiempo en las frías aguas del mar, deben desarrollar una capa protectora que los aisle del exterior, al igual que nosotros hemos desarrollado los trajes de neopreno; en este sentido, nos encontramos con una gruesa hipodermis muy rica en grasas, que en ocasiones llega a representar hasta el 60 % del peso corporal, atravesada por numerosos vasos capilares y que además sirve de reserva energética en las grandes migraciones y épocas reproductoras.

Esta gruesa capa, necesita a su vez de unas ventanas térmicas que les permitan mantener la temperatura corporal dentro de unos límites, por eso, poseen un sistema de anastomosis arteriovenosas en la piel, excepcionalmente desarrolladas en las aletas y en las numerosas *Retia mirabilis* que se encuentran dispuestas en diferentes partes de su anatomía interna, como el plexo venoso yuxtapuesto al plexo espermático arterial que se dirige hacia los testículos crípticos, ya que al encontrarse estos dentro de la cavidad abdominal junto a los paquetes musculares ventrales, necesitan de un sistema de refrigeración que les permitan realizar la función testicular a una temperatura inferior a la del cuerpo (Sentiel, 1992), o la *Retia spinale* y la *Retia basis crani*, que amortiguan los cambios de presión de la sangre que va al encéfalo a la vez que actúan como depósito temporal

de oxígeno para el cerebro (Gazo, 2002).

Estos animales que originariamente vivían en los grandes ríos y lagos, al adentrarse en el medio marino hipersalino, solucionaron el grave problema de la osmoregulación con una mayor asimilación del agua en la dieta, y la formación de agua metabólica (Thewissen, 1996), de hecho, la leche con la que amamantan a las crías, es en las primeras fases del desarrollo, muy rica en agua, y conforme la cría se va desarrollando, esta se va haciendo más espesa y rica en grasas (Ridgway, 1995).

Por otro lado, el sistema urogenital de estos animales es capaz de retener el agua en grandes concentraciones gracias a la morfología lobular de los riñones de todos los mamíferos acuáticos, aumentando enormemente la eficiencia en la filtración y retención de líquidos (Geraci, 2001).

Una vez desarrolladas estas adaptaciones a la vida dentro del medio marino, es a la hora del buceo, donde nos encontramos con los problemas más graves y difíciles de solucionar. Nosotros, los humanos, hemos llegado hasta este punto, y no somos capaces de realizar inmersiones superiores a los 160 metros de profundidad, habiéndose alcanzado con mezcla de gases en el interior de cámaras hiperbáricas, y necesitando de una descompresión paulatina durante varios días; mientras que el cachalote *Physeter macrocephalus*, es capaz de sumergirse hasta los 3000 metros de profundidad en inmersiones que han durado más de una hora, "a pulmón libre".

El primer problema que nos encontramos al iniciar una inmersión es la presión que hemos de soportar, la cual, aplicando la ecuación fundamental de la hidrostática, y considerando el agua del mar incompresible y la gravedad constante, indica un aumento de 100kPa (1 bar) por cada 10 metros de profundidad, al que le debemos adicionar un bar de presión atmosférica que soportamos a nivel del mar.





Foto: Javier Moliner

Los cetáceos, gracias a que no tienen las costillas fuertemente unidas a las vértebras ni al esternón, son capaces de colapsar su cavidad torácica por efecto de la presión, y así aumentar su relación superficie/volumen con la consiguiente obtención de una flotabilidad negativa que les permite dirigirse al fondo sin apenas esfuerzo (Williams, 2000).

Al realizar una inmersión a cierta profundidad, debemos considerar los efectos fisiológicos derivados de los gases componentes, prestando una mayor atención a la densidad y las presiones parciales del oxígeno y los gases neutros. En el aire, la composición porcentual se considera alrededor de un 21 % de oxígeno y un 79 % de nitrógeno, habiendo también otros gases disueltos que no consideraremos por encontrarse en mínima cantidad.

De acuerdo con la *ley de Dalton*, la presión absoluta que soporta el buzo debe ser igual a la suma de las presiones parciales de los gases contenidos en sus pulmones, y a su vez, el oxígeno debe mantener una presión parcial entre 0,17 y 0,4 bares en niveles de normoxia, y hasta 1,7 (zona correspondiente al *efecto Lorrain-Smith*) donde la fórmula empírica de Stelzner nos marca el tiempo límite sin que aparezcan síntomas de hiperoxia, más allá de los cuales aparecen los accidentes neurológicos por el efecto Paul Bert. El nitrógeno, a su vez, a niveles de presión parcial superiores a 4 bares, produce cambios fisiológicos y de conducta conocidos como "narcosis".

Para fijar ideas, veamos qué problemas presenta el buceo con aire a diferentes profundidades: A 40 m, las presiones parciales de oxígeno y nitrógeno valen

1,04 y 3,95 bares respectivamente, con lo que respecto al nitrógeno, estaríamos llegando a la zona narcótica. A 100 metros, las presiones parciales alcanzarían los valores de 2,31 para el oxígeno, y de 8,69 bares para el nitrógeno, lo que corresponde a una clara situación de narcosis con riesgo de accidente neurológico de tipo convulsivo.

Por esta razón, las inmersiones con aire no son recomendables a más de 60 metros, y debemos utilizar mezclas respirables que nos obligan a reemplazar parcial o totalmente el nitrógeno por otro gas neutro (García, 2003).

Los mamíferos marinos, han desarrollado unos anillos cartilagosos por todo el tracto respiratorio, con los que evitan el colapso pulmonar y la extravasación de aire hacia un posible neumotórax (Dierauf and Gage, 1990), y además, pueden aislar los alveolos por medio de un esfínter en los bronquiolos terminales para evitar la narcosis por nitrógeno (Reidarson, 2001).

Dado que el intercambio gaseoso no tiene lugar durante la inmersión, deben almacenar todo el oxígeno unido a la hemoglobina de los eritrocitos (de mayor tamaño y número) y a la mioglobina, la cual, da un color muy oscuro y característico a los músculos de estos impresionantes reyes del buceo.

La extensión nos limita y nos impide tratar otros apartados de fisiología, reproducción, parasitología, evolución, genética y monitorización de poblaciones, especiación, alimentación, polución, varamientos, tomas de muestras, e interacciones con el ser humano, los cuales esperamos tratar en posteriores artículos de esta misma publicación o en algún curso subvencionado por la Universidad de Murcia.

Para los que tengáis ganas de conocer más directamente este maravilloso mundo de sonidos submarinos, podéis poneros en contacto con nosotros en la SMEC (Sociedad Murciana para el Estudio de los Cetáceos) y participar en las singladuras que realizaremos a bordo de una goleta durante todo el año 2004 por el Golfo de Vera, a bordo de la cual os pondremos al día en los nuevos conocimientos y técnicas de estudio que se realizan en torno a estos fantásticos animales que alimentaron la imaginación de numerosos literatos en fábulas y mitologías recientes.

SMEC
(Sociedad Murciana para el Estudio de los Cetáceos)
C/ Tolosa Latour 4. 2ºD.
30201. Cartagena (Murcia) SPAIN.

Dirección URL: www.smec.info
E-Mail: smec@ono.com

Agradecimientos

Gracias a la profesora M^a del Mar Torralva por su inestimable ayuda en la recolección de bibliografía, y especialmente al Dr. Francisco Torrella por mostrarme con su paciencia, toda la ciencia que se puede encontrar en cada minúscula gota de agua.

Bibliografía

Aguilar, A. Borrell, A. and Pastor T. (1999). Biological factors affecting variability of persistent pollutant levels in cetaceans. *J. Cetacean Res. Manage (Special Issue I)*, pp. 83-116.

Alegre, F. (2002). Fisiología sistemática y comparada: Adaptaciones a la inmersión. Tortugas Marinas y Delfines. Manejo, Clínica y Recuperación. Fundación CRAM. 115pp.

Degollada Bastos E. (1998). Anatomía e histología funcionales del sistema de sacos nasales en los odontocetos (Superfamilia Delphinoidea). Ph.D. Thesis. University of Barcelona. Bellaterra. Spain.

Dierauf L.A. and Gage L.J. (1990). Gross necropsy of cetaceans and pinnipeds. In Dierauf L.A. (ed) *CRC Handbook of Marine Mammal Medicine*, CRC Press, Boca Ratón FL. 735 pp.

Fish, F.E. Hui, C.A. (1991) Dolphin swimming- a review. *Mammal Rev.* Vol.21, No.4, 181-195.

Flynn, M. Pfeiffer Jones and Carl J. (1994) Morphometric comparison of the epidermis in several cetacean species. *Aquatic Mammals* 20.1, 29-34.

García, J. (2003). Aspectos quimicofísicos del buceo. XX curso de buceo científico. Universidad Internacional del Mar.

Gazo, M. (2002). Cetáceos. Tortugas Marinas y Delfines. Manejo, Clínica y Recuperación. Fundación CRAM. 115pp.

Geraci, J.R. and Lounsbury, V. (2001). Marine mammal health: Holding the balance in an ever-changing sea. In Peter G. H. Evans and J. A. Raga (ed) *Marine Mammals. Biology and Conservation*, Kluwer Academic, New York. 630 pp.

Jefferson, T.A. Leatherwood, S. Webber, M.A. (1993). *FAO species identification guide. Marine mammals of the world*. FAO and UNEP, Rome. 320pp.

Jiménez P. (1998). Dispositivo de actuación ante varamientos masivos de cetáceos. Varamientos en la Región de Murcia. *Mamíferos Marinos: Clínica y Biología*. VII Curso de Vedema. 12pp.

Ketten, D.R. (1997). Structure and Function in Whale Ears. *Bioacoustics. The International Journal of Animal Sound and its Recording*. Vol.8, pp. 103-135.

Kuiken, T. and Garcia-Hartmann, M. (1991). Cetacean pathology: Dissection techniques and tissue sampling. *Proceedings of the ECS workshop 17*: 39pp.

Moliner, J. (2002). Cetáceos en tierra. *Guardabosques* 15: 5-11.

Reidarson, T.H. (2001). Medicine in cetaceans. In *Zoo and Wild Animal Medicine* 5^o ed. Sea World California. San Diego.

Ridgway, S. et al. (1995). Orphan-induced lactation in Tursiops and analysis of collected milk. *Marine Mammal Science*. 11(2): 172-182.

Sentiel, A. et al. (1992). Anatomical Evidence for a Counter-current Heat Exchanger Associated With Dolphin Testes. *The Anatomical Record* 232: 150-156.

Thewissen, J.G.M. et al. (1996). Evolution of cetacean osmoregulation. *Nature* 381: 379-380.

Williams, T.M. et al. (2000). Sink or Swim: Strategies for Cost-Efficient Diving by Marine Mammals. *Science*. 288. 133-136.

PUBLICIDAD

NUEVOS CURSOS 2004



- MASTER EN PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES
Inicio 21 de febrero de 2004
- TÉCNICO EN GESTIÓN DEL MEDIO AMBIENTE
Inicio 31 de marzo de 2004
- CURSOS CALIDAD - MEDIO AMBIENTE - PREVENCIÓN

TODA LA INFORMACIÓN DE ESTOS Y OTROS CURSOS EN:
www.amycaformacion.com

AMYCA C/ Ricardo Gil, 6 - Bajo. MURCIA. Telf.: 968 22 06 09