

**Comunicación Animal
+
Aplicaciones Humanas Análogas**

Germán Ghio
germanghio@gmail.com

Fecha de realización: Agosto del 2004

INDEX

1. Introducción

1.1. El sonido y las ondas

1.1. El sonido

1.2. Niveles y decibeles

2. Los humanos

2.1. El oído humano

2.2. Las cuerdas vocales

3. Comunicación en cetáceos

3.1. Los delfines

3.1.1. La vida social

3.1.2. La inteligencia

3.1.3. Ecolocación en delfines

3.1.4. Comunicación

- 3.2. **Las ballenas**
 - 3.2.1. **Sentidos e inteligencia**
 - 3.2.2. **El canto de las ballenas, su comunicación**
 - 3.3. **Ecolocalización en cetáceos**
 - 4. **Mamífero volador con un sistema muy especial**
 - 4.1. **Los murciélagos**
 - 4.2. **Sonar pasivo y activo**
 - 5. **Los mensajes sísmicos, comunicación a distancia**
 - 5.1. **Aprovechando las ondas sísmicas**
 - 5.2. **Gritos en el aire y ondas en la tierra**
 - 5.3. **Detectando las ondas sísmicas**
 - 5.4. **Descifrando el idioma sísmico de los elefantes**
 - 6. **Nosotros no logramos escucharlos...¿Podrán ellos?**
-

1. INTRODUCCIÓN

1. EL SONIDO Y LAS ONDAS

1.1. El sonido

Se dice que hay un sonido cuando una perturbación mecánica se propaga por un medio material y llega a un receptor con capacidad para producir en él una sensación. Por tanto para que exista sonido deben existir:

- Un elemento capaz de producir una perturbación mecánica,
- Un medio capaz de propagar la perturbación.
- Un oyente sobre el cual se produce una sensación auditiva.

No obstante se considera un fenómeno acústico cuando la perturbación y el medio reúnen las características, para que, en caso de existir un oyente percibiera la sensación.

La misma definición da a entender que el sonido puede ser detectado y evaluado mediante la medida de alguna de las magnitudes físicas del medio que la perturbación haga variar con respecto a su posición de equilibrio. Generalmente la magnitud usada es la presión.

Para que exista una propagación de la perturbación en un medio, éste debe tener dos propiedades:

Inercia:

Permite a un elemento del medio transferir energía al elemento contiguo, y está relacionada con la densidad del medio.

Elasticidad:

Produce una fuerza en el elemento desplazado que tiende a llevarlo a su posición de equilibrio.

El sonido cualquiera que sea la naturaleza de la fuente que lo produce se origina por una onda de presión producida por una fuente vibratoria, debido a esto, el movimiento de las partículas del medio se estudia con las características del movimiento ondulatorio.

Desde el punto de vista psíquico el sonido se caracteriza por tres cualidades:

Intensidad:

Distingue un sonido fuerte de uno débil.

Tono:

Distingue un sonido grave de uno agudo.

Timbre:

Distingue dos sonidos de la misma intensidad y tono, pero producido por distintas fuentes.

1.2. Niveles y decibeles

La medición de la energía acústica entraña cierta dificultad, ya que su magnitud es muy pequeña y es frecuente que la diferencia entre los sonidos más débiles y los más fuertes sea de millones de veces. Ocurre además que el oído humano es capaz de detectar sensaciones sonoras con intensidades que están en el margen de 1 a 10^{14} y que un aumento doble de intensidad del sonido no implica un aumento doble de la sensación auditiva, lo que significa que si la intensidad se duplica un cierto número de veces el oído aprecia una suma de tantos términos como veces se duplicó la intensidad. Así la escala empleada para medir es *LOGARITMICA* y las medidas están referidas a un valor de base que se toma como referencia de la escala de medida.

Las magnitudes a manejar se llaman *NIVELES* y siempre están referidas a un nivel cero que corresponde con la referencia a la que se establece la escala de medida.

En la práctica el *BELIO* es una unidad muy grande por lo que se emplea el *DECIBELIO (dB)* que se define como la décima parte del *BELIO*. Por lo tanto se tiene que: 1 BELIO = 10 DECIBELIOS.

En la medida de *Nivel de presión* la referencia en el sistema MKS es el *MICROPASCAL* denotado μP y que equivale a 10^{-6} Newton/m²; en el sistema CGS la referencia es el μBar que equivale a 1 dina/cm².

La conversión de un sistema a otro es:

$$L \text{ ref } \mu P = L \text{ ref } \mu Bar + 100 \text{ dB.}$$

Cuando se habla de sonido en general no se puede considerar a las fuentes sonoras como emisores de una sola frecuencia, sino como elementos complejos formados por multitud de frecuencias con diferentes amplitudes y distintas duraciones temporales. Debido a esto es muy difícil que cuando hay dos fuentes sonoras se pueda producir el acoplamiento de ambos sonidos; esto se denomina *INCOHERENCIA*.

Cuando dos fuentes sonoras actúan sobre el mismo punto el nivel resultante en ese punto no es la suma algebraica de ambos niveles, lo cual implicaría coherencia entre las fuentes, sino que deben sumarse las intensidades parciales y posteriormente calcular el nivel total.

Cuando ambas intensidades son iguales puede comprobarse por aplicación de la fórmula que el nivel resultante es el nivel de cualquiera de ellas más 3 dB. Se puede apreciar asimismo que cuando la diferencia de niveles es mayor de 10 dB, es decir, la diferencia entre intensidades es tal que una es 10 veces la otra, el nivel resultante es prácticamente igual al nivel de la mayor.

2.1. EL OÍDO HUMANO

El tipo de estímulos que pone en marcha el mecanismo de la audición está compuesto por vibraciones u ondas sonoras. Los sonidos son pues vibraciones que se transmiten a través del aire y que al estimular las fibras nerviosas del oído generan impulsos. Cuando tales impulsos después de recorrer las vías auditivas, alcanzan su área de proyección situadas en los lóbulos temporales dan lugar a la percepción del sonido.

Las ondas sonoras o vibraciones se propagan a través del aire (y también de otros elementos). Constan de tres propiedades que son: **frecuencia**, **amplitud** y **timbre**, lo que confiere al sonido percibido distintas características.

Frecuencia: Cantidad de ondas sonoras por segundo que determinan el tono que la persona oye. Una frecuencia elevada da lugar a sonidos agudos, en cambio, la frecuencia baja da lugar a sonidos graves. El oído humano es sensible a un margen de frecuencia entre 20 y 20000 Hz, mientras que

ciertos animales como el perro captan frecuencias más elevadas.

Amplitud: Representa la cantidad de energía en cada onda medida por la altura de la misma y determina la intensidad del sonido. Está relacionada con la amplitud de la onda sonora y la energía que transporta. Una conversación normal puede tener 60 decibeles, mientras que el ruido producido por un tren subterráneo corresponde a 110 decibeles. Alrededor de 120 decibeles la percepción auditiva es dolorosa y aturde a tal punto que se distorsiona. La intensidad mínima audible para el oído humano se sitúa entre 10-20 decibeles.

Timbre: Es un atributo del tono y está relacionado con la pureza y combinación de éste ya que la mayor parte de los tonos (al igual que sucede con los colores) no son puros sino combinaciones de ellos. El timbre es la cualidad del sonido que permite distinguir dos sonidos de igual tono emitidos por distintos instrumentos.

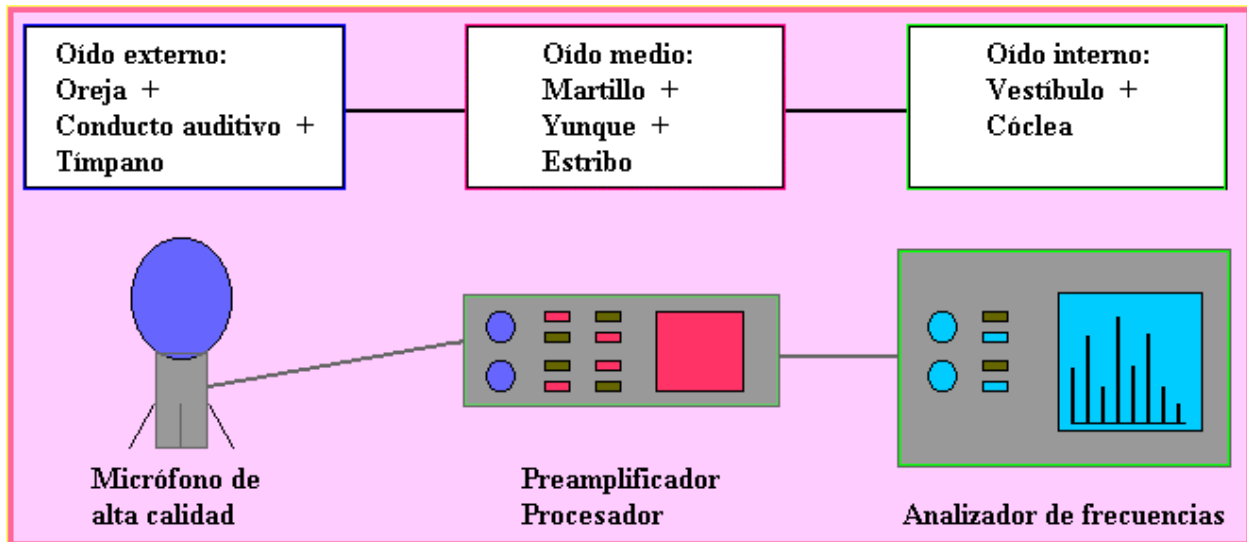
El aparato auditivo se suele considerar en una triple división del oído: **Oído externo, oído medio y oído interno.**

Oído Externo: El oído externo es la parte del aparato auditivo que se encuentra en posición lateral al tímpano. Comprende la oreja y el conducto auditivo externo, que mide tres centímetros de longitud. El pabellón de la oreja nos ayuda a determinar de donde procede el sonido. El canal auditivo (donde se puede acumular la cera) funciona como un conducto para el sonido.

Oído Medio: El oído medio se encuentra situado en la cavidad timpánica llamada caja del tímpano, cuya cara externa está formada por el tímpano, que lo separa del oído externo. Incluye el mecanismo responsable de la conducción de las ondas sonoras hacia el oído interno. Es un conducto estrecho, que se extiende unos quince milímetros en un recorrido vertical y otros quince en recorrido horizontal. La impedancia del oído es mucho más alta que la del aire y el oído medio actúa como un transformador adaptador de impedancias que mejora la transferencia de potencia. Hay una cadena formada por tres huesos pequeños y móviles que atraviesa el oído medio. Estos tres huesos reciben los nombres de martillo, yunque y estribo. Los tres conectan acústicamente el tímpano con el oído interno, que contiene un líquido. El tímpano o membrana timpánica: forma una superficie tensa, como la piel de un tambor, que convierte el sonido en vibración.

Oído interno: El vestíbulo posee dos orificios (las ventanas oval y redonda) tapados por sendas membranas. La ventana oval está unida al estribo y recibe de él sus vibraciones. La cóclea se divide longitudinalmente por la membrana basilar, sobre la que se asientan los filamentos terminales del nervio auditivo. Cuando el estribo empuja la ventana oval, se produce una sobrepresión en la parte superior de la cóclea que obliga a circular el fluido linfático hacia la cavidad inferior a través del helicotrema, mientras que la membrana basilar se deforma hacia abajo. Finalmente, la membrana elástica que cierra la ventana redonda cede hacia afuera. Cuando el estribo se mueve hacia la izquierda y la derecha, aumentando y disminuyendo la presión del líquido contenido encima de la membrana basilar, aparece una onda que se desplaza de izquierda a derecha a lo largo de la membrana. Esta onda puede visualizarse como un movimiento de traslación hacia arriba y hacia abajo de la membrana. Su velocidad de avance depende de la frecuencia y de las características de la membrana basilar. En algún punto de la cóclea la velocidad es cero. Cerca de ese punto, la membrana oscila hacia arriba y hacia abajo con mayor fuerza y absorbe la energía de la onda. Cada punto de la membrana basilar responde así a una determinada frecuencia.

Cuando el oído recibe un sonido con varias frecuencias, cada una de ellas excita un punto en la membrana basilar, de modo que el cerebro puede interpretar además de la altura del sonido su timbre, sin más que discernir qué terminaciones nerviosas fueron excitadas y con cuánta intensidad. Es decir, el oído interno funciona como un analizador de sonidos.



2.2. LAS CUERDAS VOCALES Y LA PRODUCCIÓN DEL SONIDO

El proceso básico de producción de la voz es el mismo para hablar y cantar. El cerebro envía señales a través del sistema nervioso central a los músculos de la laringe, cuello y tórax acompañado de un flujo de aire a través del tracto fonatorio obteniendo finalmente la voz.

La voz se define estrictamente como la producción de sonidos por las cuerdas vocales, por un proceso de conversión de energía aerodinámica, la cual es generada en el tórax, el diafragma y la musculatura abdominal, a una energía acústica originada en la glotis. El principio fundamental en la producción de la voz es la vibración de las cuerdas vocales, debido a un acoplamiento y modulación del flujo de aire que pasa a través de ellas generando su movimiento. La eficacia en la transformación de energía está dada por la tensión y la configuración glótica. Hablar se definiría como el resultado del sonido generado en la laringe y modificado por la resonancia de las estructuras supraglóticas.

Las teorías que definen el proceso de la voz son: la teoría mioelástica aerodinámica y la teoría cuerpo cubierta. La teoría mioelástica hace alusión al control neuromuscular de la tensión y la elasticidad de las cuerdas vocales. Durante la fonación las cuerdas vocales se encuentran en aducción, tensas y contraídas creando una presión subglótica que genera una fuerza ascendente que moviliza las cuerdas vocales en sentido lateral. La teoría aerodinámica se basa en tres principios fundamentales, el primero es el paso de aire de una región de mayor presión a una de menor presión, el segundo hace referencia a la presión de aire la cual disminuye a medida que aumenta la velocidad del aire y finalmente la velocidad del aire aumenta a medida que disminuye el diámetro de la vía por la que fluye.

El proceso se inicia cuando las cuerdas vocales se encuentran en aducción y forman un conducto supra y subglótico. El aire generado por los pulmones se acumula en la subglotis llevando a una diferencia de presión con la supraglotis produciendo una fuerza ascendente que abre las cuerdas vocales.

El movimiento originado se debe a la propagación del movimiento vibratorio por el paso del aire a través de la glotis extendiéndose a toda la estructura desde el borde inferior de la glotis al borde superior (Figura 1).

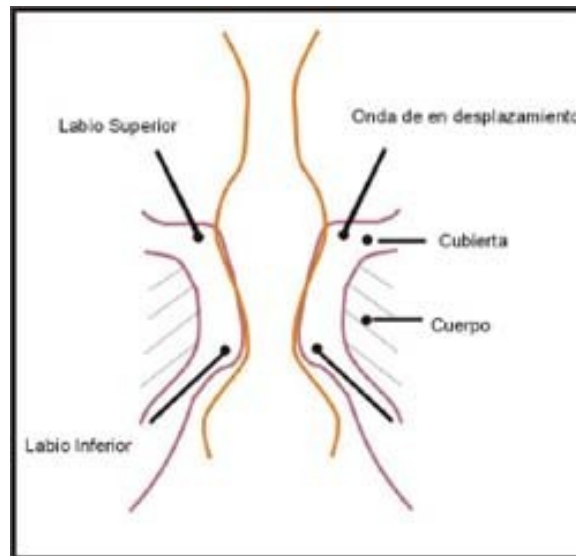


Figura 1. Onda de desplazamiento en la glotis

Posteriormente se combinan varias fuerzas para llevar nuevamente al cierre glótico. La primera se basa en el principio de Bernoulli, donde se genera una presión negativa al paso del aire desplazando medialmente las cuerdas vocales, desde el borde inferior al borde superior de los pliegues. La segunda es una fuerza pasiva de las cuerdas que tiene como función devolver las estructuras a su posición. Finalmente la tercera, el escape de aire glótico que produce disminución de la presión subglótica reposicionando los tejidos, cerrando la glotis y creando nuevamente una presión subglótica alta y el inicio de un nuevo ciclo glótico (Figura 2).

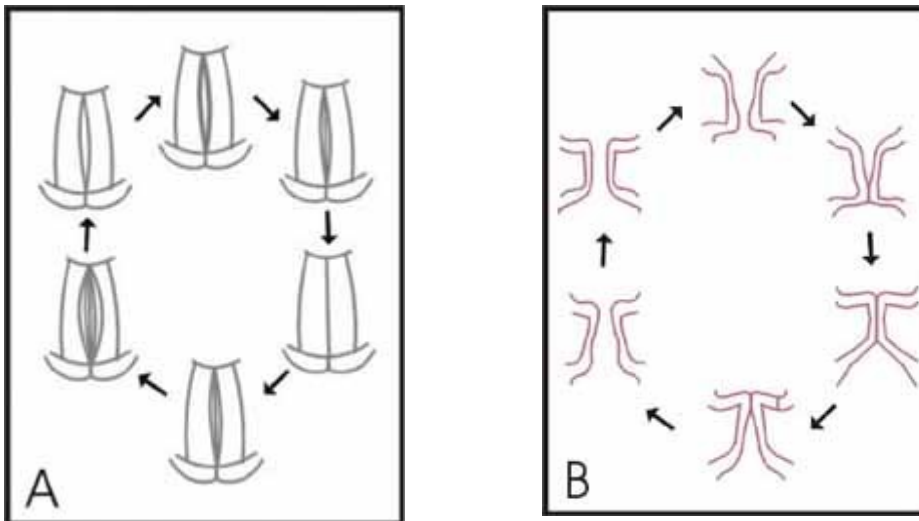


Figura 2. Movimiento de las cuerdas vocales durante el ciclo glótico. A. Vista superior. B. Corte coronal. La teoría cuerpo cubierta determina las características estructurales de las cuerdas vocales identificando dos capas principales. Una cubierta, formada por epitelio y la capa superficial de la lámina propia, la cual es flexible y elástica. El cuerpo conformado por la capa intermedia y profunda de la lámina propia y el músculo, es rígido y posee propiedades contráctiles. La base fundamental en el funcionamiento de la cuerda vocal en la producción de la voz, se basa en el acoplamiento de la cubierta con el cuerpo en la

contracción muscular. La propagación de movimiento vibratorio de apertura y cierre de la mucosa de las cuerdas vocales desde el borde inferior al borde superior, se llama Onda mucosa.

Las características de la onda generada por movimiento y vibración dependen de la tensión, presión subglótica, contracción y musculatura de la cuerda vocal, las cuales originan la frecuencia fundamental durante la producción de la voz. Esta frecuencia está dada por el rendimiento tonal, medido en Hertz (número de ciclos por segundo). La intensidad de la voz está determinada por la presión subglótica y la compresión de la cuerda vocal representada por el rendimiento vocal.

Otras características importantes que actúan sobre el rendimiento vocal y tonal son la viscoelasticidad de los tejidos, el grado de apertura glótica, la rigidez y la masa muscular, relacionándose entre sí para modificar el tono y la intensidad vocal.

El proceso de generación de la voz es complejo y secuencial, requiere un acoplamiento de componentes estruc-turales, flujo de aire y presión, los cuales crean como producto final la voz, la cual es modificada por la interacción de las características intrínsecas de las cuerdas, la función pulmonar y las estructuras de resonancia de la vía aérea superior.

3. COMUNICACIÓN EN CETÁCEOS

3.1. LOS DELFINES

Todos los animales de una misma especie, aún los más elementales, se comunican entre sí. Las señales que emiten son reconocidas por sus congéneres. En los animales sociales dotados de un alto psiquismo, como los cetáceos, estos mensajes son múltiples.

En el caso de los delfines los más importantes son los de naturaleza táctil (toqueteos, caricias, en especial amorosas), visual (posiciones, saltos) y, por supuesto, auditiva. Por el contrario los cetáceos no tienen prácticamente olfato: sus conductos respiratorios poseen muy pocas células sensoriales, y los lóbulos olfativos de su cerebro están atrofiados.

Los mensajes sonoros, por su parte, están tan individualizados, son tan regulares, tan divididos en secuencias con preguntas y respuestas, que no podemos sino definirlos como lenguaje. Los delfines emiten sonidos infinitamente variados (silbidos, ronquidos, gruñidos, tintineos, tamborileos, etc.), utilizan para ello su faringe, pero las ondas sonoras que utilizan son amplificadas por los tejidos adiposos de su cabeza. Elaboran sonidos de una frecuencia comprendida entre 100 y 150.000 hercios (el hombre sólo percibe los que se sitúan entre 100 y 15.000 hercios).

Reciben los ecos de estas emisiones por un orificio auditivo minúsculo, cuya impermeabilidad durante las inmersiones está asegurada por un grueso tapón de cerumen. Éste conduce, sin embargo, perfectamente las ondas mecánicas, ya que los animales están dotados de un oído prodigioso.

Los sonidos emitidos por los delfines les sirven tanto para dirigirse como para intercambiar mensajes.

Cuando el delfín quiere orientarse en aguas turbias o durante la noche, empieza por emitir sonidos de frecuencia baja, cuyos ecos le dan una idea del panorama general en el que va a evolucionar.

Posteriormente, balancea la cabeza de un lado a otro, produciendo sonidos de frecuencias más alta, esto significa que intenta encontrar los obstáculos de dimensiones más pequeñas. La exactitud de este sonar sorprende todavía a los especialistas: los delfines son capaces de detectar incluso a varios metros de distancia un hilo de cobre que no exceda los 0,2 milímetros de diámetro.

Los delfines necesitan comunicarse entre sí. Son muy capaces de imitar un gran número de sonidos que no acostumbran emitir. Los pequeños de esta especie aprenden verosímilmente la lengua. Reciben consignas por parte de los adultos, que comprenden, memorizan y aplican. Los adultos saben informarse entre sí acerca de la proximidad del peligro y sobre las tácticas apropiadas para enfrentarlo.

No existen pruebas definitivas de que los delfines hablen tan claramente como los humanos, pero hay numerosas hipótesis. Después de todo, para traducir el lenguaje del delfín al lenguaje humano tendríamos que poseer claves, de las que no disponemos hoy y probablemente nunca.

3.1.1. La Vida Social

Los delfines son animales eminentemente sociales; privados de la compañía de sus semejantes languidecen. Un joven delfín retirado de su madre y del rebaño no adquiere el lenguaje ni el conocimiento de su especie. Es incapaz de sobrevivir en libertad.

El rebaño típico se compone de varias hembras maduras acompañadas por su cría del año, de un cierto número de jóvenes inmaduros de ambos sexos y de uno o varios machos dominantes. Los jóvenes machos sexualmente maduros son, por lo general, apartados de la gran familia y se reúnen en grupos antes de probar su suerte individualmente e intentar imponerse como productores de un rebaño familiar junto con otro macho dominante.

La vida en grupo tiene muchas ventajas. Una de ellas es que permite asegurar la defensa colectiva de los individuos, en especial la de los jóvenes. Los principales enemigos de los delfines son los tiburones. Estos atacan a las crías, a los enfermos o a los heridos. Cuando aparecen los escualos, los delfines del grupo les hacen frente: los atacan con ferocidad dándoles con todas sus fuerzas cabezazos en el hígado. Los tiburones ganan fácilmente la partida de un delfín aislado y debilitado; pero se arriesgan contra una banda de cetáceos organizada.

La vida en sociedad facilita también la búsqueda y la captura de las presas. Los delfines que encuentran un banco de peces lo rodean inmediatamente, de manera que puedan devorar el mayor número posible. Los cetáceos tienen una perfecta técnica de caza, saben conducir a sus futuras víctimas a estrechas bahías donde se ven atrapadas.

La vida en grupo proporciona, además, ocasiones de intercambio de frases, de informarse mutuamente de la situación, de pedir asistencia a los otros miembros del grupo en caso de enfermedad; como cuando un delfín viejo o herido será sostenido en la superficie por otros dos para que respire sin cansarse, etc.

3.1.2. La Inteligencia

El delfín tiene muchas facultades que hacen pensar al hombre en que éste posee alguna forma de inteligencia. Se ha intentado reunir pruebas objetivas de las verdaderas facultades intelectuales de los delfines.

Una de las facultades del delfín es la de adaptarse exitosamente a nuevas situaciones. De ser así, es un sabio, pues logró poblar el 71 por ciento del planeta (es decir, todos los océanos).

Otra de sus facultades es su habilidad de comunicarse con su especie, como visto anteriormente.

El peso bruto del cerebro no constituye por sí mismo un indicio; por el contrario, su peso relativo comparado al total del cuerpo representa un elemento importante. Desde este punto de vista, el índice cerebral de los delfines es netamente superior al de, por ejemplo, un chimpancé, y comparable al del humano. No sólo resulta elevado el peso relativo del cerebro de los delfines, sino que su encéfalo posee circunvoluciones muy numerosas, al igual que el nuestro; el neocórtex, sede de la inteligencia y de los comportamientos superiores, está sorprendentemente bien desarrollado.

Si tuviéramos que hablar del "intelectual de los mares", el título recaería en el mayor de los delfines, la orca. Este animal ha fascinado siempre a los marinos y a los balleneros.

Antes de disponer de barcos modernos y de cañones arponeros, le consideraban demasiado listo como para pensar en inscribirle en su lista de trofeos.

Le llamaban "La ballena asesina", y sabían que no podían acercarse a ella. Las orcas aprenden muy rápidamente; por ejemplo, a reconocer los barcos de los hombres: si ven un cañón en la proa del barco, huyen.

La inteligencia de los cetáceos parece ser un hecho real, a pesar de algunas observaciones que pueden inclinar a algunos científicos a mantener la opinión contraria.

3.1.3. Ecolocación en delfines

Para obtener información sobre el ambiente, los delfines emiten sonidos cuya frecuencia oscila entre menos de 2.000 y más de 100.000 Hz. Podemos percibir los que son audibles para nosotros como una serie de golpecitos, que pueden darse como sonidos individuales o como una sucesión de sonidos unidos entre sí. El delfín, y otros miembros del suborden de los odontocetos, o cetáceos con dientes,

pueden determinar no sólo la distancia y el rumbo, sino también el tamaño, la forma, la textura y la densidad de los objetos. Además, también pueden recibir más información que nosotros por el mero hecho de alterar el tono de uno de los golpecitos dentro de la sucesión y, como cada golpecito que rebota es diferente, puede hacerles llegar un mensaje diferente. De este modo, una sola sucesión de ecos produce una compleja imagen mental de un objeto. Existen al menos cuatro tipos de información en el eco: la dirección de la cual procede, el cambio de frecuencia, la amplitud del sonido y el tiempo transcurrido entre la emisión y el retorno. Mientras el delfín explore, determina la dirección que siguen los ecos que regresan y, de este modo, la orientación del objeto que desea examinar. Los cambios de frecuencia hablan de su tamaño y su forma. La amplitud del sonido y el tiempo transcurrido dan indicios sobre la distancia. Sólo recientemente hemos comenzado a comprender de qué modo se producen y emiten estos golpecitos y la forma en que el delfín percibe el eco: las emisiones de los golpecitos nacen dentro de la cabeza del delfín. Los sonidos se producen incluso mientras el animal está bajo el agua, sin pérdida de aire, lo cual sugiere que se recicla dentro de su aparato respiratorio. Los costados de la cabeza del delfín y su mandíbula inferior, que contienen una grasa aceitosa, son las zonas que reciben el eco. La protuberancia que tiene en la frente es, probablemente, el lugar donde nacen los golpecitos para la eco localización. Cuando un delfín viaja, por lo general mueve la cabeza lentamente a un lado y al otro, hacia arriba y hacia abajo. Este movimiento es una especie de exploración global, que le permite al delfín ver un camino más ancho frente él. Pero si le interesa un objetivo pequeño, como por ejemplo un pez en medio del agua oscura, los movimientos exploratorios de la cabeza se vuelven rápidos y espasmódicos: Las frecuencias bajas tienen largo alcance pero no son direccionales, y los golpecitos de alta frecuencia sirven para investigaciones de corto alcance y alta definición. A diferencia del sonido de alta frecuencia, es probable que las vibraciones de baja frecuencia se reciban primero en el oído interno. Para poder recibir e interpretar todos estos ecos, el cerebro del delfín tiene un lóbulo auditivo mucho más grande que nuestro cerebro. Desde luego, no hay forma de saber que es lo que oye el delfín. No podemos imaginarnos cómo se oyen la forma y la distancia de los objetos. El sistema del delfín es de una precisión sorprendente y le proporciona al animal mucha más información que la que el hombre obtiene con el sonar. Por ejemplo, 'Dolly', un delfín entrenado por la marina de los Estados Unidos, es capaz de recoger tres monedas que se echan al mismo tiempo en tres direcciones distintas; recoge la primera cuando todavía se está hundiendo, y halla la segunda y la tercera entre los sedimentos, al cabo de escasos segundos, con muy poca visibilidad. El lenguaje es la comunicación de pensamientos y sentimientos. El hombre es el único ser del reino animal capaz de comunicarse por medio de patrones específicos orales bien definidos, así como a través de sus transcripciones escritas. La cuestión es: ¿existen otros animales, aparte del hombre, que tengan un lenguaje según lo que nosotros entendemos?

3.1.4. Comunicación

Sobre la tierra no hay ningún animal que este equipado con un cerebro comparable al del hombre. Pero en el mar hay varios mamíferos, incluidas orcas, los cachalotes, los delfines y las marsopas, cuyos cerebros son, al menos anatómicamente, similares al del hombre en cuanto a su tamaño. Son las únicas criaturas de la tierra dotadas de un sistema nervioso con la capacidad potencial para desarrollar procesos superiores de pensamiento. Los mismos animales, casualmente, poseen la capacidad de producir una gran variedad de sonidos. No ocurre lo mismo con el perro (cerebro pequeño, voz limitada), los simios (cerebro pequeño, voz limitada), el papagayo (voz, pero cerebro pequeño), y otros. Algunos delfines en cautiverio han modificado los sonidos que producían para imitar los silbidos del hombre, quizás intentando establecer una base para la comunicación entre las especies. Esta capacidad de manipular los sonidos resulta estimulante, pero no debemos olvidar que el papagayo también puede imitar los sonidos humanos y producirlos ante alguna señal. Se han llevado a cabo experimentos con la esperanza de demostrar que los delfines se comunican e intercambian ideas. Se colocaron dos delfines en tanques adyacentes con un 'teléfono' consistente en un transmisor y un receptor sumergidos uno en cada tanque. Sin el teléfono, los delfines no se podían escuchar, pero a través de él, las vocalizaciones se transmitían de un lado al otro electrónicamente, y podían mantener una conversación. No se podían ver. Los delfines intercambiaban golpecitos y silbidos durante la mayor parte del tiempo en que el teléfono estaba conectado. Cuando uno vocalizaba, el otro callaba. Esta conducta parece indicar que los delfines conversaban, tal vez se comunicaban, pero el significado de los silbidos sigue siendo un enigma.

Cuando se desconectaba el teléfono, los delfines dejaban producir una variedad de silbidos y tan sólo emitían 'silbidos de identificación', que repetían una y otra vez. Estos silbidos son señales personales, que se supone permiten que los otros delfines reconozcan a uno en particular. Las investigaciones recientes han hecho pensar a muchos científicos que delfines son casi tan inteligentes como los perros, y por este motivo creen que la comunicación entre el hombre y el delfín nunca superará la que existe entre el hombre y el perro. Sin embargo, otros investigadores siguen creyendo que, en algún momento, hombres y delfines serán capaces de comunicarse a un nivel más elevado. Los nuevos experimentos científicos pueden darnos la respuesta, pero también puede ser que el hombre esté, en realidad, solo.

3.2. LAS BALLENAS

Ballena (mamífero), nombre genérico que reciben los mamíferos marinos que constituyen el orden de los Cetáceos. Se diferencian del resto de mamíferos en que pasan toda su vida, desde que nacen hasta que mueren, en el agua. El término cetáceo se utiliza para nombrar de forma general a las 78 especies que existen de ballenas, delfines y marsopas.

3.2.1. Sentidos e inteligencia

El oído es el sentido más importante de las ballenas. Se sabe que producen al menos dos tipos de sonidos: los que intervienen en su sistema de ecolocación y las vocalizaciones. Es probable que ambos se produzcan como consecuencia del movimiento del aire al entrar y salir de los sacos nasales. Los sonidos de ecolocación funcionan como una especie de sonar biológico, mientras que las vocalizaciones son las conocidas canciones de las ballenas parecen ser más bien un medio de comunicación entre los miembros de la misma especie.

Es muy probable que las marsopas, los delfines y las ballenas puedan explorar su entorno utilizando ecolocación. Gracias a este sistema estos animales discriminan con precisión el tamaño o la distancia a la que se encuentra un objeto. Para ello, dirigen hacia éste los sonidos producidos en una zona de la cabeza que, después de rebotar en el objeto, vuelven hacia el animal y le proporcionan toda la información necesaria. Como el medio de propagación de los sonidos es el agua los cetáceos no han desarrollado un pabellón auditivo externo, elemento muy útil para el resto de mamíferos terrestres, pues ayuda a dirigir los sonidos hacia el interior del oído. Es fácil deducir que la ecolocación es de mayor ayuda y supone una gran ventaja a la hora de orientarse, navegar o capturar presas en la oscuridad o en aguas turbias. Por otro lado, esto no supone que los cetáceos tengan una visión pobre: por ejemplo, la agudeza visual de la orca bajo el agua es igual a la de un mamífero terrestre como el gato. La ecolocación ha sido estudiada sobre todo en el delfín mular y todavía se discute si la producción de sonidos similares por parte de otros cetáceos es un sistema de ecolocación verdadero.

Algunas especies son solitarias la mayor parte de su vida, mientras que otras viven en grupos familiares o forman grupos de cientos de individuos. Las orcas muestran un comportamiento de cooperación muy desarrollado cuando cazan, lo que indica que debe haber una comunicación muy activa entre los miembros del grupo. A pesar de toda la literatura escrita sobre el lenguaje de los cetáceos y su posible similitud con la comunicación humana todavía no hay nada probado ni definitivo.

3.2.2. El canto de las ballenas, su comunicación

Las ballenas jorobadas son las cantantes de la familia. Adoptan una posición vertical con su cabeza hacia abajo al momento de cantar. Produce ruidos sordos, como el de la octava más grave del órgano de tubo de una catedral., dándole luego paso a gemidos lastimeros y a un chillido como el que produce el aire al escaparse e un globo al estirarle el cuello. Con las notas van construyendo frases y estribillos, el canto de estas ballenas puede ser el más largo (hasta 30 minutos), y e más complejo en el reino animal. Todas las ballenas jorobadas entonan un canto igual que va evolucionando constantemente. Su sonido puede viajar kilómetros y kilómetros en las profundidades. Este canto es entonado principalmente en la etapa de reproducción de la ballena. Las poblaciones de jorobadas siguen diferentes rutas migratorias hacia zonas más cerca de los polos en verano, y hacia aguas más tropicales en el invierno, donde los

gigantes dejan de comer para concentrarse en el apareamiento. Una hembra dispuesta a aparearse va acompañada por lo general por un macho, el cuál la va cortejando. El macho, entonces, reclama a la hembra como suya y espanta a sus rivales con una estela de burbujas. Esta competencia puede llegar, en ocasiones, al extremo de herir al contrincante. Los contrincantes se chocan entre ellos, haciendo sentir en las lejanías el retumbar de sus cuerpos al golpearse uno contra otro. Esta ballena está dando señales de recuperación en todas las zonas donde habita. Los especialistas han analizado las frecuencias, los ritmos y la armonía, así como la forma en que los temas cambian año a año y varían de una población a la siguiente. Sin embargo, nadie conoce todavía el significado de estas intrincadas arias. Lo que sí se sabe es que hay jorobadas en todos los océanos.

Estas pertenecen a la familia de las ballenas barbadas. Las hembras adultas, que poseen un tamaño mayor al del macho, llegan a pesar 40 toneladas y medir 15 metros. Estas ballenas prefieren las aguas poco profundas, con frecuencia cercanas a las playas, y se encuentran entre las ballenas más sociables y más activas fuera del agua.. En consecuencia se sabe más sobre ella que sobre cualquier otra ballena de gran tamaño, aunque todavía queda mucho para aprender.

Se puede describir a las ballenas jorobadas como juguetonas. Además de saltar, golpean frecuentemente el agua con la cabeza, las aletas o la cola. Batir el agua de esa forma puede ser una forma de comunicación, como cantar. Por otro lado podría ser una expresión exaltada de frustración y esperanzas escondidas bajo el agua.

3.3. ECOLOCALIZACIÓN EN CETÁCEOS

Los cetáceos, al igual que otros vertebrados y algunos invertebrados, como por ejemplo las polillas (orden Lepidoptera), han desarrollado a lo largo de su evolución un sofisticado sistema sensorial denominado eco localización, consistente en la emisión de ondas sonoras en el agua que el animal termina recogiendo en forma de ecos y analizándolos en el cerebro.

La mayoría de las llamadas vulgarmente "ballenas con dientes" (suborden Odontoceti) presentan ecolocalización; principalmente delfines, orcas y calderones (familia Delphinidae), marsopas (familia Phocoenidae), cachalotes (familia Physeteriidae), delfines fluviales (familias: Iniidae, Platanistidae y Pontoporiidae), narvales y belugas (familia Monodontidae) y algunas de las llamadas "ballenas con barbas" (suborden Mysticeti), como los rorcuales (familia Balaenopteridae), presentan este sistema sensorial

Los sonidos utilizados en la ecolocalización por estos mamíferos consisten en cortas emisiones de "clicks" agudos repetidos a diferentes frecuencias. Los "clicks" de baja frecuencia tienen un alto poder de penetración y pueden recorrer largas distancias; éstos son reflejados por estructuras y el animal puede obtener información de la topografía circundante. Por el contrario, para localizar presas cercanas emiten "clicks" de alta frecuencia, inaudible por los humanos. Por ejemplo, el delfín mular o delfín de nariz de botella (*Tursiops truncatus*), el cetáceo mejor estudiado, estrella indiscutible de los delfinarios, se sabe que emite "clicks" a frecuencias comprendidas entre los 15 y 130 KHz, mientras que la orca (*Orcinus orca*) emite "clicks" a una frecuencia media de 14 KHz.

Los "clicks", silbidos y "chillidos" de los cetáceos son producidos y modulados al hacer pasar aire a través del conducto respiratorio (que en estos animales está separado del tracto digestivo) y de los sacos aéreos asociados al mismo mientras el espiráculo permanece cerrado. La frecuencia de estos "clicks" es regulada por contracciones y relajaciones de la musculatura asociada al tracto respiratorio y a los sacos aéreos.

En los cetáceos odontocetos (delfines, orcas, calderones, marsopas, cachalotes, etc.) una estructura, el melón, rellena de espermaceti o "esperma de ballena" (sustancia de naturaleza lipídica), situada en la frente de estos animales y ausente en las llamadas "ballenas con barbas", interviene en la ecolocalización proyectando y dirigiendo las ondas producidas hacia el frente; pero la pregunta que podríamos plantear a los cetólogos llegado este momento sería: ¿qué órgano o estructura, análoga al melón de los cetáceos odontocetos, es el responsable de proyectar estas ondas en los rorcuales puesto que carecen de dicho órgano?.

En los cetáceos estas ondas son recogidas principalmente por la mandíbula inferior, rellena de grasa, transmitiendo las señales sonoras a los oídos internos (el canal auditivo está reducido o bloqueado en la mayoría de los grupos). Cada oído recoge independientemente las señales acústicas, que protegidos por una estructura ósea y embebidos en una solución lipídica, envía la información en forma de señales

eléctricas a la corteza cerebral donde el animal elabora un "dibujo" mental del objetivo (presa u objeto) o bien de los alrededores.

Los mecanismos neurofisiológicos mediante los cuales las ondas sonoras recogidas por el animal en forma de ecos son transformadas en impulsos eléctricos que viajan desde la cóclea, en el oído interno, hasta la corteza cerebral, han sido bien estudiados en murciélagos (orden Chiroptera) pero en cetáceos todavía plantea grandes interrogantes, aunque algunos zoólogos sostienen que deben seguir un mismo patrón fisiológico en todos los vertebrados que presentan ecolocalización.

Los cetáceos producen una rica variedad de vocalizaciones de baja frecuencia y perfectamente audibles por los humanos, diferentes a los sonidos empleados en ecolocalización y que estos mamíferos utilizan para comunicarse entre ellos.

Recientemente se ha sugerido un distinto uso de las ondas sonoras emitidas por los cetáceos. Esta nueva hipótesis se ha desarrollado como una posible explicación a los hábitos alimenticios observados en el cachalote (*Physeter catodon*): al analizar el estómago de algunos ejemplares capturados o encontrados varados en playas se ha visto que los calamares gigantes de los que se alimentan estos grandes cetáceos no presentaban cicatrices debidas a los dientes del animal, y lo que es más asombroso, algunos de ellos estaban vivos; ¿utilizan los cachalotes explosiones poderosas de sonido para dejar atónitas a sus enormes presas y poderlas así capturar? Esta hipótesis ha sido bautizada por algunos investigadores con el nombre de "segunda teoría del Big – Bang", considerándola como un subproducto de la ecolocalización.

No es fácil obtener las pruebas necesarias que corroboren esta hipótesis debido a la dificultad existente para reproducir el sonido exacto que emiten estos cetáceos durante la caza de presas, además de las muchas complicaciones que conlleva la realización de estudios detallados sobre el comportamiento de estos mamíferos en su medio natural. No obstante, algunos investigadores aseguran haber escuchado sonidos similares a los producidos al disparar un arma de fuego, en delfines que estaban siendo estudiados en altamar.

En cautividad, se ha observado que estos animales no producen ningún tipo de sonido fuerte debido a que el eco producido al chocar las ondas emitidas por el animal contra las paredes del acuario podría dañarle los oídos.

4. MAMÍFERO VOLADOR CON UN SISTEMA MUY ESPECIAL

4.1. Los murciélagos

La mayoría de nosotros, al pensar en murciélagos, tenemos visiones de Drácula y los vampiros. En un ambiente tenebroso, entre rayos y el siniestro ulular del viento, estos seres misteriosos añaden su lúgubre presencia en el ambiente de los cuentos de terror, haciendo cosquillar de pánico nuestra imaginación. Sin embargo, la realidad es muy distinta: la mayoría de sus 850 especies están entre los animales más útiles al hombre.

El animalito es objeto de pánico o repulsión por parte de la mayoría del género humano. Y es que recién los científicos dedicados a su estudio han logrado comprender el importantísimo papel que representan en la ecología de nuestro medio ambiente, encontrando datos que han permitido encontrar la maraña de mitos tejidos alrededor del murciélago.

Entre las creencias populares, se dice que los murciélagos son animales torpes y casi ciegos, sucios y agresivos, así como transmisores de peligrosas enfermedades, lo cual es falso. Pero su famosa adaptación sonar –o sistema de ecolocación- les permite volar y cazar con increíble pericia, sin correr el riesgo de chocar con árboles, paredes o inadvertidas personas.

Los murciélagos, ya que dependen de sus alas para sobrevivir, se limpian escrupulosamente. Son animales dóciles e inteligentes, y generalmente inofensivos para el hombre.

Desde hace muchos años, lo que más ha llamado la atención de estos animales ha sido su peculiar sistema de orientación, basado en la ecolocalización, el mismo principio en que se inspiran nuestros sonares: emitiendo sonidos y recojiéndolos después de rebotar en presas y obstáculos, el murciélago es capaz de volar y cazar sin vacilación incluso en la más tenebrosa y negra de las noches.

La ecolocación en los murciélagos consiste en la orientación por medio del eco de los sonidos que previamente emiten los animales. Son los llamados ultrasonidos y para poder emitirlos, los murciélagos disponen de una laringe de fuerte musculatura y de unas cuerdas vocales muy desarrolladas.

Los murciélagos utilizan emisores y receptores de ultrasonidos tal como un avión de combate utiliza su radar para adquirir un objetivo. Específicamente, los ultrasonidos son vibraciones acústicas cuya frecuencia está por encima del límite perceptible por el oído humano (aproximadamente 18 KHz).

En su vuelo lanzan pequeños impulsos de ultrasonidos que van rebotando en las diferentes superficies que encuentran en su camino, pudiendo de esta forma tener una imagen tridimensional de su entorno.

Además, gracias a los cambios de frecuencia de la señal enviada y el tiempo que transcurre desde la generación de la señal hasta su recepción, pueden saber si el objeto está en movimiento, hacia dónde se mueve o de qué material está echo, ya que cada superficie refleja los impulsos de ultrasonidos de manera diferente.

Así, clasificando los contactos que recibe por tipo, tamaño, velocidad, etc., puede saber si lo que tiene delante es un árbol, un depredador, o una presa.

Su extraña cara y desproporcionadas orejas son modificaciones para su sistema de 'sonar'. Muchos murciélagos tienen una extraña 'proboscis' en la punta del hocico, en forma de hoja levantada. La utilizan para dirigir el agudo sonido que emiten. La onda sonar, al rebotar en un objeto, regresa, y con sus adaptaciones especiales en las orejas es recogida con precisión, indicándoles donde está su presa o algún obstáculo en la oscuridad de la noche.

Este sistema está particularmente desarrollado en los murciélagos que se alimentan de insectos, lo cual les permite perseguirlos en fantásticas maniobras acrobáticas de vuelo.

La ecolocalización es un método de percepción sensorial por el cual ciertos animales se orientan en sus ambientes, detectan obstáculos, se comunican entre sí y encuentran comida.

Durante la ecolocalización un animal emite una serie de sonidos cortos y chillantes. Estos sonidos viajan fuera del animal y luego rebotan sobre los objetos y superficies en su camino formándose un eco. El eco vuelve al animal, dándole una noción de lo que se encuentra en su camino.

Hace 200 años Spallanzani descubrió que los murciélagos volaban en oscuridad total, esquivando incluso finos y tirantes hilos que les colocaba en una habitación. Recién en 1920 alguien sugirió que utilizaban sonidos ultrasónicos y en 1938 un estudiante de Harvard pudo escuchar los sonidos que usan para la ecolocalización por primera vez.

Los murciélagos pueden ver muy bien, pero su visión necesita algo de luz, así que no podrían ser capaces de encontrar sus presas en la noche sólo con sus ojos. Resolvieron este problema usando un sofisticado sistema de ecolocalización de alta frecuencia.

Emitiendo una serie de ultrasonidos que tanto barren frecuencias altas y bajas o varían alrededor de una sola frecuencia, los murciélagos pueden distinguir objetos y presas y de ese modo evitarlos o capturarlos. Pueden determinar así el tamaño de un objeto, su forma, dirección, distancia y movimiento.

El sistema de ecolocalización de algunos murciélagos es tan preciso que pueden detectar insectos del tamaño de un mosquito y objetos tan finos como un pelo humano.

El murciélago produce un sonido con su laringe (esencialmente igual a la humana, pero más grande en relación al tamaño del murciélago) y los modifica con extrañas formaciones en su boca y nariz. Cuando los ecos retornan, alcanzan sus tímpanos que cambian el sonido en vibraciones hacia los huesos del oído interno e informan al cerebro sobre los ecos recibidos.

Las enormes orejas de algunos murciélagos ayudan a atrapar los sonidos, aumentando su capacidad auditiva.

Los científicos están investigando más sobre el uso de la ecolocalización en murciélagos para así poder ayudar a los ciegos a detectar objetos con la ayuda del sonido

Los ecos de los murciélagos de orejas largas son tan leves como el ruido de las teclas de una máquina de escribir.

Los murciélagos pipistrelas emiten sonidos fuertes como una alarma. Sin embargo los noctúlidos tienen el sonido mas fuerte, comparable al del motor de un jet.

Sin embargo, la mayoría de nosotros no puede oírlos!! Estos sonidos están por arriba del umbral más alto de escucha de nuestro oído.

4.3. Sonar pasivo y activo

- El propósito del SONAR PASIVO es la captación de los sonidos emitidos por objetos sumergidos facilitando la información precisa para obtener la dirección del objeto, analizar su movimiento y posibilitar su identificación.
Un moderno sistema de sonar pasivo está formado esencialmente por tres subsistemas especializados dedicados respectivamente a:
 - Captación de la señal acústica.
 - Proceso de la señal.
 - Lectura y medición de la señal procesada.

- El SONAR ACTIVO basa su funcionamiento en la detección del eco devuelto por un objeto sumergido al incidir sobre él un tren de ondas acústicas emitidas por un proyector, con el propósito de detectar objetos sumergidos y obtener información de su dirección, distancia y analizar su movimiento.
Los sistemas de SONAR activo actuales tiene también capacidad de funcionar como SONAR pasivo con ciertas limitaciones impuestas por la superior dureza del transductor y el margen más estrecho de frecuencias que es capaz de recibir.
Un sistema moderno de SONAR activo esta compuesto esencialmente de los siguientes subsistemas:
 - Base acústica.
 - Selección y conmutación.
 - Emisor.
 - Receptor.
 - Lectura y medición de la señal recibida.

Analizando el funcionamiento de estos sonares observamos como la ecolocación de los cetáceos y murciélagos funciona al nivel de un Sonar activo. Mientras que su aguda percepción acústica funciona a nivel de un Sonar pasivo.

5. Los mensajes sísmicos de los elefantes

Hace ya muchos años que se conoce la capacidad de los animales para detectar temblores de tierra, pero hasta hace muy poco, los científicos no la habían estudiado seriamente. Recientes descubrimientos ponen de manifiesto que algunos animales no solamente son capaces de detectar las ondas sísmicas de origen natural, sino que incluso ellos mismos pueden emitir y percibir vibraciones capaces de transmitirse rápidamente a lo largo de decenas de kilómetros, lo que constituye, sin duda, un medio de comunicación muy eficaz.

5.1. Aprovechando las ondas sísmicas

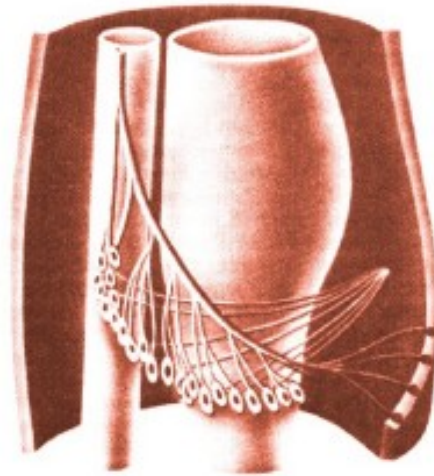
Los primeros animales de los que se supo que podían detectar y utilizar las ondas sísmicas en provecho propio fueron los elefantes marinos. En 1992, se demostró que estas enormes focas, que pueden alcanzar hasta 2.300 kg de peso, se sirven de las ondas sísmicas provocadas por los movimientos de sus cuerpos en las playas para detectar la presencia de otros individuos de su misma especie. Desde entonces, mamíferos de hábitos subterráneos, como los topos dorados y las ratas canguro, algunos anfibios y diversas especies de insectos, escorpiones y otros artrópodos han mostrado ser unos maestros de la comunicación sísmica, siendo capaces de detectar el más mínimo movimiento del suelo bajo sus pies y aprovechando esta información en su propio beneficio.



*El elefante marino (*Mirounga angustirostris*) fue el primer animal del que se conoció su capacidad para emplear las ondas sísmicas como forma de comunicación.*

La extrema sensibilidad de los órganos receptores de vibraciones es, en la mayoría de los casos, sorprendente. Así, el biólogo alemán Hansjochem Autrum estudió los órganos que usan las cucarachas para detectar las vibraciones, situados en la parte superior de sus tibias, justo por debajo de las rodillas, y descubrió que eran capaces de registrar ondas sísmicas con una amplitud tan pequeña como 10^{-9} cm. Esto es una longitud inconcebiblemente pequeña, equivalente a la décima parte del diámetro de un átomo de hidrógeno. Sin embargo, las cucarachas son capaces de detectar esta mínima perturbación del suelo donde pisan, que casi invariablemente suele estar provocada por la presencia de un depredador, y correr a ocultarse en sitio seguro.

Los experimentos más espectaculares en este campo han sido los realizados recientemente por el equipo de Caitlin O'Connell-Rodwell con los elefantes. Se podría pensar que un animal tan bien conocido por todos nosotros como el elefante, que ya describían los antiguos griegos en sus historias naturales, y que suele aparecer casi todos los días en los documentales de nuestros televisores, no tendría muchos secretos que esconder. Sin embargo, la observación de la naturaleza no cesa de proporcionar sorpresas a quién sabe buscarlas con interés. La criatura más familiar puede resultar ser un completo enigma.



El órgano detector de vibraciones presente en las patas de las cucarachas, capaz de detectar ondas sísmicas con una amplitud de 10^{-9} cm. Se observan las fibras nerviosas conectadas a la membrana externa. Los tubos huecos que se observan al fondo son las tráqueas, o conductos respiratorios de los insectos.

5.2. Gritos en el aire y ondas en la tierra

Desde hace un cuarto de siglo, sabemos que los elefantes utilizan para comunicarse a larga distancia gritos infrasónicos, potentes llamadas emitidas en un tono tan grave (alrededor de 20 Hz), que la mayoría de los humanos. Cuánto más grave sea el sonido, más eficazmente se transmite por el aire, perdiendo menos cantidad de energía con la distancia. Sin embargo, estas llamadas aéreas tienen también sus inconvenientes. Su alcance depende de una serie de condiciones ambientales, como el tiempo atmosférico, la distribución de la vegetación, la altura a la que se encuentre el elefante emisor, la hora del día, los gradientes verticales de temperatura, y la dirección y velocidad del viento. La dispersión y la reflexión de las ondas sonoras debida a las paredes rocosas, los grupos de árboles e incluso a otros grandes animales provoca también que la relación señal/ruido disminuya a lo largo del camino entre el emisor y los posibles receptores, haciendo que esta forma de comunicación, en principio eficaz, esté sometida a variaciones ambientales que disminuyen su utilidad.

Pero, entre 1992 y 1997, la bióloga Caitlin O'Connell-Rodwell (actualmente en la Universidad de Stanford), estudiando los elefantes africanos en estado salvaje, en el Parque Nacional de Etosha (Namibia), descubrió un hecho insólito. Todos los elefantes que emiten una llamada acústica infrasónica originan simultáneamente una onda sísmica de la misma frecuencia de alrededor de 20 Hz, que se transmite a lo largo del suelo. La onda sísmica emitida posee las mismas características en modulación y en frecuencia que la onda sonora, es decir, ambas formas de comunicación contienen el mismo mensaje.

Curiosamente, el intervalo de frecuencia elegido por los elefantes para comunicarse es el óptimo posible para un mensaje sísmico. Si la frecuencia fuera menor, el ruido de fondo sísmico existente de forma natural en la tierra interferiría con el mensaje a transmitir, mientras que a frecuencias mayores, las ondas sísmicas perderían demasiada energía a lo largo de su trayectoria, y no llegarían muy lejos. Existe una estrecha ventana, entre 10 y 40 Hz, en la cuál la transmisión de mensajes codificados en forma de ondas sísmicas es óptima, y ésta es la que emplean los elefantes para su comunicación. La eficacia de la transmisión de las ondas sísmicas depende de ciertas condiciones, como la composición y homogeneidad del suelo, la presencia de fluidos en los suelos de carácter poroso, o la presencia de presiones diferenciales de origen tectónico. En condiciones habituales, sin embargo, un mensaje sísmico puede transmitirse de manera eficaz durante más de 50 km, mucho más lejos que un mensaje que viaje por vía aérea que, en el mejor de los casos, puede alcanzar unos 25 km. Los elefantes se aseguran de que sus mensajes lleguen hasta sus destinatarios emitiéndolos simultáneamente en sus dos formatos,



La rata canguro, (Dipodomys spectabilis), uno de los muchos mamíferos subterráneos capaz de detectar las ondas sísmicas

sísmico y aéreo.

5.3 Detectando las ondas sísmicas

Por supuesto, no es suficiente con que un individuo sea capaz de emitir el mensaje. Al fin y al cabo, cualquiera de nosotros puede originar una onda sísmica, golpeando el suelo de forma periódica. Para que se establezca comunicación, es necesario que los receptores hayan desarrollado mecanismos para detectar las ondas sísmicas y para entender los mensajes que contienen. Si observamos una manada de elefantes al natural, nos daremos cuenta de un hecho curioso. De vez en cuando, y especialmente cuando hay otro grupo de elefantes en las cercanías (aunque éste sea invisible para nosotros), los elefantes más viejos levantan completamente una de sus patas delanteras y apoyan la otra firmemente en el suelo, permaneciendo así inmóviles y en absoluto silencio, durante algunos minutos. Sin duda, están recibiendo mensajes sísmicos a través del miembro que permanece inmóvil en tierra, del mismo modo que nosotros acercaríamos la oreja a una vía de ferrocarril y escucharíamos atentos para detectar si se aproxima un tren, o cuando creemos escuchar un sonido lejano y hacemos pantalla con la mano en uno de nuestros oídos, con el fin de determinar mejor la distancia y la dirección de procedencia del sonido. Los elefantes deben poseer algún tipo de receptor para las ondas sísmicas en las plantas de sus patas delanteras. De hecho, se han descubierto corpúsculos sensibles a la presión en determinadas zonas de la trompa, pero los elefantes no parecen emplear la trompa para captar los mensajes sísmicos. El grupo de O'Connell-Rodwell está investigando en la actualidad para encontrar este tipo de detectores de ondas sísmicas en las patas de los elefantes.

Las ondas sísmicas podrían también ser transmitidas mediante conducción a través de los huesos del esqueleto del elefante, desde la planta de las patas hasta llegar al oído medio. Según la Dra. O'Connell-Rodwell, "el oído medio del elefante es un carácter primitivo, que remitió a un estado ancestral para

poder detectar las bajas frecuencias. El elefante tiene un malleus (o martillo) hipertrofiado, lo cuál podría ser un signo de que usa la conducción de ondas a través de los huesos. El topo dorado, que en un reciente estudio ha demostrado estar relacionado filogenéticamente con el elefante, también tiene un malleus hipertrofiado, y utiliza exclusivamente las ondas sísmicas para oír".

5.4. Descifrando el idioma sísmico de los elefantes

Pero, ¿qué tipo de mensajes se envían los elefantes? El equipo de O'Connell-Rodwell no sólo ha comenzado a entender estos mensajes, sino que incluso ha utilizado un generador artificial de ondas sísmicas ¡para enviarles mensajes a algunos individuos, que han sido perfectamente recibidos y entendidos! Estamos comenzando a comprender el lenguaje sísmico de los elefantes y, en cierto sentido, empezamos a comunicarnos con ellos en su propio idioma. Los biólogos ya han llevado a cabo algunos progresos para entender el idioma de gritos agudos que usan los delfines. En realidad, los avances en este sentido han resultado ir más lentamente de lo esperado, hasta el punto de que John Lilly, experto en este tema, es de la opinión de que, si bien el hombre no es capaz de entender el complicado lenguaje de los delfines, sí que podría ser posible que los delfines pudieran aprender el lenguaje del hombre. El grupo de O'Connell-Rodwell está haciendo el mismo trabajo con las vibraciones de los elefantes. Por ahora, se sabe que se pueden comunicar saludos, mensajes de alarma, o sugerencias como, por ejemplo, "vámonos". Presumiblemente, se pueden identificar también de este modo individuos concretos, como si cada elefante poseyera su propia firma sísmica personal, que serviría para reconocerse mutuamente a gran distancia. Los elefantes no necesitan tener a sus amigos y parientes a la vista para saber que están bien, ni necesitan de teléfonos móviles para enviarse saludos.

Los biólogos grabaron algunos mensajes acústicos de los elefantes, los convirtieron electrónicamente en señales sísmicas, y se las enviaron a un grupo de elefantes africanos residentes en una instalación turística en Zimbabwe. Los elefantes entendieron perfectamente los mensajes y reaccionaron en consecuencia. Las hembras parecen ser mucho más receptivas que los machos, y las hembras mayores reaccionan a las señales más intensamente que las hembras jóvenes. Desde hace mucho tiempo se sabe que las hembras de edad avanzada son las encargadas de dirigir la manada, utilizando para ello su inmensa memoria (la proverbial memoria de elefante es uno de los pocos mitos populares sobre animales que ha encontrado confirmación científica). Las hembras van almacenando a lo largo de su vida información sobre las características geográficas de su región, la localización de las fuentes de agua, las zonas donde suele haber más alimento, o dónde suele llover más abundantemente en cada época del año. Es lógico que sean también las principales encargadas de recibir los mensajes enviados por otros elefantes y actuar en consecuencia.



Bannerghatta National Park

Una pareja de elefantes indios. Recientes experimentos han demostrado que estos elefantes también son capaces de emplear la comunicación sísmica

5.5. Otros usos de las ondas

Los elefantes no sólo detectan los mensajes sísmicos procedentes de otros elefantes. Se ha comprobado que, cuando estalla una tormenta en Angola, los elefantes del Parque Etosha, a 200 km de distancia, en Namibia, comienzan a desplazarse inmediatamente hacia el norte en busca de agua. Seguramente, han detectado las vibraciones en el suelo producidas por la caída de los rayos, y han aprendido que ese tipo de mensajes sísmicos significa abundancia de agua. Los elefantes poseen una capacidad para interpretar su medio ambiente mucho mayor de lo que pensábamos.

Se especula con la posibilidad de que la comunicación sísmica pueda tener importancia para el comportamiento reproductivo de los elefantes. Los machos adultos suelen llevar una vida solitaria, mientras que las hembras y los jóvenes se agrupan en manadas. Es importante para los machos detectar la presencia de hembras en los alrededores dispuestas a reproducirse. Es posible que existan llamadas sísmicas emitidas por estas hembras que puedan ser detectadas por los machos, aunque esta teoría aún no se ha confirmado experimentalmente. Sin embargo, según la Dra. O'Connel-Rodwell, "la incapacidad de los machos para detectar sísmicamente las llamadas de las hembras, probablemente no impediría el apareamiento, ya que, presumiblemente, la detección de las llamadas aéreas es muy efectiva"

6. Nosotros no logramos escucharlo...¿Podrán ellos?

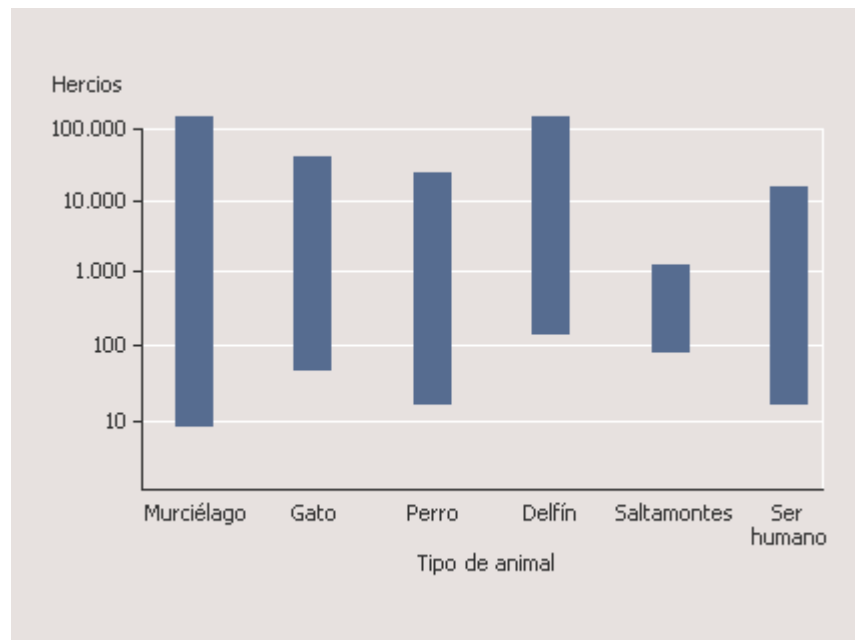


Figura 3: Frecuencias que logran captar diversos mamíferos y el saltamontes

Bibliografía utilizada:

- A. W. Ambler, *National Audubon Society*, 1980

-Cabrera Latorre, Ángel et al. Historia Natural. Océano – Instituto Gallach (ed.). *Vertebrados*, vol. 1, pp: 115 – 121, Barcelona, España.

-Castro, P. & Huber, M.E. Marine Biology. Mc Graw – Hill (ed.). *Life in the Marine Environment*, pp: 185 – 187. Boston.

-Jiang, Jack, MD., Lin Emily, MD. Fisiología de las cuerdas vocales. Clínicas de Norteamérica de Otorrinolaringología. Agosto 2002,33:4:647-665.

Páginas web: - <http://canales.laverdad.es/cienciaysalud>

- otras