

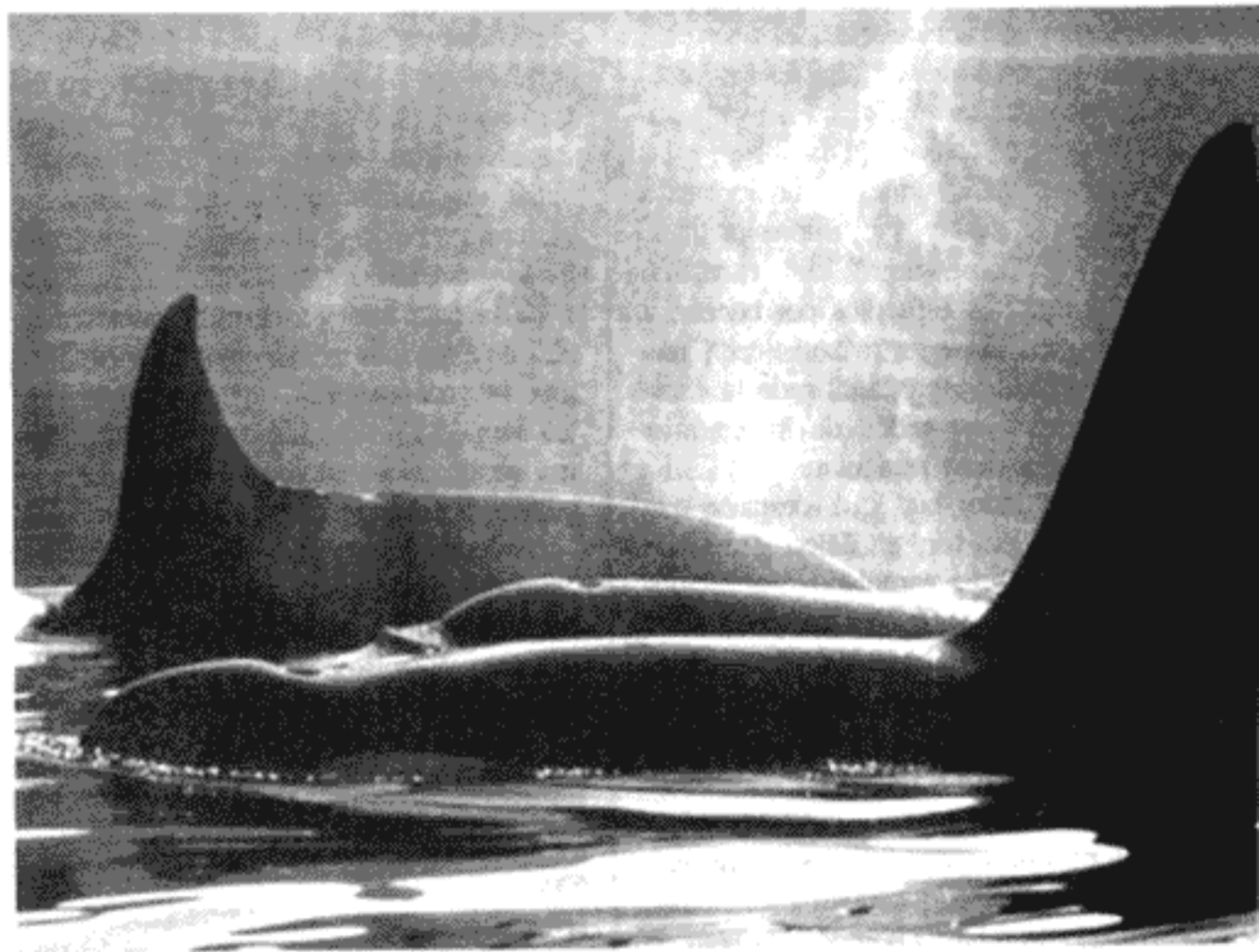
Origen y evolución de los cetáceos

ANELIO AGUAYO LOBO Y CARLOS ESQUIVEL MACÍAS

Con el nombre de mamíferos marinos se denomina normalmente a tres grupos de la clase *Mammalia* que desarrollan su ciclo de vida en los océanos. Entre ellos se encuentra el grupo de las "vacas marinas" o dugongos y manatíes, poco frecuentes en nuestra cotidianidad, excepto en su versión mítica de sirenas, seres mitológicos que atraían con su canto hacia el desastre a todos aquellos que las escuchaban. Antiguamente se les representaba como mujeres con cola de pez, que era la imagen que los marinos se hacían al ver a los manatíes amamantando a sus crías. Este grupo de mamíferos marinos fue por lo tanto bautizado como el orden de los Sirenios.

Un grupo mucho más conocido es el de los lobos marinos y focas, aunque en la actualidad se piensa que no son un grupo natural, sino que más bien son descendientes de diferentes linajes del orden de los carnívoros, a pesar de que, a primera vista, parezcan un grupo único por su grado de adaptación al medio acuático. El tercer grupo y el que muestra mayor transformación para la vida acuática es el que incluye a las ballenas y delfines así como a las orcas, los cachalotes y a los menos conocidos zifios, hiperodontes y mesoplodontes; estos últimos son organismos de buen tamaño y de vida completamente alejada de la costa. Todos ellos son mamíferos del grupo de los cetáceos, de cuyo origen y evolución trata este artículo.

Anelio Aguayo Lobo y Carlos Esquivel Macías: Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, UNAM.



Los cetáceos han perdido casi por completo la característica más evidente de los mamíferos: el pelo, aunque conservan otras que pudieran causar confusión con los peces, tal como su forma de "torpedo". Por lo tanto es aún más difícil aceptar o comprender que las ballenas y delfines tengan su origen en los mamíferos terrestres y no en algún tipo de pez o reptil marino del pasado geológico.

Resulta inquietante descubrir que todavía hay autores que apoyan ciertas hipótesis sobre el origen de los cetáceos, que anteriormente ya habían sido rechazadas por su inoperancia teórica y por su carencia de pruebas. Un ejemplo de ello lo es

el planteamiento de que los cetáceos se originaron a partir de reptiles marinos del Mesozoico, como el Ictiosaurio (Laenen, 1975). Esta hipótesis, seguramente proviene de la dificultad que existe para visualizar la manera en que los vertebrados han cambiado de medio. Sin embargo, si se estudian cuidadosamente, las numerosas ocasiones en que esto ha ocurrido, se podrá entender que mamíferos placentados, tan claramente derivados de los mamíferos terrestres, no pudieron tener su origen en tipos reptilianos, directamente y de manera independiente al resto de los mamíferos. Esta apreciación no se funda sólo en la imagen o semejanza superficial

(que sí existe entre los ictiosaurios y los cetáceos), sino que se basa en múltiples criterios de analogías y homologías que van desde la genética hasta la paleontología y que apuntan hacia la relación entre los cetáceos y algunos mamíferos terrestres.

En cuanto al origen de los cetáceos, quizá uno de los problemas que más nos cuesta trabajo aceptar, es el referente a la incursión de los mamíferos al medio acuático, posiblemente porque se sabe que este grupo de vertebrados tuvo su origen en un grupo de reptiles terrestres primitivos denominados terápsidos, hace aproximadamente unos 200 millones de años. Por lo tanto, es importante dar a conocer la manera en que los mamíferos se adaptaron al mar, a través de transformaciones muy espectaculares, lo que convierte a los cetáceos en uno de los órdenes más extraños dentro de los mamíferos. Los cetáceos han sufrido estas adaptaciones estructurales y funcionales a niveles increíbles y tan impresionantes, que si nos comparamos con ellos, en cuanto a nuestros esfuerzos por bucear, y aun considerando nuestra sofisticada tecnología, resulta desproporcionada la enorme ventaja en capacidad de inmersión y movilidad que ellos presentan.

Por otro lado, hay que destacar que los cetáceos no son el único grupo de vertebrados que ha cambiado o esté cambiando hacia el medio marino, ya que los mamíferos han conquistado el agua al menos por tres caminos independientes.

El paso del agua a la tierra

La historia que aquí queremos narrar, cae en el terreno de lo que podríamos llamar "la historia se repite", porque más bien es la regla y no la excepción, el que algunos grupos se aventuren hacia nuevos ambientes buscando alimento. Recordemos también que este fenómeno puede deberse a cambios climáticos y/o geológicos más o menos drásticos y al subsecuente vacío que pueden dejar organismos dominantes muy especializados. El primero de estos cambios es el que realizan los vertebrados del medio acuático al aéreo, o el paso del agua a la tierra. Todos sabemos que ambos medios son fluidos, sin embargo, el agua es más densa y viscosa que el aire y tiene un calor específico mayor. Además, el agua absorbe la luz más rápidamente que el aire y tiene un índice de refracción más alto. Asimismo, conduce el sonido

más rápido que el aire. Muchos lectores se preguntarán por qué comparar el agua con el aire, cuando lo que habría que comparar es el agua y la tierra. Pero la respuesta es simple, los mamíferos terrestres vivieron y viven rodeados de un ambiente aéreo. En consecuencia, el plan estructural de los vertebrados que viven en el medio acuático es diferente al de los que viven en el medio terrestre, es decir aéreo, porque dicho plan se ha enfrentado a dos medios diferentes, de lo que han resultado adaptaciones anatómicas y fisiológicas también diferentes.

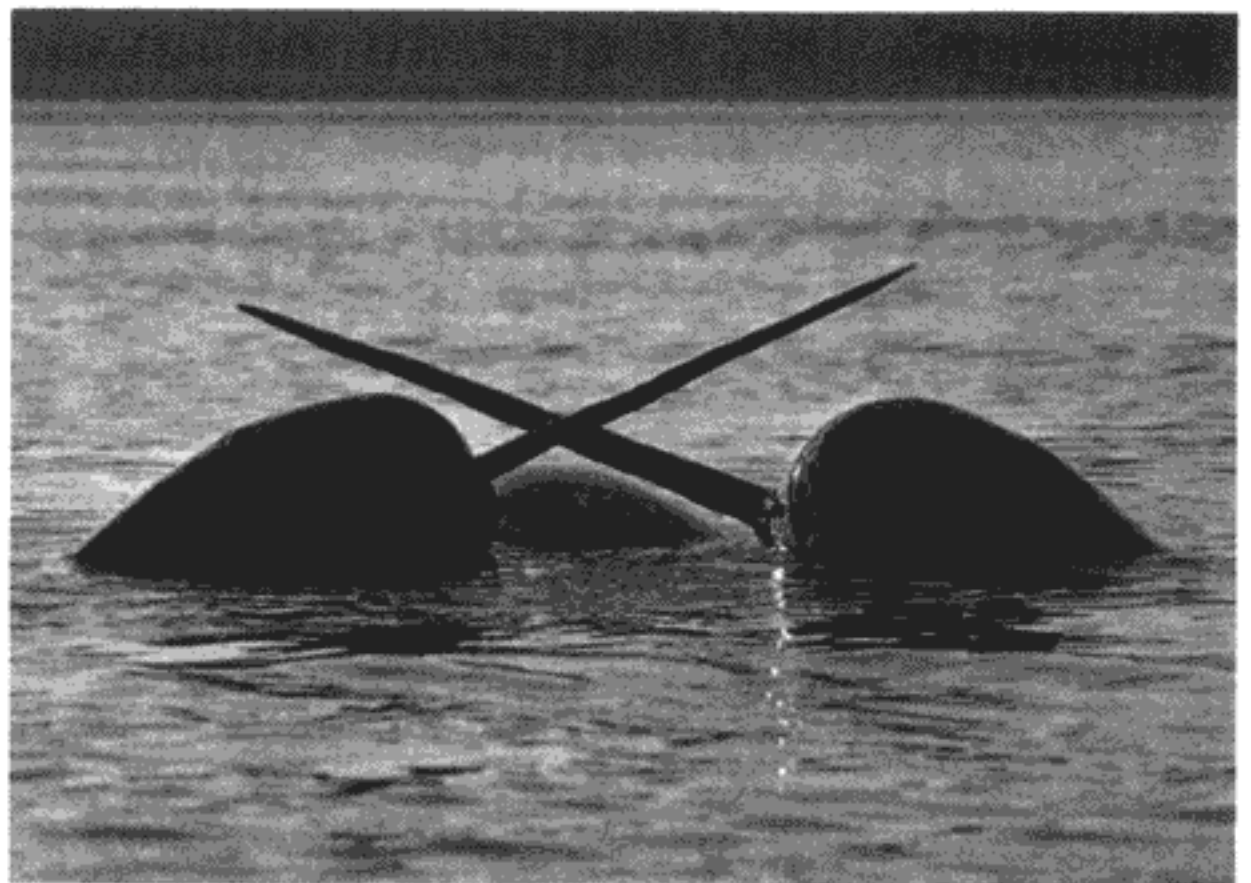
Evolutivamente hablando, el paso de los vertebrados del medio acuático al terrestre durante el periodo Devónico (hace 400 millones de años), significó varios cambios en su anatomía y su fisiología, como respuesta a un medio distinto. Los cambios más importantes radican en la formación de extremidades, con lo que resuelven el problema del peso fuera del agua; las modificaciones en la columna vertebral, con lo que se ayudan a enfrentar la gravedad; la formación del esternón y de la caja torácica cerrada, para sostener los órganos en su lugar y, por último, las adaptaciones de los órganos de los sentidos, como el oído y la vista. Entre los cambios anteriores no figuran los pulmones, pues contrariamente a lo que se pudiera pensar, ya se habían formado en un grupo de peces primitivos y sólo se hicieron más complejos en los primeros anfibios, al mismo tiempo que las vías respiratorias superiores.

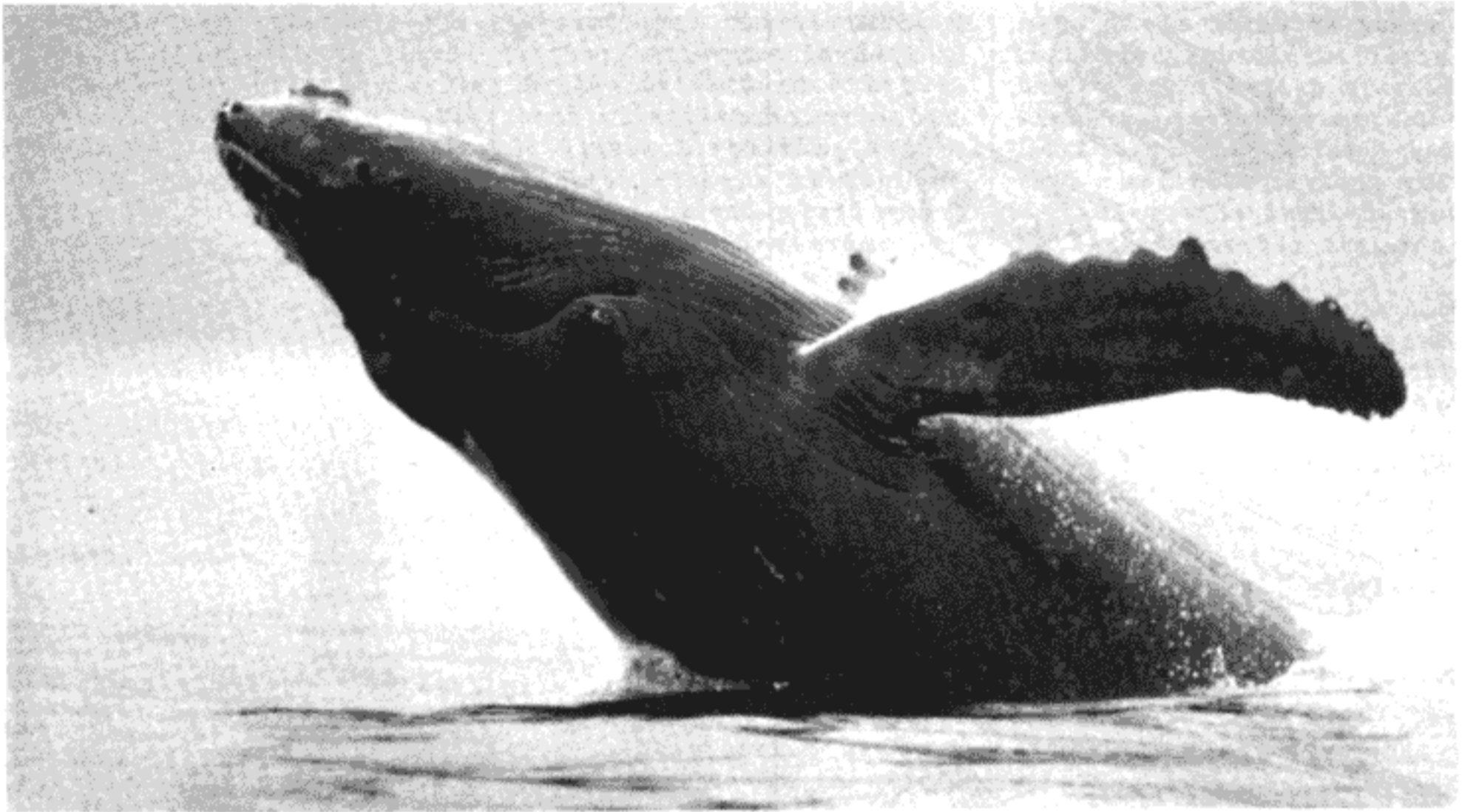
De esta manera, las homologías entre los elementos óseos de las extremidades de los peces ancestrales (crossopterigios-ripidistios) y los primeros anfibios conocidos son relativamente claras, lo que también sucede, en general, con los elementos óseos del cráneo. Otra semejanza importante, se puede encontrar en la estructura de los dientes, pues ambos grupos muestran un modelo complejo denominado "laberintodonto". Finalmente también es parecida la posición de las narinas internas y externas.

Todo lo anterior documenta, de forma satisfactoria, la transición agua-tierra, lo que representó un evento evolutivo de primera magnitud y se consolidó a través de los reptiles, cuando éstos lograron su independencia reproductiva fuera del agua. Posteriormente la diversificación de los vertebrados terrestres fue de tal envergadura, que abarcaron todas las variantes posibles: voladores, excavadores, corredores y trepadores. Pero no quedó ahí la diversificación, como veremos más adelante.

El paso de la tierra al agua

El segundo gran cambio de ambiente que sufren los vertebrados, lo protagonizan los tetrápodos. Es un suceso menos conocido y se centra en la tendencia a ocupar también el medio acuático en el curso de la radiación adaptativa de todos ellos. Tomemos algunos ejemplos. Los propios anfibios de la era Paleozoica, como los le-





pospondilos, que incluyeron dos órdenes acuáticos: a. El de los anfibios antracosaurios, de hábitos terrestres, en los que la familia de los embolomeros se especializó secundariamente para vivir y explotar recursos acuáticos. b. El de los laberintodontos, donde el orden de los temnospondilos también fue acuático. De los anfibios actuales, sabemos que los caudados, como las salamandras y los tritones, tienen fases definitivamente acuáticas cuando son adultos, y, aunque conservan las branquias de la larva, adquieren también branquias externas, con las que complementan a las primeras. Este es un fenómeno espectacular al que se le ha llamado Neotenia y nos muestra la manera en la que se dieron ciertos "saltos" evolutivos; en este caso la recolonización del medio acuático. Más aún, en el caso de los Anura o ranas, existe una especie marina, *Rana cancrivora*, la cual pasa parte de su vida en el mar, alimentándose. Su adaptación fisiológica para tolerar la alta concentración de sal del agua de mar, consiste en el uso de la urea como osmoregulador. Además la alta concentración de iones en su medio interno, es menor que la conocida en los condrictios o tiburones (Gordon *et al.*, 1964).

La tendencia a incursionar en el medio acuático es más conocida en los reptiles y en las aves. Los cocodrilos, las tortugas

dulceacuácolas y marinas y las serpientes marinas del género *Pelamys*, son buenos ejemplos de los primeros, junto con las formas fósiles menos conocidas de: notosaurios, plesiosaurios, placodontos e ictiosaurios, que constituyeron faunas marinas enteras que dominaron en el Mesozoico, al mismo tiempo que los dinosaurios en tierra firme. Como ejemplos de algunas de las numerosas especies de aves, con adaptaciones anatómicas y fisiológicas para el agua, podemos mencionar a los pingüinos, albatroces, petreles, cormoranes, pelícanos, fragatas, gaviotas, patos, gansos y cisnes, junto con los géneros fósiles de *Ichthyornis* y *Hesperornis*.

La incursión al medio acuático de los mamíferos

A nuestro juicio, con los ejemplos expresados anteriormente, es más fácil comprender la adaptación de los mamíferos al agua, ocurrida en por lo menos tres distintas ocasiones, como se desprende de los siguientes planteamientos: los mamíferos que ya dominan el medio acuático son los cetáceos, los sirenios y los carnívoros (estos últimos por medio de focas, lobos marinos, morsas y nutrias marinas). Sin embargo también dominan el medio acuático los roedores, específicamente la familia Castoridae y quedaría

aún a discusión si se consideran como marinos o acuáticos a algunos más, que, de hecho lo son, como los hipopótamos africanos, los tapires mesoamericanos o los osos polares.

De acuerdo con lo expuesto no debe sorprendernos el que existan mamíferos marinos y sería bueno que con esta mentalidad nos abocáramos al entendimiento de algunos detalles sobre el origen y evolución de los cetáceos.

Origen de los cetáceos

Al respecto, los especialistas han planteado dos preguntas básicas: ¿de qué grupo de mamíferos ancestrales provienen los Cetacea? y, si los dos subórdenes actuales, Odontoceti y Mysticeti, tienen un mismo origen (Aguayo, 1987).

Para responder a la primera pregunta, se han sugerido distintas hipótesis, es decir varios posibles órdenes de procedencia. Sin embargo, el más probable se sitúa en un grupo intermedio entre los carnívoros y los ungulados (Weber, 1886, citado por Kulú, 1972). Aunque también se ha intentado relacionarlos con el orden insectívoros, pero no hay argumentos sólidos a favor de esta última posibilidad.

En cuanto a la afinidad con el tronco de los ungulados, se ha señalado que tanto en ellos como en los cetáceos, la cópula es de

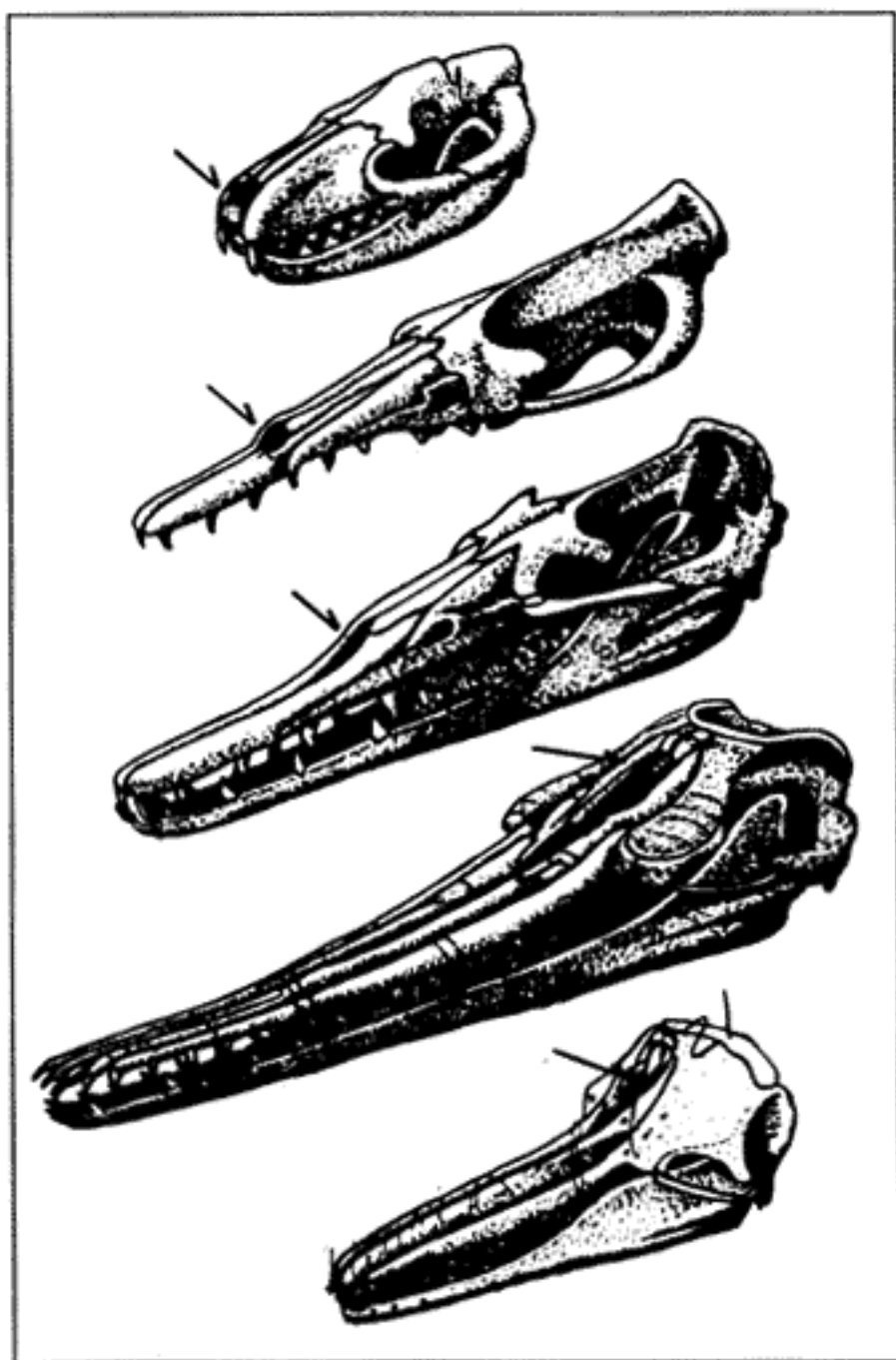


Figura 1. Secuencia evolutiva con base en el cráneo. De arriba hacia abajo: *Mesonichidae*, *Protocetidae*, *Basilosauridae*, *Squalodontidae* y *Delphinidae*. La flecha marca el desplazamiento del orificio nasal. Obsérvese también la tendencia progresiva a la homodoncia.

muy corta duración, el pene carece de hueso, la estructura de los cuerpos cavernosos es muy similar, el estómago se divide en tres o cuatro compartimientos y, sobre todo, destaca el hecho de que las proteínas séricas tienen una afinidad de 11%; esta cifra es alta en comparación con cualquier otro orden de mamíferos (Boyden y Gemroy, 1950). Un elemento más a tomar en consideración es la presencia de fructosa en el líquido amniótico de ambos.

Por otro lado la afinidad con el orden de los carnívoros, se sitúa en torno a características como los hábitos comunes de alimentación, la dentadura heterodonta de tipo carnívoro en los fósiles de algunos de los cetáceos más antiguos o arqueocetos de la familia *Protocetidae* y la estructura del diafragma en ambos, siendo en conjunto un grupo de afinidades con menor fuerza que las que existen con los un-

gulados, pero digno de tomarse en cuenta.

Como es obvio que los cetáceos no provienen de los ungulados o carnívoros de hoy en día, sino que tienen relación, o comparten caracteres entre sí y con el grupo fósil de los ancestros de los ungulados, carnívoros y arqueocetos, resulta lógico señalar que el ancestro de los cetáceos se encuentra en algún "punto" entre el origen de los otros dos órdenes. Tal suposición se ve reforzada por el surgi-

miento de diversos fósiles que parecen confirmar esta mezcla de caracteres ungulado-carnívoro-cetáceo y que conforman un grupo de organismos que se reunieron en algún momento, ya sea en los protoungulados o en los arqueocetos. Así, se han reinterpretado fósiles como *Ichthyolestes* y *Gandakasia*, clasificados en principio como protoungulados de la familia *Mesonichidae* (West, 1980), pero que actualmente se les cataloga como arqueocetos o

**CLASIFICACIÓN DEL SUBORDEN DE LOS ARQUEOCETOS
HASTA EL NIVEL DE SUBFAMILIA**

Familia <i>Protocetidae</i>	Stromer 1908
Familia <i>Basilosauridae</i>	Cope 1868
Subfamilia <i>Dorudontinae</i>	(Miller, 1923)
Subfamilia <i>Basilosaurinae</i>	(Cope, 1868)

cetáceos verdaderos, pertenecientes a la familia Protocetidae, es decir, cetáceos primitivos.

Así los mesoníquidos contaban con dentadura heterodonta, eran del tamaño de un perro y sus extremidades presentaban estructura de ungulados, además se encontraron en localidades que rodeaban al antiguo Mar de Tethis, en ambientes de sedimento costero y en los mismos sitios donde, posteriormente, se encontraron los fósiles de los arqueocetos, por lo que reúnen todas las características para estar en el tronco común de los ungulados, de los creodontos (carnívoros primitivos) y de los cetáceos arcaicos.

Los arqueocetos

L.G. Barnes y sus colaboradores del Museo de Historia Natural de los Ángeles, han revisado todo el material sobre los cetáceos fósiles y plantean que la aparición de los arqueocetos pudo ocurrir durante la época Eocena (aproximadamente 50 M A), en Nigeria, Egipto, India y Pakistán, con los géneros *Pappocetus*, *Protocetus*, *Indopacetus* y *Pakicetus*, respectivamente. Todos estos géneros son parecidos en características craneales, tales como la presencia de huesos turbinales, lo que evidencia inequívocamente la existencia del olfato, sentido éste que tiene gran utilidad en un medio terrestre, pero no en el medio acuático, por lo que tiende a perderse en las familias posteriores. Junto a ello los orificios nasales comienzan a desplazarse hacia atrás, alterando la relación y proporción de la mayoría de los huesos del cráneo; a este proceso se le denomina comúnmente telescopización y, en los arqueocetos citados, es este proceso el que ha llevado a las fosas nasales hasta la altura de los premolares (figura 1). Por cierto que la telescopización es uno de los caracteres con los que se diagnostica a los cetáceos. Los arqueocetos tenían también dentadura heterodonta con tres incisivos, un canino y cuatro premolares, que es la fórmula dental primitiva de los mamíferos en general. Existe en una familia posterior, la de los basilosaurios, con una fuerte tendencia hacia la homodoncia, aunque ya sólo tienen molares triangulares y no se observan diferencias entre caninos e incisivos.

La distribución de los restos fósiles de los primeros arqueocetos, sugiere que su origen ocurrió en el brazo occidental del Mar de Tethis, durante la época Paleocena, dispersándose a través de las aguas someras y costeras de dicho mar. Hoy en día se

sabe que algunos cambios evolutivos se iniciaron durante aquellos periodos en los que las condiciones de vida de las poblaciones eran poco favorables; es decir, cuando el tamaño de la población y el área de distribución se redujeron. Los taxa intermedios, aunque son exitosos en su ambiente local, lo son menos que sus ancestros y que sus descendientes, pero, si se toma en cuenta que vivieron en un ambiente de transición, que generalmente duraba muy poco, y que ello provocó que su distribución fuera restringida, se explica la pobre existencia de fósiles. Además, posteriormente, la radiación adaptativa de los descendientes, el refinamiento de los mecanismos de aislamiento y el aumento en el tamaño de las poblaciones, mejoró el registro de fósiles.

Según Gaskin (1982), el lento deterioro del clima cálido marino del Mar de Tethis, aunado a la creciente competencia con otros mamíferos por los recursos existentes, proporcionaron las condiciones ideales para que se diera una selección

natural entre los cetáceos. Se acumularon las mutaciones favorables, con lo que aumentó la materia prima de la variación sobre la cual trabaja la selección natural. Dichas mutaciones se dispersaron rápidamente, a través de las poblaciones pequeñas y aisladas de los arqueocetos, dando origen posteriormente a los odontocetos y misticetos actuales.

Si observamos la figura 2, que muestra la filogenia de los cetáceos, se notará que entre los arqueocetos (cetáceos verdaderos, pero arcaicos) y los dos grupos actuales, existen aún algunas lagunas de fósiles y queda la subsecuente duda para poder asignar una línea filogenética hacia los misticetos o hacia los odontocetos, a partir de los primeros. Sin embargo existen algunas indicaciones de los respectivos orígenes de cada uno.

Primeros odontocetos

De acuerdo con la figura 2, (Barnes, *et al.*, 1985), la familia de los agorófid

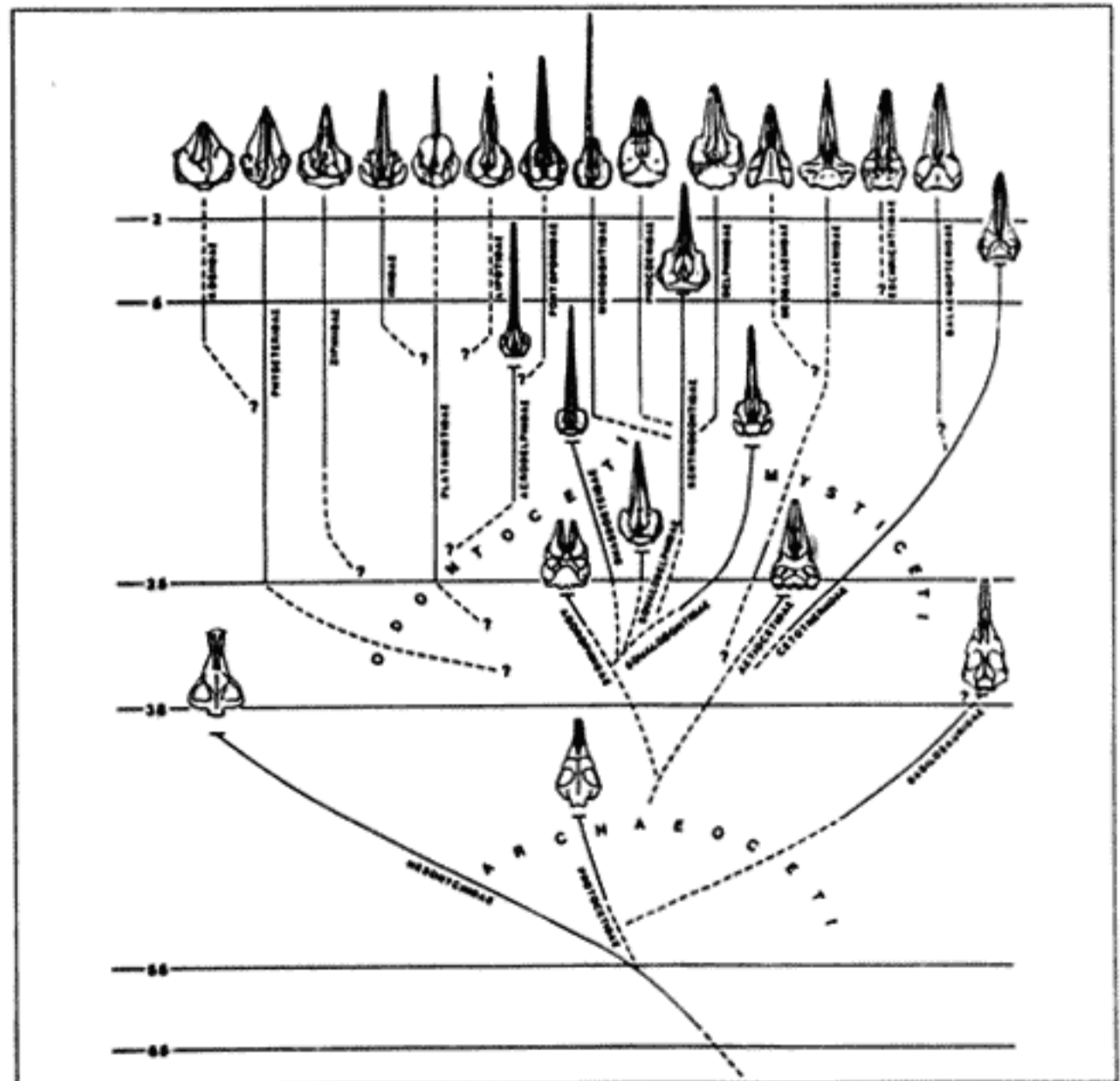


Figura 2. Filogenia de las familias de cetáceos. Las líneas punteadas indican carencia de registro fósil. En la mayoría de los casos, los cráneos son de los géneros tipo de la familia. Los números en las fronteras de las épocas, son en millones de años.

**CLASIFICACIÓN DEL SUBORDEN ODONTOCETI
HASTA EL NIVEL DE SUBFAMILIA**

Superfamilia	Squalodontoidea	(Brandt, 1872)
Familia	Agorophiidae	Abel, 1913
Familia	Squalodontidae	Brandt, 1872
Subfamilia	Patriocetinae	(Abel, 1913)
Subfamilia	Squalodontinae	(Brandt, 1872)
Familia	Rhabdosteidae	Gill, 1871
Familia	Squalodelphidae	Dal Piaz, 1916
Superfamilia	Platanistoidea	(Gray, 1863)
Familia	Acrodelphidae	Abel, 1905
Familia	Platanistidae	Gray, 1863
Familia	Pontoporidae	(Gill, 1871)
Subfamilia	Parapontoporinae	Barnes, 1984
Subfamilia	Pontoporiinae	(Gill, 1871)
Familia	Inidae	Flower, 1867
Familia	Lipotidae	Zhou quian y Li, 1979
Superfamilia	Delphinoidea	(Gray, 1871)
Familia	Kentriodontidae	(Slijper, 1936)
Subfamilia	Kampholophinae	Barnes, 1978
Subfamilia	Kentriodontinae	Slijper, 1936
Subfamilia	Lophocetinae	Barnes, 1978
Familia	Albireonidae	Barnes, 1984
Familia	Monodontidae	Gray, 1821
Subfamilia	Orcaellinae	(Nishiwaki, 1963)
Subfamilia	Delphinaptrinae	Gill, 1871
Subfamilia	Monodontinae	(Gray, 1821)
Familia	Phocoenidae	(Gray, 1825)
Subfamilia	Phocoenoidinae	Barnes, 1984
Subfamilia	Phocoeninae	(Gray, 1825)
Familia	Delphinidae	Gray, 1821
Subfamilia	Steninae	(Fraser y Purves), 1960
Subfamilia	Delphininae	(Gray, 1821)
Subfamilia	Lissodelphininae	Fraser y Purves, 1960
Subfamilia	Cephalorhynchinae	Fraser y Purves, 1960
Subfamilia	Globicephalinae	(Gray, 1866)
Superfamilia	Ziphoidea	Fraser y Purves, 1960
Familia	Ziphiidae	Gray, 1865.
Superfamilia	Physeteroidea	Gray, 1821
Familia	Kogiidae	Gill, 1871
Familia	Physeteridae	(Gray, 1821)
Subfamilia	Hoplocetinae	Cabrera, 1826
Subfamilia	Physeterinae	(Gray, 1821)

(mamíferos parecidos a los delfines) es el ancestro de los esqualodontos (delfines con dientes semejantes a los de tiburón) y, a su vez, desciende directamente de la familia de los protocetidos (primeros cetáceos) y de la familia de los dorodontidos (verdaderos cetáceos arcaicos) es decir, de aquellos cetáceos que aún tenían una heterodoncia pero que también mostraban una telescopización marcada. Los especialistas están de acuerdo en que los esqualodontos constituyen el grupo de los odontocetos, a partir del cual se originaron, a la larga, todos los otros odontocetos

cuyos cráneos se ilustran en la figura 2. Los descendientes más antiguos de los esqualodontos, parecen ser la superfamilia de los cachalotes o fiseteridos, que cuenta con tres especies en la actualidad; la más notoria de ellas es la *Physeter macrocephalus*, conocida como cachalote; es la especie más grande de los odontocetos y, para algunos, el "campeón" de las inmersiones profundas, pues llega a alcanzar hasta a más de mil metros de profundidad, durante 60 ó 90 minutos.

Otra familia de antigüedad similar, a juzgar por sus fósiles, es la de los zifidos

(zifios o ballenas "nariz de botella"), la cual agrupa cinco géneros de organismos muy poco conocidos, en cuanto a biología en general. Son organismos que oscilan entre los 4 y los 10 metros de tamaño y, muy probablemente, son también excelentes buzos; los géneros son: *Berardius*, *Ziphius*, *Tasmacetus*, *Hyperoodon* y *Mesoplodon* (todos ellos organismos carentes de nombre vulgar, debido a su rarísima aproximación al ser humano, aunque en algunas regiones de México se les engloba dentro de la denominación de "buceos"); son especies poco estudiadas y de gran importancia taxonómica y evolutiva.

La superfamilia de los delfines de río es otra de antigüedad comparable a las dos anteriores. Actualmente habitan casi exclusivamente en agua dulce, en los más grandes sistemas fluviales del mundo, y están representados por cinco especies: *Platanista gangetica* y *P. minor*, llamados "Susu" en los ríos Ganges, Brahamaputra y Meghna en India. El "Beiji" o *Lipotes vexilifer*, vive en el río Yangtze y Tsing-tang en China continental. El "Boutu" o (delfín rosado) *Inia geoffrensis* de los ríos Amazonas y Orinoco de Sudamérica y, por último, el delfín del Río de la Plata o "franciscana", (*Pontoporia blainvillei*), que habita en aguas salobres, principalmente en los estuarios y nos muestra el paso intermedio entre los cetáceos de agua salada y los de agua dulce. Este grupo parece originarse en el Oligoceno, hace unos 30 millones de años. Los delfines modernos de la familia Delphinidae y las otras familias incluidas en la superfamilia Delphinoidea, son relativamente más recientes y parten de los kentriodontidos, durante el Mioceno, hace unos 25 millones de años. La familia Monodontidae incluye a la mal llamada ballena blanca o "beluga" y al "narval", famoso por haber inspirado el mito de los unicornios, gracias a su diente que sobresale hacia el frente, como si se tratara de un cuerno; también se incluye aquí al delfín de Irrawadi (*Orcaella brevirostris*), poco conocido. En realidad es marino y vive en aguas costeras y en los deltas de los ríos de Indochina e India; pero a diferencia del delfín del Río de la Plata, penetra aguas arriba varios kilómetros, constituyendo otro ejemplo de evolución o transición de los cetáceos hacia el agua dulce.

La familia Delphinidae es la más diversa de todos los cetáceos, contiene 16 géneros, de los cuales 13 habitan en aguas mexicanas. Estos son: *Steno* (delfín



Foto: Jorge Urbán

de dientes rugosos), *Delphinus* (delfín común), *Tursiops* (delfín de acuario) *Stenella* (delfín moteado), *Grampus* (delfín gris), *Globicephala* (ballena piloto), *Feresa* (ballena asesina pigmea), *Peponocephala* (ballena cabeza de melón), *Orcinus* (orca), *Pseudorca* (falsa orca), *Lagenorhynchus* (delfín de dientes oblicuos), *Lagenodelphis* (delfines listados), *Lissodelphis* (delfín liso), *Cephalorhynchus* (delfín de costados blancos), *Sotalia* (delfín fluvial) y *Sousa* (delfín jorobado), siendo los tres últimos los únicos que no se pueden encontrar en aguas mexicanas.

Por último, la familia Phocoenidae o de las marsopas, agrupa cuatro géneros: *Phocoena* (marsopa común), *Australophocoena* (marsopa del sur), *Phocoenoides* (marsopa de Doll) y *Neophocoena* (marsopa sin aleta). Son organismos de aguas templadas y México sólo tiene una especie, que es endémica del Golfo de California, conocida por los pobladores del Alto Golfo como "vaquita" o "cochito". Existen algunas dudas de cómo llegó a habitar esa región, actualmente tan alejada de las poblaciones de otras especies del género, por lo que es interesante desde el punto de vista evolutivo.

Primeros misticetos

Si observamos de nuevo la figura 2, nos daremos cuenta que el fósil más antiguo, relacionado directamente con las grandes ballenas, es el *Aetiocetus*, del Oligoceno (que data de aproximadamente unos 35

millones de años). Cuando fue descubierto se le clasificó, en principio, como un arqueoceto (Emlong, 1966), pero posteriormente fue ubicado como un misticeto verdadero (Van Valen, 1968), demostrando con ello que los cetáceos con barbas se originaron de los arqueocetos; este primer fósil fue localizado en Etiopía, África.

Muy emparentado con aquel fósil africano, se encontró otro que tal vez represente la primera diversificación de los misticetos. Los investigadores están de acuerdo en que este grupo dio origen a unas ballenas, quizá las más conocidas entre otras cosas por su gran tamaño, que son las ballenas azules (*Balaenoptera musculus*), de las cuales el ejemplar más grande que se encontró en el hemisferio sur, midió 32 metros y alcanzó unas 140 toneladas de peso. Esta ballena tiene parientes de otras cuatro especies, llamadas en conjunto "Rorcuales" o familia Bala-

nopteridae; el fósil en cuestión se conoce como *Cetotherium* o "mamífero ballenoi-de".

Otra familia de grandes ballenas es la de las francas o verdaderas, (Balaenidae), la que, según Barnes (1985), se originó directamente de los etiocetidos, antecesores de los cetoteridos, pero ya en la época Miocena hace unos 25 millones de años. Lo mismo pudo pasar con la familia Neobalaenidae, donde se clasifica el misticeto más pequeño conocido, *Caperea marginata*, o la ballena franca pigmea, que alcanza sólo 6 metros de longitud. Lamentablemente no se conocen fósiles de esta especie para poder apoyar tal hipótesis.

La familia de la ballena gris (*Eschrichtius robustus*) en la actualidad está representada por una sola especie y es la que se reproduce periódicamente en las aguas mexicanas de Baja California Sur en invierno y se alimenta en el verano en aguas de Alaska, principalmente en aguas de temperaturas subpolares. Esta especie pertenece a la familia Eschrichtiidae, que sólo presenta subfósiles desde la época Pleistocena, por lo tanto no hay evidencia de que se haya originado también de los cetoteridos, como lo postula en 1928 Remington Kellog. Esta ballena podría ser la más joven, evolutivamente hablando, entre todos los misticetos, lo que la convierte en una especie muy importante para el estudio de aspectos citogenéticos y poblacionales en el país, tendientes a su conservación y manejo adecuado.

Monofilia o difilia en los cetáceos

Para responder a la segunda pregunta planteada, algunos párrafos antes, la explicación sobre el origen de los cetáceos, hay que decir que la solución parece hallarse en la propuesta del Doctor Barnes *et al.* Sin embargo, no siempre ha sido

CLASIFICACIÓN DEL SUBORDEN MYSTICETI HASTA EL NIVEL DE SUBFAMILIA

Familia	Aetiocetidae	Emlong, 1966
Familia	Cetotheridae	(Brandt, 1872)
Familia	Balaenidae	Gray, 1825
Familia	Neobalaenidae	(Gray, 1874)
Familia	Eschrichtiidae	Ellerman y Morrison Scott, 1951
Familia	Balaeopteridae	Gray, 1864
Subfamilia	Megapterinae	Gray, 1866
Subfamilia	Balaenopterinae	(Gray, 1864)

así, ya que primero Slijper en 1958 y 1962 y luego Yablokov en 1964, argumentaron que el suborden de los arqueocetos era un grupo fósil aislado de los cetáceos y que no tenía ninguna relación con los cetáceos actuales. Otros investigadores como el paleontólogo de Chicago, Romer, en 1966 y Mehldize, en 1976 y 1984, aceptaron una relación filética entre arqueocetos y misticetos, pero supusieron

que los Odontoceti tenían un origen diferente. Recientemente, Van Valen, en 1968 y Gaskin, en 1982, así como Barnes y colaboradores, en 1985, presentaron sus investigaciones y admitieron que existen relaciones filéticas entre arqueocetos y misticetos por un lado y arqueocetos y odontocetos, por otro. Los estudios citogenéticos actuales, llevados a cabo por Kulu en 1972, y, especialmente los reali-

zados por Arnason, en 1969 y 1974, han permitido postular que los odontocetos y los misticetos actuales, tienen un origen monofilético, a partir de los arqueocetos.

Es interesante mencionar que la época de mayor diversidad de los cetáceos ha sido la Oligocena-Miocena, en la que existieron grupos de cetáceos tanto antiguos como algunos más modernos, considerando el nivel de familias.

SEMEJANZAS Y DIFERENCIAS ENTRE ODONTOCETOS Y MISTICETOS

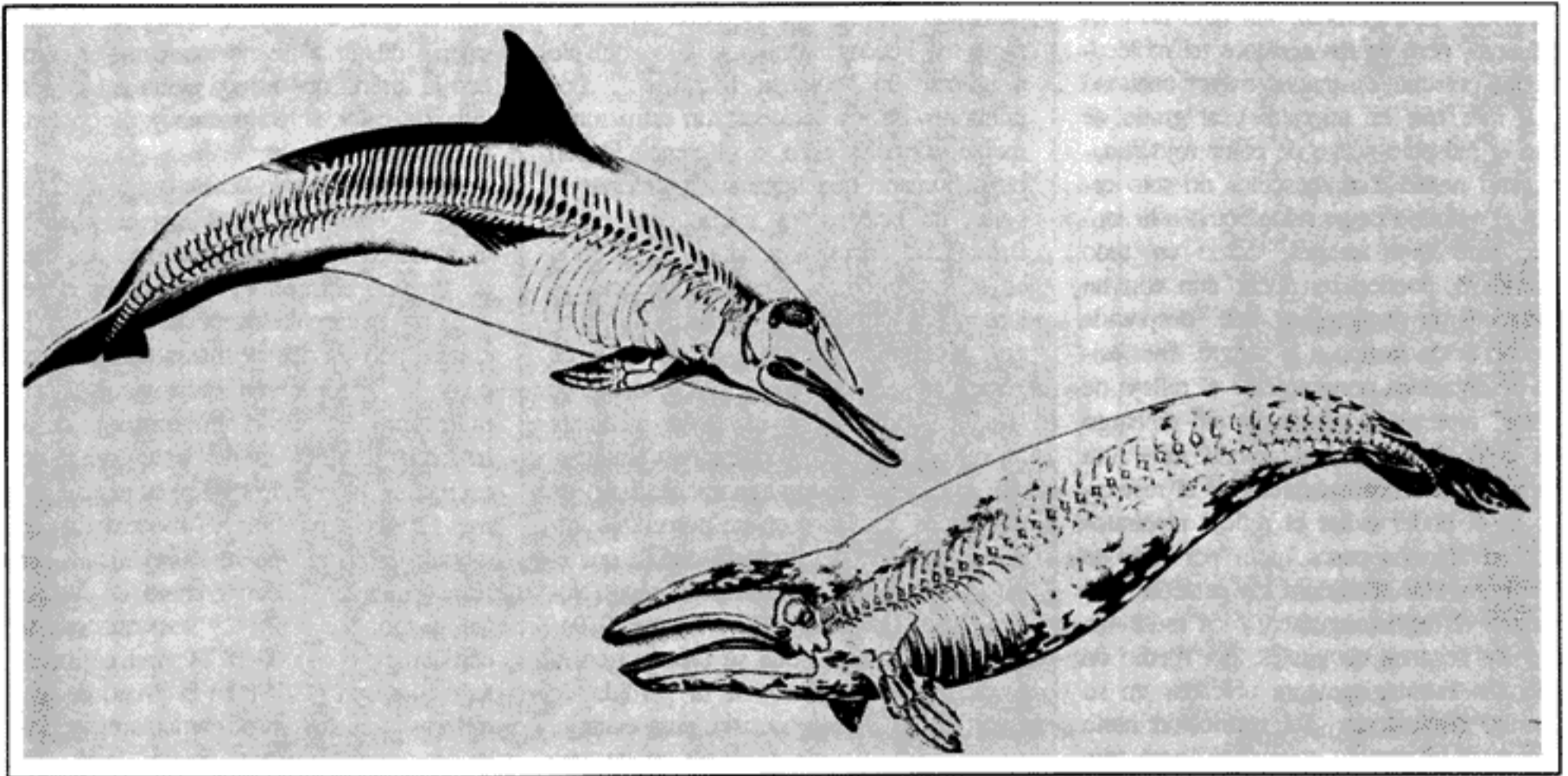
El orden de los cetáceos vivos se divide en misticetos o verdaderas ballenas con "barbas" (arriba) y odontocetos o cetáceos con dientes (abajo) (figura página 25). Resulta común la confusión de muchas especies de cetáceos dentados con las ballenas verdaderas, ya que con gran frecuencia se puede uno topor con nombres que la inducen, tales como ballenas asesinas (*Orcinus orca* u *orca*), ballenas blancas (*Delphinapterus leucas* o *beluga*), ballenas nariz de botella (familia de los zifidos o zifios y mesoplodontes) y ballena piloto (*Glaucocephala* spp. o *calderones*). Pero todos ellos son en realidad cetáceos dentados, que no deben confundirse con las verdaderas ballenas. Para aclarar la diferencia hemos elaborado la siguiente comparación.

Diferencias

	Odontocetos	Misticetos
1. Longitud total	15-18 metros con promedio de 13	10-30 metros con un promedio de 18
2. Surcos gulares	ausentes	presentes
3. Orificios nasales externos	uno	dos
4. Aleta dorsal	a mitad del dorso o ligeramente retrasada	siempre en el tercio posterior del dorso
5. Proporción de cabeza-cuerpo	1/5 a 1/7 de la longitud total	1/5 a 1/3 de la longitud total
6. Perfil del cráneo	concavo y asimétrico, aloja el órgano del espermaceti	convexo y simétrico, aloja las barbas
7. Cavidad bucal	estracha	muy grande
8. Dientes	Presentes	Ausentes. Presentan láminas queratinosas en el paladar, se les conoce como barbas.
9. Capacidad migratoria	Moderada, en general	Muy grande

Sin embargo tanto odontocetos como misticetos, comparten las siguientes semejanzas:

- Huesos porosos y con grasa intersticial.
- Proceso de telescopización craneal, el cual es un proceso peculiar de plegamiento, que ha trasladado las narinas a la cima del cráneo.
- Tendencia a la fusión de huesos del cráneo en los adultos.
- Aislamiento o separación con respecto al cráneo, de los huesos que rodean al oído medio e interno.
- Se pierden las extremidades posteriores y la cintura pélvica, quedando, en ambos subórdenes, un vestigio de fémur, en el cual se insertan los músculos penianos.
- Las extremidades anteriores se transforman en aletas.
- Las aletas caudal y dorsal, son estructuras de neoformación y sin esqueleto.
- Clavícula ausente.
- Escápula en forma de abanico.
- Vértebras cervicales fusionadas.
- Caja torácica con pocas costillas unidas al esternón.
- Pérdida de pelo.
- Capa subcutánea de grasa.
- Glándulas mamarias en posición inguinal.
- No hay otras glándulas cutáneas.
- Tres cavidades digestivas.
- Carecen de vesícula biliar.



Aspectos fisiológicos

Los dos grupos de cetáceos actuales tienen una historia evolutiva larga y sus adaptaciones son producto de una intensa selección que ha dado por resultado una especialización progresiva. Un excelente indicador de tal especialización es la adaptación al buceo profundo, en el que se ven involucradas varias características de los aparatos circulatorio y respiratorio que, como ya hemos mencionado, están presentes en los mamíferos terrestres. Sin embargo, es su notable desarrollo lo que llama la atención.

La gran tolerancia a la "deuda de oxígeno" que se establece durante los periodos de apnea, es decir, cuando se contiene la respiración pulmonar, se debe a que la sangre y los músculos de los cetáceos, tienen gran capacidad para almacenar oxígeno; ello se logra gracias a una densidad mayor de eritrocitos (7-11 millones por centímetro cúbico) y a un mayor tamaño de los mismos (8-10 micras), sobre todo si se compara con organismos terrestres como nosotros (5 millones de eritrocitos por centímetro cúbico). Asimismo los eritrocitos tienen mayor superficie y el volumen de la sangre es un 6.5 % del peso corporal, con todo lo cual la cantidad de hemoglobina total es muy superior. Además los músculos son un reservorio de la molécula mioglobina, por lo que, en todos los mamíferos, el músculo tiene la

capacidad de funcionar aun bajo un gran esfuerzo, pero en los cetáceos tal molécula está presente en mucha mayor cantidad (2.8 más que en terrestres), al grado de que el músculo se ve de color rojo oscuro, casi negro. Los músculos no solo ceden el oxígeno de su mioglobina a la sangre, sino que además, como en todo mamífero, pueden funcionar aun con un metabolismo anaerobio que desprende mucho ácido láctico a la sangre. Este ácido desencadena normalmente el reflejo de "jalar" aire a los pulmones, sin embargo los cetáceos tienen un umbral muy alto para este desencadenamiento y el resultado es el poder evitar el reflejo respiratorio, en algunos casos hasta por más de una hora. Por añadidura los cetáceos restringen el flujo sanguíneo a los músculos y a los órganos no vitales, por medio de válvulas estratégicamente ubicadas en su aparato circulatorio. Tal restricción haría aumentar la presión sanguínea, pero este problema se equilibra, gracias a que cuenta con regiones de ensanchamiento arterial, en las que se puede descargar esa presión extra; son los llamados plexos, formados por intensas redes o anastomosis, los encargados de recibir ese flujo extraordinario. Los plexos están ubicados alrededor de órganos vitales, como la médula espinal, la base del cerebro, los riñones y las glándulas adrenales, y al llenarse, evitan los daños que podría causar la

tremenda presión que ejerce el agua durante los buceos profundos; ello equivale a utilizar un "colchón hidráulico". Los pulmones de los cetáceos son estructuralmente normales pero, a diferencia de un buzo humano que llena sus pulmones al bajar, un cetáceo los vacía, para evitar flotabilidad excesiva y daños por presión en la inmersión; con esto se pueden colapsar, sin introducir nitrógeno en la sangre, problema, que es uno de los más graves en el buceo humano. La acción de la apnea complementa el cuadro mediante un reflejo cardiaco, denominado bradicardia, que consiste en aminorar el ritmo de los latidos cardiacos en un porcentaje importante (30 % del normal), con lo que el esfuerzo cardiaco también disminuye (Norris, 1966, Harrison, 1972 y Slijper 1979).

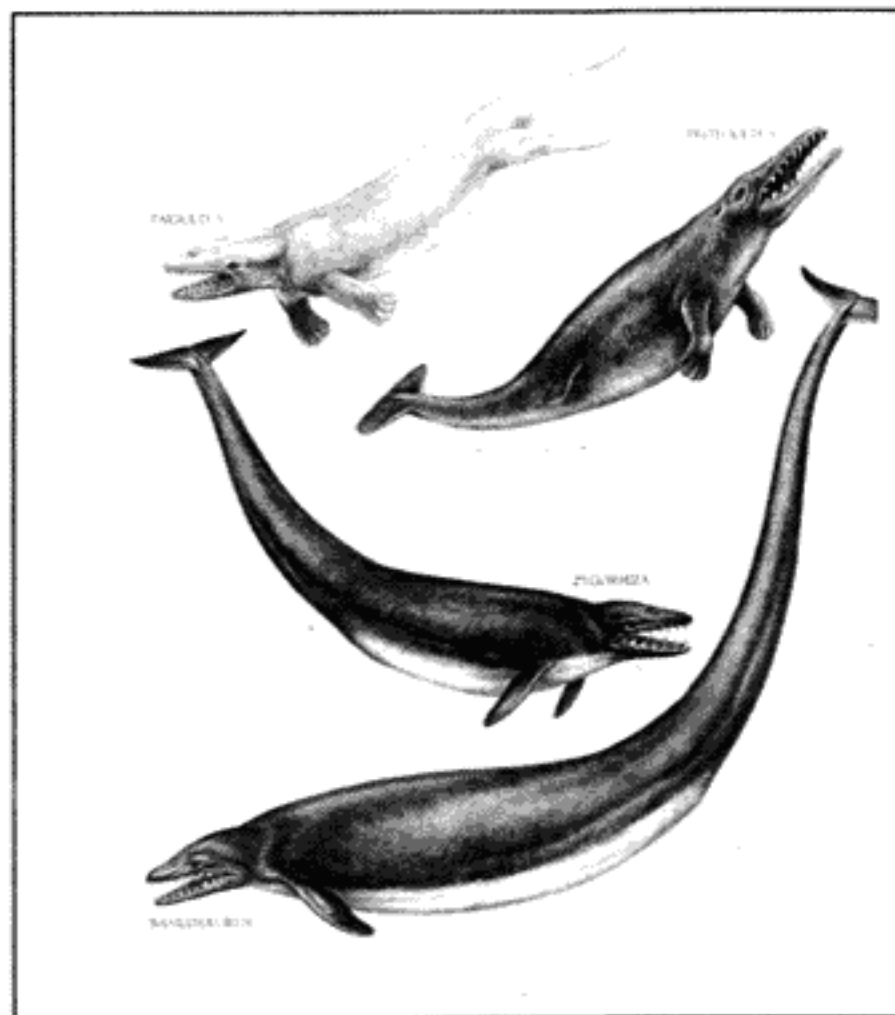
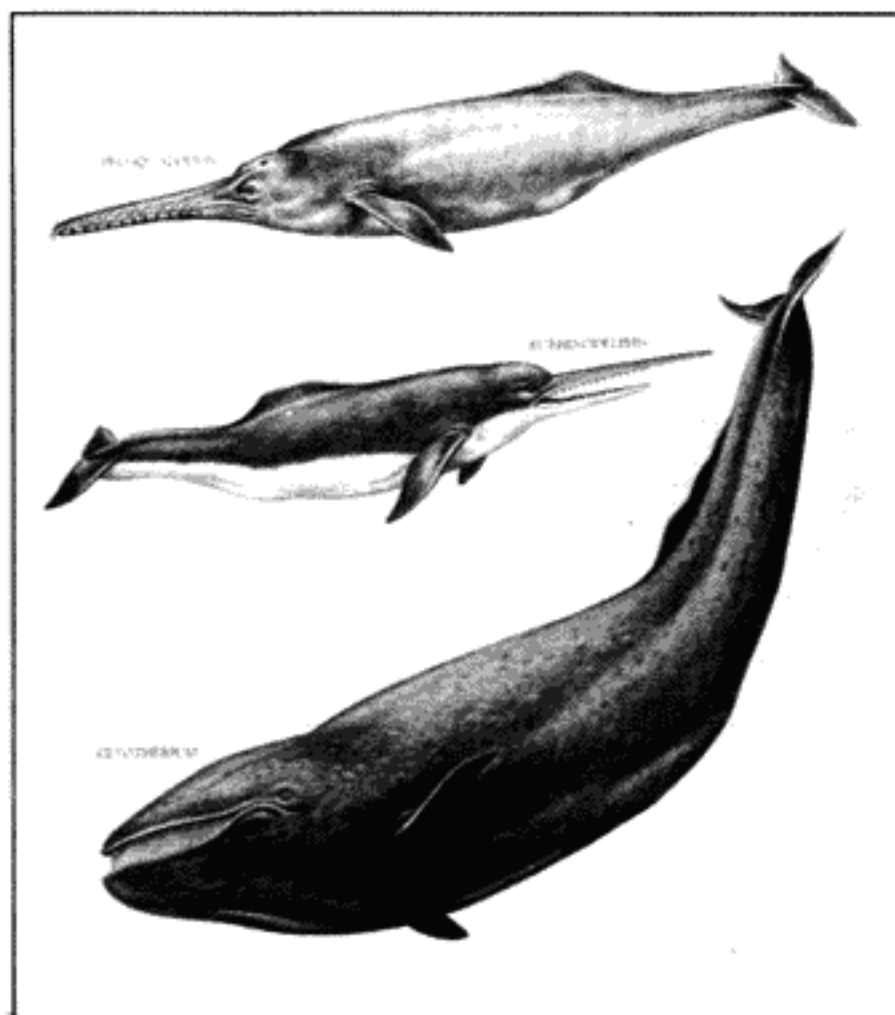
Otro problema que se presenta en el medio acuático radica en la pérdida de calor, como el pelo no sirve para evitarla, se ha perdido y en su lugar existe una gruesa capa de grasa, equivalente al tocino de los ungulados terrestres, por medio de la cual se logra un aislamiento del agua, tan eficaz, que entonces se hace necesario contar con un sistema de enfriamiento, que, por supuesto, no puede ser el sudor (pues carecen de glándulas sudoríparas). Este mecanismo de disipación se ubica en las aletas y funciona como un flujo de contracorriente, basado en que las arterias que salen a la extremidad, es-

tán rodeadas de venas que se pueden contraer o dilatar a fin de intercambiar calor con la arteria que sale y evitar así la pérdida de calor al contraerse y favorecerla al relajarse.

Por otro lado, los cetáceos han eliminado aquellas estructuras que estorban la hidrodinámica de un organismo acuático de "tiempo completo", como lo es el pelaje, las extremidades posteriores con la cintura pélvica, los genitales externos, así como los pezones sobresalientes y el perfil externo del cuello. En contraste desarrollaron la aleta caudal y la forma del cuerpo se hizo hidrodinámica y pisciforme. En pocas palabras, el modelo de vertebrado terrestre vuelve a modificarse en respuesta a un nuevo cambio de medio, "la historia se repite" y los cetáceos se convierten, como dijera el gran paleontólogo Simpson (1945), en el grupo de mamíferos actuales más particulares y extraños, posiblemente junto con los quirópteros. ♦

Referencias

1. Aguayo L., 1987, *El origen de los cetáceos*. 20 pp. No publicado, Facultad de Ciencias, UNAM
2. Aguayo L. A., S. Gaona R., G. López O. y A. Zavala G., 1987, "Algunas especies acuáticas de mamíferos poco estudiadas en México", en: *Memorias del V Simposio sobre Fauna Silvestre*. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, UNAM, 259 pp.





- Amason U., 1969. "The karyotypes of the fin whale", *Hereditas*, 62:237-264.
4. Amason U., 1974, "Comparative chromosomes studies in Cetacea", *Hereditas*, 77:1-36.
 5. Barnes, L. G., D. P. Domning y C. E. Ray, 1985, "Status of studies on fossil marine mammals", *Marine Mammal Science*, 1 (1):15-53.
 6. Boyden, A. y D. Gemeroy, 1950, "The relative position of the Cetacea among the orders of Mammalia as indicated by precipitin tests", *Zoologica*, 35:145-151.
 7. Flower, W. H., 1883, "On Whales present and past and their probable origin", *Proc. Zool. Soc.*, London, pp. 466-513.
 8. Gaskin, D. E., 1982, *The Ecology of Whales and Dolphins*, London: Heinemann.
 9. Gordon, M. S., K. Schmidt-Nielsen y H. M. Kelly, 1961, "Osmotic regulation in the crab-eating frog (*Rana cancrivora*)", *J. Exp. Biol.*, 38:659-678.
 10. Kellog, R., 1928, "The history of Whales, their adaptation to life in the water", *Quarterly Review of Biology*, 3(1):29-76; 3(2):174-208.
 11. Kulu, D. D., 1972, "Evolution and cytogenetics", pp. 503-527, In: S. H. Ridway (Ed.), *Mammals of the Sea: Biology and Medicine*, Springfield, Illinois.
 12. Makino, S., 1948, "The chromosomes of Dall's porpoise, *Phocoenoides dalli*, with remarks on the phylogenetic relation of the cetacea" *Chromosoma*, 3:220-231.
 13. Matthews, L. H., 1969, *The life of Mammals*, Vol.1, London.
 14. Mchedlize, G. A., 1976, 1984, *General features of Paleobiological evolution of Cetacea*, 136 pp., Translation from Russian, New Delhi: Amerind Pub. Comp.
 15. Romer, A. S., 1966, *Vertebrate Paleontology*, Chicago: University of Chicago Press, tercera edición.
 16. Simpson G. G., 1945, "The principles of classification and a classification of mammals", *Bull. Amer. Mus. Nat. Hist.*, 85:1-350.
 17. Slijper, E. J., 1958, 1962, *Whales*, London: Hutchinson, Traducción de Walvissen, Amsterdam, 1958.
 18. Tatarinov, L. P., 1958, "The present state of the problem of the ancestry of Mammals", *Acta Zool. Fennica*, 170:145-147.
 19. Van Gelder, R. G., 1969, *Biology of Mammals*, New York: Charles Scribner's Sons.
 20. Van Valen, L., 1966, "Deltatheria, a new Order of Mammalia", *Bull. Amer. Mus. Nat. Hist.*, 132:1-126.
 21. Van Valen, L., 1968, "Monophyly or Diphlyly in the origin of Whales", *Evolution*, 22:37-41.
 22. West, R. M., 1980, "Middle Eocene large mammal assemblage with Tethyan affinities, Ganda Kas region, Pakistan", *J. Paleontology*, 54(3):508-533.
 23. Winge, H., 1921, "A review of the interrelationships of the Cetacea", *Smithsonian Miscellaneous Collections*, 72(8):97
 24. Yablakov, A. V., 1964, "Convergence or parallelism in the evolution of Cetacean", *Pelontol. Zh.*, 1:97-106.



*Dirección General
de
Fomento Editorial*

**NOVEDADES
EDITORIALES**

**INTEGRACIÓN
TECNOLÓGICA
BOLETÍN DEL CENTRO
PARA LA
INNOVACIÓN
TECNOLÓGICA**

**MANUAL DE
RECOLECCIÓN Y
PREPARACIÓN DE
ANIMALES
P.E. VANZOLINI**

**CÓMO SE PASA LA VIDA
RICARDO GARIBAY**

**DE VENTA EN
LIBRERIAS DE
FOMENTO EDITORIAL**

**COORDINACION DE
HUMANIDADES**

**UNIVERSIDAD
NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

**AV. del Imán No. 5
Ciudad Universitaria
C.P. 04510
Tels. 665 13 44 y 665 62 74**