

32  
24-



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN



ESTUDIO RECAPITULATIVO SOBRE  
ECOLOGIZACION EN EL DELFIN  
HOCICO DE BOTELLA (Tursiops truncatus)

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
MEDICA VETERINARIA ZOOTECNISTA  
P R E S E N T A I  
MIREYA ROMAN AGUILAR

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Asesor: MVZ. Sergio Carrasco Mesa



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## CONTENIDO

### I. INTRODUCCION

### II. CETACEOS

- A. Paleontología
- B. Clasificación zoológica
- C. Adaptaciones anatómicas y fisiológicas
- D. Distribución y características del delfín hocico de botella (Tursiops truncatus)

### III. ECOLOCALIZACION

- A. Descubrimiento de la ecolocalización
- B. Mecanismo de producción y recepción de sonidos
- C. Clicks, sonidos empleados en la ecolocalización

### IV. BIBLIOGRAFIA

**O B J E T I V O :**

**Recopilar, clasificar y analizar la información de los estudios realizados sobre ecolocalización en el delfín hocico de botella (Tursiops truncatus), en el período de 1960 a 1990.**

## I. INTRODUCCION

Los cetáceos son los mamíferos mejor adaptados para la vida acuática por su notable capacidad de nado y buceo. La aptitud de muchos de ellos (quizá todos los odontocetos) para la ecolocalización, su considerable inteligencia y su compleja conducta social, han intrigado e inspirado desde hace mucho tiempo a los seres humanos. Al delfín le encanta jugar, tal vez en un momento de aburrimiento, hace miles de años, inventó el surf, y todavía hoy, no es infrecuente el espectáculo de delfines cabalgando sobre las olas. Con el advenimiento de la navegación a vapor, los delfines descubrieron un nuevo pasatiempo: surcar las olas originadas por la proa de los barcos. Calculando con precisión la velocidad de las naves, la forma y dirección de las olas, de los vientos y de las corrientes, se acercan solos o en grupos a la proa del buque que avanza rápidamente y, sin consumir apenas energía, se dejan llevar por las olas creadas por el hombre. A diferencia del hombre, el delfín no ha experimentado la necesidad de aumentar su territorio. Le basta con jugar, perpetuar su especie y obtener de la naturaleza todo lo que necesita (21,24).

Cientos de delfines perecen cada año atrapados en las redes de los grandes pesqueros, a pesar de que los pescadores liberan algunos delfines, otros llegan a morir. En algunos lugares son atrapados a propósito para conseguir un poco de aceite o alimento para perros (18,24,66).

Ha corrido por cuenta del hombre moderno mediante una pesca y caza sin control, una administración irracional de los recursos de la naturaleza, de negligencias en la planificación agraria y fruto de la ignorancia, reducir notablemente el número de especies animales. Es necesario implementar medidas dirigidas a la protección, conservación y explotación en forma racional de las diferentes especies animales y para ello es necesario conocer su biología y las condiciones de su hábitat natural. En la medida que preservemos la flora y la fauna que comparten con nosotros el planeta, estaremos asegurando las condiciones necesarias para la subsistencia de nuestra propia especie (24).

Los delfines son los animales más inteligentes de todos los animales marinos y terrestres. Poseen un similitud de lenguaje a base de sonidos modulados distintamente, con los que es muy probable que se comuniquen entre sí; producen también una amplia gama de sonidos cuando practican la ecolocalización, un sistema de tipo sonar que confiere al animal la posibilidad de localizar e identificar obstáculos o blancos a distancias de hasta dos kilómetros. El hombre también ha empleado la ecolocalización en la búsqueda de barcos, submarinos y tesoros sumergidos en el fondo del océano; se le ha empleado en medicina como un valioso instrumento de diagnóstico y cirugía. No obstante los adelantos científicos, el sonar creado por el hombre se aparta todavía mucho de la perfección del sistema de ecolocalización que en forma natural poseen los delfines (1,11,24).

El delfín hocico de botella (Tursiops truncatus) por su notable capacidad para la producción de sonidos, ha sido objeto de numerosas investigaciones. Estas investigaciones en su mayoría han sido realizadas por extranjeros, incluso en territorio nacional (19,24,46,50,73).

En el presente trabajo se describen aspectos de Paleontología y clasificación zoológica de los cetáceos, así como las adaptaciones anatómicas y fisiológicas necesarias para su supervivencia en el medio acuático. Se incluye la distribución y aspectos biológicos particulares del delfín hocico de botella (Tursiops truncatus). Se trata ampliamente el tema de la ecolocalización, incluyendo su descubrimiento, importancia, y los estudios realizados sobre el mecanismo de producción y recepción de sonidos y los tipos de sonidos que producen los delfines en el período de 1960 a 1990.

## II. CETACEOS

### A. Paleontología

Con base en los conocimientos aportados por geólogos y paleontólogos ha llegado a descubrirse y reconocerse los acontecimientos sucedidos en la Tierra, así como las transformaciones que ha sufrido desde que se formó. Los estudios sobre los estratos rocosos y los fósiles que en ellos se encuentran proporcionan una valiosa información sobre cómo apareció la vida en el planeta y sobre la manera en que los seres vivos han evolucionado en el tiempo. También permiten conocer importantes indicios sobre las relaciones entre los organismos desaparecidos y los vivientes y la relación que éstos han tenido y tienen con el medio ambiente. Con todos estos conocimientos se ha podido establecer la llamada Tabla geológica, en donde se registran cinco grandes etapas o eras, con los tiempos que posiblemente duraron y los organismos que en ellas existieron. Las eras se subdividen a su vez en períodos y épocas. La era Cenozoica, es la de más corta existencia, con 60 a 75 millones de años, en cuyo transcurso el planeta adquirió su aspecto actual; los océanos, las costas, las montañas y los valles adoptaron poco a poco las características que hoy presentan. Se divide en dos períodos: Terciario y Cuaternario. El período Terciario abarca cinco épocas: Paleoceno, Eoceno, Oligoceno, Mioceno y Plioceno. Los mamíferos dominaron entre los animales, esto se demuestra por la gran variedad de sus restos fósiles. A esta era Cenozoica también se le ha llamado era de los mamíferos (21).

El cetáceo más antiguo que se conoce, proviene del registro fósil del Eoceno de Pakistán, fue descubierto junto con varios mamíferos terrestres en sedimentos fluviales que se depositaron en la orilla de un mar poco profundo. Este fósil es una prueba convincente de que los cetáceos evolucionaron a partir de mamíferos carnívoros terrestres, y que los ancestros de los mismos fueron pasando cada vez más tiempo en los mares poco profundos, alimentándose de peces planctívoros.

Algunas características anatómicas y de comportamiento de los delfines modernos, sin embargo, sugieren que pudieron haber evo

lucionado a partir de ungulados omnívoros terrestres, los cuales fueron al mar en busca de alimento (21,23).

Los cetáceos primitivos no estaban adaptados por completo a la vida acuática, ya que su región auditiva carecía de las especializaciones que facilitan la audición submarina direccional en los cetáceos avanzados. En los cetáceos primitivos, las fosas nasales aún no emigraban a la región posterior del cráneo, pero las extremidades posteriores ya eran vestigiales. Los registros más primitivos del suborden Mysticeti, al que pertenecen las ballenas, datan de principios del Oligoceno en Nueva Zelanda.

El suborden Odontoceti, al que pertenecen las ballenas dentadas, aparece a principios del Oligoceno en Norteamérica. En el Mioceno, los cetáceos se vieron expuestos a una considerable radiación, durante esa época aparecieron más de la mitad de los géneros actuales. Se conocen desde el Mioceno odontocetos avanzados con cráneos bastante telescópicos y dentadura homodonta (21,29).

## B. Clasificación zoológica

Dentro de los mamíferos marinos se encuentran tres grandes grupos que son: cetáceos, pinnípedos y sirénidos. Los cetáceos a su vez se dividen en dos grupos: las ballenas verdaderas o misticetos y las ballenas con dientes u odontocetos. Los odontocetos constituyen el suborden de mayor importancia en términos de abundancia y diversidad de especies; existen 67 especies comprendidas en 6 familias. La familia Delphinidae es el grupo más abundante y diverso de los cetáceos y por lo mismo el más estudiado; se conocen unas 34 especies agrupadas en 17 géneros (1,18,23,72).

Familia Ziphiidae

Familia Delphinidae

Suborden Odontocetos

Familia Phocoenidae

Familia Monodontidae

Familia Physeteridae

Familia Platanistidae

Género Steno

Género Sousa

Género Peresa

Género Grampus

Género Orcinus

Género Sotalia

Género Orcaella

Género Stenella

**Familia Delphinidae**

Género Tursiops

Género Pseudorca

Género Delphinus

Género Globicephala

Género Lissodelphis

Género Lagenodelphis

Género Peponocephala

Género Lagenorhynchus

Género Cephalorhynchus

### C. Adaptaciones anatómicas y fisiológicas

Los cetáceos, como mamíferos que son, amamantan a sus crías, tienen sangre caliente y respiración pulmonar. Son por completo acuáticos y su estructura refleja esa forma de vida. El cuerpo es fusiforme y la superficie es completamente lisa, debido a que el revestimiento pilífero de los cetáceos es el más reducido de entre todos los mamíferos; solo conservan algunos pelos en ciertas regiones del cuerpo. En los delfínidos pueden encontrarse algunos pelos en el extremo del hocico pero sólo en los animales jóvenes, los adultos carecen de estas estructuras (1,18).

La piel está formada por dos capas, fina y muy flexible la externa, y espesa, esponjosa y muy deformable la segunda. La epidermis de los cetáceos es muy delgada, tiene un grosor de .5 a 3.5 mm; su capacidad proliferativa es elevada. El índice de proliferación es de 1.3 a 1.9 veces más elevada que el reportado para los mamíferos terrestres. La piel está desprovista de glándulas sebáceas y sudoríparas. La dermis está constituida por tejido conectivo y fibras paralelas al eje del cuerpo, carece de fibras musculares lisas. En su parte más profunda se encuentra el pániculo adiposo o grasa, formado por un retículo de haces que encierran enormes células adiposas. La misión principal de la capa de grasa es la de aislar el cuerpo del medio ambiente, puede también proporcionar una reserva de alimento y cuando es metabolizada, de agua. El espesor de la grasa siempre considerable, varía según la especie y está en función de la parte del cuerpo (1,16,17,18).

El cuerpo se adelgaza hacia la parte posterior en forma gradual para constituir la cola, culminando en la aleta caudal, situada sobre un plano horizontal. La cola es accionada por potentes músculos motores insertados en su respectiva porción vertebral y sobre el tejido fibroso, a través de los tendones. Esto confiere al órgano en estrecha conexión con la parte terminal del tronco, una fuerza extraordinaria, adecuada a sus fundamentales funciones motoras. La aleta caudal efectúa movimientos verticales gracias a la contracción de los músculos de la parte terminal del tronco; los movimientos en sentido lateral implican en cambio, una flexión de la columna vertebral (72,85).

La aleta dorsal se halla constituida por un repliegue de la piel y del tejido subcutáneo levantado a lo largo de la línea mediana del dorso, entre la cabeza y la cola (Fig. 1). Las aletas poseen un menor recubrimiento aislante y un sistema de irrigación sanguínea regulable. Si el animal necesita ceder calor, la circulación se hace muy intensa en la superficie de las aletas, enfriándose rápidamente la sangre que fluye por ella. Si por el contrario, el animal permanece quieto o moviéndose lentamente, la circulación por estas áreas es mínima, perdiendo solo el calor necesario para compensar la pequeña producción que en este caso se realiza (51).

El esqueleto de los cetáceos está formado por huesos en los que domina el tejido esponjoso impregnado de grasa fluida. El cráneo muestra en primer lugar una topografía que se aparta sensiblemente de la de los demás mamíferos por las relaciones de contacto entre los huesos y por sus proporciones con el resto del cuerpo, esta modificación es consecuencia de la migración posterior de las narinas; es característica la telescopización, es decir, el fenómeno por el cual el esplanocráneo sufre un proceso de alargamiento, mientras que el neurocráneo aparece acortado; maxilares, premaxilares y vómer son muy alargados, mientras que la caja craneal es corta y desarrollada en altura y anchura. La telescopización se efectúa durante el período de desarrollo postembrionario. Es particularmente notable la forma del hueso frontal, reducido a una ancha tira transversal que forma el techo de las órbitas. Debido al alargamiento de los maxilares y premaxilares, los orificios nasales se sitúan muy atrás, hacia la caja craneal. La mandíbula termina en los extremos con cóndilos poco desarrollados. En los odontocetos las ramas mandibulares están soldadas a lo largo de la sínfisis, a veces muy desarrollada, mientras que en los mysticetos están unidas de manera laxa por tejido conectivo. En los odontocetos se observa una típica asimetría del cráneo, más exactamente en su parte alta; esta asimetría es muy notable en el cachalote. La depresión facial del cráneo es profunda y en ella se ubica un depósito de grasa "el melón", que proporciona a la cabeza de muchos delfínidos una frente que asoma de modo notable detrás del hocico aguzado; ciertos delfínidos, como la orca, no tienen pico y su perfil

es redondo. El hueso timpanoperiótico aloja los oídos medio e interno (19,21,39).

La columna vertebral es más bien recta y sin curvatura sensible; se compone de 7 vértebras cervicales, en general soldadas en grado diverso entre sí y de un número muy variable de vértebras toracolumbares y caudales que no presentan constancia numérica ni tan solo dentro de la misma especie. Casi todas las vértebras tienen espinas neurales altas y las cervicales están muy comprimidas. Debido a la falta de zigapófisis, las vértebras no se articulan entre sí, sino que permanecen unidas a través de los discos intervertebrales. Las de la región sacra, debido a la atrofia de la pelvis, no se distinguen de las lumbares y las caudales. En la caja torácica por lo general existen 4 a 5 costillas verdaderas y 5 a 8 falsas; el esternón está constituido por 4 a 5 esternibras rudimentarias. La clavícula se halla ausente, mientras que la escápula es ancha y dilatada, con acromión y apófisis coracoides desarrolladas. El húmero, el cúbito y el radio son muy cortos, mientras que los dedos suelen ser muy largos debido al incremento del número de falanges, quedando cubiertos por una piel que adopta la forma de aleta (Fig. 2). Los miembros posteriores persisten como rudimentos (fémur y tibia) en algunos misticetos, y también excepcionalmente en algunos odontocetos como el cachalote; en los embriones, en cambio, forman salientes visibles. La pelvis persiste como dos pequeños rudimentos, inmersos en la masa muscular e independiente de la columna vertebral (21,39).

El aparato digestivo está constituido muy similarmente a la mayoría de los mamíferos. La apertura bucal es muy amplia, pero sin labios. Parece ser que los cetáceos no cuentan con papilas gustativas ni glándulas salivales. La lengua descansa sobre el piso de la boca y su raíz se fija en la parte anterior de la faringe; es corta, musculosa y relativamente suave.

Los dientes, presentes sólo en los odontocetos, son simples, cónicos y con una sola raíz, muy parecidos entre sí e indiferenciados (homodontos). El número de dientes puede ser elevado 65/58 o bien reducidos 0/1 en los casos extremos (colmillo del narval). Los cetáceos tienen una sola dentición (monofiodontos). En los misticetos se hallan esbozados en los embriones, pero nunca aflor

ran; siendo sustituidos como equivalentes funcionales en la especializada alimentación de estos colosos de los mares, por las ballenas, estructuras de un material córneo las cuales crecen a partir del paladar y funcionan como cribas (21).

Los cetáceos engullen las presas enteras, sin desmenuzarlas previamente en la cavidad bucal, como sucede en los mamíferos terrestres. Esto en parte permite la rápida ingestión de alimento (plancton, cefalópodos o peces), sin que con el alimento se degluta cierta cantidad de agua.

En los cetáceos existen tres compartimientos gástricos, de volumen diferente en las diferentes especies: 1) un estómago anterior o preestómago. Sus paredes están tapizadas de epitelio pavimentoso escasamente queratinizado; no hay glándulas. Las fibras musculares de la pared están muy desarrolladas, y es casi constante encontrar en su interior arena y pedrería más o menos pequeña (a semejanza del estómago muscular de los pájaros). Se piensa que las paredes de este estómago, contrayéndose y ejerciendo también una acción mecánica gracias a los cuerpos extraños, muelen el alimento que llega entero del esófago alistándolo para el paso a través de el pequeño orificio que hay entre el primer y el segundo estómago; 2) estómago medio, glandular o verdadero. Aquí la mucosa es más fina, con pliegues; hay abundantes glándulas gástricas. En el contenido de este estómago, como en el estómago de los monogástricos, se encuentra ácido clorhídrico y pepsina, y lipasas como oligoelementos; 3) estómago posterior o pilórico. Los pliegues de la mucosa son poco evidentes, hay glándulas pilóricas como en la porción pilórica del estómago de los monogástricos. El tercer estómago a veces llega a tener 13 compartimientos. A los estómagos le sigue una ancha burbuja duodenal que a veces se ha transformado en un cuarto estómago (1).

El intestino es muy largo, llegando a medir hasta 35 m (16 veces y media la longitud del cuerpo) en el cachalote. Es difícil señalar cuando ocurre el paso del intestino delgado al grueso, por la falta de un ciego propiamente dicho (21).

El hígado es en general pequeño, desprovisto de vesícula biliar y bilobulado o trilobulado según la especie (1,18).

El páncreas se encuentra en el primer tercio del intestino (21).

Los cetáceos necesitan respirar aire, aunque a diferencia de casi todos los otros mamíferos, muchos cetáceos tienen la capacidad de alternar períodos de eupnea y apnea. Algunas ballenas permanecen sumergidas durante períodos de más de una hora. Los delfines generalmente permanecen a una profundidad de 50 m de la superficie. Pueden permanecer sumergidos por más de 7 minutos, aunque suelen emerger a la superficie 2 o 3 veces por minuto para respirar. Los delfines hacen esto incluso cuando duermen, una habilidad que algunos investigadores comparan con la habilidad de los ungulados de dormir de pie (21,50).

El aparato respiratorio presenta características muy peculiares, principalmente dirigidas a la adaptación para las inmersiones prolongadas. El orificio externo está constituido por el respiradero o espiráculo, empleado para respirar y para la producción de sonidos. Los huesos que rodean el orificio respiratorio en los odontocetos, se apartan del patrón ordinario de simetría bilateral de los mamíferos, los misticetos poseen dos orificios respiratorios. Cuando el cetáceo emerge, espira el aire dando lugar a un característico chorro de vapor, que puede alcanzar varios metros de altura y que es simple o doble según la especie. A los conductos nasales óseos sigue la nasofaringe, provista de cartílagos y atravesada por la laringe. La epiglottis se extiende como un tubo inserto en la cavidad nasal posterior, de modo que se forma un paso de aire ininterrumpido desde el orificio nasal a los pulmones (21,39,70).

La mayor parte de los odontocetos pequeños parecen ser buceadores que hacen inmersiones poco profundas, aunque algunos de gran tamaño y varios misticetos realizan inmersiones a grandes profundidades. Durante estas inmersiones profundas, los cetáceos quedan sometidos a presiones elevadas, ya que cada 10 m de profundidad representan un incremento de una atmósfera de presión sobre el cuerpo. Un cetáceo que esté nadando a una profundidad de 200 m, que es una profundidad común para muchas especies, está sometido a esa enorme presión, lo que reduce su volumen y aumenta la cantidad de gases que se disuelven en los solventes corporales como la sangre. Una de las consecuencias peligrosas de este fenómeno, es el caso de los seres humanos llamado mal por descompresión. Cuando los seres humanos utilizan equipos que les permiten respirar debajo del agua y se exponen por mucho tiempo

a altas presiones cuando bucean, se disuelven en los tejidos y en la sangre cantidades mucho mayores de gases pulmonares. Si la descompresión es demasiado rápida, esos gases no regresan a los pulmones con suficiente rapidez como para que el cuerpo los elimine, de modo que salen de solución con rapidez y forman burbujas en los tejidos. Las burbujas intravasculares pueden ocluir los vasos capilares, lo que tiene por consecuencia lesiones en los tejidos y hasta la muerte. No se sabe que los cetáceos tengan estos problemas, lo que se debe quizá a que sus pulmones se colapsan durante los primeros 100 m de inmersión.

Las siguientes especializaciones anatómicas parecen ser adaptaciones para la inmersión profunda: 1) una buena proporción de las costillas carecen de punto de fijación esternal, fijación al esternón u otras costillas; 2) los pulmones están situados en posición dorsal, por encima de un diafragma oblicuo; 3) en el caso de los buceadores de grandes profundidades, los pulmones son pequeños y el volumen de las vías respiratorias es relativamente grande; 4) la tráquea es corta y tiene un diámetro considerable, además de que los anillos cartilagosos que la apoyan están casi completos, tienen pequeñas interrupciones alternantes o están fusionados; 5) los bronquiolos están reducidos en longitud y el sistema bronquiolar completo, hasta donde se originan los conductos alveolares, está apoyado por músculos y anillos cartilaginosos; 6) los pulmones, en particular las paredes de los conductos alveolares y los tabiques, contienen concentraciones elevadas de fibras elásticas (39,61).

El refuerzo de las vías respiratorias facilita el colapso alveolar y una rápida exhalación e inhalación en la superficie del agua, durante la exhalación prácticamente todo el aire de los pulmones es expulsado. El intercambio gaseoso rápido se facilita gracias a la presencia de dos capas de capilares en los tabiques interalveolares, utilizándose hasta el 12% del oxígeno presente en el aire inhalado, siendo la cifra correspondiente a los mamíferos terrestres de sólo 4%. Las especializaciones de las costillas y la posición de los pulmones respecto al diafragma, permiten que estos se colapsen y que el aire se desplace del espacio donde ocurre el intercambio gaseoso a un espacio donde no hay intercambio. Otras adaptaciones fisiológicas importantes para la

inmersión prolongada son, una tolerancia a altas concentraciones de ácido láctico y una insensibilidad relativa al dióxido de carbono (39,61,71).

El sistema cardiovascular incluye venas distendibles y senos venosos como reservorios de sangre; el doble de eritrocitos por volumen de sangre comparados con los mamíferos terrestres y particularmente un contenido elevado de hemoglobina y mioglobina. Durante las inmersiones profundas, el ritmo cardiaco disminuye hasta aproximadamente la mitad de la frecuencia normal en superficie (49,51,69).

En el sistema nervioso se destaca el gran tamaño del cerebro, alto y ancho, de forma subglobosa y relativamente pesado. Los centros acústicos, situados a ambos lados del cerebro, presentan un desarrollo notable, relacionado con su adaptación acuática. Como no poseen nervio olfativo, tenemos que admitir que estos animales carecen de olfato, pero es posible que un área todavía no identificada del tejido craneal transmita a su cerebro ciertas formas de olores (18,24).

El ojo es pequeño, especialmente en las especies de mayor tamaño en relación al cuerpo; está aplastado en sentido anteroposterior, con esclerótica gruesa y cristalino de acentuada curvatura, lo que permite una refracción aumentada de la luz, mejorando la visión subacuática. Los delfines tienen una aguda visión dentro y fuera del agua lo que se demuestra con su habilidad para saltar fuera del agua y agarrar pequeños objetos varios metros sobre la superficie del agua. La anatomía de la retina sugiere que puedan tener una visión a color. Son más activos durante las horas del día, cuando su visión es más útil (40,78,89).

Los riñones tienen externamente una forma sencilla, pero por dentro están constituidos por varios pequeños riñones, cada uno de ellos dotado de una papila y pelvis (1,18).

En la región ventral del cuerpo, sobre la línea media y posterior a la región pectoral, se encuentra la cicatriz umbilical y posteriormente la región de los genitales y anal. En el aparato genital masculino debe recordarse la posición intrabdominal de los testículos y la reducción o ausencia total de las vesículas seminales. En el aparato genital femenino, el útero es bicorne; las mamas, que se encuentran en número de un solo par, están

provistas de un seno galactóforo que desemboca en un gran canal galactóforo, el cual se abre al exterior por dos pezones simétricamente dispuestos a ambos lados del seno urogenital (1,18,24).

La distribución geográfica comprende todos los mares y océanos del globo e incluso algunos grandes ríos. La distribución está en general condicionada por la temperatura del agua y por la disponibilidad de alimento. La mayor parte de las especies efectúan migraciones con recorridos bastante regulares entre las zonas de reproducción y de alimentación (24,50,72,87).

Son animales muy gregarios, viven por lo general en manadas, a veces muy numerosas. La conducta gregaria aumenta la eficiencia de la caza y la evasión ante los depredadores; además de que también puede incrementar la sincronización y eficacia reproductiva. En estas manadas existe una cierta organización social hasta ahora poco conocida. Algunos grupos de delfínidos a los que se mantiene en cautiverio dentro de grandes tanques, establecen una jerarquía de dominio en la que un macho adulto tiene la posición más elevada (24,50,87).

Estudios recientes indican que los cetáceos son notablemente inteligentes, creativos y capaces de un aprendizaje de orden superior. Los delfines tienen sistemas muy evolucionados de comunicación y comportamiento social. Ha habido reportes de delfines que se acercan a los seres humanos con fines amistosos y permanecen en el área por mucho tiempo o regresan periódicamente a la misma. Estos animales presentan una conducta altruista; además de los seres humanos, son los únicos animales que auxilian a seres de otras especies cuando están en problemas (22,24).

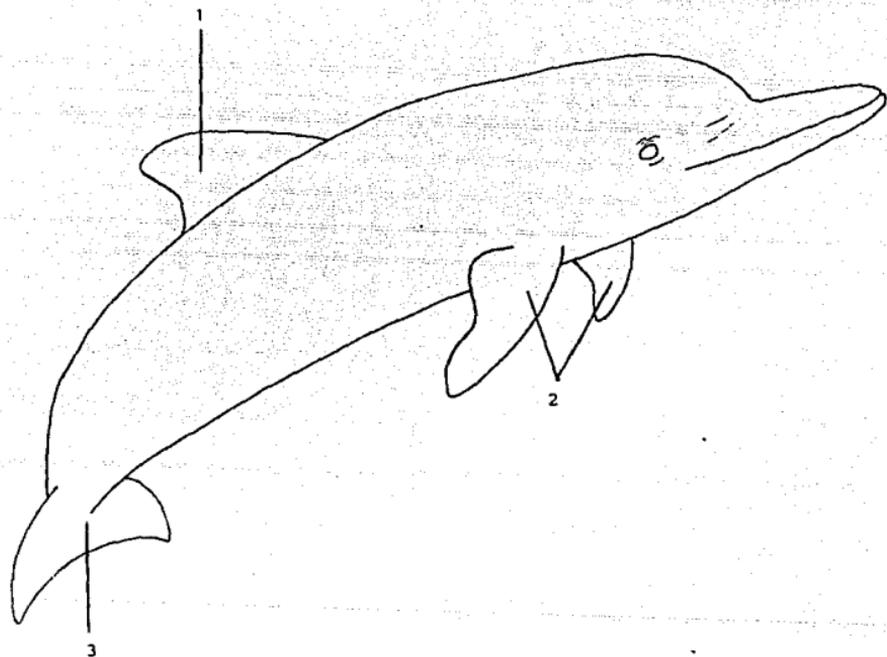
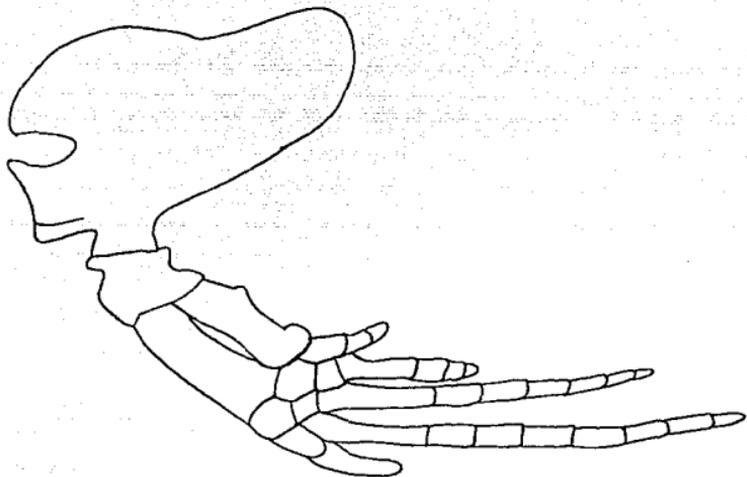


FIGURA 1. DISPOSICION DE LAS ALETAS

- 1) Aleta dorsal,
- 2) Aletas pectorales,
- 3) Aleta caudal.



**FIGURA 2. HUESOS DEL MIEMBRO TORACICO  
Tomado de Carrington, R. (21).**

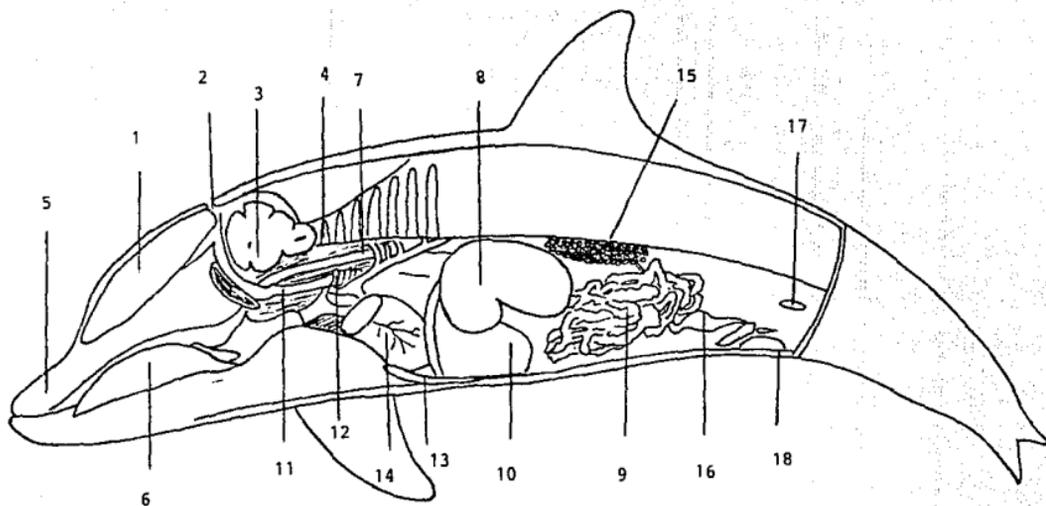


FIGURA 3. DISPOSICION DE LOS ORGANOS EN EL (*T. truncatus*)  
 1) Melón, 2) Espiráculo, 3) Cerebro, 4) Vértabras  
 Cervicales, 5) Hocico, 6) Lengua, 7) Esófago,  
 8) Estómago, 9) Intestino, 10) Hígado, 11) Laringe,  
 12) Tráquea, 13) Esternón, 14) Corazón, 15) Riñones,  
 16) Vejiga urinaria, 17) Pelvis, 18) Hipodermis.  
 Tomado de Harrison, R.J: (39).

D. Distribución y características del delfín hocico de botella  
(Tursiops truncatus)

El género Tursiops ha sido el más estudiado. Algunos taxonomistas distinguen geográficamente cuatro especies distintas; (Tursiops truncatus) más común en el Atlántico y el Caribe pero también visto en el Mediterráneo; (Tursiops gilli) en el Pacífico; (Tursiops nuana) en el Pacífico Norte; y (Tursiops aduncus) en el Océano Indico. Otros científicos opinan que solo hay dos especies, (Tursiops truncatus) y (Tursiops gilli) y todavía hay quienes consideran a todas las especies como subespecies de (Tursiops truncatus) (23,62).

El delfín hocico de botella (Tursiops truncatus) habita las aguas tropicales y templadas de todos los océanos y de muchos mares, como el Mediterráneo, el Negro, el Rojo, el Golfo de California y su población es abundante en las costas del Golfo de México (50,62).

El delfín hocico de botella debe su nombre a la semejanza de su hocico con una antigua botella de ginebra. Su nombre específico (Tursiops truncatus) se obtuvo de la forma de sus dientes que ligamente a ser en forma truncada con el uso (62).

Los delfines en estado adulto llegan a medir hasta 4 m de longitud, con un peso que varía de 150 kg a 275 kg. El recién nacido mide cerca de 1 m de longitud y pesa unos 12 kg (1,18).

El delfín alcanza la madurez sexual a los ocho años. En algunos estudios se establecen los períodos de producción de crías en primavera y verano, mientras que en otros se detectó durante el otoño e incluso durante el invierno. La duración de la gestación es de 12 meses y el período de lactancia dura unos 9 meses. La longevidad media de los delfines oscila entre los 25 a 35 años (50,88,90).

El rostro del delfín es corto, mide unos 75 cm; las aletas pectorales de 30 a 50 cm de longitud, le sirven para dirigir la navegación y para tocar; la aleta dorsal está situada hacia la mitad del tronco, su forma es subtriangular, más o menos puntiaguda y con el borde anterior convexo y el posterior cóncavo. La aleta caudal mide unos 60 cm de ancho, es el órgano primario de propulsión, los poderosos músculos que la forman permiten al

delfín enderezarse sobresaliendo fuera del agua en sus dos terceras partes (1,62,90).

La coloración de las partes superiores es negruzca o gris oscura, siendo blanquecina hacia el abdomen (18).

La mandíbula, empleada como receptor auditivo y como arma para defenderse, supera un poco el ápice de la maxila superior. Tiene entre 80 y 104 dientes cónico e indiferenciados de aproximadamente 1 cm de diámetro. La deposición anual de dentina permite estimar la edad de los individuos (15,18,50).

El cerebro pesa alrededor de unos 1 700 gramos y puede compararse con el del hombre en complejidad y número de células, posee un neocórtex bien desarrollado (capa anterior del cerebro de los mamíferos, responsable de las actividades mentales superiores). Se han realizado muchos estudios para establecer su grado de inteligencia. Un grupo de investigadores enseñaron al delfín con el que trabajaban un comportamiento creativo, es decir, capaz de iniciar cualquier cosa de un modo nuevo; el experimento empezó enseñando al delfín un juego y recompensándolo al finalizar el mismo. Pasados algunos días, el entrenador, al terminar de jugar, no le dió al delfín el premio esperado. No dándose por vencido, reanudó el juego ejecutando movimientos diversos; esta diversidad fué recompensada. A los pocos días el delfín había aprendido a iniciar la lección con juegos no aprendidos. Se dedujo que el delfín había entendido que tenía que inventar cada vez algo nuevo para satisfacer al entrenador y merecerse el premio (24, 62).

Debido a sus facultades excepcionales de adiestramiento, el delfín hocico de botella (Tursiops truncatus) ha sido utilizado para practicar ejercicios circenses con gran maestría en varios acuarios del mundo. Por su inteligencia, mansedumbre y capacidad para la ecolocalización, ha sido empleado en tareas de salvamento, localización de bancos de peces de valor comercial elevado y en numerosos estudios relacionados con la producción de sonidos y el sistema de ecolocalización que poseen (1,62).

## III. ECOLOCALIZACION

## A. Descubrimiento de la ecolocalización

A fines del siglo XVIII, Lazzaro Spallanzani, sacerdote italiano que dedicó su vida a la investigación científica, observó que los murciélagos podían volar libremente en un cuarto oscuro sin chocar contra las paredes, como si pudieran ver. Después de una serie de experimentos, entre los que incluyó el tapar con capuchas la cabeza de los murciélagos y cegar algunos de ellos, concluyó que los murciélagos podían ver con otro medio que no eran los ojos, ya que aún cegados evitaban las paredes o cualquier objeto que dificultara su vuelo. Los resultados de Spallanzani fueron tratados meses después en una reunión de la Sociedad Genovesa de Historia Natural, y llamaron la atención del cirujano y entomólogo Louis Jurine, el cual repitió los experimentos de Spallanzani y añadió otro: obstruyó con cera las orejas de los murciélagos y observó que los murciélagos tropezaban con los obstáculos. En 1794 informó a la Sociedad Genovesa de Historia Natural que parecía ser el órgano del oído el que sustituía a la vista y les permitía a los murciélagos descubrir los obstáculos. Los experimentos de Jurine, fueron repetidos por Spallanzani; para someter a prueba su teoría, insertó en los oídos de los murciélagos pequeños embudos de bronce. Si el embudo se obstruía, los murciélagos no evitaban los obstáculos; pero si se abría, sí los evitaban. Puso capuchones a diferentes partes de la cabeza de los animales, pero sólo cuando se tapaban los oídos o la boca, se alteraba el vuelo del animal. Finalmente concluyó que el oído del animal le servía mejor para ver o al menos para medir distancias, que sus ojos (26,74).

Para los hombres del siglo XVIII era una herejía científica sostener que los murciélagos vieran con los oídos. Ningún hombre había visto nunca con los oídos, era inconcebible pues, que un animal inferior poseyera un sentido que no tenía el hombre. Los experimentos de Spallanzani y Jurine quedaron tan desacreditados que muy pocos investigadores posteriores conocieron sus trabajos. No era de extrañar que sus conclusiones fueran rechazadas. Nadie había oído los sonidos de vuelo de los murciélagos; aunque se sabía que a veces emitían un agudo chillido, no era al

go que tuviera que ver, en apariencia, con la navegación o la caza. Si los murciélagos veían con los oídos y con ellos oían su camino en la noche, ¿qué era lo que oían? En 1912, el inventor Sir Hiram S. Maxim, dio a entender que los murciélagos producían y percibían sonidos cuyas ondas eran de muy baja frecuencia e imperceptibles, por lo tanto, para el oído humano. Otros científicos observaron que las ondas de baja frecuencia son de gran amplitud y, por lo consiguiente, demasiado burdas para la navegación. En 1920 el fisiólogo inglés Hamilton Hartidge propuso la idea de que los murciélagos navegaban con gritos de alta frecuencia, o sea, por encima del alcance del oído humano. La solución a la navegación en los murciélagos se obtuvo hasta que existieron instrumentos que emitían y percibían lo ultrasónico. En 1938, el profesor G. W. Pierce del departamento de física de la Universidad de Harvard experimentó con su detector sónico, que trasponía las vibraciones ultrasónicas y las hacía frecuencias audibles (24,63,74).

Fueron en realidad los fisiólogos Donald R. Griffin y Robert Galambos los que con ayuda del detector sónico escucharon los sonidos ultrasónicos producidos por los murciélagos. Después de muchos experimentos, Griffin y Galambos establecieron sin lugar a dudas que los murciélagos navegan enviando un rayo de sonidos ultrasónicos y escuchando sus ecos. Los sonidos que regresan, recibidos e interpretados por una región especializada del cerebro, permiten al murciélago "ver" el tamaño y la forma de su meta y saber su situación exacta. Si el objeto es comestible, se lanzan sobre él y lo cazan; pero si es un obstáculo lo evitan (31,32, 37).

Los primeros dispositivos humanos de ecolocalización no tenían por objeto descubrir pequeños objetos en el aire, sino grandes objetos en el agua. Durante la Primera Guerra Mundial, el destino de muchas naciones dependió de la audición submarina. Los submarinos alemanes no eran visibles, pero hacían ruido, descubrir ese ruido era el único modo de que los barcos aliados eligieran sus ataques o emprendieran su caza. No fué hasta después de la Primera Guerra Mundial que el físico francés Paul Langevin construyó un generador subacuático de sonidos de alta frecuencia. Este instrumento fue el precursor del moderno sonar. A medida que los submarinos se perfeccionaron, mejoró también el sonar.

Las frecuencias se hicieron más y más altas y las longitudes de onda más y más cortas, de tal manera que con emisores no muy grandes se pudo concentrar el sonido en agudos rayos direccionales para escudriñar el mar. Muchos operadores de estos instrumentos hablaron de ruidos extraños, sonidos que no podían provenir de ningún barco. Parecía que el mar no era el abismo silencioso que siempre se había creído. Estaba lleno de ruidos naturales producidos por seres marinos (24,73,74).

En 1947, las observaciones del zoólogo A. F. McBride, dieron lugar al descubrimiento de la ecolocalización en los delfines. Tratando de capturar algunos de estos odontocetos, quiso encauzar a los animales hacia las redes; pero cuando los delfines se encontraban a más de 300 m de la trampa (que no podían todavía percibir), cambiaban de dirección rápidamente y navegaban hacia alta mar. Los animales en cambio, caían en la trampa cuando se utilizaban redes de malla más anchas o impermeables al agua en las que no podían quedar pegadas las burbujas de aire que reflejaban el sonido. La existencia de un sistema de ecolocalización en los delfines, se estableció definitivamente hacia finales de los años cincuenta (24,47,73).

## B. Mecanismos de producción y recepción de sonidos

Al igual que los murciélagos se desenvuelven en la oscuridad los delfines tienen la necesidad de percibir su ambiente subacuático bajo condiciones que dificultan la visión y que algunas veces la vuelven imposible. En algunas aguas habitadas por estos cetáceos, la materia suspendida (partículas de suelo u organismos planctónicos) limita la visibilidad a unos cuantos metros y en ocasiones a unos cuantos centímetros. El agua transmite muy mal la luz, de modo que, incluso bajo condiciones ideales, la visibilidad bajo el agua es limitada. Por esta razón, los delfines se vieron obligados a desarrollar un sistema de ecolocalización (especie de sonar a base de pulsos cortos, similar al de los murciélagos) que les permitiera detectar obstáculos y encontrar sus alimentos (21,48,65).

Por mucho tiempo se pensó que la laringe del delfín carecía de cuerdas vocales. Recientes estudios han comprobado la existencia de estructuras similares a las cuerdas vocales de mamíferos terrestres, sin embargo, estas estructuras no parecen estar involucradas en la producción de sonidos (36,67).

Mediante un estudio electromiográfico, se observó la actividad de los músculos de la laringe y los músculos nasales durante la producción de sonidos. Ciertos músculos del sistema nasal estuvieron activos durante la producción de sonidos, en tanto que los músculos de la laringe estuvieron activos durante la respiración pero no durante la producción de sonidos. Cuando el animal bucea, está continuamente sometido a cambios de presión, por lo tanto, la producción de sonidos debe ser eficiente en tales condiciones. Si el sonido fuera producido en la laringe, como en la mayoría de los mamíferos, la resonancia de los sonidos producidos por el delfín continuamente cambiarían conforme al cambio de presión (27,36,70).

Detrás del conducto nasal se encuentran una serie de sacos o senos que sirven de depósitos de aire y que el animal llena en cada inspiración, o que recibe el aire exhalado de los pulmones cuando se encuentra sumergido. El orificio de cada saco está regulado por unas válvulas o tapones nasales. Aparentemente, los sonidos son producidos por un rápido movimiento de aire de un sa

co nasal a otro a través de los tapones nasales (2,27,36,42,52, 53).

La presión en la cavidad nasal es esencial para la producción de sonidos. Antes de que el sonido pueda ser producido, los músculos conectados a varias estructuras nasales deben contraerse, produciendo una presión dentro de la cavidad nasal. Esta presión llega a ser frecuentemente cuatro o más veces superior a la presión sanguínea. Para demostrar el papel tan importante que representa la presión en la cavidad nasal para la producción de sonididos, se colocó un catéter dentro del respiradero nasal de un delfín hocico de botella, tapándose la abertura del catéter con el pulgar, de tal manera que el animal pudo producir sonidos. Cuando el pulgar fué retirado, y la presión en la cavidad nasal disminuyó, el delfín no pudo producir sonidos (70).

Los sonidos generados en los pasajes nasales son posteriormente enfocados y proyectados en un haz compacto, por una estructura grasa en forma de lente que se ubica en la frente del delfín denominada "melón". Los lípidos que contiene el melón, contribuyen a la transmisión del sonido. Los gestos que el delfín realiza cuando practica la ecolocalización, son la prueba externa de la acción muscular mediante la cual dirige sus sonidos (6, 21,82,83).

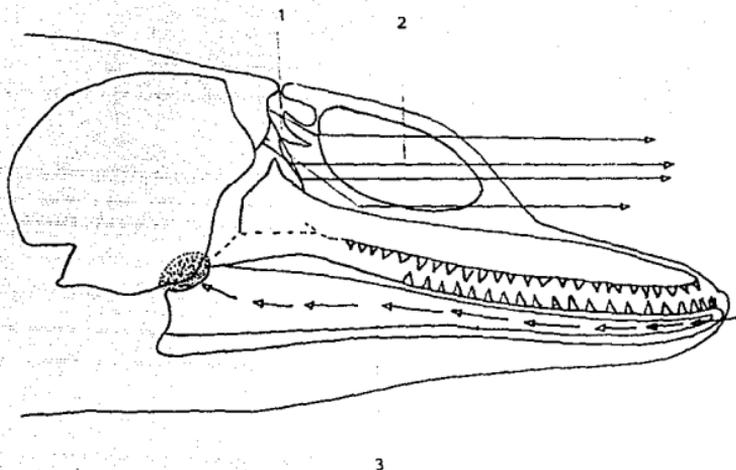
Una vez que estos sonidos rebotan sobre un objeto, vuelven al delfín en forma de eco. El eco es recibido por la mandíbula inferior, penetrando el sonido hacia la piel y la capa de grasa subcutánea que recubre los huesos dentarios, a través de la parte más delgada de este hueso, que mide 0.1 mm de espesor; y por último hasta el cuerpo adiposo intramandibular que conduce en forma directa hacia la pared del hueso timpanoperiótico, en el que ingresa finalmente el sonido (Fig. 4, Fig. 5). La evidencia de que la mandíbula inferior es fundamental en la recepción de los ecos, se pone de manifiesto en un estudio realizado en un individuo (Tursiops truncatus), en el cual, se entrenó al delfín para llevar puesta una capucha de caucho diseñada de tal manera que cubriera completamente la mandíbula inferior, de la punta del hocico a la base de las aletas pectorales y a lo largo de la línea de la hendidura del hocico. Posteriormente se le dió una señal para que ecolocalizara algunos objetos y los resultados revelaron un mayor número de errores como era de esperarse si la

mandíbula inferior fuera un área fundamental en la recepción de sonidos (15,19,21,82,83).

Cada oído del delfín funciona como un hidrófono independiente, lo que permite al animal localizar una fuente de sonido a través de la discriminación entre los momentos en que el sonido llega a cada uno de los oídos. La presión que ejerce el sonido que se transmite a través del agua sobre los huesos de todo el cráneo, provoca vibraciones que se transmiten dentro del mismo. Cuando el hueso que aloja los oídos medio e interno (timpanoperiótico o bula timpánica) está rígidamente unido al cráneo, como sucede en casi todos los mamíferos, las vibraciones del agua se transmiten a través de los huesos craneanos y llegan al oído de varias direcciones. Como resultado, cuando un mamífero de este tipo se sumerge en el agua, es incapaz de localizar con precisión una fuente de sonido (21,60,84).

Puesto que la ubicación de sonidos es de suma importancia para los delfines, estos animales han adquirido varias peculiaridades estructurales que aíslan los huesos que envuelven los oídos medio e interno del resto del cráneo. En primer lugar, los huesos timpanoperióticos no están fusionados al cráneo y están separados por un espacio considerable de los huesos adyacentes del cráneo. Además, los huesos que envuelven los oídos medio e interno están aislados por un complejo sistema de senos aéreos. Los senos aéreos rodean los huesos timpanoperióticos y se extienden hacia adelante hasta las fosas pterigoideas ensanchadas; cada seno está conectado, por medio de las trompas de Eustaquio, con la cavidad del oído medio. Los senos están llenos de una emulsión oleomucosa, espumada con aire y rodeada por tejido conectivo fibroso y redes venosas. La espuma presente en los senos aéreos forma una capa alrededor de los huesos que rodean los oídos medio e interno que mantiene cualidades de reflexión y de aislamiento acústico constante a través de una amplia gama de presiones (55,56,60,84).

El nervio auditivo, que lleva al cerebro los impulsos del oído, lleva más pulsos por segundo de los que puede llevar el nervio auditivo del hombre. El cerebro, que debe recibir, clasificar e interpretar infinidad de ecos, presenta un desarrollo notable de los centro acústicos. Una sola sucesión de ecos, da lugar a la formación de una imagen mental compleja (24).



**FIGURA 4. ESTRUCTURAS ANATOMICAS INVOLUCRADAS  
EN EL PROCESO DE ECOLOCALIZACION**

- 1) Sacos aéreos
- 2) Melón
- 3) Mandíbula inferior

Tomado de Busnell, R.G.(19).

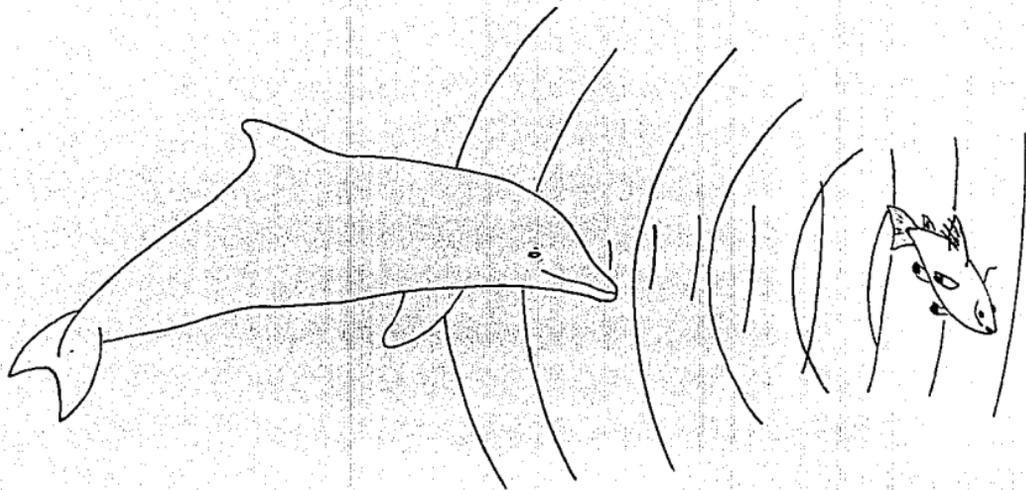


FIGURA 5. La diferencia de intensidad o incluso de frecuencia entre el sonido reflejado y el sonido emitido, y el tiempo que dura el eco para volver, ofrece al animal una "visión" exacta y detallada de su entorno. Tomado de Kellog, W.N. (47).

### C. Clics, sonidos empleados en la ecolocalización

Las estructuras altamente especializadas para la producción de sonidos evolucionaron en respuesta a la socialización y la necesidad de comunicarse. Los delfines producen unos ruidos silbantes, gruñidos y silbidos, que aparentemente componen el lenguaje mediante el cual se comunican emociones como el miedo, el placer, envían advertencias a sus compañeros o se pasan cualquier otra información. Los silbidos son los sonidos más importantes empleados en la comunicación. Los silbidos duran .1 a .4 segundos. Pueden ser producidos solos, sin embargo grupos de dos o tres son los más comunes. El intervalo de frecuencia de los silbidos es de 4 000 a 18 000 hertz. Algunos investigadores han identificado hasta 2 000 diferentes silbidos, los cuales se emiten en una forma estructurada y, curiosamente, los delfines jóvenes utilizan sonidos más simples en comparación con los adultos (14,20,24,62,68,76,81).

Los sonidos empleados en la ecolocalización son los clics y pueden también ser utilizados en la comunicación. Los clics son producidos solos o en chasquidos los cuales suenan como una piqueta que rechina, los chasquidos constan de una serie de pulsos cortos. Cada emisión es un complejo de ondas cuyas frecuencias varían dentro y entre los pulsos. La energía está ampliamente distribuida entre 1 hertz a 196 000 hertz, la mayoría se encuentra abajo de los 30 000 hertz; algunos pulsos, sin embargo, concentran la energía en la región ultrasónica (arriba de los 20 000 hertz) y por lo tanto inaudible para el ser humano (3,5, 7,35,44,54,86).

Los clics pueden ser tan breves como .1 milisegundos, los pulsos pueden contener menos de 1 hasta 600 clics por segundo. Los pulsos pueden durar desde .5 segundos hasta 15 segundos (25, 45,79,80).

Los clics de baja frecuencia, llamados de orientación, le dan al delfín una visión completa de lo que le rodea, independientemente de lo que le proporcionan sus ojos; los clics de alta frecuencia, llamados de discriminación, le proporcionan una imagen detallada del objeto que le interesa. La tasa de emisión de pulsos aumenta conforme el delfín se aproxima a su blanco. Los clics son producidos intermitentemente cuando los delfines

se encuentran en aguas claras o áreas que les son familiares. Cuando se encuentran en aguas turbias, áreas que desconocen, cuando les son vendados los ojos o se les presenta un objeto nuevo, el número y la frecuencia de los clics aumenta (8,9,12,13,34).

Para explorar su entorno, el delfín emite clics de baja frecuencia que son de largo alcance; los clics de alta frecuencia tienen un campo de acción más reducido pero ofrecen imágenes de una mayor precisión. Las informaciones proporcionadas por un eco son por lo menos de cuatro órdenes: sobre la dirección, las variaciones de la frecuencia, la amplitud del sonido y el tiempo que transcurre entre el momento de la emisión del clic y el retorno del eco. Cuando el delfín mueve la cabeza, que juega el papel de transductor, explora el espacio y localiza el origen del eco, y por lo mismo, la situación del objeto sometido a su investigación. Las variaciones de la frecuencia le informan sobre el tamaño, la forma e incluso la naturaleza del objeto; en cuanto a la amplitud del sonido y el tiempo transcurrido, le permiten calcular las distancias (4,24,38,59,64,74,75).

La agudeza de este sistema de percepción parece ser muy grande y se ha puesto de manifiesto en múltiples estudios realizados con delfines hocico de botella (Tursiops truncatus) en cautiverio. Por medio de la ecolocalización, el delfín es capaz de orientarse y calcular distancias; distinguir el tamaño, la forma, la estructura y la densidad de los objetos. Los delfines, aún con los ojos tapados, logran distinguir perfectamente a diez metros o más, entre dos objetos de diámetro prácticamente equivalente (Fig. 6). Una hembra adulta, pudo distinguir entre dos esferas de acero, una sólida y la otra con un diámetro interior de 0.6 cm, ambas esferas con 15 cm de diámetro exterior. En otro estudio, el delfín puesto a prueba pudo distinguir entre unos cilindros de aluminio con un grosor de las paredes de 0.64 y 0.95 cm, respectivamente (10,19,24,28,41).

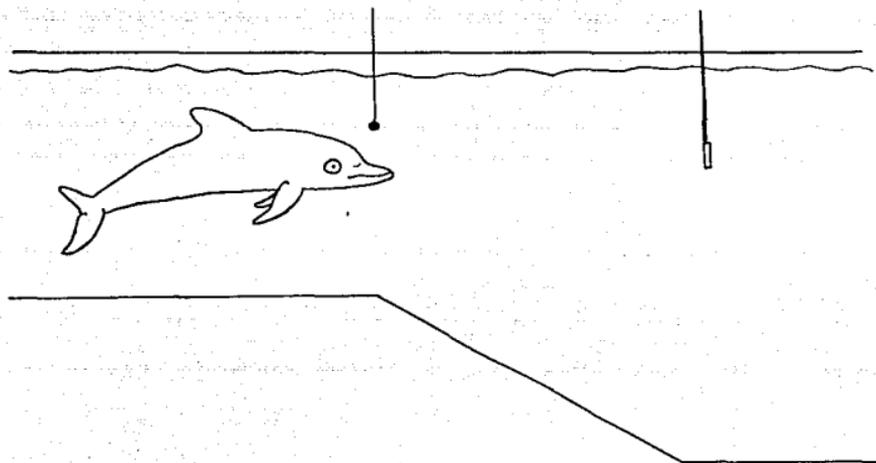
Por medio de la ecolocalización, los delfines pueden diferenciar objetos hechos de diferentes materiales. Pueden distinguir entre un pedazo de pescado y una cápsula artificial de la misma forma pero llena de agua; diferenciar monedas de diferente metal aún cuando éstas se encuentran entre el lodo. Dolly, un delfín hembra entrenado por la Marina Americana, pudo encontrar tres monedas lanzadas al mismo tiempo en tres direcciones diferentes

En otro experimento, el delfín detectó la presencia o ausencia de unos cilindros de aluminio a 40, 60, 80, 100 y 200 m de distancia; el número de respuestas correctas solo disminuyó cuando en un mismo tren de prueba, se le pidió ecolocalizar los cilindros en las diferentes distancias establecidas previamente (24,30,38,48,57, 65,77).

Al aumentar la capacidad de producción de sonidos intensos y enfocados cuya finalidad era la ecolocalización, surgió una aptitud por completo nueva: las presas sometidas a esos ruidos se debilitaban. Algunos investigadores aseguran que el delfín es capaz de producir sonidos tan intensos que pueden producir un choque suficientemente fuerte como para aturdir a sus presas, incluso la intensidad de algunos sonidos equivale a los umbrales mortales para algunos peces marinos. En 1982, Hult observó casos de desorientación entre los peces que forman cardúmenes, lo que lo impulsó a plantear la hipótesis de que ese fenómeno tenía por causa los sonidos de alta frecuencia de una manada de delfines que se aproximaba al lugar. Aunque todavía no se demuestra la existencia del debilitamiento acústico de las presas, este fenómeno parece muy probable ya que justificaría las adaptaciones sufridas por las mandíbulas y la dentadura, las cuales, no son apropiadas para masticar o forcejear con las presas, incluso animales con mandíbulas deformes o lesionadas, incapaces de sujetar a sus presas con los dientes, han sido encontrados con el estómago lleno (21,24,43, 58).

La mayoría de los mamíferos son animales terrestres, pero los delfines son mamíferos que abandonaron la tierra y se fueron al mar hace millones de años. Sus órganos emisores y receptores de sonidos son notables porque en su origen evolucionaron para la vida en la tierra y después tuvieron que adaptarse nuevamente para la vida en el medio acuático (21).

En el delfín, la producción de sonidos inició por la necesidad de comunicarse con sus congéneres. Posteriormente, por las condiciones de poca visibilidad que le ofrecía el medio que lo rodeaba, se vio obligado a desarrollar un sistema que le permitiera localizar sus presas y evitar obstáculos, lo cual logró, mediante el enfoque de la energía generada por sus propios sonidos.



**FIGURA 6.** Aún con los ojos tapados, el delfín por medio de la ecolocalización puede distinguir perfectamente entre objetos de diámetros prácticamente equivalentes.  
Tomado de Busnell, R.G. (19).

## CONCLUSIONES

Los órganos emisores y receptores de sonidos se desarrollaron cuando los ancestros de los delfines volvieron al mar y tuvieron que adaptarse a las limitaciones que les ofrecía el mundo subacuático.

Los delfines producen principalmente dos tipos de sonidos: los silbidos que son empleados en la comunicación y los clics que se emplean fundamentalmente en la ecolocalización.

Por medio de la ecolocalización, el delfín es capaz de orientarse y calcular distancias; distinguir el tamaño, la forma, la estructura y la densidad de los objetos; localiza sus presas con gran facilidad y evade los obstáculos que se le presentan.

El delfín hocico de botella (Tursiops truncatus) es la especie de delfínido en la cual se han llevado a cabo el mayor número de estudios sobre ecolocalización, por su inteligencia, interés que pone en colaborar en dichos estudios y por su docilidad.

Los resultados que se han obtenido de los estudios realizados sobre la ecolocalización en los delfines, han permitido que los aparatos de sonar creados por el hombre se perfeccionen.

La ecolocalización ha sido empleada en la búsqueda de barcos, submarinos y tesoros sumergidos en el fondo del océano. En el área de la Medicina, se le ha utilizado como un valioso instrumento de cirugía y el Ultrasonido Diagnóstico hoy en día se emplea como el método diagnóstico de elección en un gran número de patologías.

No obstante los adelantos científicos y tecnológicos, falta todavía mucho por conocer sobre la ecolocalización en los delfines.

Entre los misterios que aún no se han logrado descifrar, es cómo resuelve el delfín los problemas específicos de la acústica marina que limitan tan seriamente el funcionamiento de los sonares fabricados por el hombre. El delfín sale airoso ante los obstáculos de la refracción, de la reverberación, de la dispersión, de la reflexión de las ondas sonoras bajo el agua, así como de la acción de las diferentes características del medio, tales como densidad, temperatura, concentraciones de plancton, etc.

Los científicos se esfuerzan por analizar el magnífico sistema sonoro que poseen los delfines y se siguen realizando innumerables estudios, lo que hace necesaria la recapitulación continua de los mismos, para poder contar con la información actualizada.

## B I B L I O G R A F I A

1. ALVARADO, R.: El Mundo de los Animales. 2nd. ed. Noguer, Barcelona, 1976.
2. AMUNDIN, M. and ANDERSEN, S.H.: Bony nares air pressure and nasal plug muscle activity during click production in the harbour porpoise Phocoena phocoena and the bottlenosed dolphin Tursiops truncatus. J. Exp. Biol., 105: 275-282 (1983).
3. AU, W.W.L.: Echolocation Signals of the Atlantic Bottlenose Dolphin Tursiops truncatus in Open Waters. In: Animal Sonar Systems. Edited by Busnel, R.G. and Fish, J.A. Plenum Press, New York, 1980.
4. AU, W.W.L., FLOYD, R.W. and HAUN, J.E.: Propagation of Atlantic bottlenose dolphin echolocation signals. J. Acoust. Soc. Am., 64: 411-422 (1978).
5. AU, W.W.L., FLOYD, R.W., PENNER, R.H. and MURCHISON, A.E.: Measurement of Echolocation Signals of the Atlantic Bottlenose Dolphin Tursiops truncatus, in Open Waters. J. Acoust. Soc. Am., 56: 1280-1290 (1974).
6. AU, W.W.L. and MOORE, P.W.B.: Receiving Beam Patterns and Directivity Indices of the Atlantic Bottlenose Dolphin Tursiops truncatus. J. Acoust. Soc. Am., 75: 255-262 (1984).
7. AU, W.W.L. and PAIRLOSKI, D.A.: A comparison of signal detection between an echolocating dolphin and an optimal receiver. J. Comp. Physiol., 164: 451-458 (1989).
8. AU, W.W.L. and PENNER, R.H.: Target Detection in Noise by Echolocating Atlantic Bottlenosed Dolphins. J. Acoust. Soc. Am., 70: 687-693 (1981).
9. AU, W.W.L., PENNER, R.H. and KADANE, J.: Acoustic Behavior of Echolocating Atlantic Bottlenosed Dolphins. J. Acoust. Soc. Am., 71: 1269-1275 (1982).
10. AU, W.W.L., SCHUSTERMAN, R.J. and KERSTING, D.A.: Sphere-cylinder Discrimination via Echolocation by Tursiops truncatus. In: Animal Sonar Systems. Edited by Busnel, R.G. and Fish, J.A. Plenum Press, New York, 1980.
11. AU, W.W.L. and SYNDER, K.J.: Long-range Target Detection in Open Waters by an Echolocating Atlantic Bottlenose Dolphin Tursiops truncatus. J. Acoustic Soc. Am., 68: 1077-1084 (1980).

12. AU, W.W.L. and TURL, C.W.: Target Detection in Reverberation by an Echolocating Atlantic Bottlenose Dolphin Tursiops truncatus. J. Acoust. Soc. Am., 73: 1676-1681 (1983).
13. AU, W.W.L. and TURL, C.W.: Dolphin Biosonar Detection in Clutter Variation in the Pay off Matrix. J. Acoust. Soc. Am. 76: 955-957 (1984).
14. BLAICH, C.F.: The use of vocalizations as a means of coordinating behavior in Atlantic bottlenosed dolphins. Diss. Abst. Int. Pt. B-Sci., 47: 64 (1987).
15. BRILL, R.L., SEVENICH, M.L., SULLIVAN, T.J., SUSTMAN, J.D. and WITT, R.E.: Behavioral evidence for hearing through the lower jaw by an echolocating dolphin Tursiops truncatus. Mar. Mamm. Sci., 4: 223-230 (1988).
16. BROWN, W.R., GERACI, J.R., HICKS, B.D., ST. AUBIN, D.J. and SHROEDER, J.P.: Epidermal cell proliferation in the bottlenose dolphin Tursiops truncatus. Can. J. Zool., 61: 1587-1590 (1983).
17. BRUCE-ALLEN, L.J. and GERACI, J.R.: Wound healing in the bottlenose dolphin Tursiops truncatus. Can. J. Fish Aquat. Sci., 42: 216-228 (1985).
18. BURTON, M. and BURTON, R.: Enciclopedia de la vida animal. Brugera, Barcelona, 1979.
19. BUSNELL, R.G. and FISH, J.A.: Animal Sonar Systems. Plenum Press, New York, 1980.
20. CALDWELL, M.C. and CALDWELL, D.K.: Communication in Atlantic Bottlenosed dolphins. Sea Front., 25: 130-139 (1979).
21. CARRINGTON, R.: Los mamíferos. Ediciones Culturales Internacionales, México, 1983.
22. CONNOR, R.C. and NORRIS, K.S.: Are Dolphins Reciprocal Altruists? Am. Nat., 119: 358-374 (1982).
23. CORBET, G.B. and HILL, J.E.: A World List of Mammalian Species. Comstock-Cornell University Press, London, 1980.
24. COUSTEAU, J.I.: Mundo Submarino. Ediciones Urbión, Madrid, 1978.
25. DIERCKS, K.J., TROCHTA, R.T., GREENLAW, C.F. and EVANS, W.E.: Recording and analysis of dolphin echolocation signals. J. Acoust. Soc. Am., 49: 1729-1732 (1971).
26. DIJKGRAAF, S.: Spallanzani's unpublished experiments on the sensory basis of objects perception in bats. Ibis, 51: 163 (1960).

27. DORMER, K.J.: Mechanism of sound production and air recycling in delphinids: cineradiographic evidence. J. Acoust. Soc. Am., 65: 229-239 (1979).
28. DZIEDZIC, A. and ALCURI, G.: Shape acoustical recognition by the dolphin Tursiops truncatus and associated variations of the parameters of the emitted signals. C.R. Hebd. Seances Acad. Sci. Paris, 285: 981-984 (1977).
29. EISENBERG, J.F.: The mammalian radiations; and analysis of trends in evolution adaptation and behavior. University of Chicago, Illinois, 1981.
30. FORESTELL, H. and LOUIS, M.: Delayed matching of visual materials by a bottlenosed dolphin aided by auditory symbols. Anim. Learn. Behav., 16: 137-146 (1988).
31. GALAMBOS, R. and GRIFFIN, D.R.: The supersonic cries of bats. Anat. Rec., 78: 95 (1940).
32. GALAMBOS, R. and GRIFFIN, D.R.: Obstacle avoidance by flying bats; the cries of bats. J. Exp. Zool., 89: 475-490 (1942).
33. GINGERICH, P.D., WELLS, N.A., RUSELL, P.E. and IBRAHIM, SHAH, S.M.: Origin of whales in epicontinental remnant seas: New evidence from the Early Eocene of Pakistan. Science, 220: 403 (1983).
34. GOODSON, A.D., KLINOWSKA, M. and MORRIS, R.: Interpreting the acoustic pulse emissions of a wild bottlenose dolphin Tursiops truncatus. Aquat. Mamm., 14: 7-12 (1988).
35. GREEN, D.M., BIRDSALL, T.G. and TANNER, W.P., Jr.: Detection as a function of Signal Intensity and Duration. J. Acoust. Soc. Am., 29: 523-531 (1957).
36. GREEN, R.F., RIDGWAY, S.H. and EVANS, W.E.: Functional and descriptive anatomy of the bottlenosed dolphin nasolaryngeal system with special reference to the musculature associated with sound production. In: Animal Sonar Systems. Edited by Busnel, R.G. and Fish, J.A. Plenum Press, New York, 1980.
37. GRIFFIN, D.R.: Listening in the Dark. Yale University Press, New York, 1947.
38. HAMMER, C.E. and AU, W.W.L.: Porpoise Echo-Recognition: An Analysis of Controlling Target Characteristics. J. Acoust. Soc. Am., 68: 1285-1293 (1980).
39. HARRISON, R.J.: Functional Anatomy of Marine Mammals. Academic Press, London, 1977.

40. HERMAN, L.M., PEACOCK, M.F., YUNKER, M.P. and MADESEN, C.J.: Bottlenosed dolphin: Double-slit pupil yields equivalent aerial and underwater diurnal acuity. Science, 189: 650 (1975).
41. HOL, W.A. and KAMMINGA, C.: Investigation on Cetacean sonar. Some results on the threshold detection of hollow and solid spheres performed by the Atlantic bottlenose dolphin Tursiops truncatus. Ag. Mammals, 7: 41-64 (1979).
42. HOLLIEN, H., HOLLIEN, P., CALDWELL, D.K. and CALDWELL, M.C.: Sound production by the Atlantic bottlenosed dolphin Tursiops truncatus. Cetology, 26: 8 (1976).
43. HULT, R.: Another function of echolocation for bottlenose dolphins Tursiops truncatus. Cetology, 47: 1 (1982).
44. JOHNSON, C.S.: Masked Tonal thresholds in the Bottlenosed Porpoise. J. Acoust. Soc. Am., 44: 965-967 (1968).
45. JOHNSON, C.S.: Relation between Absolute threshold and Duration of Tone Pulses in the Bottlenosed Porpoise. J. Acoust. Soc. Am., 43: 757-763 (1968).
46. KELLOG, W.N. and KOHLER, R.: Responses of the porpoise to ultrasonic frequencies. Science, 116: 250-252 (1952).
47. KELLOG, W.N. and KOHLER, R. and MORRIS, H.N.: Porpoise sounds as sonar signals. Science, 117: 239-243 (1953).
48. KINNE, O.: Mammals: Orientation in Space. In: Marine Ecol. II Edited by J. Wiley & Sons, London, 1975.
49. KLEINSCHMIDT, T. and BRAUNITZER, G.: The primary structure of the bottlenosed dolphin Tursiops truncatus hemoglobin. Biomed. Biochim. Acta, 42: 685-695 (1983).
50. LEATHERWOOD, S.: Some observations of feeding behavior of bottlenosed dolphins Tursiops truncatus in the northern Gulf of Mexico and Tursiops gilli off southern California, Baja California, and Nayarit, Mexico. Mar. Fish. Rev., 37: 10-16 (1975).
51. LENFANT, C.: Physiological properties of blood marine mammals. In: The Biology of Marine Mammals. Academic Press, New York, 1969.
52. MACKAY, R.S.: Dolphin air sac motion measurements during vacuolization by two noninvasive ultrasonic methods. In: Animal Sonar Systems. Plenum Press, New York, 1980.

53. MACKAY, R.S. and LIAW, H.M.: Dolphin vocalization mechanisms. Science, 212: 676-678 (1981).
54. MADIGOSKY, W.M., LEE, G.F., HAUN, J., BORKAT, F. and KATAOKA, R.: Acoustic surface wave measurements on live bottlenose dolphins. J. Acoust. Soc. Am., 79: 153-159 (1986).
55. McCORMICK, J.G., WEVER, E.G., PALIN, J. and RIDGWAY, S.H.: Sound conduction in the dolphin ear. J. Acoust. Soc. Am., 43: 1418-1428 (1970).
56. McCORMICK, J.G., WEVER, E.G., PALIN, J. and RIDGWAY, S.H.: Sound reception in the dolphin ear as it relates to echolocation. In: Animal Sonar Systems. Plenum Press, New York, 1980.
57. NACHTIGALL, P.E.: Odontocete echolocation performance on object, size, shape and material. In: Animal Sonar Systems. Plenum Press, New York, 1980.
58. NORRIS, K.S. and MOHL, B.: Can odontocetes debilitate prey with sound? Amer. Nat., 122: 85 (1983).
59. NORRIS, K.S., PRESCOTT, J.H., ASA-DORIAN, P.V. and PERKINS, P.: An experimental demonstration of echolocation behavior in the porpoise Tursiops truncatus. Biol. Bull., 120: 116-176 (1961).
60. OELSHLAGER, H.A.: Tympanohyal bone in toothed whales and the formation of the tympano-periotic complex. J. Morphol., 188: 157-165 (1986).
61. PEDDIE, J.F.: Features of sea mammals' physiology. Med. Vet. Pract., 59: 621-622 (1978).
62. PETERS, R.: Mammalian Communication: A behavioral analysis of meaning. Brooks-Cole Press, California, 1980.
63. PIERCE, G.W. and GRIFFIN, D.R.: Experimental determination of supersonic notes emitted by bats. J. Mammal., 19: 454-455 (1938).
64. PILLERI, G., ZBINDEN, K., MINGLONG, H.: The sonar field in the bottlenose dolphin Tursiops truncatus. Invest. Cetacea, 14: 81-94 (1982).
65. PURVES, P.E. and PILLERI, G.: Echolocation in Whales and Dolphins. Academic Press, London, 1981.
66. READ, A.J., WAEREBEEK, K.V., REYES, J.C., MCKINNON, S. and LEHMAN, L.C.: The exploitation of small cetaceans in coastal Peru. Biol. Conserv., 46: 53-70 (1988).

67. REIDENBERG, J.S. and JEFFREY, T.L.: Existence of vocal folds in the larynx of Odontoceti (toothed whales). Anat. Rec., 221: 884-892 (1988).
68. RENAUD, D.L. and POPPER, A.N.: Sound localization by the bottlenose porpoise Tursiops truncatus. J. Acoust. Soc. Am., 63: 569-585 (1975).
69. RIDGWAY, S.H., BOWERS, C.A., MILLER, D., SHULTZ, M.L., JACOBS, C.A. and DOOLEY, C.A.: Diving and blood oxygen in the white whale. Can. J. Zool., 62: 2349-2351 (1984).
70. RIDGWAY, S.H., CARDER, D.A., GREEN, R.F., GAUNT, A.S., GAUNT, S.L. and EVANS, W.E.: Electromyographic and pressure events in the nasolaryngeal system of dolphins during sound production. In: Animal Sonar Systems. Edited by Busnel, R.G. and Fish, J.A. Plenum press, New York, 1980.
71. RIDGWAY, S.H., BOWERS, C.A., MILLER, D., SCRONCE, B.L. and KANWISHER, J.: Respiration and deep diving in a bottlenose porpoise. Science, 166: 1651-1654 (1969).
72. RODRIGUEZ, F.F.: Enciclopedia Salvat de la Fauna. Salvat, Pamplona, 1985.
73. SCHEVILL, W.E. and MCBRIDE, A.F.: Evidence for echo-location by cetaceans. Deep Sea Res., 3: 153-158 (1956).
74. SHONE, H.: Spatial Orientation: The Spatial Control of Behavior in Animals and Man. Princeton University Press, New Jersey, 1980.
75. SCHUSTERMAN, R.J.: Behavioral Methodology in Echolocation by Marine Mammals. In: Animal Sonar Systems. Plenum Press, New York, 1980.
76. SCHUSTERMAN, R.J. and GISINER, R.: Artificial language comprehension in dolphins and sea lions: the essential cognitive skills. Psychol. Rec., 38: 311-348 (1988).
77. SCHUSTERMAN, R.J., KERSTING, D. and AU, W.W.L.: Response Bias and Attention in Discriminative Echolocation by Tursiops truncatus. In: Animal Sonar Systems. Plenum Press, New York, 1980.
78. SIMONS, D. and HUIGEN, M.: Analysis of an experiment on colour vision in dolphins. Aquat. Mamm., 5: 27-33 (1977).
79. TURL, C.W. and PENNER, R.H.: Differences in echolocation click patterns of the beluga Delphinapterus leucas and the bottlenose dolphin Tursiops truncatus. J. Acoust. Soc. Am.,

- 86: 497-502 (1989).
80. TURL, C.W., PENNER, R.H. and AU, W.W.L.: Comparison of target detection capabilities of the beluga and bottlenose dolphin. J. Acoust. Soc. Am., 82: 1487-1491 (1987).
  81. TYACK, P.: An optical telemetry device to identify which dolphin produces a sound. J. Acoust. Soc. Am., 78: 1892-1894 (1985).
  82. VARANASI, U. and MALINS, D.C.: Unique lipids of the porpoise Tursiops truncatus: differences in triacylglycerols and wax-esters of acoustic (mandibular and melon) and blubber tissues. Biochem. Biophys. Acta, 231: 415-418 (1971).
  83. VARANASI, U. and MALINS, D.C.: Triacylglycerols characteristic of porpoise acoustic tissues; molecular structures of di-isovaleroylglyceridos. Science, 176: 926-928 (1972).
  84. VEL'MIN, V.A. and DUBROVSKY, N.A.: The Critical Internal of Active Hearing in Dolphins. Sov. Phys. Acoust., 2: 351-352 (1976).
  85. VIDELE, J. and KAMERMANG, P.: Differences between upstroke and downstroke in swimming dolphins. J. Exp. Biol., 119: 265-274 (1985).
  86. WEISSER, F.L., DIERCKS, K.J. and EVANS, W.E.: Analysis of Short Pulse Echoes from Copper Plates. J. Acoust. Soc. Am., 42: 1211 (1967).
  87. WURSIG, B.: Occurrence and group organization of Atlantic bottlenose porpoises Tursiops truncatus in an Argentine Bay. Biol. Bull. Mar. Biol. Lab., 152: 348-359 (1978).
  88. YOSHIOKA, M., MOHRI, E., TOBAYANA, T., AIDA, K. and HANYU, I.: Annual changes in serum reproductive hormone levels in the captive female bottle-nosed dolphins. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 52: 1939-1946 (1986).
  89. YOUNG, N.M., HOPE, G.M., DAWSON, W.W. and JENKINS, R.L.: The tapetum fibrosum in the eyes of two small whales. Mar. Mamm. Sci., 4: 281-290 (1988).
  90. ZHOU, K.: Notes on two species of dolphins of the genus Tursiops truncatus in Chinese waters. Acta Theriol., 7: 246-254 (1987).