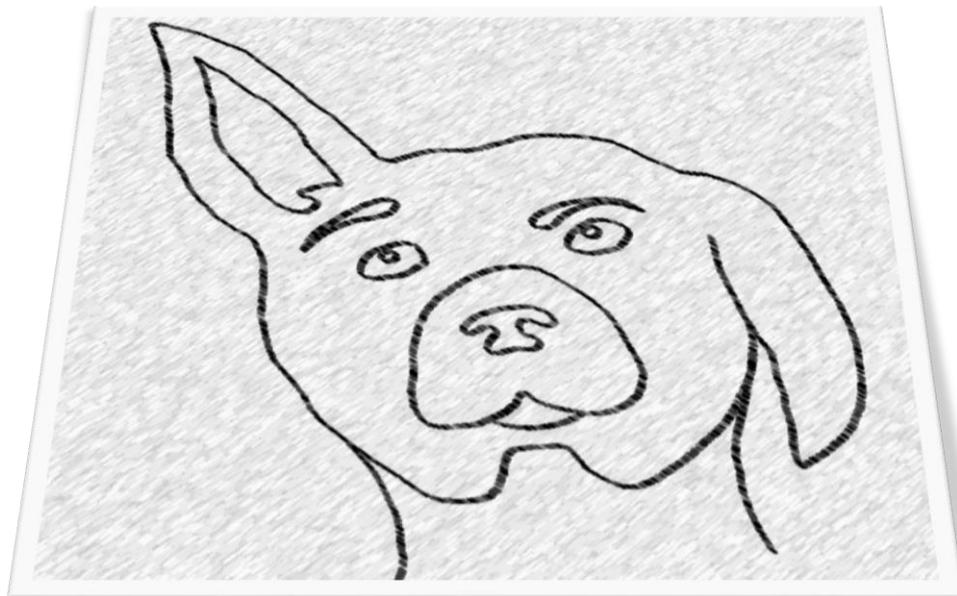


ACÚSTICA AMBIENTAL

Cuaderno 5

Efectos del Ruido sobre los Seres Vivos



MVOTMA

Ministra de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente

Arq. Eneida de León

Director Nacional de Medio Ambiente

Ing. Qco. Alejandro Nario

Contraparte Técnica

Ing. Qca. Magdalena Hill

Universidad de la República

Rector

Dr. Roberto Markarian

Decana de Facultad de Ingeniería

Ing. María Simon

Este material ha sido preparado en el marco del convenio DINAMA-IMFIA
DIA bajo la responsabilidad de

Dra. Ing. Alice Elizabeth González

González, Alice Elizabeth

Acústica Ambiental. Efectos del Ruido sobre los Seres Vivos. Cuaderno 5

Montevideo, UdelaR – FI – IMFIA, 2017

ISBN: 978-9974-0-1533-3 Obra completa

ISBN: 978-9974-0-1539-5 Cuaderno 5

APUNTES SOBRE CONTAMINACIÓN ACÚSTICA

CUADERNO 5: EFECTOS DEL RUIDO SOBRE LOS SERES VIVOS

CONTENIDOS

1	NOTICIA INTRODUCTORIA SOBRE BIOACÚSTICA	4
2	AUDICIÓN Y COMUNICACIÓN EN ALGUNOS ANIMALES	7
2.1	AUDICIÓN DE MAMÍFEROS TERRESTRES	7
2.2	AUDICIÓN Y ECOLOCALIZACIÓN EN MAMÍFEROS VOLADORES (QUIRÓPTEROS)	9
2.3	AUDICIÓN DE MAMÍFEROS MARINOS	11
2.4	AUDICIÓN EN AVES	14
2.5	AUDICIÓN EN PECES	17
2.6	SISTEMAS DE RECEPCIÓN DE ENERGÍA ACÚSTICA EN INVERTEBRADOS	21
3	ALGUNOS PARÁMETROS DE LA BIOACÚSTICA	25
3.1	EL NICHOS AURAL	25
3.2	LA ZONA DE ESCUCHA EFECTIVA	25
3.3	ENMASCARAMIENTO Y RAZÓN CRÍTICA (O RAZÓN SEÑAL – RUIDO)	27
4	EFFECTOS GENERALES DEL RUIDO SOBRE ANIMALES	30
4.1	ASPECTOS GENERALES	30
4.2	EFFECTOS SOBRE LA AUDICIÓN Y EL APARATO AUDITIVO	32
4.3	EFFECTOS SOBRE EL SISTEMA CARDIOVASCULAR	33
4.4	EFFECTOS SOBRE EL METABOLISMO	34
4.5	INTEGRIDAD GÉNICA Y DEL ADN	36
4.6	EFFECTOS SOBRE LA REPRODUCCIÓN Y DESARROLLO DE CRÍAS	36
4.7	EFFECTOS SOBRE EL SISTEMA NEUROENDÓCRINO	39
4.8	EFFECTOS SOBRE EL SISTEMA INMUNOLÓGICO	47
4.9	EFFECTOS SOBRE LA COMUNICACIÓN: EL EFECTO LOMBARD	48
4.10	EFFECTOS SOBRE EL COMPORTAMIENTO	49
4.11	EFFECTOS SOBRE LOS PROCESOS COGNITIVOS Y EL SUEÑO	52
5	EFFECTOS ASOCIADOS CON ALGUNAS FUENTES SONORAS PARTICULARES	54
5.1	RUIDO DE TRÁNSITO TERRESTRE	54
5.2	TRÁNSITO MARÍTIMO	59
5.3	TRÁNSITO AÉREO, SOBREVUELO Y ESTAMPIDOS SÓNICOS	60
5.4	AEROGENERADORES	66
5.5	ESTABLECIMIENTOS DE CRÍA, ORDEÑE Y FAENA DE GANADO	72
5.6	EXPLOSIONES Y ESTUDIOS SÍSMICOS	74
5.7	HINCA DE PILOTES Y TABLESTACAS	76
5.8	USO DE SONARES, LFAS Y SISTEMAS AFINES	77
6	TABLAS DE SÍNTESIS	79
7	BIBLIOGRAFÍA	88

1 Noticia introductoria sobre bioacústica

La *bioacústica* se refiere al estudio del comportamiento de comunicación de los animales a través de señales sonoras. Si bien en la década de los '70 se comenzó a considerar en forma sistemática la importancia de la realización de estudios acústicos en el marco de estudios ecológicos, en los últimos años esta disciplina se ha visto fortalecida gracias al desarrollo tecnológico en cuanto a medios para registrar, almacenar y analizar sonidos. La mayoría de los estudios realizados en el ámbito de la bioacústica pertenecen al campo de la investigación vinculada a estudios taxonómicos, de ecología del comportamiento, diagnosis de nuevas especies, reconstrucción de las relaciones filogenéticas y de selección sexual, pero también tiene sus aplicaciones prácticas, especialmente aquellas que se relacionan con la conservación, y manejo de poblaciones naturales.

Radle (2007) recopila una serie de datos con los que ilustra la evolución de los estudios bioacústicos, además de ofrecer su reflexión a propósito de cómo fue cambiando la perspectiva de la temática desde un punto asaz biocéntrico a un antropocentrismo casi escéptico en cuanto a las relaciones causa–efecto que otrora se habían considerado laudados. Algunos de los datos citados por el autor se sintetizan a continuación:

- En 1969 ocurrió una abrupta reducción de la población de gaviotines apizarrados o golondrinas de mar (*Sterna fuscata*) en Florida (USA), como consecuencia de un gran fracaso reproductivo estimado en un 99 % y que se asoció con reiterados vuelos bajos de aviones supersónicos sobre las áreas de anidación de estas aves. Desde el National Parks Service se responsabilizó de ello a esos vuelos militares, presentando como hipótesis que el ruido había probablemente causado que las aves madre entraran en pánico y huyeran imprevistamente de sus nidos, dejando abandonados los huevos y el nido a disposición de depredadores.
- En 1975, Kavalier recordó que los primeros estudios sobre el efecto del ruido sobre la fauna fueron trabajos de laboratorio y no de campo, y en ellos se concluyó que el efecto más fácilmente observable era el daño auditivo y/o sordera debido a daños en las células sensoriales del oído interno, las terminaciones nerviosas adyacentes y las células ciliadas. Otras respuestas comunes fueron desorientación, náuseas, y signos de alarma.
- Un estudio sobre la rata del algodón *Sigmodon hispidus* realizado por Kavalier en Cabo Kennedy Aeropuerto Regional en Melbourne, Florida, comparó la población próxima al aeropuerto con una población de control de la misma especie que habitaba en un corredor vial a pocos cientos de metros de distancia. El estudio mostró que la densidad de animales por hectárea se reducía a la tercera parte en la zona del aeropuerto (2,58 animales por hectárea, contra la población de control de 10,3 animales por hectárea). Además, las ratas que vivían más cerca del aeropuerto acusaron comportamientos significativamente diferentes, siendo más tímidas y menos sociables que las otras. También Kavalier advirtió la posible interrupción de la comunicación animal a consecuencia de los ruidos antropogénicos e hizo notar que las consecuencias de tales niveles sonoros eran imprevisibles tanto para la fauna terrestre como marina. Así pues, en 1975 ya se sabía que el ruido podía producir varias reacciones en animales expuestos, tanto fisiológicas (incremento en el ritmo cardíaco, alteración del

metabolismo, alteración del equilibrio hormonal) como comportamentales (levantar la cabeza, trotar distancias cortas o batir las alas, conductas de pánico y fuga).

- En 1978 Busnel publica el libro *The Effect of Noise on Wildlife*, en que se enumeran las citadas respuestas fisiológicas y comportamentales que experimentan generalmente los animales cuando resultan expuestos a ruidos antropogénicos. La superposición de estos efectos tiene el potencial de causar lesiones corporales, pérdida de energía, disminución en la ingesta de alimentos, comportamientos de evitación y abandono del hábitat así como también pérdidas reproductivas.
- Estudios realizados sobre ungulados en la década de los '90 por Harrington y Veitch demostraron que algunos ciervos y venados son sensibles al ruido. Por ejemplo, tanto el venado bura (*Odocoileus hemionus*) como el ciervo rojo (ciervo común o venado, *Cervus elaphus*) se desplazaron de sus hábitats debido a la contaminación sonora generada por actividades humanas. En estudios vinculados a las reacciones de distintas especies en relación al ruido de pasaje de aviones, encontraron que los caribúes o alces (*Rangifer tarandus*) acusaron un reflejo de sobresalto (activación del sistema simpático) que los inducía a huir y correr; por ser una respuesta refleja, no era esperable que estos animales pudieran adaptarse. Por otro lado, el venado bura acusó mayor frecuencia cardíaca durante el pasaje de aviones, especialmente en verano. La apreciación acerca del comportamiento estacional tuvo que ver con las zonas que frecuentaban los animales en la loma o en el valle, lo que modificaba sensiblemente la distancia a las aeronaves. También verificaron que el ruido de helicópteros generaba en los mismos animales respuestas aún más intensas que el de aviones. La reacción de sobresalto tuvo mayor impacto en caribúes en relación a vacas, pero Harrington y Veitch no encontraron un aumento significativo en el nivel de actividad general en los animales que fueron sobrevolados diariamente, lo que atribuyeron a la naturaleza efímera de las reacciones del caribú. El estudio concluye con una recomendación de los autores que, a fin de reducir al mínimo los impactos de las rutas de vuelo, debería evitarse el tránsito sobre ciertas áreas específicas, especialmente en la época de partos.
- Las conclusiones de Harrington y Veitch resultaron contradichas en 1996 por un estudio publicado en el *Journal of Wildlife Management*, en que se monitoreó frecuencia cardíaca en ciervos y carneros para verificar si presentaban respuestas adaptativas ante el ruido derivado del pasaje de aviones. En este caso, las conclusiones indicaron que:

“...los animales estudiados se adaptaron rápidamente y posiblemente no hayan considerado el estímulo sonoro generado por el pasaje del avión como una amenaza ni hayan tenido reducción alguna de su bienestar”

y que tampoco habían sufrido consecuencias adversas en cuanto a sus mecanismos reproductivos.

- Un reporte de 1994 acerca de los efectos sobre la fauna generados por el sobrevuelo de aviones sobre parques nacionales en USA hacía referencia a efectos fisiológicos y conductuales, efectos indirectos, lesiones accidentales, pérdidas reproductivas, pérdidas de energía, evitación y abandono del hábitat. Se discutían los impactos sobre especies

amenazadas, las dificultades para detectar efectos a largo plazo y el desarrollo de criterios de evaluación de impactos. El informe afirmaba que:

"...una estimulación excesiva del sistema nervioso puede llegar a generar estrés crónico, y la exposición continua al sobrevuelo de aviones puede ser perjudicial para la salud, el crecimiento y la capacidad reproductiva de los animales..."

A diferencia de informes anteriores, esta vez se relativiza cualquier posible aseveración "comprometedora" insistiendo en la gran conjunción de factores que pueden intervenir en las respuestas identificadas:

"...las respuestas comportamentales reflejan una variedad de estados que van desde la indiferencia al pánico o extremo..."

y señalan que la variabilidad mencionada sólo permite tomar la información "a modo anecdótico" pero "no es útil para sacar conclusiones sobre ésta o cualquier otra especie". El reporte señala que los animales jóvenes son más propensos a caerse, tropezar o lastimarse en situaciones de pánico y que la topografía de la zona podría aumentar la probabilidad de lesiones, especialmente si la densidad de población es alta. Las pérdidas reproductivas son atribuidas a la "alteración de los patrones de asistencia a los jóvenes", la rotura accidental de los huevos en una reacción de pánico, y "la desnutrición de los jóvenes debido a la inhibición de la producción de leche".

Las pérdidas de energía se atribuyen a que, por un lado, se pierden oportunidades de alimentación y, por otro, se genera un mayor consumo energético a causa de las respuestas de huida y pánico. En cuanto a la huida y abandono del hábitat, el informe remarca que no es posible realizar generalizaciones debido a las diferentes respuestas de individuos de distintas especies y aun dentro de la misma especie que, de acuerdo con su sensibilidad, pueden presentar tendencias variables en cuanto a dejar su hábitat.

Pese a que el informe se apega mucho a la falta de información, de todos modos menciona que a largo plazo podrían esperarse efectos tales como cambios permanentes en el uso del hábitat, aumento de la mortalidad de aves durante la migración (debido a la menor ganancia de peso experimentada), o efectos sobre el tamaño de la población debido a la reducción del éxito reproductivo (por ejemplo, debido a la pérdida de huevos).

En la actualidad, el incremento de los niveles sonoros ambientales tanto en ambientes terrestres como acuáticos es preocupante. Se realizan estudios de laboratorio y campo que contribuyen a comprender los posibles efectos de la exposición al ruido de diferentes especies.

Aunque se ha avanzado en muchos aspectos, la cantidad de preguntas sin responder es aún muy importante.

2 Audición y comunicación en algunos animales

La capacidad auditiva de cada especie es diferente. En general las mejores capacidades auditivas de los animales tienen que ver con la satisfacción de necesidades vitales como la alimentación, la comunicación con sus congéneres, el apareamiento o la evasión de predadores.

En este capítulo se presenta una recopilación de estudios acerca de curvas de audibilidad promedio de diferentes animales, así como de aspectos vinculados a comunicación intraespecífica (emisiones, vocalizaciones y audición).

2.1 Audición de mamíferos terrestres

Según Petryna y Bavera (2002), las especies con orejas que puedan direccionar, pueden fácilmente detectar y localizar la fuente de sonidos. Sin embargo esto contradice lo observado años atrás por Heffner y Heffner (1992), según quienes tanto las vacas como las cabras tendrían menos capacidad para localizar sonidos que el común de los mamíferos. Los autores sugieren que, dado que estas especies de presa cubren con su mejor visión la casi totalidad del horizonte, quizás no necesiten ubicar los sonidos con tanta precisión como los animales que tienen un campo visual más estrecho.

Los caballos, vacas y otros animales de pastoreo orientan sus oídos hacia las cosas que les llaman la atención. La cebra y el caballo pueden apuntar sus orejas en forma independiente, lo que permite conocer los estímulos que han atraído su atención.

El ganado tranquilo puede ayudar a localizar los distractores que podrían obstaculizar el manejo del rodeo, ya que mirarán o apuntarán sus oídos hacia lo que les llama la atención y les genera estrés.

Weeks *et al.* (2008) registraron niveles medios de las vocalizaciones de ganado en la gama de 80-90 dB y vocalizaciones de ovejas en torno a 70 dB. Las vocalizaciones del ganado generalmente se sitúan en frecuencias comprendidas entre 50 Hz y 1.250 Hz (Kiley, 1972 citados por Watts y Stookey, 2000). Se han registrado vocalizaciones de terneros recién destetados con frecuencias fundamentales tan bajas como 31 Hz (Watts y Stookey, 2000).

Según Heffner y Heffner (1983), los bovinos son más sensibles que las personas a los sonidos agudos. Son especialmente sensibles a sonidos de 8000 Hz, y más sensibles que los humanos a sonidos de 7000 Hz a 8000 Hz. Las razas lecheras son más sensibles al ruido que las razas de carne (Lanier *et al.*, 2000).

Los bovinos y los equinos son especialmente sensibles a los sonidos de alta frecuencia (Heffner y Heffner, 1983; Grandin, 1996). El rango audible de los caballos va desde 55 Hz a 33.300 Hz, con una región de mayor sensibilidad entre 1 y 16.000 Hz y el del ganado bovino va de 23 Hz a 35.000 Hz. En ambos casos, la máxima sensibilidad por encima de los 8.000 Hz (Ames, 1974 citado por Grandin, 1980; Heffner y Heffner, 1983).

En la Figura 2-1 se presentan curvas de audición de caballos, ovejas y vacas publicadas por Heffner y Heffner (1983).

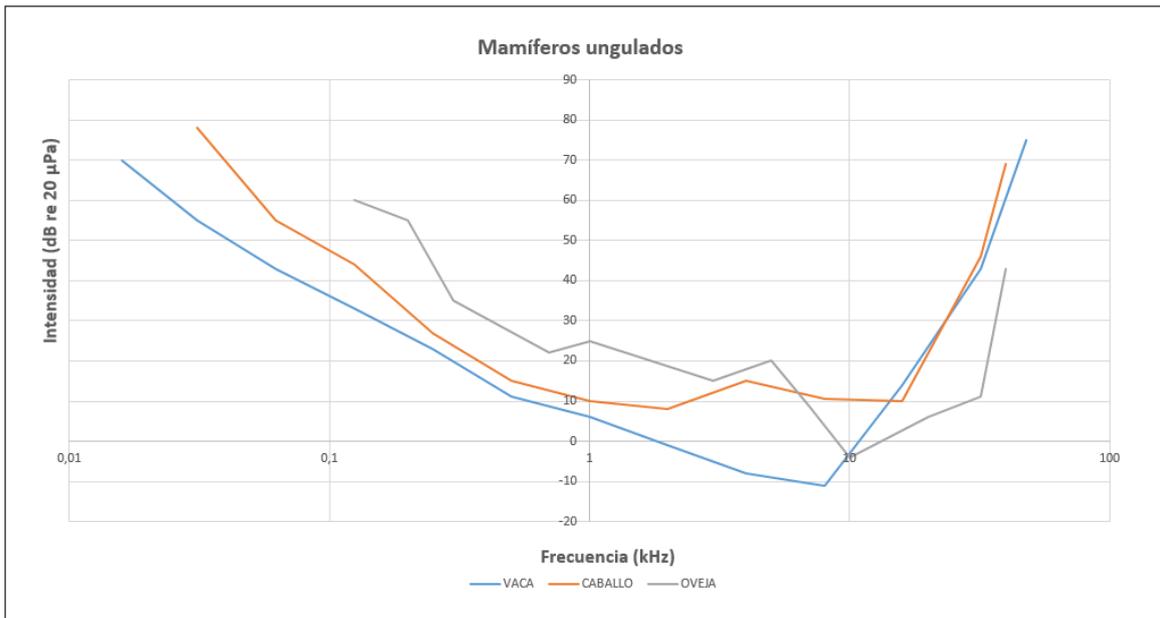


Figura 2-1: Curvas de audición promedio de caballos, vacas y ovejas (Redibujado de Heffner & Heffner, 1983).

El rango auditivo de la oveja va desde 125 Hz a 40.000 Hz, con su mayor sensibilidad a una frecuencia de 10.000 Hz, algo más alta que el ganado vacuno y porcino, en que ocurre a 2.000 Hz.

Para las ovejas, la mayor sensibilidad auditiva ocurre a unos 7.000 Hz (Ames, 1974 citado por Mancini *et al.*, 1988).

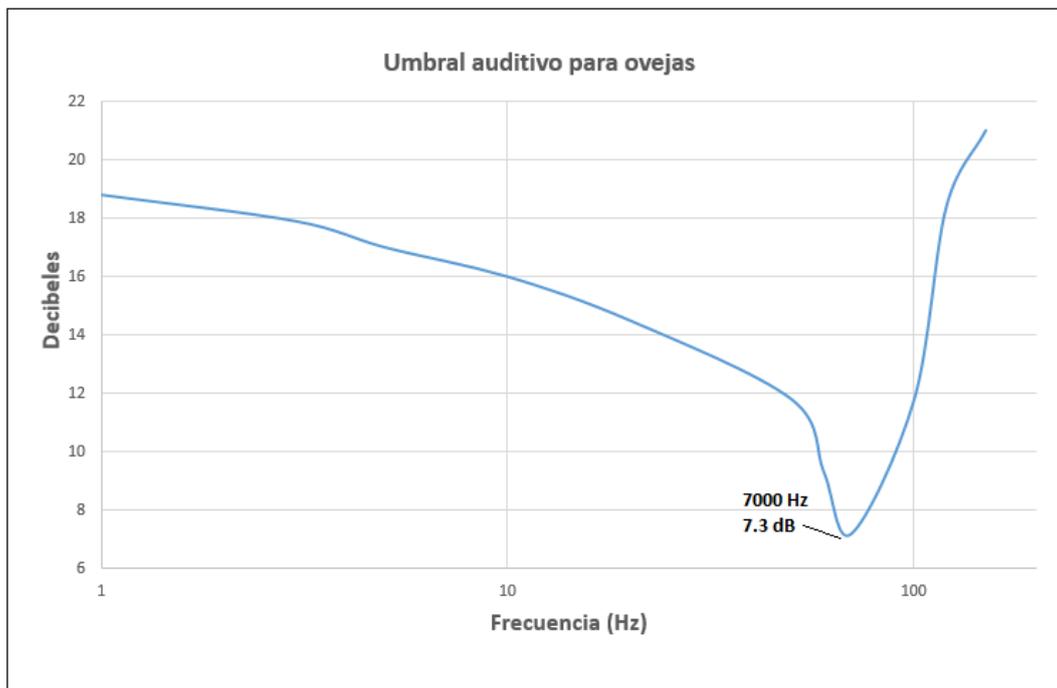


Figura 2-2: Campo audible mínimo como nivel en dB por encima del ruido de fondo, de 26 dB (según Ames 1974, redibujado de Mancini *et al.*, 1988).

Brouček (2014) indica que el rango auditivo de los cerdos es una octava más alto que el de las personas: va de 40 Hz a 40.000 Hz, con mejor sensibilidad entre 250 Hz a 16.000 Hz; el pico de sensibilidad se ubica en el entorno de los 8.000 Hz (Heffner y Heffner, 1983). La mínima sobrepresión que requieren para tener percepción auditiva es de 8 dB por encima del nivel mínimo requerido por humanos.

La sensibilidad auditiva máxima de las ratas se encuentra entre aproximadamente 8.000 Hz y 50.000 Hz, aunque pueden escuchar sonidos entre 250 Hz a 80.000 Hz. Sus umbrales auditivos son entre 10 dB y 20 dB más bajos que los de las personas. Los roedores no sólo pueden oír en un intervalo en que los humanos no lo logran sino que también pueden emitir sonidos en frecuencias inaudibles para las personas (Castelhano-Carlos y Baumans 2009, citado por Brouček, 2014).

2.2 Audición y ecolocalización en mamíferos voladores (quirópteros)

Los quirópteros son mamíferos voladores, designados común y genéricamente como “murciélagos” (del castellano antiguo *mur cego* = ratón ciego¹, que a su vez proviene del latín *mus* = ratón + *caeculus* = diminutivo de ciego + *alatus* = alado). Corresponden al orden *Chiroptera* (del griego *cheir* = mano + *pteron* = ala), el segundo más numeroso entre los mamíferos luego de los roedores. Se distribuyen en casi todo el planeta, excepto en climas extremadamente fríos. Aunque la mayor parte de las especies de quirópteros es insectívora, también hay especies frugívoras, carnívoras y hematófagas. Los murciélagos cumplen un rol ecológico importante en el control de insectos voladores, en la polinización y la dispersión de semillas. Los quirópteros tienen muy desarrollado el sentido de la audición y lo emplean para orientarse, identificar la presencia de obstáculos, alimentarse, etc., a través de la *ecolocalización*.

El sistema de ecolocalización en su forma elemental fue descubierto por Griffin (1938, citado por Luo *et al.*, 2015), pero no sería hasta 1961 en que Pye explica satisfactoriamente el fenómeno basándose en el efecto Doppler. En efecto, antes de esa fecha se pensaba que el mecanismo de ecolocalización era parecido a un radar o sonar y que funcionaba por estimación del intervalo de separación entre la emisión del ultrasonido y la recepción del eco. Pero fallaba para explicar la interferencia de ruidos externos o de ultrasonidos producidos por otros murciélagos. Además, en la localización de muy pequeños objetos a corta distancia, existe una superposición parcial o solape entre el sonido emitido y el eco. Pye (1961, citado por Manci *et al.*, 1988) mostró que intervenía el efecto Doppler, es decir, la diferencia de frecuencia entre la onda emitida y la recibida. Esta diferencia de frecuencia es llamada nota “beat”. Los murciélagos no perciben el ultrasonido emitido ni su eco, sino sólo la nota beat, lo cual excluye los problemas de interferencia. Los murciélagos emiten ultrasonidos consistentes en vibraciones de entre 1 ms y 5 ms de duración y cuya frecuencia oscila entre 30.000 Hz y 100.000 Hz (en algunas especies hasta 200.000 Hz). El número de emisiones es variable: en reposo un murciélago emite entre 5 y 10 ultrasonidos por segundo; en vuelo, entre 20 y 30; y cuando se aproxima a un objeto, de 40 a 60 e incluso hasta 100 por segundo. Cuando el tren de ondas encuentra un obstáculo inmóvil, el eco deviene bajo la forma de un sonido puro; por el contrario, si se trata de un objeto móvil, como

¹ Los murciélagos no son ciegos, pero era lo que se pensaba antes de conocer que se orientan por ecolocalización, a través de infrasonidos.

una presa en vuelo, el eco es modulado según la frecuencia del batido de las alas. Para la captura de presas muy pequeñas, como insectos, los cuales son detectados a corta distancia (20 cm a 130 cm), el murciélago emite un zumbido continuo constituido por emisiones continuas cada 4 ms, aunque también pueden localizar auditivamente a los insectos por el sonido producido por su vuelo, evidenciando su sutil sensibilidad.

Diversas investigaciones han mostrado que las características de la ecolocalización varían de unas especies a otras y varían en función de la actividad que desarrolla el murciélago. Es que el sistema de ecolocalización es muy complejo y admite diversas variantes.

Cabe agregar que, de acuerdo con estudios publicados por la Comisión Europea (2015), el ruido antropogénico afecta a la actividad de forrajeo de murciélagos (*Myotis daubentonii*) principalmente por inducir una respuesta de evitación y no por enmascaramiento acústico (interferencia con la ecolocalización) ni por reducción de la atención (es decir, no actúa como distractor). Jones (2008) sin embargo, considera que la explicación más probable para la reducción de la actividad de forrajeo y las tasas de captura de la presa en el caso de ruido de tránsito terrestre es la dificultad que entraña el tratamiento de múltiples flujos de información auditiva al mismo tiempo.

Spanjer (2006) refiere que los murciélagos se sienten atraídos por algunos sonidos de alta frecuencia incluyendo llamadas acústicas, particularmente las de socorro de su especie o de otras especies de murciélagos, el "zumbido de alimentación" de otros murciélagos (llamadas con alta tasa de repetición emitidas cuando un murciélago se afila sobre su presa) y por algunas vocalizaciones de comunicación producidas por sus congéneres. Por el contrario, los murciélagos de algunas especies procuran evitar ciertas llamadas sociales territoriales emitidas por sus congéneres. Algunos murciélagos pueden ser disuadidos por "clicks" emitidos por polillas nocivas.

Al igual que muchos otros animales, los murciélagos exhiben efecto Lombard, es decir, incrementan la amplitud de sus emisiones sonoras en presencia de ruido de fondo. En ambientes ruidosos, incrementar la amplitud de sus llamadas para mejorar la detectabilidad de la señal es la estrategia más exitosa, aunque también se constató el aumento en la duración de la señal emitida y, en algunas condiciones de ruido, los murciélagos aumentaron la redundancia de señales mediante la producción de más grupos de llamadas, lo que podría suponer una mejora adicional en la detectabilidad. En lo que hace a la redundancia, es decir, a emitir mayor cantidad de repeticiones de la señal, la mejora en la detectabilidad parece estar asociada con el hecho de que se aumenta la probabilidad de que alguna de estas repeticiones ocurra dentro de un período de silencio relativo dentro de un ruido de fondo fluctuante (Luo *et al.* (2015). Además de las propiedades de amplitud y duración, los animales también pueden cambiar el espectro acústico de sus vocalizaciones para mejorar su detectabilidad en un ambiente ruidoso. En ese sentido, se constató que los murciélagos mostraron una disminución gradual en el ancho de banda al aumentar el nivel de ruido ambiental.

La relación entre la amplitud y la duración de la señal, que se conoce como "suma temporal", puede mejorar mucho su detección. Sin embargo, no es una estrategia generalizada entre los animales como sí lo es el efecto Lombard.

2.3 Audición de mamíferos marinos

Los mamíferos marinos incluyen varios grupos de animales adaptados a la vida en el mar o que dependen de éste para su alimentación. Entre ellos, y a los efectos de esta sección, cabe mencionar los cetáceos (ballenas, delfines, marsopas), los sirenios (por ejemplo, manatíes), los pinnípedos (focas, morsas) y algunas nutrias (nutria marina, gato de mar).

Los cetáceos se dividen en dos sub-órdenes: los odontocetos (cetáceos con dientes); y los mysticetos (en vez de dientes, tienen unas barbas queratinosas características con las que filtran su alimento). Los odontocetos (cachalotes, zifios, delfines, orcas, marsopas o toninas, calderones) tienen un solo orificio respiratorio (espiráculo) en la parte superior de la cabeza y un elemento graso prominente en la frente que se designa como “melón”, un órgano utilizado en la ecolocalización. Los mysticetos (ballenas, rorcuales o ballenas de aleta y yubartas) tienen barbas, dos espiráculos y no tienen la posibilidad de emplear la ecolocalización.

El procesamiento de las señales acústicas en el fenómeno de ecolocalización es complejo. El aire inspirado a través del espiráculo (orificio respiratorio), que permanece cerrado durante la inmersión, es conducido a través de un sistema de solapas vibrátiles y cámaras de resonancia que producen ultrasonidos. Éstos se reflejan en la superficie del cráneo, que actúa a modo de reflector parabólico y los dirige en forma concentrada hacia el melón. El melón actúa como una especie de lente direccional. Los ecos de retorno son recogidos en la mandíbula inferior, que tiene un hueco longitudinal relleno de grasa de composición semejante a la del melón, y son conducidos al oído interno. De ahí, la información es enviada al cerebro en forma de pulsos nerviosos para ser analizada (Maldonado y Alcalá, 1996).

Según refieren Manci *et al.* (1988), los mamíferos acuáticos tienen diferencias significativas en su oído externo y medio en relación a los animales de vida terrestre, para adaptarse a la vida acuática². Excepto los delfines, todos los demás mamíferos acuáticos tienen semejanzas a nivel de la macro y micromorfología de la cóclea.

Por lo general los umbrales auditivos difieren dentro y fuera del agua. Los lobos marinos, osos marinos y leones marinos parecen tener mejor audición en el aire que en el agua, pero para las focas ocurre lo contrario. Estas últimas oyen sonidos de frecuencias más altas bajo el agua que los primeros.

Muchas especies de mamíferos marinos emplean señales acústicas para localizar presas, navegar y comunicarse, incluso a distancias que pueden ser de hasta decenas de km (López *et al.*, 2003 citado por Mac-Quhae, S/A). Las llamadas de las ballenas están generalmente por debajo de 1.000 Hz, en tanto las de pinnípedos y odontocetos ocurren en frecuencias más altas.

Los cetáceos son muy dependientes de su aparato auditivo para su supervivencia. Los cetáceos emiten dos clases de sonidos, unos de alta frecuencia (“chasquidos”) utilizados para la

² También los reptiles presentan algún grado de adaptación a la vida acuática: los cocodrilos tienen “tapas” en los oídos que se pueden cerrar cuando el animal se sumerge. Estas tapas pueden reducir la intensidad del ruido en 10 a 12 dB. En la estación de la Reserva Aérea de Homestead, Florida, dos cocodrilos (el cocodrilo americano y el caimán de anteojos) residen en los humedales y canales a lo largo de la pista de aterrizaje de la Base, lo que sugiere que pueden coexistir con los niveles de ruido de una pista de aviación en funcionamiento (L_{DN} del orden de 85 dB).

ecolocalización; y otros de baja frecuencia (“canciones” o “cantos”), que utilizan para la comunicación entre ellos.

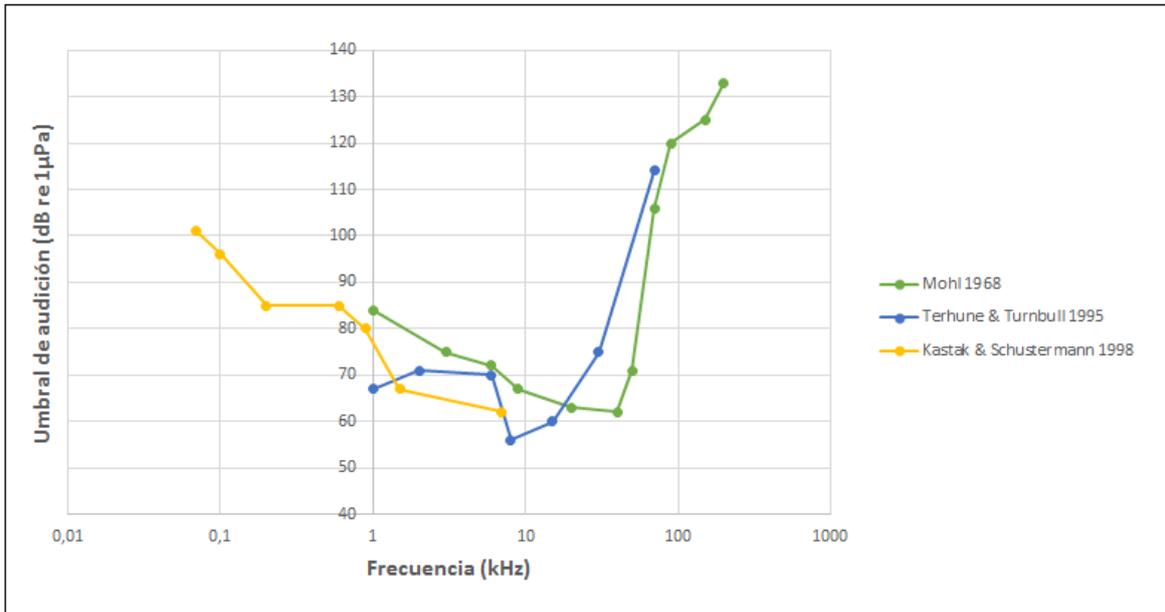


Figura 2-3. Curvas de audición de focas (Redibujado de Thomsen et al., 2006)

Los manatíes parecen relativamente insensibles al ruido antropogénico. Aunque su audición es similar a la de los pinnípedos, parecen no escuchar los barcos que se aproximan. La mayor sensibilidad auditiva de los manatíes (*Trichechus manatus*) se da alrededor de 3.000 Hz, frecuencia que está en el rango de las vocalizaciones grabadas para esta especie –más de diez tipos diferentes- (2.000 Hz a 10.000 Hz) (Bullock *et al.*, 1980 citado por F-35A EIS, 2015).

Se asume que los mysticetos escuchan en el mismo rango de frecuencia de los sonidos que producen, que es de entre 5 Hz y 10 Hz (Richardson *et al.*, 1995 citados por Hastings y Popper, 2005). Las ballenas de aleta (*Balaenoptera physalus*) emiten en frecuencias extremadamente localizadas, entre 5 Hz y 7 Hz, con tal precisión que es posible diferenciar el origen de un animal en función de la frecuencia dominante en sus canciones (Castellote *et al.*, S/A).

Las ballenas jorobadas pueden oír sonidos de frecuencia más baja que las orcas (Southall *et al.*, 2009).

El espectro audible para siete ballenas blancas (o belugas) silvestres (*Delphinapterus leucas*) en Alaska fue registrado por Castellote *et al.* (2014) aplicando la metodología de potenciales evocados. El intervalo obtenido va desde aproximadamente 4.000 Hz a 150.000 Hz. Todos los audiogramas mostraron una forma típica de U. Se encontró una variación sustancial (> 30 dB) entre los umbrales de mayor y menor sensibilidad. Todos los animales escucharon bien hasta por lo menos 128.000 Hz y considerando los dos oídos, hasta 150.000 Hz. Los umbrales de percepción más bajos (35 dB a 45 dB) se identificaron en el rango de 45.000 Hz a 80.000 Hz. Por encima de este intervalo, la sensibilidad auditiva decae rápidamente. Los audiogramas de las belugas (ballenas blancas) silvestres fueron similares a los medidos en zoológicos en ejemplares en cautiverio.

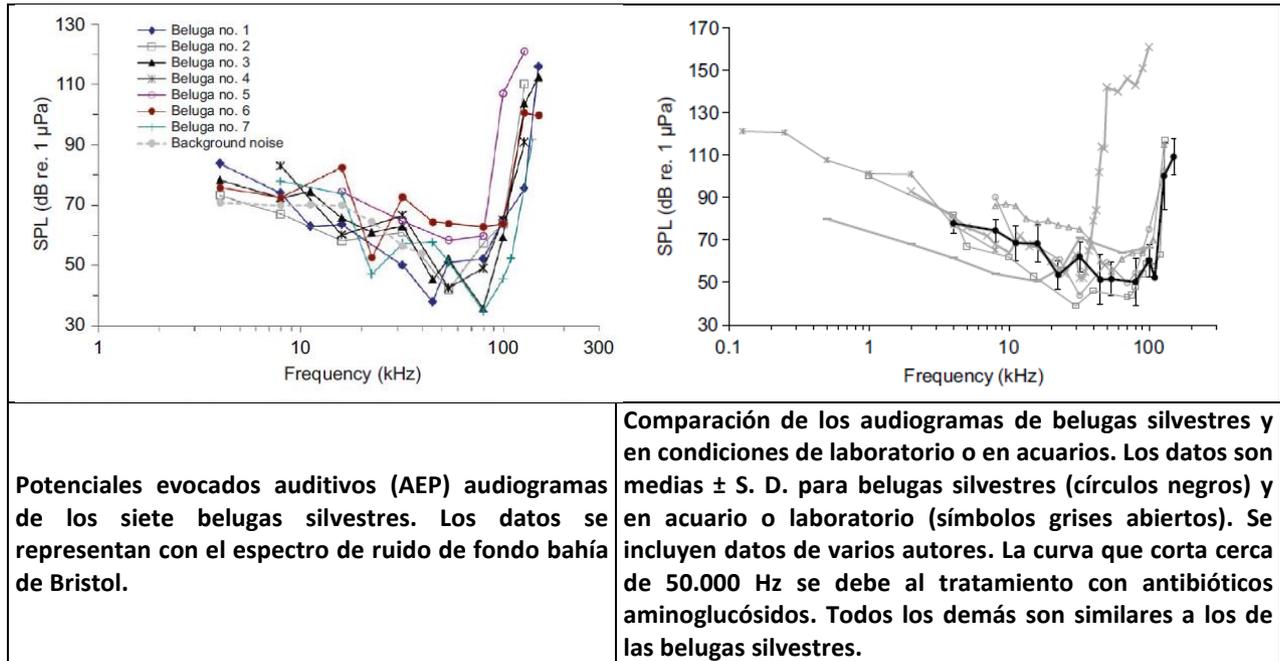


Figura 2-4: Curvas de audición de belugas (Tomadas de Castellote et al., 2014)

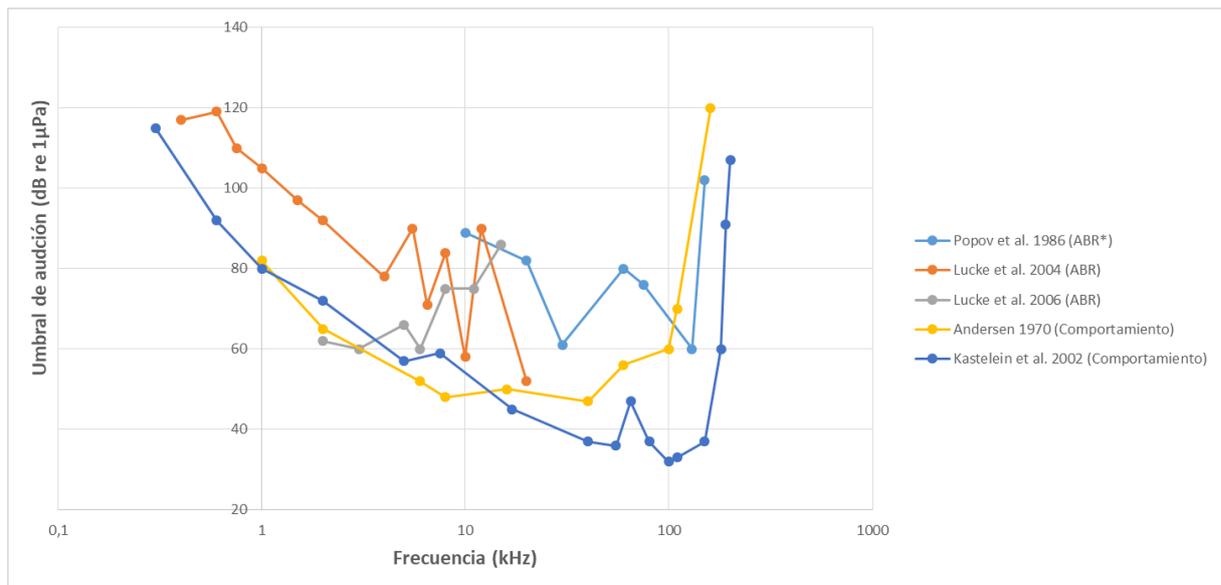


Figura 2-5. Curvas de audición de marsopas (toninas). ABR = repuesta auditiva del tallo cerebral; Comportamiento = audiograma obtenido según comportamiento; * = uso de electrodos implantados. (Redibujado de Thomsen et al., 2006)

Para explorar su entorno los delfines emiten chasquidos cuya frecuencia varía desde 2.000 Hz a más de 10.000 Hz, lo que les permite orientarse, calcular distancias, tamaño, forma, estructura y densidad de los objetos. Los ecos aportan información de por lo menos de cuatro variables: la dirección, las variaciones de la frecuencia, la amplitud del sonido y el tiempo que transcurre desde el momento de la emisión hasta el retorno del eco (Maldonado y Alcalá, 1996; Jácome 1990, citado por Mac-Quhae, S/A).

Los delfines pueden oír sonidos de entre 75 Hz y 150.000 Hz. El delfín del Atlántico (*Tursiops truncatus*) puede oír frecuencias muy bajas con intensidades también muy bajas, de 6 a 8 veces

menores que las reportadas para las focas (Herman y Arbeit, 1971, citados por Mancini *et al.*, 1988).

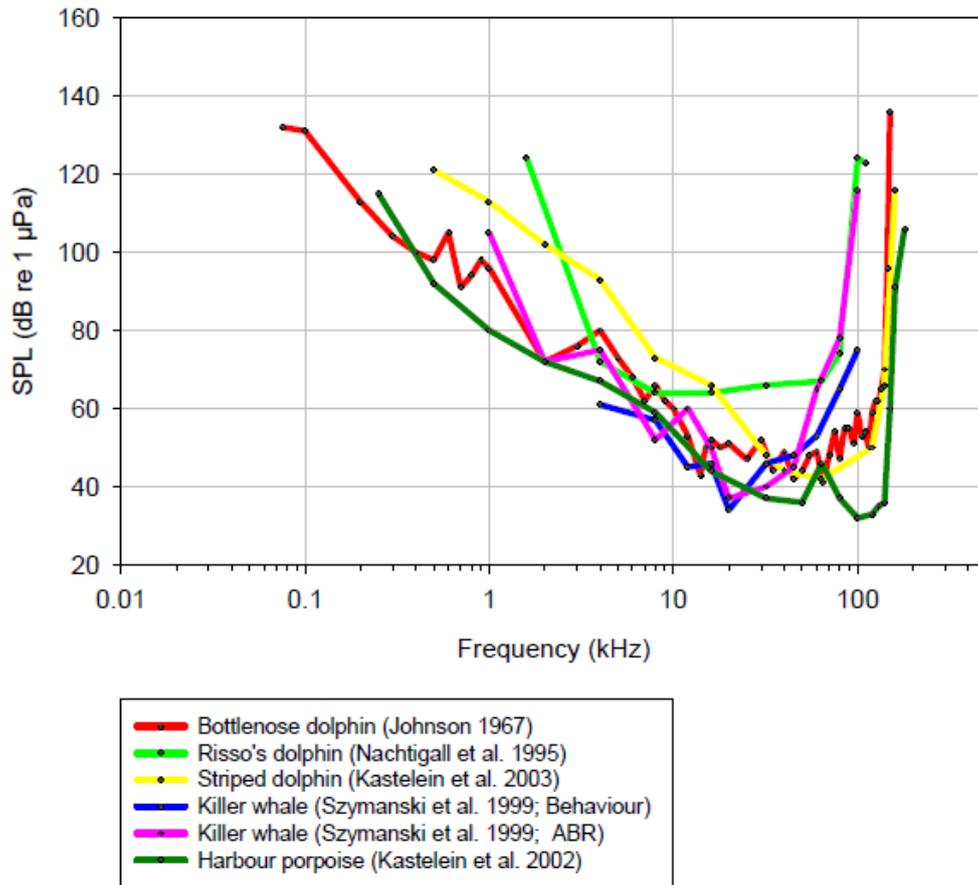


Figura 2-6: Curvas de audición de varias especies de odontocetos: delfín nariz de botella (línea roja), delfín de Risso (verde brillante), delfín listado (amarillo), ballena asesina (azul – comportamiento- y magenta –ABR-, marsopa (verde oscuro) (Tomado de Thomsen *et al.*, 2006)

Según Nachtigall *et al.* (2016), el delfín nariz de botella presenta una sensibilidad auditiva condicionada a cuándo espera que ocurra un sonido fuerte. En efecto, se observó que cuando el delfín estaba esperando que ocurriera un estímulo fuerte (en una secuencia experimental), la sensibilidad era unos 6 dB mayor (es decir, escuchaba con 6 dB menos de sobreelevación en relación al ruido de fondo) que cuando éste ocurría al azar.

2.4 Audición en aves

El oído de las aves es en general menos sensible que el oído humano. En consecuencia, las personas pueden percibir sonidos de fuentes mucho más lejanas que las que pueden percibir las aves. La media de las personas será capaz de oír una vocalización de aves en un entorno ruidoso a una distancia doble de la que puede un ave típica. Pese a ello, la capacidad auditiva de las aves para distinguir sonidos de diferentes frecuencias e intensidades es similar a la de los humanos. Las aves son mayoritariamente sensibles a frecuencias comprendidas entre 1 Hz y 10.000 Hz, excepto las aves rapaces nocturnas, que pueden superar los 10.000 Hz.

Dooling (2002) publica curvas de umbral auditivo de unas 45 especies de aves. En general, el intervalo de frecuencias en que las aves generan sensación auditiva está comprendido entre aproximadamente 500 Hz y 10.000 Hz. Las diferencias entre especies no son demasiado notorias dentro de los grandes grupos de aves. En promedio, el límite espectral del "espacio auditivo" de las aves, es decir, el intervalo en que ocurren las vocalizaciones para la comunicación, está comprendido entre 500 Hz y 6.000 Hz. Los passeriformes tienen mejor audición en las frecuencias más altas y los no passeriformes, en las más bajas. La frecuencia central y la frecuencia superior del rango audible de las aves suelen estar inversamente relacionadas con el tamaño del individuo y con su peso, o sea que cuanto más pequeña y liviana sea el ave, su audición será más pobre en bajas frecuencias. Posiblemente esto tenga que ver con que el tamaño del cuerpo de las aves más pequeñas impone una restricción a la audición en las bajas frecuencias.

En la Figura 2-7 se presentan curvas de audición promedio para tres órdenes de aves: *Passeriformes* (aves canoras); *Strigiformes*³; y los órdenes evolutivamente más antiguos, que comprenden a la mayor parte de las aves no passeriformes (*Anseriformes*⁴, *Caprimulgiformes*⁵, *Casuariformes*⁶, *Charadriiformes*⁷, *Columbiformes*⁸, *Falconiformes*⁹, *Galliformes*¹⁰ y *Psittaciformes*¹¹).

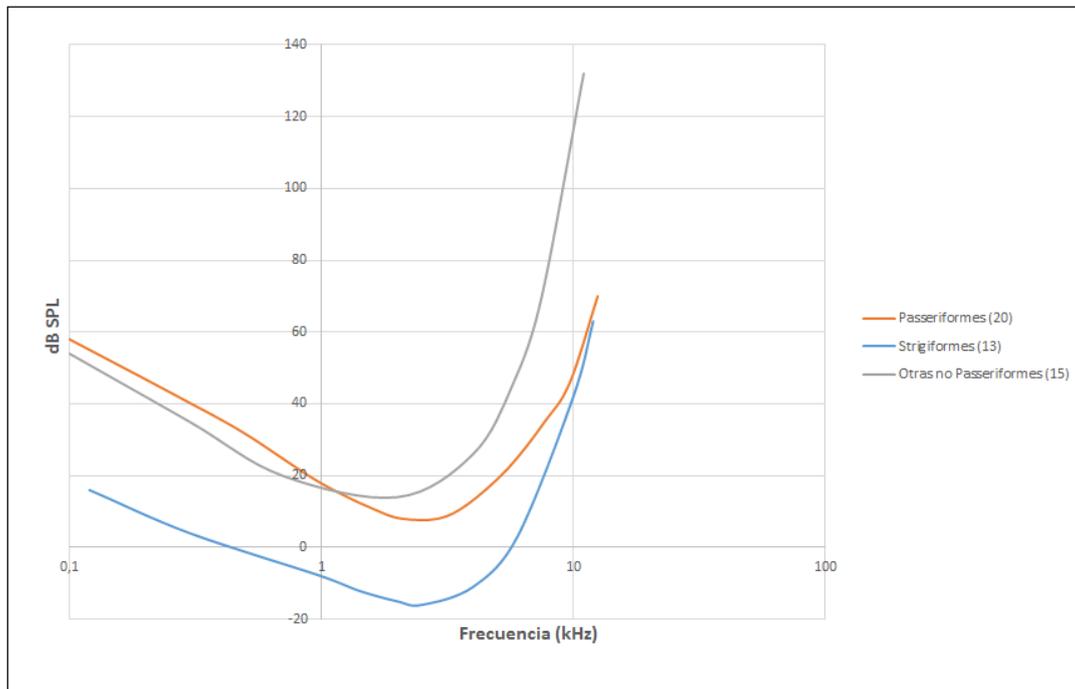


Figura 2-7: Curvas de audición promedio para diferentes órdenes de aves (Redibujado de Dooling, 2002)

³ Son los grandes cazadores, de hábitos nocturnos y solitarios: lechuzas, búhos, ñacurutús. A su vez, se subdividen en *Tytonidae* y *Strigidae*.
⁴ Aves en general adaptadas a la vida acuática, como patos, gansos, cisnes.
⁵ Aves nocturnas con facilidad para camuflarse, como el urutaú.
⁶ Grandes aves corredoras, como los emús. No están presentes en nuestro país.
⁷ Gran orden de aves que comprende más de 350 especies que, de un modo u otro, están relacionadas o con el agua dulce o con el agua salada. Comprende, por ejemplo, las gaviotas y los teros.
⁸ Palomas, tórtolas.
⁹ Son las aves rapaces diurnas o aves de presa.
¹⁰ Son las gallináceas, que incluyen, entre otras, a las gallinas, perdices y pavos.
¹¹ Loros, cakatúas, cotorras, periquitos.

La paloma común (*Columbia livia*) tiene una sensibilidad auditiva inusual para sonidos de muy baja frecuencia. Algunas estimaciones indican que pueden ser casi 50 dB más sensibles que los humanos en la región de frecuencias entre 1 Hz y 10 Hz.

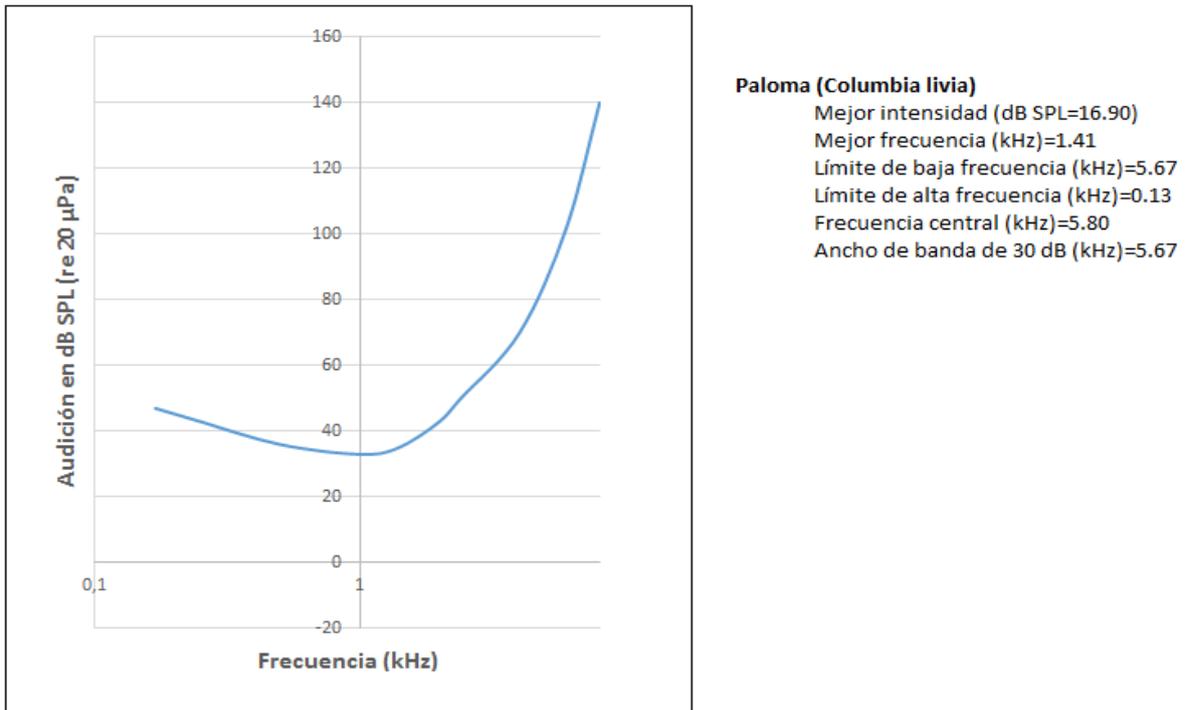


Figura 2-8: Curva de audición de la paloma común (*Columbia livia*) (Redibujado de Dooling, 2002)

Otro caso a destacar es el del bajo umbral auditivo (en materia de presión sonora) de las aves rapaces nocturnas, como lechuzas y búhos, probablemente debido a su estilo de vida.

Según Petryna y Bavera (2002), la audición de los pollos ocurre dentro del mismo rango de frecuencia que la audición humana.

Las aves, al igual que los humanos y otros animales, emplean una variedad de estrategias de comportamiento o adaptaciones a corto plazo, para mejorar la eficiencia de la audición y permitir la comunicación en ambientes ruidosos. También presentan un cambio en la sensibilidad auditiva en respuesta a sonidos suficientemente prolongados y/o intensos. A niveles de ruido continuo de entre 93 dBA y 110 dBA, las aves pueden experimentar un desplazamiento temporal del umbral auditivo, que puede tardar de segundos a días en recuperarse totalmente. El mayor aumento de umbral auditivo después de ser expuestas a ruido de 95-100 dB ocurre en los rangos de frecuencia más altas. Los datos disponibles indican que las aves pueden tolerar una exposición continua (por ejemplo, hasta 72 horas) a ruidos de hasta 110 dBA sin experimentar daños en los oídos o cambios permanentes en el umbral auditivo, es decir, sin sufrir daño de las células ciliadas sensoriales del oído interno.

En la Figura 2-9 se presentan las curvas de audición publicadas por Dooling (2002) para algunas aves que habitan en nuestro país: el halconcito colorado, el ñacurutú, la lechuza de campanario y el gorrión común.

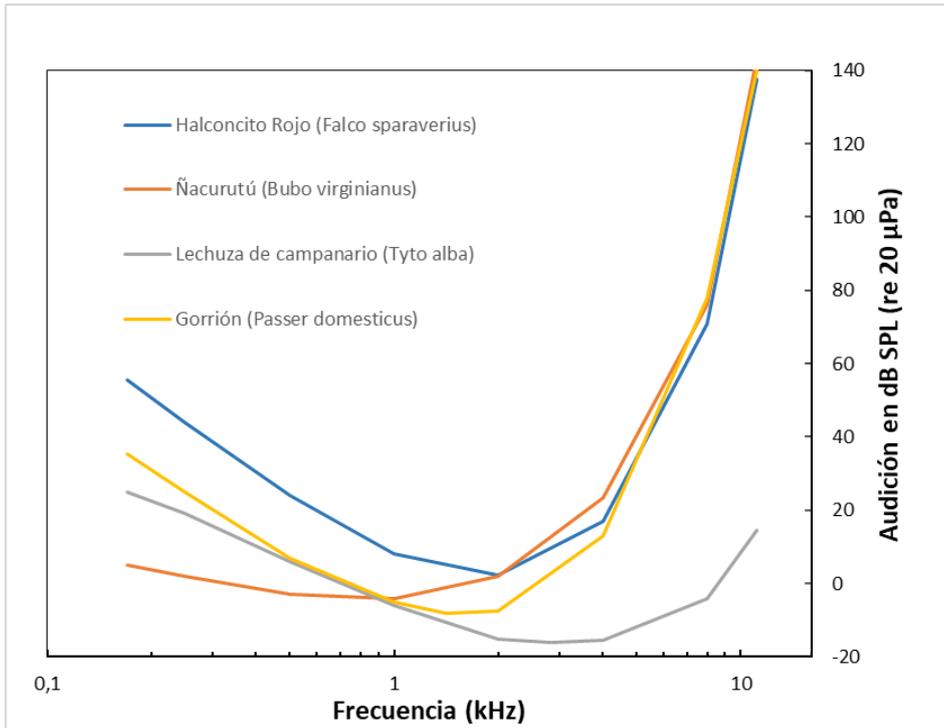


Figura 2-9: Curvas de audición de varias especies de aves de nuestro país (Redibujado de Dooling, 2002).

2.5 Audición en peces

Los peces se suelen clasificar en cartilagosos y óseos. La amplia mayoría de las especies corresponden a peces óseos, en tanto los peces cartilagosos incluyen tiburones y rayas.

Dentro de los peces óseos, uno de los tres grandes grupos es el de los teleósteos. Comprende a la mayoría de los peces de importancia comercial, entre ellos el salmón, el atún, la perca y el esturión. Entre otras características, los peces teleósteos suelen tener vejiga natatoria, que inflan y desinflan con aire para mantener la flotabilidad, en especial para desplazarse en vertical.

Según el tipo de vejiga natatoria, los peces telósteos se clasifican en fisóstomos y fisoclistos. Esta distinción ofrece información acerca de la vulnerabilidad de los peces a ser afectados por el ruido subacuático. En los peces fisóstomos, la vejiga natatoria se conecta al esófago a través de un conducto y de este modo los peces expulsan el aire de la vejiga natatoria a través de este tubo y de la boca (por ejemplo, el salmón, la trucha, el lucio, el esturión y el pez gato, entre otros). En los fisoclistos, en cambio, la vejiga natatoria es un saco cerrado se ubica en una zona rica en vasos arteriales y venosos llamada glándula gas, de modo que la excreción del oxígeno se realiza a través de la reabsorción de gas en el torrente sanguíneo. Algunos peces fisóstomos también tienen una glándula gas además del conducto neumático.

Hay peces que no tienen vejiga natatoria, en particular los que desarrollan su vida en el fondo.

Los elasmobranquios (por ejemplo, los tiburones) tampoco la tienen, pero no se hunden gracias a la cantidad de grasa que almacenan en el hígado.

Otra posible clasificación de los peces es según su audición, que conduce a dos categorías (Jones y Stokes, 2009): los **generalistas** (como el salmón y la trucha) y los **especialistas** (o con **audición especializada**) (como el arenque y sábalo). Los primeros perciben el sonido directamente a través de su oído interno pero también perciben la energía acústica en la vejiga natatoria. Los de audición especializada tienen un sistema más complejo que les permite acoplar la vejiga natatoria (u otra estructura llena de gas) al oído. La vejiga natatoria es estimulada por la presión de las ondas sonoras y sirve como un transductor que re-irradia energía en forma de movimiento de las partículas, que es detectada por el oído interno. Esto aumenta la sensibilidad auditiva en comparación con los peces generalistas pero en consecuencia los hace más susceptibles a los ruidos fuertes. Stocker (2002) explica que en muchas especies la vejiga natatoria está sujeta por un conjunto de cuatro pequeños huesos, los “osículos de Weber”, que facilitan la transferencia de energía de la vibración de la vejiga hacia el oído interno.

La audición de los peces involucra dos sistemas sensoriales independientes pero complementarios: el oído interno y el sistema de la línea lateral.

Los peces tienen dos oídos internos, que se encuentran dentro de la cavidad craneal, a los lados del cerebro. A diferencia de los vertebrados terrestres, los peces no tienen oído medio o externo. La estructura del oído interno de los peces es similar a la encontrada en todos los demás vertebrados. También los mecanismos básicos de la estimulación de las células ciliadas en el oído interno y la conversión de energía acústica en señales eléctricas compatibles con el sistema nervioso, son los mismos en todos los vertebrados. En este caso, las cilias tienen un grupo apical de proyecciones designadas como haz ciliar. Su flexión desencadena ciertos mecanismos que culminan con la liberación de neurotransmisores desde el cuerpo celular y éstos estimulan a las neuronas con las que están en contacto. Finalmente, las neuronas envían señales eléctricas al cerebro, proporcionándole información sobre el sonido (Hastings y Popper, 2005).

Las estructuras auditivas primarias en el oído interno de un pez son las células ciliadas sensoriales y los otolitos. Los órganos otolíticos son estructuras calcificadas densas que yacen sobre una capa de tejido que contiene numerosas células ciliadas sensoriales. Debido a que el cuerpo de un pez consiste principalmente en agua y los otolitos son más rígidos y más densos que el resto del cuerpo, la diferencia de impedancias acústicas entre ambos medios genera una diferencia entre el movimiento del sonido a través del cuerpo y los otolitos. Esto estimula las células ciliadas sensoriales, lo que resulta en la detección del sonido en el cerebro. Los órganos otolíticos contienen miles de células ciliadas sensoriales y pueden ser dañados por la exposición a sonidos fuertes. Sin embargo, estas células se siguen produciendo durante toda o gran parte de la vida de los peces (Hastings y Popper, 2005).

La línea lateral es un órgano sensorial que consta de un conjunto de receptores que se encuentran en la superficie del cuerpo en todos los peces. La sensibilidad del sistema de línea lateral es generalmente por debajo de unos pocos cientos de hertz. Les permite detectar el movimiento y vibración del agua circundante, lo que ayuda al pez a orientarse, evitar colisiones y localizar presas. Está formada por neuromastos, que son células ciliadas receptoras que detectan el movimiento relativo del agua dentro de una distancia del orden de unas pocas veces la longitud del cuerpo del animal. Los neuromastos perciben el movimiento de las partículas y envían la información al cerebro siguiendo los mecanismos descritos. Por ejemplo, los

cardúmenes se mantienen “conectados” gracias a la percepción de las distancias entre los integrantes del grupo. Sin embargo, ante un ruido muy intenso –por ejemplo, una pistola de aire sísmica¹²–, los peces experimentan una respuesta de sobresalto y luego tardan un tiempo en recuperar la conexión del grupo.

Existen datos sobre las capacidades auditivas de apenas un centenar de las más de 29.000 especies de peces existentes (Hastings y Popper 2005). Los rangos de frecuencias en que pueden oír diferentes especies de peces y su sensibilidad en ese intervalo son muy variables. Por ejemplo, el salmón y la perca tienen un sentido de la audición bastante menos fino que la carpa y el bacalao. Algunos peces utilizan ecolocalización y en consecuencia tienen mayor sensibilidad en los intervalos de frecuencias que les resultan de interés para ello.

La mayoría de los peces no tienen especializaciones para mejorar la audición y, por tanto, son generalistas. Posiblemente estos peces detecten sonidos únicamente en el intervalo de 1.000 Hz a 1.500 Hz.

El bacalao y el arenque pueden percibir el ruido de pulsos de percusión, como los que se originan en la hincada de pilotes, a distancias de decenas de km de la fuente sonora. En cambio, el ruido de funcionamiento de aerogeneradores off-shore será detectable por ellos hasta unos 4 km y a aproximadamente 1 km por el lenguado y el salmón. Dentro de esta zona, también es posible que ocurra enmascaramiento de la comunicación intraespecífica.

Los peces de audición especializada tienen adaptaciones que amplían el ancho de banda en que perciben sonido y su umbral de sensibilidad auditiva. Sus intervalos de frecuencias audibles suelen llegar hasta 3.000 Hz - 4.000 Hz, con umbrales que son 20 dB o más bajos que los de los generalistas. Ejemplos de peces especialistas son los peces de colores, bagres, algunos peces ardilla, arenques, sardinillas, sábalos, lachas, anchoas, entre muchas otras especies. La trucha arco iris (*Onchorhynchus mykiss*) puede detectar sonidos a frecuencias ligeramente por encima de 600 Hz. Otro salmónido, el salmón del Atlántico (*Salmo salar*) puede detectar sonidos muy por debajo de 20 Hz, pero sólo responden a estas señales cuando están muy cerca de la fuente de infrasonidos.

Thomsen *et al.* (2006) estudian detalladamente la audición de cuatro especies con características diferentes: lenguado (*Limanda limanda* –no tiene vejiga natatoria, habita en el fondo y sólo es sensible al movimiento de las partículas), salmón del Atlántico (*Salmo salar*, un pez con audición especializada), el bacalao del Atlántico (*Gadus morhua*, también especialista, en este caso fisoclisto) y el arenque del Atlántico (*Clupea harengus*, especialista fisóstomo).

En la Figura 2-10 se presentan las curvas de umbral auditivo de las mencionadas especies, junto con la del arenque del Pacífico. Nótese que los rangos de frecuencias que pueden detectar especies diferentes son muy diversos, como también lo son los umbrales de detección y las formas de las curvas.

¹² Según el “Schlumberger Oilfield Glossary en español”, una **pistola o cañón de aire sísmica (airgun)** es una fuente de energía sísmica utilizada en la adquisición de datos sísmicos marinos. Este cañón libera aire altamente comprimido en el agua. Los cañones de aire se utilizan además en piletas llenas de agua, emplazadas en tierra firme, como fuente de energía durante la adquisición de perfiles sísmicos verticales.

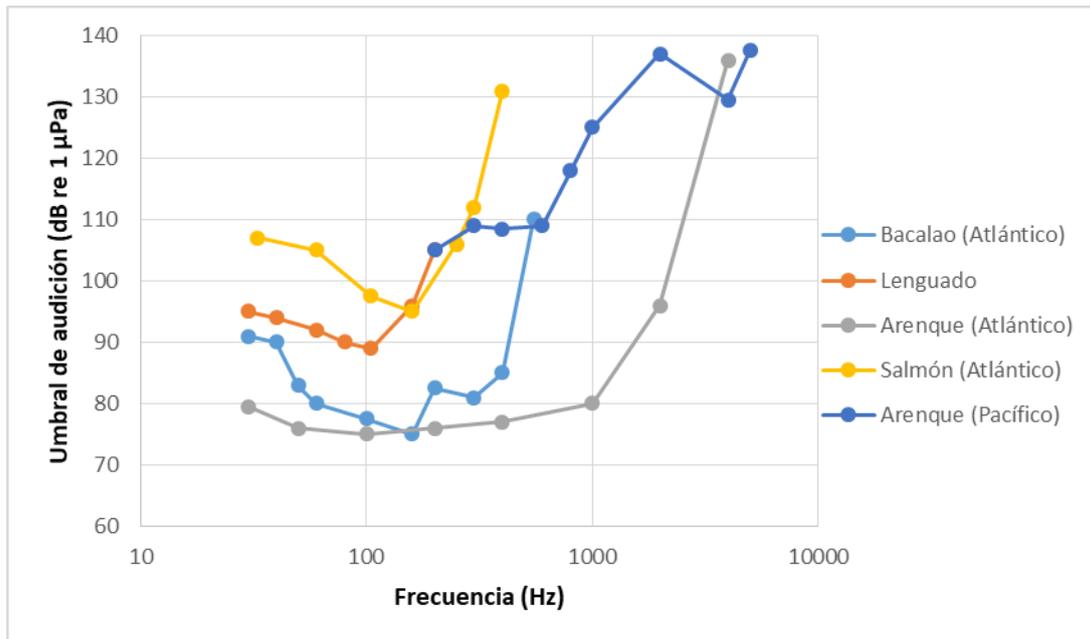


Figura 2-10: Curvas de audición de varias especies de peces (redibujado de Thomsen et al., 2006).

Los elasmobranquios (tiburones, rayas) dependen de los sonidos de baja frecuencia para localizar a sus presas. Sin embargo, el incremento rápido de los niveles sonoros (15 dB a 20 dB) en esas mismas frecuencias ocasiona comportamientos aversivos en tiburones. En principio, los estudios disponibles sugieren que los tiburones y rayas no detectan sonidos de frecuencias superiores a 800 Hz - 1000 Hz. Entre los resultados de muchos estudios parece interesante mencionar los de Kritzler y Wood (1961, citados por Nelson y Gruber, 1963) acerca de un audiograma de un tiburón toro (*Carcharhinus leucas*) en cautiverio: fue sensible a frecuencias entre 100 Hz y 1500 Hz, con mayor sensibilidad entre 400 Hz y 600 Hz. En cambio, Olla (1962, también citado por Nelson y Gruber, 1963) obtuvo un intervalo bastante más reducido, entre 100 Hz y 600 Hz, para tiburones martillo pequeños.

Los peces pueden discriminar entre sonidos de diferentes intensidades y frecuencias, detectar un sonido en presencia de otras señales y determinar la dirección de una fuente de sonido (localización de la fuente de sonido). Estas capacidades de nivel superior son mucho más importantes que el umbral auditivo, ya que los peces deben discriminar entre los sonidos de depredadores y los de presas, determinar la dirección de la que proviene un sonido emitido por potenciales depredadores o presas, y determinar la naturaleza de una fuente sonora en presencia de ruido de fondo. Aparentemente los tiburones pueden detectar y reconocer la dirección de la que provienen los sonidos en el campo acústico lejano.

Es posible que las capacidades auditivas de los peces cambien con la edad y/o el tamaño de los peces, como se ha sugerido para la merluza (Hastings y Popper, 2005). Vasconcelos *et al.* (2015) verificaron que esto ocurre para peces sapo (*Halobatrachus didactylus*): lograron establecer que la audición de peces adultos y juveniles grandes es mejor que la de alevines y juveniles pequeños. Existe evidencia de que los peces pueden reemplazar o reparar las células ciliadas sensoriales que han sido dañadas, tanto en el oído interno como en la línea lateral.

Los peces emplean sus emisiones acústicas en muchos comportamientos, como la agresión, la protección del territorio, la defensa, y la reproducción. También hay evidencia de que al menos

una especie de pez gato marino (*Arius felis*) utiliza una forma de ecolocalización para identificar objetos en su entorno, produciendo sonidos de baja frecuencia y analizando sus reflexiones o retornos. Los datos de la literatura sugieren que el patrón temporal de los sonidos de los peces es más importante para la comunicación acústica entre individuos que el espectro frecuencial.

Según la recopilación de Manci *et al.* (1988), las especies de peces que pueden oír bien son más que las que pueden emitir sonidos deliberadamente. El arenque (*Clupea harengus*) produce chirridos (pulsos en el rango de 1.800 Hz a 3.200 Hz) y silbidos (sonidos continuos de banda angosta de entre 1.600 Hz y 2.000 Hz), además de ruidos aerodinámicos y de alimentación. Para Stocker (2002), entre los peces que vocalizan posiblemente el más conocido sea el “guardiamarina”, de la familia del pez sapo, que emite un zumbido cuya frecuencia fundamental es de entre 80 Hz y 100 Hz, y la colonia de congéneres establece frecuencias de batido infrasónicas de entre 0 Hz y 8 Hz.

Hastings y Popper (2005) muestran que los peces teleósteos producen sonidos de varias maneras, con mecanismos variados que van desde mover dos huesos juntos a mecanismos más complejos que involucran músculos excepcionalmente rápidos conectados a la vejiga natatoria. En este último caso, los músculos se contraen a frecuencias suficientemente altas como para producir sonido. El relleno de gas vejiga natatoria (o de la vejiga de gas) en la cavidad abdominal puede servir como un amplificador del sonido. Los sonidos producidos de esta manera por lo general tienen la mayor parte de su energía por debajo de 1.000 Hz.

2.6 Sistemas de recepción de energía acústica en invertebrados

Es conveniente diferenciar entre lo que convencionalmente se entiende por *audición*, relativo a detectar el sonido, y la *percepción del movimiento oscilatorio de las partículas del medio*.

La capacidad para *escuchar* típicamente se refiere a la *detección de ondas de presión en el medio de propagación*, que son detectadas y emitidas por los animales con oídos timpanales (membranas delgadas unidas a las células mecano-sensoriales que transducen la vibración de la membrana en impulsos eléctricos). Entre los invertebrados, el orden de los ortópteros (grillos, saltamontes, grillos y cigarras), utiliza oídos timpanales. Esto les permite comunicarse a través de distancias considerables, pero también los hace vulnerables al ruido originado por otras fuentes lejanas.

Hay un segundo componente que es la *detección de la velocidad de las partículas*, es decir, del movimiento oscilatorio de las partículas durante el pasaje de una onda de propagación. Esto no es detectado por los seres humanos pero sí por muchos invertebrados, que utilizan estructuras mecanosensoriales flagelares, tales como pelos o antenas que oscilan en el medio de propagación. En este caso, los flagelos son sensibles a frecuencias de menos de 1.000 Hz, por lo que la componente de velocidad de las partículas se atenúa rápidamente y domina sólo el campo de sonido cercano a la fuente, en algo así como una longitud de onda (del orden de 34 cm para 1.000 Hz). Las células mecanosensoriales de los mosquitos (*Toxorhynchites brevialpis*) y las moscas de la fruta (*Drosophila melanogaster*), ambos conocidos por ser sensibles a la velocidad de las partículas, amplifican activamente estímulos muy pequeños. Esto contribuye a aumentar efectivamente su sensibilidad a los sonidos distantes pero al mismo tiempo su vulnerabilidad a

los efectos del ruido, en comparación con aquellas especies que utilizan un sistema receptor pasivo.

Son pocas las especies de invertebrados para las que se cuenta con estudios de su estructura auditiva. En insectos, se sabe que estas estructuras se pueden encontrar en casi cualquier segmento del cuerpo y con sensibilidades que van de décimas de Hz a más de 100.000 Hz. Los crustáceos tienen *órganos cordotonaes*. Estos órganos aparecen en los segmentos articulares y son mecanorreceptores internos que sirven como propioceptores o como órganos mecanorreceptores altamente específicos. Los órganos cordotonaes son los responsables de la sensibilidad acústica del cangrejo violinista (*Uca pugilator*), cangrejos ermitaños (*Pagurus*) y otros pequeños crustáceos. Muchos de estos animales son sensibles a los sonidos de los depredadores dentro y fuera del agua. Los cangrejos tienen gran capacidad de distinguir sonidos para su supervivencia. Los carroñeros de aguas profundas pueden detectar la caída de alimentos a distancias de 100 m a partir de los eventos "micro-sísmicos" asociados cuya frecuencia es de entre 30 Hz y 250 Hz. Estos animales de aguas profundas también tienen sensibilidad a los sonidos de los depredadores. La comunicación vibratoria a través de sustratos tales como la tierra, plantas o telas de araña están también muy difundidos entre los invertebrados. Mientras que los receptores sensoriales para detectar vibraciones en el sustrato son generalmente distintos de los de la audición, los estímulos acústicos pueden propagarse y transmitirse a través de sustratos, y por lo tanto el ruido acústico también tiene el potencial de poner en peligro la comunicación vibratoria. Por ejemplo, la comunicación vibratoria en la araña *Schizocosa ocreata* se ve afectada por el ruido transmitido por el aire y es utilizada por estos animales en el cortejo sexual; ante ruido blanco de entre 0 Hz y 4.000 Hz se observa que el éxito de apareamiento de *S. ocreata* se redujo. El impacto del ruido antropogénico sobre señales vibratorias es un tema de creciente preocupación desde que se han comenzado a obtener hallazgos como el mencionado (Morley *et al.*, 2014)

Stocker (2002) indica que, en el caso de invertebrados acuáticos, en particular almejas, ostras y mejillones, caracoles y babosas, calamares y pulpos, es más adecuado hablar de *repcionar energía acústica* que de *oír o escuchar*. Aunque no se conoce en detalle cuáles son los mecanismos involucrados, dado que el calamar se adapta a los gradientes de presión y energía acústica así como al movimiento de las partículas del medio, se supone que escucha a través de estatocistos o posiblemente por propiocepción (o sea, por la detección de movimiento de simpatía hacia los músculos y tejidos del cuerpo sobre los que actúa la energía acústica). Las almejas pueden percibir el cambio de las mareas y las pisadas de personas sobre la arena mojada, demostrando una gran sensibilidad a las vibraciones. Los gasterópodos (caracoles, babosas), que no responden a las olas ni al movimiento de las partículas del agua, responden por lo menos a las vibraciones transmitidos por la superficie del sustrato sobre el que se encuentran. Esto podría indicar que la detección de las vibraciones ocurre a través de los propioceptores en los músculos con los que se acoplan al sustrato. Este sensor de vibración, aunque un tanto rudimentario, puede servirles como un detector de depredadores. Los pulpos no han demostrado adaptación siquiera rudimentaria a la percepción del sonido mientras que los calamares sí han demostrado respuestas al sonido. Los crustáceos (camarones, krill, langostas y cangrejos) tienen exoesqueletos y apéndices segmentados, muchos viven en comunidades o enjambres al igual que los insectos terrestres, y muchos hacen ruidos similares a zumbidos, píos, pulsos y cantos como el de los grillos, cigarras, mosquitos y escarabajos. Los crustáceos que no emiten sonidos

igualmente responden a las señales acústicas. Los órganos sensoriales de los animales del filo *Cnidaria* (medusas, anémonas, hidras y corales) son rudimentarios. Una clase de cnidarios que tiene órganos sensoriales que responden al sonido es la anémona. Estas criaturas tienen propioceptores que las ayudan a atrapar a sus presas, que nadan rápidamente. Los corales son sensibles a las perturbaciones hidrostáticas, incluyendo el movimiento de las partículas inducido por las corrientes, los depredadores y las presas pero no se conoce demasiado acerca de sus adaptaciones acústicas de los corales o de cómo responden a fuentes sonoras persistentes.

Los invertebrados emiten sonidos para ubicar a sus congéneres y como parte del cortejo sexual, en sus comportamientos de agresión, comportamientos anti-predadores y para la detección de especies huéspedes de parásitos. El cangrejo violinista (*Uca pugilator*) es capaz de emitir sonidos que genera por medio de su pinza singularmente grande (Stocker, 2002).

Muchos animales que no parecen comunicarse por medio del sonido se mantienen inmersos en el sonido "colectivo" de su comunidad y sincronizan sus movimientos con los del grupo.

Stocker (2002) indica que los invertebrados marinos tienen diferentes mecanismos para emitir y utilizar sonidos, algunos en forma pasiva y otros en forma activa. Los principales *usos pasivos* se refieren a:

- Detección de depredadores.
- Detección y localización de presas.
- Percepción de la proximidad de los congéneres en el grupo o colonia
- Navegación.
- Percepción de cambios en las condiciones ambientales, tales como movimientos sísmicos, mareas y corrientes.
- Detección de las fuentes de alimentos y de la alimentación de otros animales.
- "Iluminación acústica", en paralelo a la ecolocalización o a la visión diurna de otros animales.

Los *usos activos* del sonido tienen que ver con los que surgen de que un animal cree un sonido para interactuar con su entorno o con otros animales presentes en él. Los rangos de frecuencias útiles en las que estos animales emiten señales van de 0,1 Hz a 300.000 Hz. Las frecuencias entre 0,1 Hz y 20 Hz se relacionan con la navegación de larga distancia, la comunicación y la vigilancia ambiental. Las frecuencias entre 1 Hz y 100 Hz probablemente participen en la detección de corta distancia, en la interacción depredador-presa y en la alimentación. En el intervalo entre 1.000 Hz y 10.000 Hz dominan las señales de comunicación e interacción con otros organismos. Las frecuencias más altas, entre 10.000 Hz y 300.000 Hz, son las que se utilizan para la ecolocalización, la iluminación acústica, imágenes holofónicas y tal vez la comunicación con otras especies. Los *usos activos* de señales acústicas incluyen:

- Comunicación acústica con los congéneres, con fines reproductivos.
- Comunicación acústica con los congéneres para la alimentación, incluyendo aviso y direccionamiento de otros individuos hacia las fuentes de alimentos.

-
- Relaciones territoriales y sociales.
 - Ecolocalización.
 - Caza de presas.
 - Llamadas de alarma para notificar de la proximidad de enemigos.
 - Navegación de larga distancia y orientación.
 - Defensa contra los depredadores.
 - Ahuyentamiento de depredadores.

3 Algunos parámetros de la bioacústica

3.1 El nicho aural

Casi todas las especies tienen algún nivel de susceptibilidad a los sonidos. La mayoría de los animales perciben los sonidos en intervalos de frecuencias diferentes al de las personas. Por ejemplo, el gato puede percibir sonidos de hasta 25.000 Hz, el perro percibe sonidos de hasta 35.000 Hz, y los murciélagos y los delfines pueden oír sonidos de frecuencias mucho más elevadas aún. Los delfines y los elefantes utilizan infrasonidos para comunicarse a varios kilómetros de distancia. Los murciélagos utilizan su sistema de ecolocalización por ultrasonidos que les permite moverse en zonas de oscuridad total. Las palomas y los patos pueden captar ondas de frecuencia muy baja, de hasta 1 Hz, aún a varios kilómetros de distancia.

Aunque algunos autores consideran que los animales pueden adaptarse a elevados niveles sonoros, otros consideran que los efectos pueden llegar incluso a generar la desaparición de especies en determinadas zonas.

Krause (1993) introduce su teoría del "*nicho aural*" (en correspondencia con el concepto de "nicho ecológico"), según la cual cada ser vivo tiene un hábitat o lugar predeterminado que se asocia con su propia "voz", de acuerdo con la frecuencia relativa, amplitud, timbre y duración del sonido que produce.

En conjunto, las vocalizaciones de todos los seres vivos que habitan en una zona determinada producen una "*huella vocal*" única (una *huella sonora*) que Krause considera que puede ser utilizada como indicador de la integridad biológica de la zona.

Su planteo representa un paso muy importante al llevar el concepto de "bioacústica" a la consolidación de la "ecología acústica" surgida en la década del '70. Para Krause, en las áreas naturales "... los sonidos de cada una de estas zonas son únicas e importantes para la vida animal en un lugar determinado..."

En consecuencia, la alteración de este paisaje sonoro puede ser perjudicial para el futuro de los individuos, poblaciones o incluso especies ya que, ante la creciente pérdida de hábitats, muchos animales se ven obligados a desplazarse a áreas en las que carecen de un nicho aural establecido.

3.2 La zona de escucha efectiva

Barber *et al.* (2010) propusieron el empleo de un nuevo parámetro para aplicar en investigación en bioacústica: la *zona de escucha efectiva*.

La *zona de escucha efectiva* se refiere al área sobre la cual los animales pueden comunicarse unos con otros, o escuchar otros animales (llamadas o movimientos). Los animales se focalizan especialmente en la escucha de sonidos en los bordes de la audibilidad, aleteos especialmente débiles o huellas de los depredadores o presas, por lo que incluso un pequeño aumento en el ruido de fondo (debido a una carretera, parque eólico, paso regular de aviones) puede inhibir la captación de los sonidos que necesitan ser escuchados. Algunos estudios indican que generan cambios de comportamiento, reducen el éxito reproductivo y disminuyen las poblaciones de

estos organismos. Otros estudios señalan que el ruido del tráfico desencadena mecanismos de prevención de ruido en anfibios y aves, que se traducen como modificaciones en sus patrones de vocalización, principalmente en la frecuencia y amplitud de los sonidos pero también como aumento o disminución en el número de llamadas en función del organismo que se considere.

El ruido continuo en la región de frecuencia de la audición de las aves puede tener un efecto perjudicial en la detección y la discriminación de las señales vocales de sus congéneres, si su intensidad es suficiente para ello. Las vocalizaciones de los pájaros en general se encuentran entre 2.000 Hz y 4.000 Hz. En la Figura 3-1 se muestran las distancias máximas de detección y discriminación de la llamada para dos especies de aves en dos ambientes acústicamente diferentes. Se observa que cuando el ruido ambiente es ruido rosa, las distancias de detección y discriminación (para un mismo nivel de presión sonora en dBA) se reducen considerablemente.

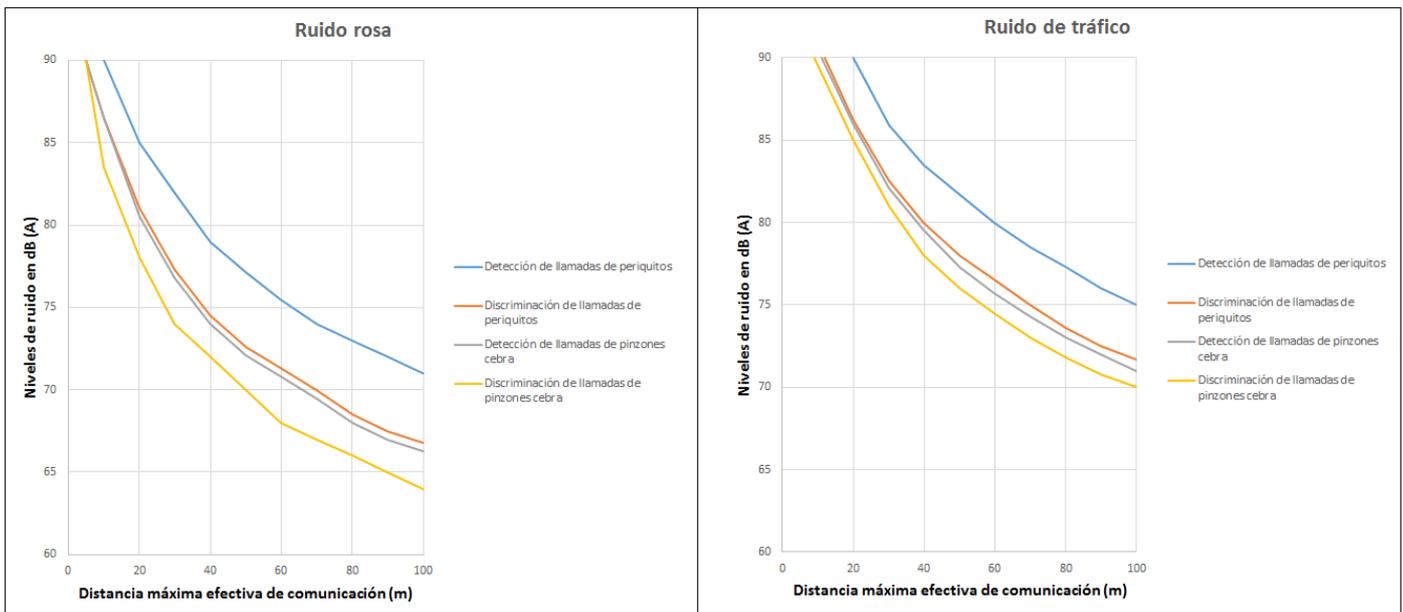


Figura 3-1. Distancia de detección y discriminación de la llamada con diferentes niveles de ruido de fondo para periquitos y pinzones cebra en dos tipos de ruido: ruido rosa (izq.) y ruido de tráfico (der.). El ruido de tráfico resulta en menor enmascaramiento de ruido rosa y por lo tanto las llamadas se pueden transmitir a través de distancias mayores. A modo de referencia, las líneas verticales marcan la dimensión del territorio de un gorrión (Redibujado de Dooling y Popper, 2007).

Cuando ocurre una disminución en los niveles de las vocalizaciones, estas señales de comunicación pueden resultar enmascaradas, mientras que un aumento en los niveles sonoros de las vocalizaciones implica un mayor costo energético y reduce el tiempo disponible para otras actividades como la búsqueda de alimento (Alves da Rosa y Bager, 2013).

Un aumento de 3 dB en el ruido ambiental, que podría en muchos casos considerarse poco significativo, puede sin embargo reducir en forma importante, un 30 %, la zona de escucha efectiva de algunos animales. Si el aumento de los niveles de ruido de fondo es de 10 dB, el área de escucha efectiva se reduce en un 90 %. Esto brinda una cuantificación más general en la línea de resultados publicados por Immel (1995) según los que la rata canguro perdía la capacidad de detectar y reaccionar a tiempo ante predadores a causa del ruido de pasaje de aviones.

3.3 Enmascaramiento y razón crítica (o razón señal – ruido)

Para que un sonido sea detectable no sólo es necesario que esté dentro del campo audible de la especie en cuestión sino también que no sea *enmascarado* por el ruido de fondo, es decir, por el ruido ambiente que incluye los aportes de todas las fuentes naturales y antropogénicas.

El enmascaramiento es la interferencia con la detección de un sonido (biológicamente relevante) por otro. Más específicamente, el enmascaramiento se refiere al aumento de los umbrales para la detección o la discriminación de los sonidos en la presencia de otro sonido.

La forma más sencilla de cuantificar el enmascaramiento es medir el umbral de audición para tonos puros en la banda ancha que se estudia y el nivel sonoro por bandas del ruido de fondo. Así, la *razón crítica* o *razón señal-ruido* es la relación entre la potencia de un tono puro en el umbral de audibilidad y la potencia del ruido de fondo en esa misma banda. En términos de niveles, la razón crítica es la diferencia aritmética entre el nivel de ruido de fondo y el del tono de interés para que éste pueda ser escuchado. Está estudiada en laboratorio. Los experimentos de enmascaramiento demuestran que a niveles bajos, el ruido en la región de frecuencia de una señal es el más importante para enmascarar dicha señal en regiones de frecuencia más distantes (Dooling, 2002).

En la Tabla 3-1 se muestran los niveles señal-ruido que deben ser superados para que un ave pueda detectar una señal dada, ya sean tonos puros de diferentes frecuencias o ruido de banda ancha.

En la Figura 3-2 se presentan las razones críticas obtenidas experimentalmente que propone Dooling (2002) en función de la frecuencia para 14 especies de aves.

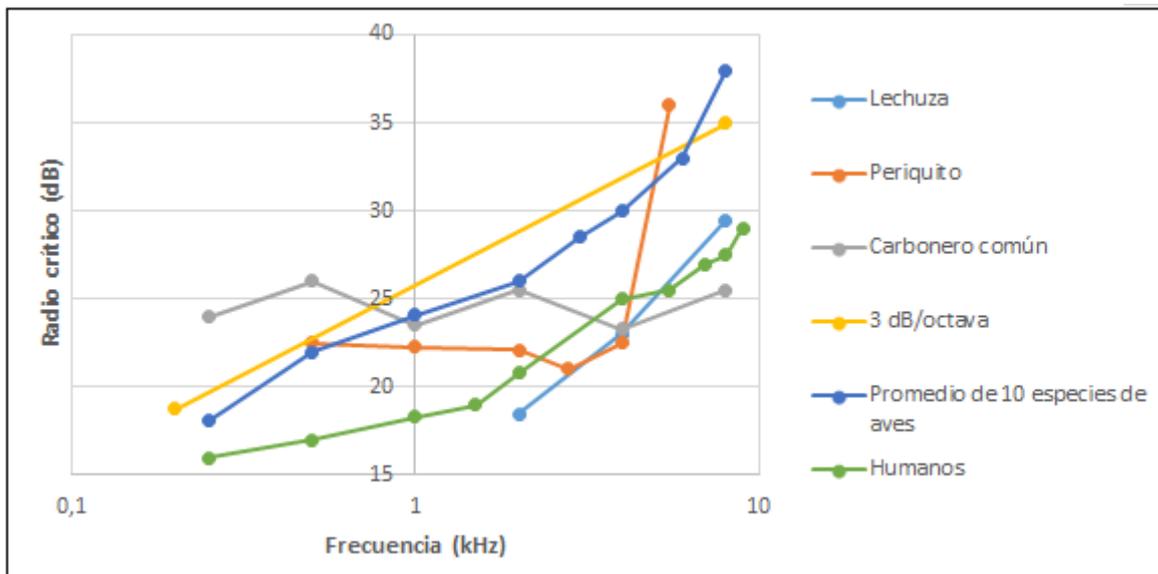


Figura 3-2. Razón crítica determinada para 14 especies de aves. Nótese que entre 2000 y 3000 Hz la razón crítica promedio se ubica entre 26 dB y 28 dB. (Barn owl=lechuza; budgerigar=periquito; great tit=carbonero común) (Redibujado de Dooling, 2002).

La curva promedio representa el comportamiento auditivo de 10 de las 14 especies ensayadas. Se aproxima al patrón auditivo característico de los mamíferos, incluyendo a las personas: un

incremento de entre 2 dB y 3 dB por octava. Se grafican por separado las curvas correspondientes a las especies ensayadas que presentan un patrón claramente diferente del promedio. En términos prácticos, esta curva indica cuántos dB por encima del nivel de ruido de fondo en esa zona del espectro debe situarse un tono puro, para que sea escuchado por el receptor en cuestión. Por ejemplo, para la audición promedio de las aves, un tono puro en la región de los 3.000 Hz debe ser de al menos 28 dB por encima del nivel del espectro de ruido de fondo para que pueda ser detectado. El periquito australiano, el estornino y la lechuza común, necesitan que una señal esté por lo menos 1,5 dB por encima del ruido de fondo para poder detectarla. La razón crítica permite, entre otras aplicaciones, inferir hasta qué distancia de la fuente podría ser escuchado un sonido en un ambiente ruidoso.

Tabla 3-1: Relación señal-ruido (S/N) en dB que debe superarse para que el promedio de aves pueda detectar un tono puro o un ruido de banda ancha (Fuente: Dooling, 2002)

Señal	1.000 Hz	2.000 Hz	3.000 Hz	4.000 Hz	Ruido
Razón crítica	24 dB	27 dB	28,5 dB	30 dB	1,5 dB

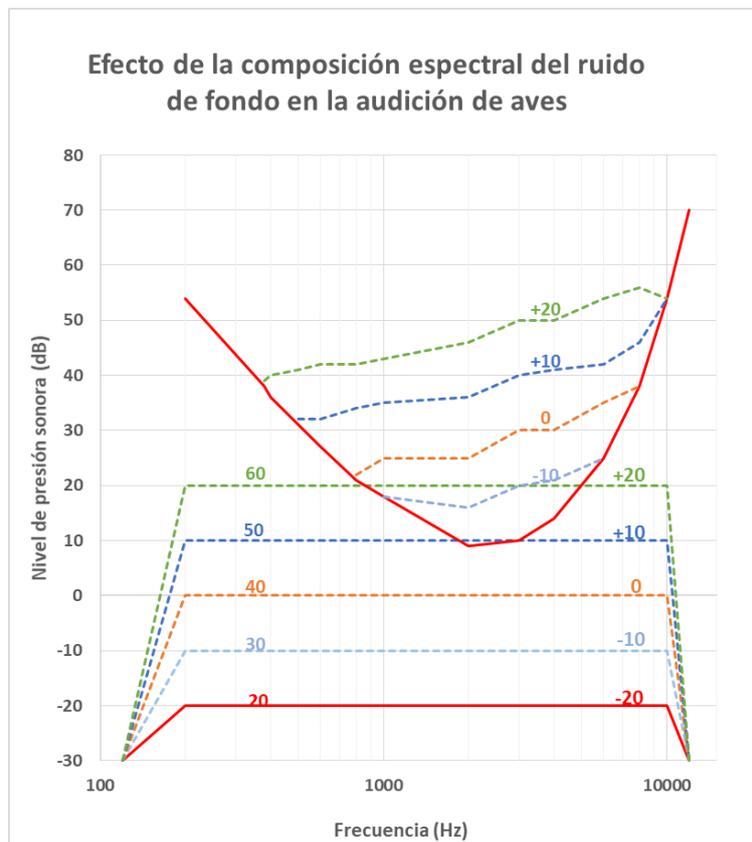


Figura 3-3. Efecto del ruido de banda ancha de diferentes niveles en los umbrales auditivos de aves: relación entre el nivel de presión sonora total, el nivel de presión sonora en bandas (ruido rosa) y los umbrales de audición. La línea continua muestra los umbrales auditivos en ambiente silencioso, en tanto las líneas de puntos que indican elevación de umbral auditivo se corresponden con diferentes niveles de ruido de banda ancha (a la izquierda se indica el nivel total en dBA y a la derecha, el nivel en cada banda en dBZ). En general, el nivel sonoro total es siempre aproximadamente 40 dB mayor que el nivel del espectro. El ruido de tráfico no es plano: tiene más energía en las frecuencias bajas que entre 2.000 Hz y 8.000 Hz (la mayoría de los cantos de los pájaros). Por lo tanto, la diferencia entre los niveles de ruido totales y los niveles espectrales en 2.000 Hz a 4.000 Hz serán mayores que las diferencias graficadas para ruido rosa (Tomado de Dooling y Popper, 2007).

Dooling *et al.* (2015) postulan que la teoría de la razón crítica debe cumplirse también para peces, es decir, que hay distancias críticas para las cuales el animal puede detectar un sonido, una distancia menor a la que puede discriminar, otra más pequeña en que puede reconocer la señal y una última y más pequeña a la cual la comunicación efectiva es posible. Más allá de que, como indican los autores, sólo se dispone de valores de la razón crítica para algunas especies de peces parece bastante razonable como camino para estudiar los efectos del ruido en ambiente acuático del mismo modo que se hace para animales terrestres y aves.

4 Efectos generales del ruido sobre animales

4.1 Aspectos generales

La mayoría de las especies animales presentan algún grado de susceptibilidad y respuesta a los estímulos acústicos. Uno de los contraejemplos más conocidos es el de tortugas de tierra, para el que el oído es un sentido casi inexistente: apenas perciben las vibraciones causadas por el movimiento de grandes animales cercanas a ellos. Otras especies pueden llegar a adaptarse a niveles intensos de ruido permanente, como es el caso de las aves urbanas.

Bowles y Yack (2004 citados por Mestre, 2008) se refieren al ruido en relación a la vida silvestre como:

“...cualquier sonido que: (1) causa pérdida de audición; (2) enmascara señales necesarias para la comunicación, la orientación, la detección de presas, evitar depredadores y monitorear las condiciones ambientales; (3) ocasiona cambios sobre la salud no auditiva; (4) produce efectos biológicamente significativos en el comportamiento; y (5) altera la población incluyendo la disminución de la abundancia, los cambios en la distribución, o fallos reproductivos.”

Las respuestas de los animales ante la exposición a ruido parecen ser propias de cada especie. Algunas pueden ser más sensibles que otras o presentar diferentes formas o intensidades de las respuestas comportamentales. Por ejemplo, en un mismo estudio realizado en Canadá, los pájaros carpinteros resultaron ser más sensibles y más resistentes a la aclimatación al ruido de aviones a reacción que los gansos. Del mismo modo, los ungulados silvestres parecen ser más fácilmente perturbados que los animales domésticos. Por lo tanto, es arriesgado generalizar o extrapolar conclusiones obtenidas en una especie hacia otras especies.

La mayoría de los animales utilizan señales acústicas para orientarse, cazar, defenderse, comunicarse con individuos de su especie o de otras especies, para marcar su territorio, para emitir llamadas de alerta o como parte del cortejo sexual. En caso de que los niveles sonoros ambientales generen condiciones de no audibilidad o dificultades para que su canto sea oído, estos animales deberían incrementar su esfuerzo para lograr el objetivo. Puede suceder que en ese esfuerzo modifiquen la frecuencia de emisión y entonces de todos modos su esfuerzo es vano ya que aunque se logre propagar el canto por encima del ruido de fondo ya no será reconocido como tal por sus congéneres.

La exposición a ruido puede generar efectos comportamentales, incremento del estrés o efectos a nivel de la corteza cerebral, como un retraso en la maduración neuronal constatada en ratas expuestas a ruido durante su primer tiempo de vida. Interrumpida la exposición, el desarrollo auditivo de los individuos parece reencauzarse hacia la normalidad. En algunos animales puede haber daños concomitantes, como por ejemplo los que resultan en peces si se afecta la vejiga natatoria, que no sólo les permite recepcionar sonidos sino que también cumple un rol fundamental en el control de la flotabilidad.

En general, el ruido ambiente puede acarrear los siguientes efectos sobre los animales:

- Ocasionar pérdida auditiva, reduciendo la capacidad de orientación y defensa.

- Interferir/enmascarar las señales acústicas que los animales emplean para orientarse, cazar, defenderse y comunicarse.
- Interferir en los procesos de comunicación y crear problemas con respecto a la detección, discriminación y localización adecuada de las señales.
- Incrementar la vulnerabilidad y magnificar el efecto de otros agentes estresantes. El efecto resultante puede ser el desplazamiento, reducción de áreas de actividad y bajo éxito reproductivo, a causa de pérdida del oído, dificultades para aprender correctamente el canto de su especie, aumento de las hormonas del estrés, comportamientos alterados e interferencias en la comunicación durante la época reproductiva

Los momentos más importantes de las conductas mediadas acústicamente (la comunicación, la caza, el comportamiento anti-predadores) se producen durante el atardecer y el amanecer. Por lo general, los ruidos naturales (lluvia, viento, fluir del agua) son menos críticos que los antropogénicos.

Por lo general, el ruido es más impactante en espacios abiertos y en especies sensibles, escasas o raras. Las especies generalistas¹³ y antropófilas¹⁴ parecen ser menos abundantes en áreas de niveles sonoros elevados. Sin embargo, los efectos del ruido serán menores sobre este tipo de especies que sobre otras más especialistas¹⁵ y con capacidad de movimiento más restringida.

Para Dooling y Popper (2005), los posibles efectos del ruido en los animales (incluidos los humanos) se pueden agrupar en cuatro categorías con ciertos solapamientos entre sí:

- daños a la audición, incluyendo cambio permanente del umbral auditivo, y otros daños en los tejidos no auditivos por exposición a sonidos muy fuertes;
- desplazamiento temporal del umbral auditivo por sobreexposición acústica;
- enmascaramiento de señales de comunicación u otros sonidos ambientales importantes
- cambios en el comportamiento u otras respuestas fisiológicas, como por ejemplo cambios en los niveles hormonales, respuestas de estrés, falta de sueño, entre otras.

Al menos para los tres primeros, los efectos auditivos directos dependen en gran medida el nivel y la duración de la exposición al ruido que suele estar relacionada con la distancia entre la fuente sonora y el receptor. Además –y especialmente en las cercanías de la fuente- puede ocurrir más de una de estas respuestas. A distancias mayores los efectos esperados son los menos drásticos pero podrían tener, de todos modos, consecuencias adversas graves al enmascarar, por ejemplo, sonidos útiles e importantes.

¹³ Las **especies generalistas** se caracterizan por tener límites de tolerancia amplios para muchos factores ambientales. Pueden vivir en muy diferentes condiciones ambientales pues son capaces de adaptarse a ambientes muy diferentes, colonizar rápidamente los lugares perturbados y mantenerse durante largos periodos de tiempo.

¹⁴ También llamadas “**sinantrópicas**”, las **especies antropófilas** son las que habitan en proximidad y dependencia con los humanos, compitiendo con éstos por el espacio y el alimento, perjudicándose mutuamente.

¹⁵ Las **especies especialistas** son aquéllas que sobreviven en un solo tipo de ambiente y que, por lo tanto, se adaptan muy mal a las alteraciones del medio, quedando restringidas a los sectores más estables.

Una mirada más sistémica –y por qué no, avanzada para su momento- es la de Janssen (1980, citado por Mancini *et al.*, 1988), quien propone catalogar los posibles efectos del ruido sobre la fauna silvestre en tres niveles, de acuerdo con la magnitud de las consecuencias esperables:

- Efectos primarios: cambios fisiológicos directos en el sistema auditivo, como ruptura del tímpano y pérdida de la audición temporal o permanente y la posibilidad de no reconocer señales cruciales del ambiente.
- Efectos secundarios: incluyen estrés, cambios de comportamiento, interferencia en la reproducción y cambios en la habilidad para alimentarse o protegerse.
- Efectos terciarios: son resultado directo de los dos anteriores y pueden producir descenso en las densidades de población, destrucción del hábitat, y extinción de especies.

4.2 Efectos sobre la audición y el aparato auditivo

Entre los efectos sobre la audición, cabe mencionar molestia, dolor, incremento temporal del umbral auditivo con posterior recuperación en condiciones adecuadas de reposo auditivo –al igual que en las personas- e incremento permanente del umbral auditivo (pérdida auditiva). La pérdida auditiva reduce la capacidad de orientación y defensa de los animales, debido a las mayores dificultades que enfrentan para detectar, discriminar y localizar correctamente las señales. Esto se relaciona con el concepto de zona de escucha efectiva propuesto por Barber *et al.* (2010).

Hastings y Popper (2005) recopilan estudios de laboratorio sobre cobayas y chinchillas en que se demuestra que ni la pérdida auditiva temporal ni la permanente tienen buena correlación con los valores de L_{eq} y SEL cuando el estímulo incluye sonidos impulsivos o transitorios. En efecto, cuando se combinan ruido continuo e impulsivo, las chinchillas experimentan niveles más altos de pérdida auditiva temporal y daño celular ciliar que ante estos estímulos por separado, evidenciando una respuesta sinérgica. Resultados similares se obtuvieron con ruido de impacto mezclado con ruido de banda angosta: a pesar de que todas las exposiciones tenían la misma energía total, el L_{eq} no se correlacionó con la pérdida auditiva de los animales de experimentación. De ahí que, para ruidos variables, hay una "intensidad crítica" que es una especie de frontera entre el daño metabólico y el daño mecánico, que no está tomada en cuenta cuando la exposición se caracteriza por el promedio energético temporal dado por el L_{eq} .

Los estudios en mamíferos terrestres han demostrado que niveles de ruido de 120 dBA asociados con el sobrevuelo de aeronaves pueden dañar los oídos de los mamíferos, y niveles de 95 dBA pueden causar pérdida temporal de agudeza auditiva.

Según Simmons *et al.* (2014), la rana toro (*Rana catesbeiana*), que típicamente habita en lugares ruidosos, no presenta signos de daños morfológicos hasta que se la expone a muy elevados niveles de presión sonora (> 150 dB). Las células ciliadas presentaron respuestas diferenciales al ruido. Se renovaron o recuperaron a los 9 días de ocurrida la exposición a elevados niveles sonoros. Sin embargo, la recuperación funcional hasta recuperar los niveles previos a la exposición ocurrió a los 3 a 4 días. Esto muestra que la rana toro tiene mecanismos que le permiten la recuperación funcional del oído varios días antes de lograr la regeneración de las células ciliadas de su sistema auditivo.

El daño auditivo en peces se relaciona principalmente con el daño a los órganos que participan en la recepción y procesamiento de las ondas sonoras. Experiencias de Ha (1985 citado por Mancini *et al.* 1988) con peces de acuario como el pargo (*Lutjanus synagris*) mostraron que la sensibilidad auditiva de los que vivían en peceras con liberación de aire comprimido para oxigenar y mezclar el agua era inferior a la de los que no estaban expuestos a esos ruidos.

La mayoría de los peces tienen al menos una cámara de aire grande: la vejiga natatoria. El daño tisular puede ocurrir cuando el sonido pasa a través de la interfase de una estructura de tejido (por ejemplo, el tejido adiposo y músculo) a un espacio con gas, porque el gas es más compresible. El gas en la vejiga natatoria se expande más que el tejido circundante durante períodos de baja presión y se contrae más que el tejido circundante durante períodos de sobrepresión, dando como resultado un aumento relativamente grande en el movimiento del tejido conectivo entre los dos. Esto puede hacer que se dañen los tejidos de la vejiga natatoria, la que puede llegar a romperse a causa de estas oscilaciones. Además, el sonido hace que los órganos de gases tales como la vejiga natatoria y el pulmón comiencen a oscilar y ejercer presión sobre los tejidos circundantes. La amplitud de estas oscilaciones puede ser bastante grande en los niveles de presión sonora o incluso a niveles de presión de sonido más bajos si el órgano de gas es excitado a su frecuencia de resonancia.

Los peces con vejiga natatoria son más propensos a sufrir los efectos de ruidos intensos, debido a que el gas presente en ese órgano sufre expansiones y contracciones en respuesta a las modificaciones de la presión en el medio, lo que puede hacer que la vejiga natatoria se desgarre o colapse (Jones y Stokes, 2009). Hastings y Popper (2005) recuerdan que los peces fisóstomos tienen mejores posibilidades de respuesta que los fisoclistos, al tener una posibilidad más sencilla de liberación de aire a través del tubo digestivo.

Si bien se han reportado efectos adversos en peces expuestos a ruido de hinca de pilotes, otros estudios indican que no hubo daño en la vejiga natatoria luego de exponerse a LFAS sónico activo (nivel recibido de 193 dB rms re 1 μ Pa) o pistolas de aire sísmicas. Ambas fuentes producen sonidos con duración, ancho de banda y composición espectral similares a los de hinca de pilotes.

4.3 Efectos sobre el sistema cardiovascular

La exposición a elevados niveles sonoros en ungulados y aves muestra una elevación de la frecuencia cardíaca, a veces con daño morfológico que se puede manifestar como daño mitocondrial en las células del miocardio, inflamación del retículo sarcoplasmático y dilatación de los discos intercalares, todo lo cual puede resultar de un aumento de la entrada de calcio impulsado por el aumento de catecolaminas que afecta la concentración de calcio citosólico. Se han observado daños estructurales en los ventrículos después de una exposición al ruido más prolongada. Al menos un estudio ha encontrado mayor fibrilación cardíaca en machos que en hembras, sugiriendo que el sexo puede mediar respuestas a los factores de estrés de ruido (Kight y Swaddle, 2011).

Las ovejas se adaptan al aumento de los niveles de ruido, especialmente cuando éstos son relativamente continuos, como el ruido de tránsito de entre 60 dB y 90 dB, aunque pueden mostrar un aumento inicial en la frecuencia cardíaca. Algunos tipos de sonidos como explosiones o ladridos fuertes atemorizan visiblemente a las ovejas y generan respuestas medibles en cuanto

a secreciones hormonales o alteración del ritmo cardíaco (Grandin, 1980). Cuando se las expuso a música instrumental, la frecuencia cardíaca de las ovejas fue significativamente más baja que cuando estaban expuestas a ruido blanco o a sonidos diversos como ruido de tránsito o de un parque de diversiones, lo que sugiere que los sonidos relajantes reducen el estrés de los animales. Las ovejas criadas en establo parecieron más sensibles a los ruidos mecánicos tales como golpes de metal y mangueras que a ruidos de origen animal. El ruido durante el transporte ha demostrado aumentar la frecuencia cardíaca del ganado criado a campo (Albright y Arave, 1997 citados por Brouček, 2014), mientras que el ganado que suele pastar a lo largo de las carreteras se habitúa fácilmente al sonido de autos y camiones y rara vez reacciona a este tipo de estímulo (Grandin, 1998).

Al exponer lechones a sonidos de alta frecuencia y alta intensidad, se aceleraba su ritmo cardíaco. Esta respuesta fue más fuerte para una frecuencia de 8.000 Hz que de 500 Hz y para una intensidad de 97 dB más que para 85 dB, aunque parecieron habituarse con relativa rapidez. La habituación al ruido también se ha observado durante la exposición repetida en ocasiones separadas. Los sonidos agudos tienen un impacto mayor que los graves sobre el ritmo cardíaco de los lechones (Talling *et al.* 1996 citados por Thorell, 2009; Kittawornrat y Zimmerman, 2011 citados por Brouček, 2014). Ante un estímulo acústico de corta duración y 120 dB, los cerdos respondieron a con un aumento de la frecuencia cardíaca y de las concentraciones plasmáticas de glucocorticoides, aunque no se modificó la concentración de catecolaminas plasmáticas (Venglovský *et al.*, 2007 citados por Brouček, 2014).

4.4 Efectos sobre el metabolismo

Cuando los animales responden a algún factor de estrés como el ruido, reducen la cantidad de tiempo y energía que dedican a alimentarse, lo que puede traer aparejado consecuencias adversas para el individuo. Esto se ha verificado a nivel de laboratorio en varias especies. Cuando se comparan las poblaciones expuesta y de control, se observa que los individuos que estuvieron expuestos a ruido tenían menor aumento de peso y eran más pequeños que los integrantes de la población de control. En el caso de camarones, esto fue más acusado en el caso de las hembras.

Entre los efectos constatados debido a la exposición a elevados niveles sonoros cabe mencionar: enlentecimiento del vaciado del estómago en perros, fugas celulares a nivel del mesenterio¹⁶ en ratas, mayor contenido de colesterol en plasma en gallinas o menor consumo de alimento en camarones. Algunas especies mostraron habituarse al ruido al cabo de algún tiempo de exposición (en general, semanas). En otro estudio se observó que los animales expuestos a ruido excretan niveles más altos de amoníaco y consumen más oxígeno; el amoníaco proviene de la oxidación del grupo amino que se elimina cuando las proteínas se convierten en hidratos de carbono para proporcionar energía, lo que indica por dos caminos que los animales expuestos a ruido necesitan más energía para la supervivencia. La respuesta no se redujo con el paso del tiempo, indicando que no hubo adaptación al ruido.

¹⁶ El mesenterio es una membrana serosa de dos hojas entre las cuales hay vasos sanguíneos, linfáticos y nervios. Se extiende desde la pared abdominal posterior hasta diferentes órganos, sosteniéndolos y llevándoles irrigación sanguínea, drenaje linfático e innervación nerviosa.

La exposición prolongada a ruidos fuertes de 100 dB durante 8 h aumentó la frecuencia respiratoria en corderos. Los animales que no tenían exposición previa a ruidos fuertes habían elevado la frecuencia cardíaca al exponerlos a 100 dB. Se encontró que, en comparación con un grupo control a 65 dB, el aumento de la intensidad de la emisión de sonido causa estrés en los animales de experimentación (Cwynar y Kolacz, 2011 citados por Brouček, 2014).

Hay resultados contradictorios en relación con el efecto del ruido sobre el comportamiento de alimentación en ungulados. Los ungulados silvestres (bisonte americano, caribú, borrego cimarrón) parecen ser mucho más sensibles a los ruidos que los animales domésticos (Manci *et al.*, 1988) y el ganado (Sayre *et al.*, 2002). Sin embargo, los caribúes incrementaron el tiempo dedicado a la alimentación al aumentarse la exposición al ruido mientras que los caballos y cabras disminuyeron su alimentación cuando fueron expuestos a ruido.

En un estudio con corderos en crecimiento, cada animal fue expuesto a un período de control (63 dB de ruido de fondo), seguido por períodos de 3 semanas de tratamiento de 75 y 90 dB (Ames, 1971 citado por Manci *et al.*, 1988). El ruido de 75 dB redundó en un aumento de la ganancia de peso diaria promedio de corderos y mejoró su eficiencia alimenticia. También se observó que niveles de ruido de 90 dB inhiben la liberación de tiroxina y triyodotironina.

Ames y Arehart (1972) observaron que las glándulas suprarrenales y pituitaria en ovejas disminuyeron de peso después de la exposición al ruido.

Otro estudio casi contemporáneo del anterior analiza la respuesta digestiva de corderos de un año expuestos a ruido blanco, música continua y ruidos intermitentes. El consumo de alimento en cuanto a materia seca fue menor cuando los corderos fueron expuestos a 75 dB o 100 dB de cada tipo de sonido en comparación con los controles, que estaban a 45 dB. La intensidad del sonido no afectó los coeficientes de digestibilidad aparente. El tipo de sonido no tuvo efecto sobre el consumo de alimento, pero la ingesta de agua y la producción de orina parecieron depender del tipo de sonido y no de su intensidad. La exposición a ruidos intermitentes de 75 dB y 100 dB no sólo aumentó la ingesta de agua, sino también la energía metabolizada de la ración – aumentó en 100 kcal/día- y aparentemente mejoró la digestibilidad de nutrientes. Los coeficientes de digestibilidad para corderos expuestos a sonidos intermitentes de gran intensidad sugieren que ese tipo de estímulos auditivos influyeron en el sistema digestivo. Esto aumentó la digestibilidad de los piensos así como la retención de agua, lo que puede explicar en parte la mejora de la ganancia de crecimiento de corderos expuestos a ruidos intermitentes. Ninguno de los estímulos sonoros parecía afectar negativamente la digestibilidad pero los sonidos intermitentes parecieron estimular la digestión, lo que sugiere que la exposición a ruido sobre el nivel de fondo puede desempeñar un papel importante en la eficiencia digestiva, el equilibrio metabólico y la tasa de crecimiento. Todos los efectos mencionados anteriormente ocurrieron a corto plazo.

En una exposición controlada a ruido agudo durante 1 a 2 minutos, cabras y caballos mostraron respuestas similares: en los tres primeros días pasaron menos tiempo alimentándose. A partir del tercer día se dieron comportamientos de habituación y no hubo diferencia con los valores basales en cuanto a comportamiento alimentario ni de vigilancia. En otro estudio se reportó que cabras y caballos disminuyeron su alimentación cuando fueron expuestos a ruido agudo mientras comían.

4.5 Integridad génica y del ADN

La contaminación sonora puede afectar la genética de dos maneras principales: mediante la activación de reacciones químicas en cascada que pueden conducir a daños en el ADN y/o mediante la alteración de la expresión génica, es decir, en la formación de proteínas a partir de la información contenida en el ADN.

El ruido ambiental puede afectar la expresión de varios genes, en particular en el cerebro. En ratas expuestas a ruido de 100 dB durante 12 h se encontró daño en el ADN, asociado con la exposición al ruido (Castelhana-Carlos y Baumans, 2009 citados por Brouček, 2014).

La experimentación en ratones muestra que la actividad neurológica requerida para procesar el ruido ambiental conduce a un aumento del número de radicales libres y de especies reactivas del oxígeno (ROS¹⁷) a nivel coclear, que pueden causar mutaciones carcinogénicas y dañar el ADN. También pueden inducir daño a nivel de las glándulas suprarrenales y daño cardíaco. Ante la persistencia del daño cardíaco, se han intentado explicar químicamente las respuestas que dañarían el ADN, que podría asociarse con estrés oxidativo.

4.6 Efectos sobre la reproducción y desarrollo de crías

La exposición a elevados niveles sonoros ambientales en la etapa embrionaria se asocia con nacimiento prematuro, problemas durante el desarrollo, menor éxito reproductivo y mayor mortalidad de embriones. Esto se ha comprobado en estudios de laboratorio en ratas, peces, camarones y algunos insectos, y en seguimientos de campo en varias especies de mamíferos – que incluyen desde humanos hasta una osa panda en cautiverio-, aves y peces. Aunque no está totalmente establecido, es posible que la causa sea la menor disponibilidad de recursos para la reproducción debido a que el ruido afecta directamente a la fisiología o el consumo de energía reproductiva (Escribano *et al.*, 2013). También puede tener efectos indirectos sobre la dinámica de la población a través de los cambios en el uso del hábitat, el cortejo y el apareamiento, la reproducción y el cuidado de las crías (Rabin *et al.*, 2003).

La función reproductora de las ratas puede verse afectada por el ruido (Lainer *et al.*, 2000). Zondek (1964, citado por Brouček, 2014) demostró que la exposición de ratas a ruido de 50.000 Hz a 80.000 Hz a niveles de 80 dB a 90 dB durante 4 días en el período de apareamiento reduce la fertilidad al 73 %. La exposición a 100 dB de 3.120 Hz durante 1 minuto durante los 4 días de la cópula reduce la fertilidad entre 70 % y 80 %.

Las ratas macho expuestas al ruido mostraron oligospermia y modificaciones estructurales a nivel de los testículos. Los ovarios y el útero disminuyeron significativamente en ratas hembra después de una exposición a ruido de entre 375 Hz a 500 Hz y 110 dB durante 5 minutos 15 veces por día durante 11 días. Después de la exposición al ruido también se produjo estro permanente. Asimismo, aumentó la frecuencia de abortos, la resorción del feto y la reducción del peso al nacer (Algers *et al.*, 1978 citados por Brouček, 2014). A nivel de laboratorio se ha comprobado también

¹⁷ Las especies reactivas del oxígeno incluyen iones de oxígeno, radicales libres y peróxidos tanto inorgánicos como orgánicos. Entre otros efectos adversos, las ROS se relacionan con sordera congénita y pérdida auditiva por exposición a elevados niveles de presión sonora o a drogas ototóxicas.

un menor nivel de testosterona en plasma en ratones machos expuestos a ruido, lo que podría reducir el éxito reproductivo si esto ocurre durante la época de apareamiento (Kight y Swaddle, 2011). En contrapartida, Papoutsoglou *et al.* (2008, citados por Kight y Swaddle, 2011) indican que al exponer *Sparus aurata* –dorada o pez murciélago- a música clásica de 140 dB re 1 μ Pa en una instalación de acuicultura, mejoró el crecimiento, la calidad y la producción del pez ensayado.

Estudios en ratas -que datan de los '60- comprobaron que la exposición a ruido durante la gestación reduce el flujo sanguíneo uterino, el intercambio de gases, la nutrición y el intercambio de productos de desecho entre el feto y la madre. El ruido es recibido por el oído de la madre y las diferentes células del cerebro integran y responden a las señales. El hipotálamo y la hipófisis se activan; la corteza suprarrenal y la médula se estimulan y secretan sus respectivas hormonas.

Un estudio de principios de los '70 indicaba que el número de cerdos parido y el número de sobrevivientes no fueron influenciados por la exposición de los padres a un sonido fuerte durante el apareamiento ni por la exposición de las cerdas a sonidos reproducidos a 120 dB durante 12 horas comenzando el tercer día antes del parto y continuando hasta que se destetaron sus lechones (Bond, 1971 citado por Brouček, 2014). Sin embargo, posteriormente Algers y Jensen (1985, citados por Brouček, 2014) estudiaron el comportamiento de lechones y cerdas durante la lactancia en relación con los niveles de presión sonora. Las cerdas fueron expuestas a un ruido de fondo relativamente bajo, de 59 dB, o al ruido del ventilador, con un nivel de 85 dB. En el entorno ruidoso, los lechones expuestos no respondieron a los gruñidos de la cerda, lo que llevó a un patrón alterado. Al reducir significativamente el masaje de la ubre, la cerda redujo su producción de leche. Como consecuencia, los lechones expuestos a mayor nivel de presión sonora tomaron menos leche que los que permanecieron en el ambiente silencioso.

Se han registrado pérdidas en granjas de visones debido a nacimientos prematuros y lactancia insuficiente, como respuesta a la exposición a estampidos sónicos. Incluso se ha informado que en tales situaciones las hembras matan a sus propios hijos. Algo similar ocurre cuando se expone conejos de laboratorio al ruido de sobrevuelo de aeronaves a baja altura. Comportamientos análogos han exhibido tanto aves silvestres como faisanes: ante ruidos repentinos e intensos, pueden reaccionar rompiendo sus propios huevos. Las aves silvestres incluso han matado a sus polluelos (Algers *et al.*, 1978 citados por Brouček, 2014).

Intensidades de ruido de 115 dB fueron eficaces para interrumpir el empolle (cluequera) en gallinas; también las aves silvestres han interrumpido su nidada al ser expuestas a niveles de ruido muy altos (Brouček, 2014).

La exposición a 120 dB durante 84 días no mostró influencia significativa en la cantidad de esperma de gallos, pero al utilizar estos espermatozoides en la inseminación la capacidad de eclosión de los huevos empeoró (Algers *et al.*, 1978 citados por Brouček, 2014).

Actuando durante un largo tiempo, el ruido reduce la productividad de los huevos. Según Oh *et al.* (2011 citados por Brouček, 2014), hasta 90 dB el ruido parecía no afectar la productividad y la calidad del huevo de las gallinas ponedoras. La productividad se vio afectada a niveles de exposición de 120 dB a 130 dB. En lo que hace a ruidos repentinos e intensos, se ha reportado que reduce la producción de huevos en gallinas.

En otros estudios realizados con *Picidae*¹⁸, se observó que elevados niveles sonoros no afectaban al éxito reproductivo ni a la productividad, aun cuando la fuente de ruido era cercana.

Efectos constatados sobre las crías incluyen también diferencias de tamaño entre los miembros de una misma camada, que podría poner en riesgo de supervivencia a los más débiles; garras más pequeñas en el carbonero común (*Parus major*); y mayor número de crías hembras, lo que sugiere que la perturbación de ruido podría alterar la distribución porcentual de sexos de la población (Kight y Swaddle, 2011).

Kight y Swaddle (2011) agregan que posiblemente la exposición crónica a ruido correlacione negativamente con la supervivencia de los individuos, es decir, se asocie con una disminución del tiempo de vida, aunque no se dispone de datos cuantitativos que permitan establecer esta relación debido a la cantidad de variables que participan y la complejidad de los procesos involucrados.

Hastings y Popper (2005) recuerdan que, en el caso de los peces, es importante no sólo pensar en los adultos sino también en términos de los huevos y larvas de peces. Las larvas y los huevos no tienen demasiada movilidad; o bien se desplazan arrastrados por las corrientes o lo hacen muy lentamente. En consecuencia, si están en la zona de influencia de una fuente sonora, seguramente resultarán expuestos a sus emisiones. Los datos disponibles no son demasiados. Aunque no hay estudios conclusivos, de la evidencia existente resulta que es posible que la sensibilidad al ruido varíe en las diferentes etapas de desarrollo de huevos y larvas. Los resultados disponibles no son coincidentes e incluso los hay contradictorios. Es esperable que ocurran efectos inmediatos pero también otros a largo plazo, incluyendo en ambos casos la posibilidad de la muerte. Puede haber recuperación al cabo de un tiempo de cesada la exposición con o sin secuelas sobre el desarrollo y la viabilidad del huevo; efectos sobre el crecimiento de larvas y juveniles, a corto y largo plazo, en presencia de sonido y/o después de cesada la exposición; efectos sobre el desarrollo y funcionamiento de los diversos sistemas de órganos; y posibles diferencias entre los efectos en diferentes etapas de desarrollo.

Banner y Hyatt (1973 citados por Mancini *et al.*, 1988) reportan aumento de la mortalidad en huevos y embriones de bolín (*Cyprinodon variegatus*) expuestos a ruido de banda ancha de entre 100 Hz y 1.000 Hz, con un nivel de aproximadamente 15 dB por encima del nivel sonoro ambiental. Los alevines eclosionados no se vieron afectados, ni tampoco huevos ni alevines de sardinilla (*Fundulus similis*). El crecimiento de las larvas de ambas especies expuestas a ruido fue significativamente menor que el de las larvas criadas con ruido ambiental. Booman *et al.* (1996) investigaron los efectos de pistolas de aire sísmicas en huevos, larvas y alevines y encontraron una importante mortalidad en varias especies marinas diferentes (bacalao del Atlántico, carbonero, arenque) y de edades muy diversas, pero sólo cuando las muestras estaban dentro de aproximadamente 5 m de la fuente, con los efectos más importantes sobre los peces que se encontraban en un radio de 1,4 m de la fuente. Esto reduce drásticamente el radio de 20 m desde la fuente reportado por Kostyuchenko (1973), también obtenido con una pistola de aire sísmica. Los autores también reportaron daños al sistema de la línea lateral y a otros sistemas del organismo.

¹⁸ Pájaros carpinteros.

Estudios de Lagardere (1982, citado por Mancini *et al.*, 1988) indican que el crecimiento y la reproducción del camarón gris (*Crangon crangon*) se redujeron cuando fueron criados con niveles de ruido que alcanzaron 30 dB en el rango de 25 Hz a 400 Hz. El ruido también pareció incrementar el canibalismo y la mortalidad, y reducir la absorción de los alimentos, todos síntomas similares a los inducidos por la adaptación al estrés.

En estudios sobre insectos realizados por diversos investigadores se observó que la polilla india de la harina (*Plodia interpunctella*) experimentó una reducción del 75 % en adultos emergentes luego de una exposición a ruido de 120 Hz a 2.000 Hz durante los 4 días de su etapa larval; en otro estudio se observó que el ruido podía hacer que las polillas dejaran de moverse. Sin embargo, no aparecieron efectos sobre la reproducción aunque los escarabajos de la harina (*Tribolium sp.*) presentaron un apareamiento mucho más activo al ser sometidos continuamente a ruido de alta frecuencia (40.000 Hz). Las orugas del gusano del maíz (*Heliothis zea*) y de la polilla de la harina (*Epestia kuehniella*) redujeron su vida a la mitad al ser sometidas durante 72 horas a sonidos impulsivos de 50.000 Hz y 65 dB; también se redujo en un 59 % el número medio de huevos por hembra en el grupo expuesto a ruido (Morley *et al.*, 2014).

4.7 Efectos sobre el sistema neuroendócrino

4.7.1 Respuesta al estrés

"Estrés" es un término general usado para describir la respuesta fisiológica y de comportamiento de un animal ante estímulos aversivos. Los cambios en la fisiología inmediata de un organismo en respuesta a estímulos estresantes pueden incluir un aumento en la frecuencia cardíaca y aumento de los niveles de hormonas del estrés. La respuesta hormonal se puede utilizar como un índice en el seguimiento de los niveles de estrés durante o después de un evento de ruido (Owen, 2003).

Cabe recordar que cuando un organismo está sometido a una condición de estrés, sus límites de tolerancia ante otros factores estresantes o potencialmente limitantes se reducen también, incrementando su vulnerabilidad. En algunas etapas de la vida también se reduce la vulnerabilidad ante factores estresantes: la temporada de procreación, las crías o juveniles y los individuos de mayor edad. Si además los individuos generan una asociación entre cierto tipo particular de ruido y un peligro (por ejemplo, el ruido de tráfico de vehículos), el ruido de un vehículo podría generar por sí solo la respuesta de estrés en el receptor, conduciéndolo a un estado de activación suprarrenal crónica, con consecuencias adversas para la salud en el mediano y largo plazos. Otras situaciones estresantes que se asocian con los niveles sonoros ambientales son la localización de presas y depredadores o la posibilidad de comunicarse con las crías; en ambos casos se ha observado una respuesta fisiológica anti-estrés.

El eje hipotálamo-pituitaria-suprarrenal (HPA, por su sigla en inglés) es una parte integral del sistema endócrino, responsable de mantener la homeostasis (condición de equilibrio dinámico con el medio circundante). Está constituido por:

- El hipotálamo, que contiene las neuronas neurosecretoras que sintetizan hormonas tales como la dopamina y la hormona liberadora de corticotropina (CRH);
- La glándula pituitaria, que contiene células que producen adrenocorticotropina;

- Las glándulas suprarrenales, es decir:
 - la médula suprarrenal, que segrega las catecolaminas (principalmente epinefrina y norepinefrina, también llamadas adrenalina y noradrenalina respectivamente)
 - la corteza suprarrenal, que segrega las hormonas esteroides (incluyendo cortisol, corticosterona y aldosterona).

El eje HPA es responsable de iniciar la respuesta hormonal y de comportamiento a los estímulos estresantes y redirige la energía destinada a las actividades normales o reproductivas hacia las actividades de supervivencia o de emergencia (Owen 2003; Brown, c.2008). El aumento de la secreción de cualquiera de estas hormonas se interpreta como una respuesta a una condición de estrés, es decir, como una forma de intentar restablecer una condición de equilibrio dinámico que se está viendo alterada. De este modo se inicia una respuesta comportamental, activada en parte por la secreción de glucocorticoides por las glándulas suprarrenales, que puede incluir desde comportamientos de alerta a lucha o huida. Todas estas actividades implican un mayor gasto de energía a nivel individual.

Los ruidos intensos pueden ocasionar el incremento en la secreción de una o varias de estas sustancias en distintas especies animales que incluyen mamíferos (ratas y ratones, perros, lobos, mamíferos marinos), aves y peces. Sin embargo, no es una respuesta ni uniforme ni generalizada. Tampoco es generalizada la habituación al ruido medida a través de la reducción de las concentraciones de estas sustancias, aunque ocurre en muchas especies.

La modificación en las secreciones hormonales se manifiesta a veces como un incremento de los niveles de glucosa en sangre, lo que ocurre en respuesta a la estimulación de los receptores beta-adenérgicos.

Brouček (2014) recuerda que se ha demostrado que el ruido induce una variedad de cambios fisiológicos en mamíferos. Los impulsos auditivos directos se envían al tallo cerebral y el hipotálamo. La formación reticular del sistema nervioso simpático está influenciada. A través de la hipófisis, la hormona adrenocorticotrópica (ACTH), y la hormona estimulante de la tiroides (TSH) en el hipotálamo dan señales a la médula suprarrenal y a la glándula tiroides. Algunos efectos, como cambios en la homeostasis cardiovascular y en la secreción hormonal –por ejemplo, ACTH, TSH, adrenalina, noradrenalina, cortisol- han sido exhaustivamente documentados y ya no están en discusión. El sistema nervioso parasimpático también está influido y tiene un efecto inverso sobre todo en comparación con el sistema nervioso simpático. Lundstein (2013) advierte que el cortisol no es ni debe ser considerado como el principal -ni el único- indicador de estrés agudo, lo que demuestra a través de las concentraciones plasmáticas de cortisol en alces abatidos con armas de fuego. Pero no sólo el estrés prolongado es peligroso: la angustia repetida también lo es.

Las reacciones de miedo de los animales domésticos expuestos a niveles sonoros elevados son bien conocidas. Algunas respuestas fisiológicas/conductuales en animales domésticos, tales como aumento de la producción hormonal, aumento del ritmo cardíaco y la reducción en la producción de leche se han descrito en un pequeño porcentaje de estudios. La mayoría de los estudios centrados en este tipo de efectos han informado a corto plazo o sin efectos.

La exposición a altos niveles de ruido se ha reportado como causa de efectos a nivel celular y de daños físicos en el eje HPA. En particular, se han comprobado daños a nivel mitocondrial en la corteza suprarrenal de ratas expuestas a niveles de presión sonora de 100 dBA durante 1 hora o más por día (Pellegrini *et al.*, 1997, citados por Kight y Swadle, 2011). Castelhana-Carlos y Baumans (2009 citados por Brouček, 2014) registraron alteraciones ultraestructurales en las glándulas suprarrenales y en el miocardio de ratas expuestas a ruido de 100 dB durante 12 h. Posiblemente esto se relacione con el aumento de la producción de glucocorticoides y con el mayor consumo de energía involucrado en las respuestas antiestrés.

La exposición a ruido a largo plazo causó una disminución en los glucocorticoides en plasma y un aumento de las catecolaminas plasmáticas, ACTH y las concentraciones de cortisol (Otten *et al.*, 2004 citados por Brouček, 2014; Kanitz *et al.*, 2005). También se observó un mayor nivel de receptores de la benzodiacepina en la corteza cerebral aunque no en el hipocampo (en el cerebelo); niveles más altos de inhibidores de enlaces de diazepam y de triptofanoxidasa TPH, que es la que regula la producción de serotonina. Como consecuencia, las ratas expuestas a ruido tenían también niveles más altos de serotonina.

Manci *et al.* (1988) y Gladwin *et al.* (1988 citados por Sayre *et al.*, 2002) demostraron efectos adversos en la tiroides y la glándula suprarrenal de cerdos sometidos a ruido de sobrevuelo de aviones. Estudios previos que utilizaron grabaciones de ruido de aviones, de niveles de 100 dB a 135 dB, encontraron sólo efectos menores sobre la tasa de utilización del alimento, aumento de peso, ingesta de alimentos y las tasas de reproducción de los verracos y cerdas (Manci *et al.*, 1988; Dufour, 1980 citado por F-35A EIS, 2015).

Kanitz *et al.* (2005) expusieron cerdos a ruido de 90 dB durante dos horas, a diario o tres veces por semana y verificaron que la exposición repetida a ruido les provocó cambios en las regulaciones neuroendócrinas. Sus hallazgos muestran que, dado su sensibilidad, los cerdos no deberían ser expuestos a ruido ni constante ni repentino. Hubo respuestas de corto y largo plazo en los animales, en los que se verificó un incremento de globulina, ACTH y cortisol así como en los niveles de unión de corticosteroides.

Thorell (2009) estudió los factores de estrés durante la descarga de cerdos y refiere varios trabajos que indican que el ruido de tránsito, de maquinaria y el ruido blanco causaron mayor respuesta de estrés en los animales que la exposición a sonidos de la granja o del matadero.

Blickey *et al.* (2012a, b) desarrollan amplios estudios sobre urogallos (*Centrocercus urophasianus*), una especie cuya protección es de interés en América del Norte. Estudian varios períodos reproductivos y encuentran evidencias de estrés crónico asociado con elevados niveles sonoros ambientales. Entre sus resultados, cabe señalar que encuentran una concentración 16,7 % superior de metabolitos de corticosteroides en las fecas de urogallos machos durante dos temporadas de cría. La liberación de glucocorticoides en condiciones de estrés implica la reorientación de sustratos metabólicos para maximizar la disponibilidad de glucosa para actuar en respuesta a amenazas. Esto implica restringir la energía dedicada a la reproducción y a la búsqueda de alimento, así como también alterar los patrones de comportamiento. Cuando esta activación de las glándulas suprarrenales se vuelve crónica, las compensaciones conocidas resultan en mayor vulnerabilidad a la enfermedad y la muerte. Por lo tanto, en la mayoría de los casos el costo de esa activación suprarrenal crónica en respuesta a la contaminación acústica es

poco probable que sea compensada por beneficios reales para los individuos que la padecen. Los resultados sugieren que el ruido por sí solo puede causar una mayor respuesta de estrés en las aves que permanecen en áreas ruidosas, por lo que la mitigación del ruido puede ser una medida de conservación eficaz para esta especie.

La exposición a ruido de 80 dB de pollos de engorde dio lugar a una elevación significativa de la relación de heterófilos a linfocitos (H:L), indicando una respuesta de estrés. Según recopila Brouček (2014), el tratamiento con ruido de intensidades de 70 y 80 dB también dio lugar a una elevación significativa de los granulocitos basófilos. En otro estudio se expusieron a pollos de engorde a sonidos de matadero simulados durante 10 minutos en una sala de ensayo. Los estímulos a intensidades de 80 dB y 100 dB indujeron una elevación muy significativa en el nivel de corticosterona en el plasma de los pollos expuestos en relación a las aves de control. En cambio, otros autores informaron que el ruido continuo durante siete días en niveles de 80 o 95 dB no tuvo un efecto significativo sobre la concentración de corticosterona en el plasma de pollos de engorde. En otro experimento, los pollos fueron expuestos a ruido de 95 dB durante 120 minutos por día en diferentes períodos de su desarrollo. El estrés crónico causó cambios significativos en la estructura histológica de sus glándulas suprarrenales.

El ruido durante el transporte aumenta la frecuencia cardíaca, la frecuencia respiratoria y la secreción de la hormona del estrés en aves de corral (Oh *et al.*, 2011 citados por Brouček, 2014).

Ante ruidos repentinos de gran intensidad, los mamíferos despliegan reacciones que incluyen respuesta de sobresalto, paralización y huida. La mayoría de los animales se vuelven menos sensibles a los sonidos emitidos por períodos largos o en intervalos regulares. Sin embargo, no es posible generalizar las respuestas/consecuencias de la exposición de animales a elevados niveles de presión sonora, pues dependen fuertemente no sólo de la especie en cuestión y de los niveles alcanzados, sino también de la fuente generadora de ruido.

Los estampidos sónicos¹⁹ son considerados factores de estrés en ovejas pues inducen una respuesta de sobresalto marcada que da como resultado cambios detectables en los niveles normales (de reposo) de varias hormonas plasmáticas y otros elementos fisiológicos, aunque son breves (Stephens, 1980 citado por Mancini *et al.*, 1988).

En el caso de calamares, sometidos al ruido de una pistola de aire en un experimento realizado en jaulas marinas los animales lanzaron tinta -una posible respuesta de alarma- y trataron de alejarse de la fuente (Fewtrell y McCauley, 2012 citados por Comisión Europea, 2013). En estudios de seguimiento, los mismos animales se volvieron menos sensibles al ruido de la pistola de aire; no fue posible determinar si se debió a daños auditivos o a acostumbamiento al ruido.

El impacto del estrés es mucho más difícil de definir y cuantificar en los peces, pues los estudios disponibles no son demasiados. Para demostrar la ocurrencia de respuestas de estrés fisiológico

¹⁹ Un **estampido sónico** es el fenómeno audible asociado con la onda de choque que ocurre cuando un objeto en movimiento supera la velocidad del sonido (por ejemplo, un meteorito o un avión supersónico), es decir, cuando el número de Mach M supera el valor de 1. Se asocia principalmente con aviones militares, aunque también el ahora fuera de servicio Concorde era un avión supersónico. El nivel de potencia acústica al superar la barrera del sonido puede superar los 200 dB.

en estos animales, Gilham y Baker (1984) utilizaron la vibración de las paredes de un acuario para medir las respuestas de estrés en la trucha arco iris. Aunque los factores de estrés no eran cuantificables, el estudio demostró que entre 1 y 5 días después de la aparición de la señal se produjo un aumento significativo en los niveles de cortisol en suero en el pez. Demostrada esta respuesta fisiológica, a partir de otros estudios puede inferirse que los peces podrían resultar más susceptibles a depredación u otros efectos ambientales que los peces no estresados. En contrapartida, Smith *et al.* (2004) demostraron, a un nivel estadísticamente significativo, que los niveles de corticosteroides en el pez rojo (*Carassius auratus*) no cambiaron en respuesta a la exposición a altos niveles sonoros, lo que sugiere que estos peces no se vieron estresados por la exposición continua a un ruido de 100 Hz a 10.000 Hz con nivel de presión rms total de 170 dB re 1 μ Pa (esto puede ocurrir, por ejemplo, muy cerca de aerogeneradores off-shore funcionando).

4.7.2 Comportamientos de evitación

La actividad animal puede aumentar con el ruido de fondo. Hay animales que tienden a ser más activos en los períodos de la mañana, lo que se ha relacionado con el principio de la jornada laboral que suele estar acompañado de un aumento general de los niveles de ruido; otros evitan los lugares ruidosos y tienen en general fundamentos fisiológicos para hacerlo. Las respuestas dependen también de la fuente de ruido en cuestión. Por ejemplo los ciervos (*Cervus elaphus*), cuya sensibilidad al ruido de sobrevuelo de aviones es conocida, no acusan impactos por el ruido derivado del funcionamiento de aerogeneradores (Strickland *et al.*, 2011). En contrapartida, los mismos autores señalan que el venado bura (*Odocoileus hemionus*) fue desplazado de su hábitat a causa del funcionamiento de pozos de extracción de gas.

Las vacas muestran gran aversión al ruido y en especial a los gritos de las personas. La exposición a ruido aumenta la conducta de evitación y requiere un mayor trabajo de parte de quienes controlan la tropa. De ahí que los animales más tranquilos y menos sobresaltables bajen los costos operativos directos, a la vez que presentan mayor productividad. Lanier *et al.* (2000) sugieren que las vacas lecheras de raza Holstein son más sensibles al sonido que las razas de carne cuando son sometidas a movimientos repentinos o sonidos intermitentes, como los que ocurren usualmente en los remates de ganado. Las vaquillonas resultaron más excitables que los novillos. Los estímulos más efectivos para suscitar una respuesta de susto fueron los sonidos intermitentes y agudos, ligados a movimientos súbitos, voces y gritos.

Según Talling *et al.* (1996 citados por Thorell, 2009), los cerdos mostraron aversión a los ruidos fuertes repentinos durante una prueba en un campo abierto. Los cerdos expuestos a 90 dB de ruido tanto constante como intermitente aumentaron el tiempo que pasaron echados y redujeron las interacciones sociales; se verificó un incremento de cortisol, ACTH y de la relación noradrenalina/adrenalina (Otten *et al.*, 2004 citados por Brouček, 2014). El movimiento de los animales estaba más asociado a la intensidad del sonido que a su frecuencia.

El comportamiento de los animales adultos en cautiverio también se ve afectada por el ruido. En los parques zoológicos y los acuarios, el nivel de ruido ambiental aumenta con el número de visitantes. Los sonidos intensos aumentan el estado de alerta, el nivel de actividad y los comportamientos de agitación en pandas (Brouček, 2014).

El ruido antropogénico puede afectar negativamente a los animales en muchos niveles diferentes, desde aumentar el estrés crónico de un individuo a generar el desplazamiento de grandes poblaciones. Los cambios en la dinámica de una relación predador-presa pueden modificar la cadena trófica y propagar el desequilibrio inicial. Cuando un conjunto de individuos se desplaza a otra área debido al incremento en los niveles sonoros, esto puede aumentar los niveles de competencia por los recursos, la búsqueda de pareja y el territorio. Ante el hacinamiento podría ampliarse el área ocupada por esa población pero con riesgo de que la población se reduzca, al situarse en zonas menos favorables y que implican un mayor consumo energético para actividades esenciales como la alimentación.

La mayoría de las aves son sensibles a elevados niveles sonoros, por lo menos durante la época de cría. Las distancias a las que se han verificado efectos en este sentido varían desde unos pocos metros hasta los 3 km. El nivel de ruido para el que las poblaciones de aves de ecosistemas boscosos comienzan a declinar se sitúa en torno a los 42 dBA, comparado con un promedio de 48 dBA para especies de aves de pastizal. La especie de bosque más sensible pertenece a la familia *Cuculidae*²⁰, que mostró una reducción en sus densidades a los 35 dBA. La especie de pastizal más sensible fue la aguja colinegra²¹ (*Limosa limosa*) que respondió a niveles de ruido de 43 dBA.

Se ha observado la reducción de la densidad de nidos de una variedad de especies de aves forestales y de aves de áreas abiertas a lo largo de los bordes de carreteras (Reijnen *et al.* 1995 citado por Dooling y Popper, 2007; Alves da Rosa y Bager, 2013). Sin embargo, algunos estudios encontraron efectos neutrales del volumen de tráfico para Falconiformes y Paseriformes que son comunes en áreas con presencia humana (Alves da Rosa y Bager, 2013).

Algunas especies se pueden adaptar a niveles de ruido elevados. Peris y Pescador (2004) indican que los paseriformes de los géneros *Plocidae*²², *Frigilidae*²³ y *Emberizidae*²⁴ son más tolerantes al ruido debido a la estructura morfológica de su oído medio.

Los individuos pueden evitar sitios ruidosos si el ruido es molesto o estresante, sobre todo si este ruido se asocia con peligro, pero el enmascaramiento de las comunicaciones es la hipótesis principal que se asocia con la disminución en la abundancia de algunas especies de animales en áreas ruidosas, urbanas o no. Las especies de aves con vocalizaciones de baja frecuencia son más propensas a tener baja abundancia o a estar ausentes en zonas próximas a carreteras, actividades ruidosas como la extracción de gas natural y zonas urbanas en que en las especies con vocalizaciones de alta frecuencia suelen permanecer, lo que sugiere que el enmascaramiento es el mecanismo asociado a las diferencias en la abundancia (Francis *et al.*, 2011b).

Los urogallos pueden ser particularmente vulnerables al enmascaramiento pues sus vocalizaciones son de baja frecuencia, por lo que resultan fácilmente enmascaradas por la mayoría de las fuentes de ruido antropogénico. Esto genera un estado de estrés crónico que

²⁰ Cuclillos.

²¹ Pertenece a la familia de los *Charadriidae*, a la que también pertenecen, por ejemplo, los teros. No se ha reportado que *Limosa limosa* esté presente en nuestro país.

²² Gorriones.

²³ Cabecitas negras.

²⁴ Cardenales.

reduce los tiempos destinados a alimentación y deprime el sistema inmunológico. Blickey *et al.* (2012a, b) trabajan con grabaciones de ruidos antropogénicos de dos tipos (ruido permanente de pozos de gas natural y ruido intermitente de una carretera) durante 3 épocas reproductivas; observan que la abundancia de urogallos en las parcelas tratadas con ruido decreció en el primer caso un 29 % y en el caso del ruido de carretera, un 73 %. Tanto los urogallos machos como las hembras parecieron evitar las parcelas expuestas a ruido antropogénico. La disminución en abundancia en las parcelas tratadas con ruido ocurrió en el primer año del estudio y se mantuvo a lo largo del experimento. Como los niveles sonoros no eran suficientemente elevados como para causar daño físico directo a los individuos y en el período de estudio tampoco se incrementó la depredación por parte de los depredadores naturales (coyotes y águilas doradas), es esperable que la explicación esté dada en el estado de alerta que causa el ruido antropogénico.

La rana arborícola neotropical (*Eleutherodactylus coqui*) muestra conductas de evitación acústica incluso a niveles sonoros próximos al ruido de fondo cuando se la somete a estímulos tonales de 1 a 2 segundos de duración espaciados cada 2 o 3 segundos, que es el intervalo espontáneo entre llamados de las ranas. Las ranas redistribuyeron sus llamadas para evitar superponerse con los tonos emitidos artificialmente.

Expuestas al ruido, algunas especies marinas pueden trasladarse a aguas más tranquilas. Según Myrberg (1990, citado por Fundación Cethus et al., S/A) niveles de ruido de 115 dB-120 dB causan conductas evasivas en ballenas. Aunque el desplazamiento como efecto a corto plazo de la exposición al ruido sólo se ha observado en unas pocas especies, podría ocurrir también a largo plazo. Algunos animales pueden regresar a sus antiguos hábitats después que cesan los ruidos impulsivos; algunos otros pueden ser desplazados de forma permanente por bajo nivel ruido continuo; otros más pueden verse afectados pero no abandonar su lugar. Hay evidencias de que los camarones pelágicos han desarrollado estrategias de evasión ante el sonido de los barcos camaroneros: al detectarlos los camarones se sumergen en profundidad, por debajo de las redes.

Se ha constatado que al aumentar el ruido de fondo muchas especies pierden interés en ciertos sitios y pasan a considerarlos adversos, lo que en la práctica redundaría en una pérdida de hábitat o desplazamiento de especies. Este desplazamiento podría tener efectos indirectos sobre vegetales, al modificarse la conducta de animales que tienen un papel clave en la polinización y la dispersión de semillas.

Francis *et al.* (2012) señalan que algunas aves, como los colibríes, incrementan su actividad en ambientes más ruidosos. El colibrí barba negra (*Archilochus alexandri*), visitó cinco veces más flores en lugares ruidosos que en las zonas más tranquilas, lo que sugiere que algunas plantas expuestas a niveles de ruido elevados pueden tener mayores posibilidades reproductivas en relación con otras en zonas más tranquilas. Los ratones también prefieren los lugares más ruidosos, en tanto las urracas azules (*Cyanocitta cristata*) los evitan. Estas aves cumplen un rol importante en el traslado de semillas de árboles y, en consecuencia, en la reproducción de éstos.

Un ave puede recoger cientos o incluso miles de semillas de *Pinus edulis* y enterrarlas para comerlas posteriormente. Muchas de estas semillas son luego desenterradas y se consumen, pero muchas otras no son consumidas y germinan. En cambio, los ratones ingieren las semillas y son procesadas por el aparato digestivo del animal, de forma que un aumento en la población de

ratones se traducirá en una menor germinación de semillas. Los ratones podrían funcionar como un dispersor condicional de semillas, pero su función principal es como depredadores de semillas: consumen un 40 % de las semillas que encuentran; por lo general guardan muchas semillas que no consumen de inmediato pero más del 80 % de estas reservas se recuperan y se comen junto con las semillas almacenadas por otros individuos o especies.

Francis *et al.* (2011a, b) analizan la presencia y abundancia de semillas de *P. Edulis* y de dos especies que participan en la dispersión de semillas: la chara californiana o arrendajo azul (*Aphelocoma californica*) y los ratones de campo (*Peromyscus Sp.*). *A. californica* evita las zonas ruidosas porque el ruido puede enmascarar su comunicación vocal, pero las zonas ruidosas son interesantes para el colibrí barba negra (*A. alexandri*) y los ratones de campo *Peromyscus sp.*, posiblemente porque pueden representar refugio contra los depredadores y competidores clave que normalmente evitan las zonas ruidosas, incluidas las urracas. *A. alexandri* puede instalarse preferentemente en áreas ruidosas debido a la baja presión de depredación de nidos por parte de *A. californica*. Del mismo modo, las poblaciones de *Peromyscus sp.* pueden aumentar en zonas ruidosas no sólo debido a la competencia reducida con *A. californica* y otras urracas para la alimentación, sino también por la reducción de la depredación por predadores nocturnos que pueden evitar el ruido, como los búhos. En consecuencia, un aumento en la población de ratones se traducirá en una menor germinación de semillas de *P. edulis* y al reducirse el número de plántulas en áreas ruidosas, se puede generar una disminución del número de estos árboles: en el caso reportado, el número de plántulas fue cuatro veces menor en las áreas ruidosas que en las más tranquilas.

Al analizar sus datos, Francis *et al.* (2011a, b) plantean que ni la duración de la señal ni la tolerancia urbana explicaron las respuestas específicas de la especie, pero sí encontraron que las aves con señales de baja frecuencia son más susceptibles al enmascaramiento por ruido y evitan las áreas ruidosas, en tanto las aves con vocalizaciones de frecuencias más altas se mantuvieron en el lugar. Asimismo, la frecuencia de la señal también se correlacionó negativamente con la masa corporal, lo que sugiere que las aves más grandes pueden ser más sensibles al ruido debido a la relación entre el tamaño corporal y la frecuencia vocal. Las aves más grandes con señales de baja frecuencia pueden ser excluidas de zonas ruidosas, mientras que las especies más pequeñas persisten a través de la transmisión de señales de frecuencia más alta. Sin embargo, en contrapartida, la capacidad de comunicarse de manera efectiva debería aumentar con el tamaño del cuerpo, al ser los animales más grandes capaces de emitir señales de mayor amplitud. Es decir, las aves más grandes pueden ser capaces de vocalizar más fuerte pero también vocalizar en frecuencias más bajas, en las que el ruido de fondo tiene más energía acústica. Esto implica que el aumento de la intensidad vocal de las especies más grandes puede no ser suficiente para superar el potencial de enmascaramiento del ruido de fondo cuando el espectro de frecuencias de la señal resulta ser más importante:

“Esto significa que podrá reducirse el número de árboles en áreas más ruidosas, pero esto podría haber pasado desapercibido durante muchos años porque los piñones crecen muy lentamente. Y si hay menos piñones el hábitat dejará de ser favorable para los cientos de especies que dependen de estos árboles para sobrevivir.”

Este problema puede verse agravado para las aves de mayor porte por su defensa de territorios más grandes, por lo que las distancias de comunicación son mayores entre los individuos.

Según Francis *et al.* (2012), la eliminación y depredación de semillas y el reclutamiento de plántulas están condicionados por el ruido, por lo que tienen el potencial de afectar indirectamente, a futuro, la estructura del bosque. Los autores concluyen que el ruido antropogénico crónico “filtra” las comunidades de aves y representa una fuerza selectiva de las especies que pueden habitar en paisajes ruidosos. Las especies con más probabilidades de abandonar las zonas ruidosas son aves con señales de baja frecuencia, que también tienden a tener cuerpos más grandes. En contraste, las especies más pequeñas no sólo pueden persistir en ambientes ruidosos a través de la transmisión de señales de frecuencia más alta, sino beneficiarse de un mayor éxito reproductivo en relación a los que anidan en las zonas menos ruidosas, debido al riesgo reducido de depredación. Esto sugiere que aun las especies adaptadas al ambiente urbano pueden ser de todos modos sensibles al ruido pero privilegian, por supervivencia, el acceso a la búsqueda de alimento, los recursos de anidación y la ausencia de depredadores o competidores clave que eviten las zonas urbanas. Por ejemplo, colibríes y ratones prefieren áreas ruidosas y sus poblaciones en ellas se incrementan.

A su vez, los investigadores advierten que es necesario evaluar las consecuencias ecológicas de la creciente contaminación acústica de origen antrópico en lo referente al nivel de actividad de especies polinizadoras y que inciden en la reproducción vegetal.

4.8 Efectos sobre el sistema inmunológico

Son muchas las evidencias de campo y de laboratorio acerca del debilitamiento del sistema inmunológico de animales ante la exposición a ruido, lo que redundaría en una mayor propensión a adquirir infecciones. Cuando el eje HPA reacciona en respuesta a la exposición a ruido, la respuesta a nivel de secreciones hormonales puede generar otros efectos. Por ejemplo, la liberación de corticosterona afecta a la relación heterófila a linfocitos (H:L). Generalmente, H:L aumenta en respuesta al estrés, ya sea porque aumenta H y L disminuye, o bien sólo por el aumento de H.

Es importante destacar los resultados de Sobrian *et al.* (1997, citados por Kight y Swaddle, 2011), según los cuales las crías de ratas expuestas a ruido durante el embarazo tenían menor peso del timo y menor nivel de inmunoglobulina G (IgG) en suero, lo que indica que se transmite el debilitamiento del sistema inmunológico; las hembras juveniles generalmente se mostraron más afectadas en este sentido que los machos.

Ratas expuestas a infrasonidos de 130 dB mostraron una activación de las células microgliales, los macrófagos en el cerebro y la médula espinal, que integran las defensas inmunológicas del sistema nervioso central (Du *et al.*, 2010 citados por Kight y Swaddle, 2011). Las células activadas incrementaron su expresión como receptores de la hormona liberadora de corticotropina (CRH-R1), destacando la interconexión de las respuestas neuroendócrinas e inmunológicas al estrés generado por el ruido. En otro estudio se demostró experimentalmente que el ruido produce una regulación positiva de la hormona liberadora de corticotropina CRH y sus neuronas receptoras en el núcleo paraventricular, un núcleo neuronal localizado en el hipotálamo. Esto podría inducir la liberación de factor alfa de necrosis tumoral, que a niveles bajos puede reforzar la respuesta al

estrés pero a niveles altos, puede conducir a la neuroinflamación y apoptosis -o muerte celular programada- (Kight y Swaddle, 2011).

Las respuestas de estrés acústico varían con el tiempo de exposición. Por ejemplo, la actividad de las células del bazo fue mayor después de 24 h y de 7 días de exposición, pero había sido suprimida después de 3 semanas de exposición (Van Raaij *et al.* 1996, citados por Kight y Swaddle, 2011).

Dado que las diferentes variables presentaron comportamientos diferentes, es esperable que los componentes del sistema inmunológico pueden ser afectados en forma diferencial ante la exposición crónica a ruido.

4.9 Efectos sobre la comunicación: el efecto Lombard

El efecto Lombard es aquél por el cual, ante elevados niveles de ruido de fondo, un animal emisor de señales acústicas comunicacionales tiende a elevar su nivel de emisión. Es un fenómeno común en la comunicación de los seres humanos: cuanto más fuerte es el ruido de fondo, más fuerte la persona habla. Según indica Warren *et al.* (2006), muchas aves y algunos mamíferos presentan efecto Lombard. Se ha constatado en estudios de laboratorio en especies tales como colibríes de garganta azul, *Lampornis clemenciae*; pinzones cebra, *Taeniopygia guttata*; periquitos, *Melopsittacus undulatus*; entre los mamíferos mencionan los monos tití, *Callithrix jacchus* (Dooling y Popper, 2007). Sin embargo, existe un umbral a partir del cual las aves dejan de experimentar efecto Lombard, es decir, ya no cantan más fuerte que cierto tope que parece estar relacionado con el costo energético que significa ese esfuerzo (Nemeth *et al.*, 2010).

Los ruidos antropogénicos pueden interferir con las señales acústicas que los animales emplean para orientarse, cazar, defenderse y comunicarse entre ellos. Las implicaciones biológicas del enmascaramiento de estas señales dependen en gran medida de la función de éstas y del contexto. El efecto resultante puede ser el desplazamiento, reducción de áreas de actividad y bajo éxito reproductivo; pérdida del oído, aumento de las hormonas del estrés, comportamientos alterados e interferencias en la comunicación durante la época reproductiva, entre otros.

Dependiendo de su plasticidad vocal y su tamaño, los pájaros cantarían no sólo más fuerte sino también a frecuencias más altas. Por ejemplo, en experimentos de laboratorio los periquitos (*Melopsittacus undulatus*) y perdices de cresta (*Eudromia elegans*) aumentaron tanto la amplitud como la frecuencia de sus llamadas cuando los niveles de ruido de fondo se incrementaron; las llamadas de juveniles de golondrinas (*Tachycineta bicolor*) eran más fuertes y más agudas en el campo pero en el laboratorio, bajo condiciones similares, sólo incrementaron la amplitud de la llamada (Francis *et al.*, 2011a). Esto reafirma que no es posible predecir o extrapolar comportamientos cuando no se cuenta con datos reales.

Bayne *et al.* (2008) estudiaron los impactos del ruido del sector energético sobre aves canoras de los bosques boreales de Alberta, Canadá. Utilizando muestreo basado en distancias, encuentran una densidad de paseriformes en zonas silenciosas que era 1,5 veces la encontrada en áreas cercanas a instalaciones generadoras de ruido (estaciones de compresión del sistema energético). La densidad de *Zonotrichia albicollis* (gorrión de pecho blanco), *Dendroica coronata* (reinita coronada) y *Vireo olivaceus* (vireo ojirrojo) fue menor en áreas ruidosas. De las otras 23

especies estudiadas, la tercera parte mostró que su distribución estaba influida por el ruido antropogénico. Siete tenían menores tasas de ocupación cerca de las instalaciones generadoras de ruido y otras cuatro especies no respondieron a los efectos de borde.

A través del canto, su principal forma de comunicación, las ranas reconocen a los de su misma especie, advierten la presencia de predadores y defienden sus recursos. Es con el croar del macho que la hembra identifica si tiene buena condición física, es grande o posee otros atributos que pueden definir la selección de pareja. Algunas especies de ranas procuran adaptarse al ambiente acústico en el que viven y modifican las características de su canto a causa de los mayores niveles sonoros ambientales. Sin embargo, muchas veces esto se logra cantando en frecuencias relativamente altas en relación al canto de poblaciones que habitan en lugares con menor nivel de ruido de fondo. Es el caso de la rana rubí o ranita venenosa del Cauca *Ranitomeya bombetes*, que procura de este modo comunicarse a pesar del ruido antropogénico. Esta especie podría llegar a no reproducirse porque, llegado el caso y aun estando próximos un macho y una hembra, podrían no reconocerse como congéneres (Fuertes Sánchez, 2010).

4.10 Efectos sobre el comportamiento

A escalas de tiempo evolutivas, se observa que hay animales que se adaptan a ambientes ruidosos de forma natural y logran desarrollar comportamientos más “plásticos” en el corto plazo. Las alteraciones fisiológicas a largo plazo y la modificación del comportamiento a corto plazo son notorias y conocidas en grillos y saltamontes. Algunas especies también modifican su fonotaxis (la capacidad de moverse en una orientación con respecto a una fuente de sonido) como respuesta para sobrevivir en ambientes ruidosos. En general los sonidos graves y suaves, de larga duración, producirían un efecto de calma sobre los animales, mientras que sonidos agudos y cortos frecuentemente los excitan. Las abejas de la miel (*Apis mellifera*) dejaron de moverse durante un máximo de 20 minutos en respuesta a sonidos de frecuencias entre 200 Hz y 2000 Hz e intensidades entre 107 dB y 119 dB y no parecieron habituarse al ruido. En contrapartida, las langostas (*Lucustidae*) y los quironómidos (*Chironomidae*) expuestos a elevados niveles sonoros incrementaron sus movimientos (Shulov 1969, Frings y Frings, 1959 citados por Manci *et al.*, 1988).

Así como algunas especies muestran conductas de evitación ante elevados niveles sonoros, otras se sienten atraídas por ellos. Por ejemplo, es largamente conocido que los tiburones se sienten atraídos por el ruido de baja frecuencia (Nelson y Gruber, 1963). En efecto, los grandes tiburones (*Carcharhinidae* –esta familia comprende a la mayoría de los tiburones-, *Sphyrnidae* –tiburones martillo-) en su entorno natural, fueron atraídos por pulsos de sonidos de entre 20 Hz y 60 Hz, aunque no por sonidos continuos de estas frecuencias ni tampoco por pulsos de frecuencias entre 400 Hz y 600 Hz. Esto fue corroborado por estudios sobre tiburones sedosos, *Carcharhinus falciformis*, empleando varios intervalos de frecuencias (Myrberg *et al.*, 1972). Aunque hubo cierto grado de atracción con todos los pulsos sonoros empleados, ésta se fue incrementando a medida que el espectro disminuía en frecuencia. Los autores agregan que los pulsos que ocurrían en forma irregular eran más atractivos que las señales regulares; dentro de las señales regulares fueron más abundantes las que implicaron mayor repetición (hasta 20 impulsos sonoros por segundo). Adicionalmente es de hacer notar que las frecuencias que resultan de más atracción para los tiburones son similares a las que resultan de una lucha entre peces. Manci *et al.* (1988)

citan los estudios de Beuling (1982) según los cuales los tiburones nacidos en cautiverio no son atraídos individualmente por pulsos de bajas frecuencias, aunque sí cuando están en grupos.

Hastings y Popper (2005) indican que las especies que presentan comportamientos de evitación al ruido muchas veces se han detectado a través de la caída en las tasas de captura. Ha sido el caso del abadejo, el bacalao, la bacaladilla, el arenque noruego, el pez gallineta. En esos decaimientos, se han podido establecer conexiones con la ocurrencia de eventos de incremento del nivel de presión sonora subacuática que parecen ser los que explican el alejamiento de los peces de ciertos lugares: en todos los casos se habían realizado estudios con pistolas de aire sísmicas muy poco tiempo atrás. Sin embargo, en otros casos esto no ha sucedido, tal como lo reportan Wardle *et al.* (2001) en relación a peces e invertebrados en un arrecife de coral en el que se realizaron emisiones procedentes de pistolas de aire sísmicas, calibradas de modo de obtener ciertos niveles de presión sonora a distancias de interés. Un valor cuantitativo es presentado por Jones (2008), quien indica que las tasas de captura de bacalao y eglefino se pueden reducir en un 50 % a 70 % después de estudios sísmicos con pistolas de aire para producir sonidos en la banda de 20 Hz a 150 Hz.

El ruido ambiente puede ser un distractor que incrementa el riesgo de depredación. Yim-Hol Chan *et al.* (2010) estudiaron experimentalmente el efecto del ruido sobre cangrejos ermitaños del Caribe (*Coenobita clypeatus*) y verificaron que un depredador simulado pudo acercarse mucho más a ellos durante la reproducción del ruido de un motor de barco. Aunque no se descarta que pueda haber un efecto de enmascaramiento, en principio la principal hipótesis es que el ruido actúa como un eficaz distractor que reduce la atención de los cangrejos. Krause y Godin (1996 citados por Yim-Hol Chan *et al.*, 2010) sugirieron que los depredadores podrían ser más propensos a atacar a presas menos vigilantes, lo que aumentaría su vulnerabilidad a la depredación. En contrapartida, al elevarse los niveles sonoros ambientales los animales podrían estar menos distraídos por el ruido y quizás entonces podrían evaluar el riesgo en forma más adecuada. También es esperable que esta “hipótesis de la presa distraída” se aplique a otras especies con habilidades atencionales, como se ha comprobado ya que ocurre con aves: dividir el tiempo y la atención entre la búsqueda de alimento y la vigilancia de los depredadores, o evaluar el riesgo ante señales sonoras y lumínicas, generan una distracción multimodal que reduce la atención a las tareas de importancia biológica para la supervivencia de algunos animales.

Los conejillos de Indias saltan cuando se los expone imprevistamente a ruido muy fuerte (139-143 dB), reducen la actividad y permanecen amontonados hasta 30 minutos después del impulso. También se observó castañeteo de dientes en conejillos de Indias machos sometidos a ruidos fuertes frecuentes durante un período de 6 semanas. Los conejos de laboratorio alteran su comportamiento cuando están expuestos al ruido usual del laboratorio en una zona que no está acústicamente aislada. Pueden sufrir efectos adversos que incluyen respuesta de sobresalto, alteraciones nerviosas y del comportamiento, con lesiones traumáticas de las extremidades y la espalda (Brouček, 2014).

Los niveles de ruido de fondo influyen en el comportamiento de las ratas (Castelhana-Carlos y Baumans, 2009 citados por Brouček, 2014). Al comienzo de la exposición, todos los animales se mantuvieron apiñados en un grupo. Otra reacción de ratones y ratas fue quedarse inmóviles. Las cobayas expuestas a ruido mostraron la más marcada reducción en su actividad en comparación

con las ratas, que parecían menos afectados por la exposición al ruido. Después de que el ruido se apagó hubo un aumento general en la actividad de los ratones y de las ratas.

Un ruido de fondo constante aumenta la respuesta de susto en ratas, ante estímulos acústicos (Schanbacher *et al.*, 1996 citados por Lanier *et al.*, 2000). El ruido continuo de 85 dB ha demostrado aumentar la defecación y reducir tanto las actividades sociales y no sociales (olfateo, aseo personal o rastreo) de ratas, en comparación con grupos de control expuestos a 50 dB, 65 dB o 75 dB.

Cuando las ratas fueron expuestas a ruido de 95 dB de entre 500 Hz y 5.000 Hz en dos períodos de 5 minutos por día durante 28 semanas, su comportamiento cambió; en particular, se puso agresivo (Algers *et al.*, 1978 citados por Brouček, 2014).

Los sonidos repentinos probablemente asustan más que aquellos con inicio gradual (Burn, 2008 citado por Brouček, 2014). Pulsos sonoros de 3.000 Hz a 7.000 Hz suscitaban una menor respuesta de susto en ratas que pulsos de 15.000 a 23.000 Hz (Blasczyk y Tajchert, 1997, citados por Lanier *et al.*, 2000). Las ratas hembras vírgenes son más excitables que los machos maduros. Las ratas se tornan menos miedosas después de haber parido y comenzar la lactación (Lanier *et al.*, 2000).

Al exponer pollos a ruido permanente de 95 dB y 500 Hz, Algers *et al.* (1978 citados por Brouček, 2014) observaron reacciones características como respuesta de sobresalto, período de latencia, correr, quedar inmóviles, pequeños movimientos desiguales de la cabeza y comportamiento similar al sueño. La reacción varió en forma e intensidad de acuerdo con la edad de las aves de experimentación y fue más fuerte en los pollos de aproximadamente 26 días de edad.

Campo *et al.* (2005 citados por Brouček, 2014) encontraron que las gallinas ponedoras expuestas a ruido de 90 dB (camión, tren y ruidos de aviones) durante 60 minutos tenían más miedo que las gallinas de control que se mantuvieron a 65 dB (causados por vocalizaciones de pájaros y ruido de ventiladores).

Las voces humanas generan gran estrés en los animales, por lo que el manejo de un rodeo debe realizarse evitando gritos y silbidos, y procurando mantener un tono de voz suave para dirigirse a los animales.

Algers (1984 citado por Grandin, 1996) describió comportamientos de alerta en caballos y orientación de las orejas durante un período experimental de 10 minutos de exposición a ruido. La distancia desde la fuente de perturbación es un indicador importante del comportamiento de alerta.

Harrington y Veitch (citados por Radle, 2007) señalaron que el reflejo de sobresalto (activación del sistema simpático) que inducía a huir y correr, aunque es de corta duración, supone una amenaza durante la época de parto, al aumentar la probabilidad de separación de la vaca y su ternero, lesiones a los terneros recién nacidos (si la madre se desboca) y mortinatos. Los investigadores también plantearon la hipótesis de que el estrés causado por el sobresalto puede causar que vacas madres produzcan menos cantidad de leche, afectando el crecimiento de los terneros y aumentando su probabilidad de muerte a manos de depredadores.

Conociendo que los sonidos intermitentes tienen un efecto mayor sobre los cerdos que los sonidos constantes, Algiers (1984 citado por Grandin, 1996) expuso a cerdos de 10 días de edad a ruidos repentinos. Observó una reacción inmediata de atención y orientación durante unos 10 s. Con 6 semanas de edad, los cerdos se activaron inmediatamente y comenzaron a orientarse hacia la fuente de sonido. Se inició un comportamiento de búsqueda intensiva por parte de todos los cerdos, que se prolongó durante todo el período de 10 minutos que duró la señal. Todas las cerdas reaccionaron inicialmente con atención y parando sus orejas. Algunos ensayos mostraron que los cerdos aumentan su movimiento (caminan) cuando se los expone a un estímulo acústico de corta duración (Talling *et al.*, 1996, 1998, citados por Lanier *et al.*, 2000; Kanitz *et al.*, 2005). Sin embargo, las diferencias de comportamiento constatadas inicialmente se diluyen si la exposición a ruido es continua durante 15 minutos.

4.11 Efectos sobre los procesos cognitivos y el sueño

Las perturbaciones del sueño debido al ruido ambiente parecen ser propias de cada especie. En algunos casos se altera el sueño paradójico y en otros el sueño profundo, y a niveles sonoros que pueden ser muy variables. Ambos tipos de sueño pueden ser alterados en forma permanente por interrupciones repetidas, lo que puede traducirse luego en otras patologías y en déficits cognitivos.

Según Weeks *et al.* (2008), los ruidos fuertes pueden causar trastornos del sueño en mamíferos. Se sugiere un nivel sonoro de unos 40 dB para el buen descanso de los animales durante la noche. Niveles de presión sonora superiores disminuyen la calidad del sueño (Algiers *et al.*, 1978 citados por Brouček, 2014).

Según Lainer *et al.* (2000), la exposición de animales de laboratorio a ruido inducido ocasiona comportamiento anormal, suprime la conducta exploratoria y genera problemas de aprendizaje. En ensayos de aprendizaje y memoria, las ratas expuestas a ruido cometieron menos errores, exploraron menos y dieron antes por terminados sus intentos (Castelhano-Carlos y Baumans, 2009 citados por Brouček, 2014). En aves que intentaban aprender a cantar, se constató que el ruido incide sobre la memoria y la capacidad vocal. Retirada la fuente de ruido, varios de los individuos fueron capaces de recuperar parte de sus habilidades vocales.

Experimentalmente se observó que ratas expuestas a ruido con un desempeño pobre en tareas espaciales tenían una disminución de los receptores glutamatérgicos NMDA (N-metil-D-aspartato), que tiene un rol principal en la plasticidad sináptica y la memoria (Kight y Swaddle, 2011).

Brouček (2014) destaca que las respuestas al ruido en animales de granja están condicionadas por la capacidad auditiva de la especie y raza, la edad y el estado fisiológico del animal en el momento de la exposición. También depende de la experiencia previa de exposición al ruido del animal.

Ensayos neuronales realizados durante una prueba de aprendizaje en ratas, con individuos adiestrados en presencia y ausencia de elevados niveles de ruido de fondo, se observó que los individuos sometidos a ruido presentaron respuestas más lentas como resultado del déficit de aprendizaje relacionado con cambios en la estructura neuronal, en el balance de

neurotransmisores y en el receptor neuronal. Similares resultado se constataron con crías cuya madre estuvo sometida a ruido durante el embarazo: el desempeño en pruebas espaciales fue más pobre y tuvieron mayores porcentajes de error (Kim *et al.*, 2006). Sin embargo, en contrapartida, las ratas expuestas a 70 dB de ruido blanco durante los ensayos de aprendizaje de un laberinto no sólo cometieron menos errores sino que también emplearon menos tiempo para salir del laberinto.

5 Efectos asociados con algunas fuentes sonoras particulares

5.1 Ruido de tránsito terrestre

El carácter general del ruido antropogénico de tener un alto contenido energético en bajas frecuencias sugiere que las especies que utilizan señales de frecuencias más altas deberían ser más tolerantes a ese ruido que los que utilizan las señales de baja frecuencia. Esto fue comprobado por Rheindt (2003 citado por Alves da Rosa y Bager, 2013) en relación al ruido de carreteras.

Alves da Rosa y Bager (2013) analizan los diversos factores asociados con las carreteras que pueden afectar a las poblaciones de vertebrados, en el marco de lo que llaman “ecología de carreteras”. Identifican cinco mecanismos capaces de generar efectos relevantes:

1. Evitación de vehículos
2. Evitación del ruido
3. Evitación de la superficie de la carretera
4. Atracción por la carretera
5. Colisiones entre vehículos y animales silvestres.

La atracción de la carretera y la evitación del ruido causan un efecto de borde. El mecanismo de atracción provoca un efecto de borde positivo, en el sentido de que se incrementa la presencia y abundancia de animales en los bordes de carretera debido a la mayor disponibilidad de recursos alimenticios. En contraposición, la evitación del ruido está relacionada con la aversión de los individuos a las emisiones del tráfico, como ruido, luz y sustancias químicas, por lo tanto se relaciona con el volumen de tráfico.

Jones (2008) menciona que el ruido del tráfico puede influir en el comportamiento de alimentación en animales que encuentran su alimento por la escucha de los sonidos de sus presas.

Wyle (S/A) indica que las carreteras deberían alejarse por lo menos 200 m de las zonas de alto uso del carnero cimarrón o por lo menos de sus zonas de parición, ya que la distancia umbral de perturbación es de entre 250 m y 450 m. Aunque en invierno la distancia en la que las ovejas presentaron mayor respuesta al ruido de tránsito bajó a 50 m, los 200 m fueron considerados como distancia de tolerancia también para estos animales (Sayre *et al.*, 2002).

5.1.1 Efectos sobre aves

Las principales formas en que el ruido ambiental perjudica a las aves canoras tienen que ver con que los machos tienen menor poder de atracción sobre las hembras, al quedar su estado desmerecido por el ruido. El canto que parece menos potente llega a menor número de hembras porque alcanza sólo distancias más reducidas, en tanto el canto más agudo da idea de un macho más pequeño. El canto es importante en la identificación de los machos vecinos, la demarcación y

defensa pasiva de los límites territoriales, y en la evaluación del estado físico de congéneres. El ruido puede crear dificultades en la defensa territorial mediante la reducción de la capacidad de los machos para estimar acústicamente la ubicación de sus congéneres próximos, lo que resulta en más encuentros físicos por la defensa del territorio. Esto puede conducir a un mayor estrés en los pájaros cantores forestales (Bayle *et al.*, 2008). Los horneros machos cuyo territorio era próximo a una fuente de ruido fueron 17 % menos propensos a atraer una hembra. El 48 % de los machos en esas zonas eran individuos jóvenes y el 30 % se apareaba por primera vez, lo que da la idea del menor éxito de apareamiento que representa el tener su territorio en una zona ruidosa.

El gráfico de la Figura 5-1 muestra el efecto del ruido ambiental sobre la comunicación aviar en función de la distancia entre individuos, el ruido de fondo y la razón crítica media de la especie considerada.

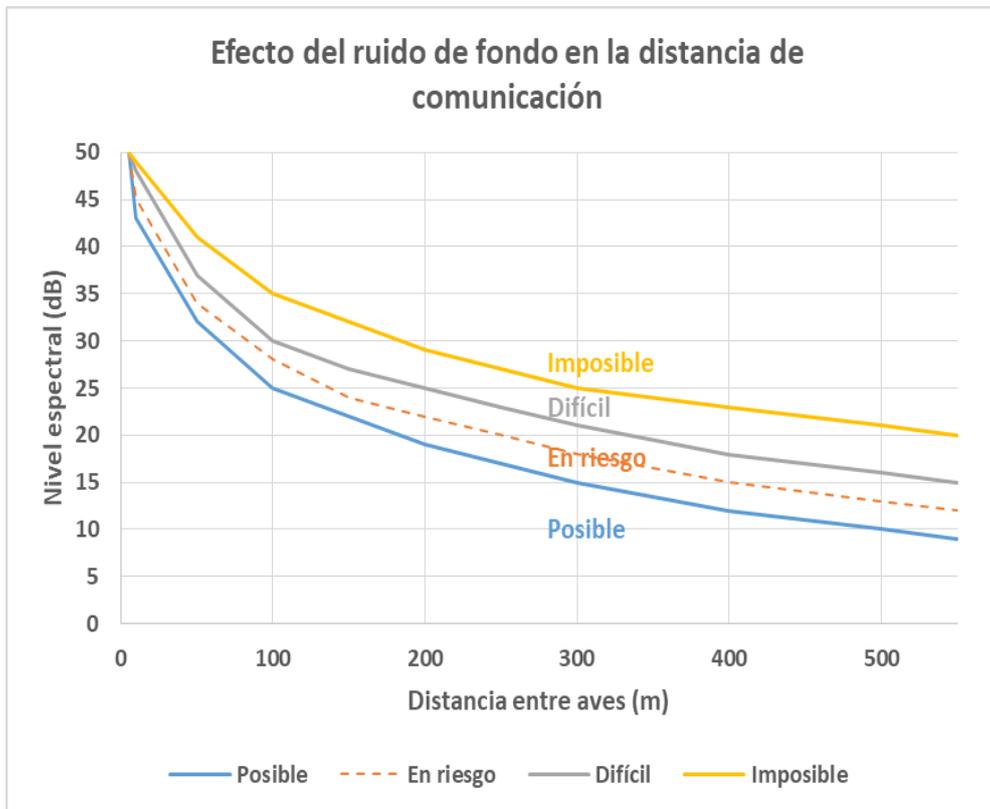


Figura 5-1: Modelo conceptual para la estimación de los efectos de enmascaramiento de ruido. La línea blanca discontinua corresponde a razón crítica media de 27 dB (enmascaramiento promedio para aves). El ancho de las zonas grises claras y oscuras se basa en ± 1 S.D. de la razón crítica media de 14 especies (o aproximadamente el 66 % de los casos). Las líneas de puntos A, B, y C representan respectivamente el rendimiento de un ave con una gran razón crítica como el periquito (curva A), el ave típica con una razón crítica de 27 dB (curva B) y un ave con una pequeña razón crítica como el periquito (curva C). La zona gris más oscura entre las indicadas como "en riesgo" e "imposible" representan los resultados obtenidos en cuanto a emplear estrategias de comportamiento de corto plazo para contrarrestar el efecto de un ambiente ruidoso. Este modelo proporciona una manera de evaluar si un nivel dado de ruido (de tráfico) afectará o no la distancia a la que las aves pueden comunicarse. Redibujado de Dooling y Popper (2007).

Dooling y Popper (2007) presentan un análisis detallado de los posibles efectos del ruido asociado con la construcción de carreteras sobre las aves. Entre ellos, aunque no descartan que pueda haber efectos nulos o despreciables, señalan los que se listan a continuación.

- Producir cambios significativos en el comportamiento (por ejemplo, el ave tiene que ir a mayor distancia de su sitio de anidación para encontrar alimentos);
- Enmascarar señales acústicas útiles, que las aves usan para comunicarse con sus congéneres o reconocer las señales biológicas;
- Reducir la capacidad de detección de sonidos de depredadores y/o presas debido al enmascaramiento;
- Disminuir la sensibilidad auditiva en forma temporal o permanente;
- Aumentar el estrés y alterar los niveles de diversas hormonas.
- Interferir con la reproducción de los individuos y las poblaciones, lo que puede conducir a efectos de comportamiento y dinámica poblacional con riesgos para la supervivencia de los individuos o especies.

Todo esto se traduce en que algunas especies aumenten la abundancia en áreas ruidosas y otras la disminuyan (Crino *et al.*, 2010). En consecuencia, la composición de la comunidad de aves se ve afectada por el ruido del tráfico en zonas próximas a carreteras.

Las constataciones objetivas permiten aseverar que la densidad, la diversidad y la nidificación de aves es menor en el entorno de las carreteras y sitios ruidosos; en contrapartida, las aves que cantan a frecuencias mayores tienen mayor abundancia cerca de las carreteras (Rheindt 2003, citado por Alves da Rosa y Bager, 2013). Posiblemente las diferencias estén relacionadas con el hecho de que la mayor parte de la actividad de canto de las aves es durante las horas de luz (de 6 a 18 h) coincidiendo con niveles de ruido de tráfico más elevados; esto genera un mayor enmascaramiento de las señales de comunicación (Herrera-Montes y Aide, 2011). Según Jones (2008), los ruiseñores que ocupan territorios expuestos al ruido del tráfico cantan más alto de lunes a viernes (cuando el ruido del tráfico es más fuerte) que los fines de semana. Los titíes comunes aumentan la duración de la señal de ruido, ya que los sonidos más largos son más fáciles de escuchar. Los carboneros producen canciones más cortas, cantan con mayor rapidez y usan las frecuencias más altas en entornos urbanos que en los bosques para mejorar la transmisión de señales en entornos ruidosos. Las especies con canto o llamados de baja frecuencia (< 5.000 Hz) -como palomas, búhos, córvidos, pájaros carpinteros, garzas- están ausentes en zonas con ruido de tráfico (Blickley *et al.*, 2012b); sólo se detectaron en sitios más tranquilos, alejados de la carretera.

Muchas especies de aves e insectos producen sus cantos en frecuencias más altas o son capaces de alterar sus señales para escapar del ruido de enmascaramiento pero otras están restringidas fisiológicamente a producir señales de baja frecuencia. A menos que estas especies encuentren otros mecanismos de adaptación a ambientes ruidosos, como por ejemplo desplazar la sincronización de las llamadas, sus señales tendrán un radio efectivo pequeño, lo que puede perjudicar su capacidad de comunicación (Rabin y Greene, 2002 citado por Castellote *et al.*, S/A). Por otra parte, la investigación disponible sugiere que los animales con señales de ancho de banda de frecuencia estrechas pueden ser capaces de comunicarse de manera más efectiva en entornos urbanos ruidosos.

Se suele emplear un nivel de 60 dBA como nivel sonoro ambiental a partir del cual se espera que ocurran efectos adversos sobre la comunicación aviar y, en consecuencia, sobre su presencia / abundancia en los lugares en donde tales niveles son superados (ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Dooling y Popper (2007) recuerdan que ese valor es el que surge genéricamente de considerar un nivel de ruido de fondo de 45 dBA a 55 dBA, típico de una zona rural o una zona suburbana tranquila y agregan que, a la luz de los estudios disponibles en la actualidad, seguramente un nivel de 55 dBA sería más seguro y realista que el valor de 60 dBA que suele tomarse por defecto. Para esos niveles, el nivel espectral en la región de 2.000 Hz a 4.000 Hz ya es del orden de 0 dB a 10 dB, lo que eleva significativamente los umbrales que se podría obtener en una cabina de ensayo, como puede verse en la Figura 5-2: se observa que un ave ya estará experimentando un considerable enmascaramiento (de 20 dB a 25 dB) en su región de mejor audición. Por lo tanto, el ruido de la carretera provoca un aumento de los umbrales de las aves por encima de lo que ya experimentarían en un área suburbana tranquila. Sin embargo, Peris y Pescador (2004) mostraron que en más de la mitad de los casos no existían diferencias en las densidades reproductivas en las poblaciones de paseriformes próximas a las carreteras, incluso con densidades de tráfico que provocaban niveles sonoros de entre 63 dBA y 74 dBA.

En el gráfico de la Figura 5-2, tomado del mismo estudio, los autores grafican la misma información de un modo que facilita su aplicación.

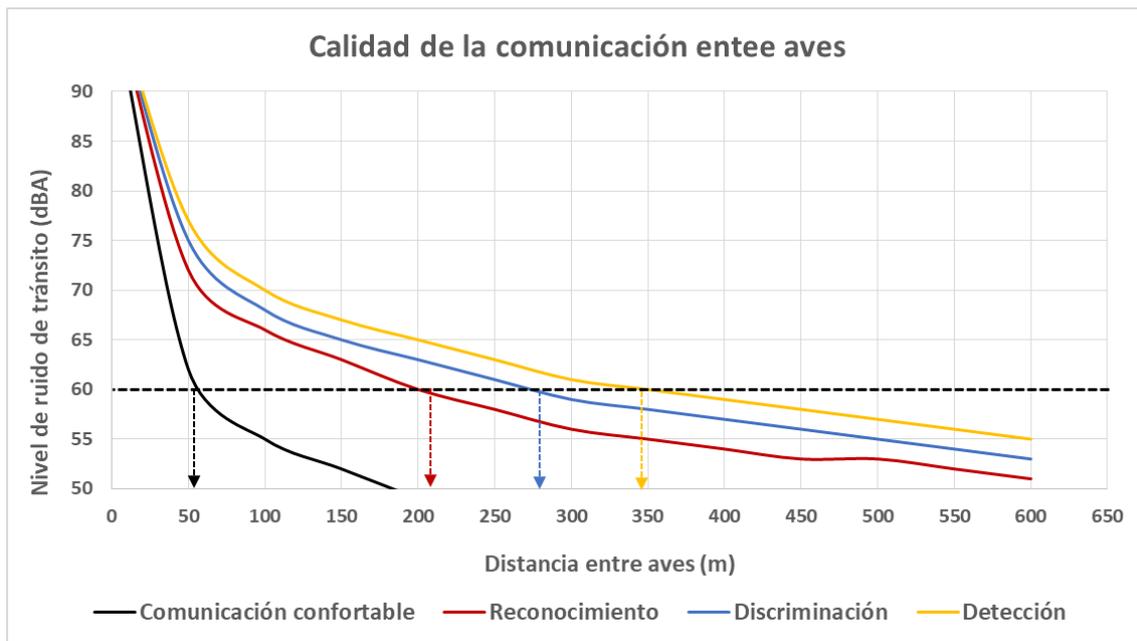


Figura 5-2: Relación entre el nivel de ruido del tráfico y las distancias de detección, discriminación, reconocimiento y comunicación cómoda entre aves. Se asume que el nivel de la vocalización (fuente) es de 100 dB, el ruido de fondo correspondo a ruido de tráfico de 60 dBA y el exceso de atenuación corresponde a campo abierto con atenuación de 5 dB/100 m). El umbral de enmascaramiento considerado para el receptor es la relación crítica promedio para aves. Redibujado de Dooling *et al.*, 2015.

5.1.2 Efectos sobre anfibios

Las ranas representan casi el 90 % de todos los anfibios existentes y se encuentran entre los más vocales de todos los animales durante sus temporadas de cría. Las posibles consecuencias del

enmascaramiento sonoro ocasionado por el ruido del tráfico carretero en los sistemas de comunicación de las ranas sugieren consecuencias adversas tales como fragmentación y degradación del hábitat, así como aumento de la mortalidad por atropellamiento durante las migraciones de primavera a zonas de cría.

En algunas especies, los sonidos aun de bajo nivel de un coro lejano pueden atraer a sus congéneres a los hábitats adecuados para la reproducción. En uno de estos sitios, la selección contra los apareamientos híbridos es fuerte. Las señales acústicas juegan un papel importante en la selección sexual. Los anfibios utilizan la vocalización principalmente para atraer a las hembras y defender el territorio (Alves da Rosa y Bager, 2013).

Herrera-Montes y Mitchell (2011) estudian la afectación de anuros debido al ruido de tráfico en las proximidades de una ruta en Puerto Rico. Comparan dos sitios similares pero con niveles sonoros superiores e inferiores a 60 dB, el primero a menos de 100 m y el segundo a más de 300 m de la ruta. Los autores no encuentran diferencias ni en la composición ni en la riqueza de las poblaciones, pero advierten que la mayor parte de las especies encontradas son de hábitos nocturnos, por lo que su mayor actividad ocurre cuando el flujo vehicular es menor.

Posiblemente el efecto más conocido es el que resulta de las dificultades de comunicación entre individuos de una especie para lograr el apareamiento en la época reproductiva. Esto perjudica a muchas especies, entre ellas aves y batracios.

Las vocalizaciones de los anuros dependen de la especie e incluso también de características locales de las poblaciones, que tienen diferencias en las frecuencias dominantes, las intensidades relativas de los armónicos, la duración de las llamadas individuales, las tasas de repetición y de pulsación (Manci *et al.*, 1988). Se han detectado vocalizaciones de rana toro a distancias de más de 1.000 m. Las hembras reconocen el estado físico y las características de los machos a través de sus vocalizaciones, y eligen compañero en consecuencia. Dada la opción, las hembras prefieren las llamadas de frecuencias más bajas, lo que indica machos más grandes y/o más experimentados (Alves da Rosa y Bager, 2013). Para los machos, las vocalizaciones aportan información sobre sus potenciales oponentes. El ruido antropogénico puede enmascarar la percepción de las llamadas y hacer que los receptores no reciban correctamente la información que les interesa. Aún más crítico: el ruido puede inhibir la actividad de llamadas sexuales de los machos. Aunque Parris *et al.* (2009 citado por Herrera-Montes y Aide, 2011) no encontraron relación entre el tamaño del macho y la vocalización en las zonas afectadas por el ruido del tráfico, Hoskin y Goosem (2010, citados por Alves da Rosa y Bager, 2013) demostraron que los machos más pequeños se concentran más cerca de carreteras (donde el ruido es más intenso) y tienen las llamadas de mayor frecuencia. Por lo tanto, estos individuos pueden llegar a ser menos atractivos para las hembras.

Bee y Swanson (2007) presentan resultados de un estudio de laboratorio realizado con ranas arborícolas grises (*Hyla versicolor*) y ranas chillonas (*Hyla chrysoscelis*), para estudiar el posible enmascaramiento de las llamadas de los machos por parte del ruido de tránsito y por un coro de congéneres. Las hembras mostraron aumentos similares en la latencia de respuesta y disminución de la orientación hacia la señal de destino en presencia de ambos enmascaradores: los umbrales de respuesta de las hembras se elevaron en aproximadamente 20 dB y 25 dB en presencia de los sonidos enmascaradores en comparación con la condición sin máscara. Los

autores afirman que no hay evidencia suficiente de que las ranas puedan emplear estrategias que emplean otros animales, como aumentar la intensidad, la duración o elevar la frecuencia de la señal emitida pues su plasticidad vocal es relativamente baja, especialmente en el dominio espectral. Sin embargo, Salinas (en Fuertes Sánchez, 2010) comprobó que la rana rubí o ranita venenosa del Cauca (*Ranitomeya bombetes* o *Adinobates bombetes*) canta a frecuencias más altas en el Bosque de Yocotó, donde hay elevados niveles sonoros debido al tráfico de la ruta, que en otros bosques donde el nivel de ruido es menor. En consecuencia, esta especie puede llegar a perder la habilidad de reproducirse con individuos de otras poblaciones, porque llegado el caso los individuos no se reconocerían como congéneres.

5.1.3 Efectos sobre quirópteros

El mayor impacto sobre la supervivencia de quirópteros reside ampliamente en las actividades humanas. El transporte (terrestre y aéreo), sin embargo, no está reportado como una causa significativa de muerte de quirópteros.

Como las lámparas atraen a los insectos aéreos, aumentan la densidad de algunas especies de murciélagos de alimentación aérea. Dado que los insectos aéreos pueden ser detectados por ecolocalización y las frecuencias de llamada de la mayoría de los murciélagos que utilizan ese recurso están por encima de las frecuencias producidas normalmente por el tráfico, es poco probable que los murciélagos de alimentación aérea se vean afectados negativamente por el ruido del tráfico. En cambio, la ecolocalización es ineficaz cuando las presas se encuentran entre la vegetación, debido a ecos de la superposición de vegetación con ecos de la presa, lo que hace difícil su detección.

El murciélago ratonero grande (*Myotis myotis*) atrapa escarabajos, grillos topo, arañas y ciempiés del suelo. En hábitats con vegetación, los murciélagos encuentran su alimento mediante la reducción del volumen de sus llamadas de ecolocalización para escuchar el susurro de los sonidos emitidos por los movimientos de sus presas. Por ejemplo, el movimiento de los escarabajos del suelo en la vegetación produce una serie de clics de banda ancha, con amplitud de pico alrededor de 12.000 Hz. Los artrópodos que hacen sonidos susurrantes más fuertes son, en consecuencia, más propensos a ser comidos por estos murciélagos. Pero durante esta tarea de alimentación, es muy probable que ocurra enmascaramiento y que los murciélagos mueran por atropellamiento o colisión con los vehículos.

5.2 Tránsito marítimo

Desde el advenimiento de los buques accionados a hélice, la navegación comercial es el mayor contribuyente al ruido de enmascaramiento en el mar, con aumentos documentados de 10 dB a 12 dB en algunas zonas del este del Pacífico Norte (Sue *et al.*, 2012). Según Barragán Casanova (S/A), en los puertos de Barcelona y Tarragona se llega a los 190 dB de ruido, niveles que según indica están en el umbral del dolor para muchas especies de cetáceos, en tanto en áreas cercanas a puertos deportivos del Mediterráneo se han llegado a medir entre 160 dB y 170 dB.

Los ruidos de baja frecuencia producidos por grandes barcos y las altas frecuencias de pequeñas embarcaciones pueden tener efectos importantes sobre pequeños cetáceos (Richardson *et al.*, 1995 citados por Hastings y Popper, 2005). Los motores y hélices de embarcaciones recreativas

producen ruido de baja frecuencia en forma permanente, por lo que algunos animales se desplazan durante la temporada turística. Por ejemplo Rako *et al.* (2013 citados por Comisión Europea, 2013) comprobaron que los delfines evitan las áreas ruidosas porque el ruido interfiere con su capacidad para comunicarse.

Las ballenas blancas o belugas (*Delphinapterus leucas*) son más fácilmente desplazadas por el tráfico de barcos cuando se alimentan, y las ballenas de Groenlandia (*Balaena mysticetus*) parecen más cautelosas ante el ruido durante la primavera en comparación con el otoño.

Los barcos dedicados al avistamiento de ballenas con fines turísticos pueden molestar a los cetáceos, al realizar una búsqueda activa de los mismos, moviéndose muy rápido y operando con mucho ruido, lo que puede alterar algunos comportamientos vinculados a alimentación y reproducción, además de causarles daños físicos.

5.3 Tránsito aéreo, sobrevuelo y estampidos sónicos

Los sobrevuelos de aviones a baja altura inducen estrés en los animales. Las respuestas de los animales parecen estar influenciadas por el tamaño, la forma, la velocidad, la proximidad (vertical y horizontal), el ruido del motor, el color y el perfil de vuelo de aviones. Los helicópteros parecen inducir alteraciones comportamentales de mayor intensidad y duración que los aviones.

Otros factores que pueden influir en la respuesta al ruido de aviones a reacción incluyen la dirección y velocidad del viento; la turbulencia del aire a nivel local; características del paisaje (por ejemplo, cantidad y tipo de cobertura vegetal); y, en el caso de las aves, si los animales están en fase de anidación / incubación.

Algunos estudios mostraron que los animales que habían sido expuestos previamente al ruido de aviones a reacción mostraron mayor grado de alarma y molestia ante otros emisores de ruido (embarcaciones, personas, etc.).

5.3.1 Efectos sobre mamíferos terrestres

El aumento de la frecuencia cardíaca, un indicador de la excitación o estrés, se ha verificado en antílopes americanos, alces y borregos cimarrones. Como estas reacciones se producen de forma natural como una respuesta a la depredación, los sobrevuelos poco frecuentes no pueden ser considerados en sí mismos como perjudiciales. Sin embargo, los vuelos muy frecuentes durante un largo período de tiempo pueden causar efectos nocivos. Las consecuencias de esta perturbación son acumulativas pero no aditivas. Puede ser que la perturbación debido a las aeronaves no cause efectos evidentes ni graves sobre la salud, pero si se suma a un invierno riguroso, puede tener impactos adversos. La investigación ha demostrado que los trastornos de estrés a largo plazo producen disminución del metabolismo y desequilibrios del balance hormonal en ungulados silvestres.

Las respuestas de comportamiento pueden variar de leves a severas. Respuestas leves incluyen movimientos de cabeza, desplazamiento del cuerpo, o girar para orientarse hacia el avión. Respuestas moderadas pueden ser comportamientos nerviosos, como trotar una distancia corta. La reacción de escape es la típica respuesta severa. Tanto correr como los comportamientos de evitación incrementan el gasto de energía. Para un animal de 90 kg, el gasto calculado debido al

hostigamiento del avión es de 20 kcal/minuto al caminar y superior al correr. En condiciones favorables, este gasto puede ser contrarrestado con un aumento de la alimentación, pero en épocas en que el alimento escasea, como en invierno, esto puede no ser posible.

Las respuestas más comunes incluyen "sobresalto", "susto" y, en última instancia, la habituación. Se ha informado de que la intensidad y duración de las respuestas de sobresalto disminuyen con la cantidad y frecuencia de las exposiciones, lo que sugiere que no se esperan efectos adversos en el largo plazo. La mayoría de la literatura sugiere que los animales domésticos y de granja se habitúan al ruido de los aviones a reacción y estampidos sónicos cuando la exposición ocurre en forma reiterada. Lobos, osos polares y osos pardos también son afectados por el ruido de sobrevuelo. Observaciones incidentales de lobos y osos expuestos a ruido de aeronaves de ala fija y helicópteros sugieren que los lobos son menos perturbados que los ungulados silvestres; los osos pardos mostraron la respuesta más intensa entre las especies que se han observado (Sayre *et al.*, 2002).

Según Brouček (2014), las reacciones de caribúes (*Rangifer tarandus*) ante el sonido producido por el sobrevuelo de aeronaves son de aumento de la actividad, como correr y reacciones de pánico cuando los sobrevuelos fueron a una altitud de 200 pies o menos. Las reacciones disminuyeron con el aumento de altitud de sobrevuelo, y a más de 500 pies de altitud, las reacciones de pánico cesaron. Además, grupos más pequeños reaccionaron con menos fuerza que los grupos más numerosos. Efectos similares de ruido de los aviones se han encontrado en ovejas de montaña (Bleich *et al.* 1994 citados por Brown, c.2008; Weisenberger *et al.* 1996 citados por Sayre *et al.*, 2002).

Varias revisiones mencionan respuestas variadas de los caballos ante sobrevuelos de aeronaves a baja altura. Gladwin *et al.* (1988 citados por Sayre *et al.*, 2002) indican que los caballos galoparon en respuesta al pasaje de un avión. Manci *et al.* (1988) reportan movimientos al azar, patadas y el comportamiento de morder. Sin embargo, no se produjeron lesiones ni abortos. La evidencia sugiere que las yeguas se adaptaron al pasaje de los aviones en el transcurso de un mes aproximadamente. Hubo algunos indicios de que la habituación a estos tipos de perturbaciones se estaba produciendo. Aunque los caballos notaban los sobrevuelos, no pareció afectar ninguna de sus funciones de supervivencia ni el éxito reproductivo.

LeBlanc *et al.* (1991 citados por F-35A EIS, 2015) estudiaron los efectos del ruido de aviones a reacción F-14 en yeguas preñadas. Se centraron específicamente en posibles cambios en el éxito del embarazo, el comportamiento, la función cardíaca, la producción hormonal y la tasa de habituación. Sus hallazgos reportaron observaciones de reacciones de susto, lo que provocó aumentos en la frecuencia cardíaca y las concentraciones de cortisol sérico. Las yeguas, sin embargo, se habituaron al ruido. Los niveles de ansiedad y los movimientos masivos del cuerpo fueron máximos después de la exposición inicial, con intensidades de respuesta que fueron disminuyendo con el correr de los días. No hubo diferencias en el éxito del embarazo en comparación con un grupo de control.

Cuando se estudia la respuesta de las cabras al sobrevuelo de un helicóptero, se observa que el comportamiento de alerta ocurre cuando el helicóptero está directamente sobre la cabeza de las cabras y la respuesta de alerta disminuyó exponencialmente con la distancia horizontal desde el helicóptero. La distancia que corrieron las cabras se redujo drásticamente cuando el helicóptero

estaba a más de 150 m de distancia. Las cabras se vieron bastante desorientadas y huyeron a una distancia de hasta 1500 m en respuesta al sobrevuelo del helicóptero. Pese a ello, Tracey y Fleming (2007, citados por Van der Staay *et al.*, 2011) encontraron que los vuelos de helicópteros no hicieron que las madres abandonaran a sus crías, ni afectaron negativamente su bienestar inmediato ni a largo plazo.

Van der Staay *et al.* (2011) investigaron las reacciones de estrés fisiológicas y de comportamiento de cinco cabras lecheras (alojadas individualmente) a diferentes estímulos acústicos y visuales bajo condiciones ambientales controladas (bajo techo). Los estímulos eran animaciones de un helicóptero, de un tractor y combinaciones de ambos, proyectadas en una gran pantalla frente a los recintos de las cabras. Reaccionaron con estado de alerta a los estímulos visuales y/o acústicos que se les presentaron en su habitación. Levantaron la cabeza y volvieron sus orejas hacia adelante en la dirección de los estímulos. Sin embargo, no se observaron respuestas de estrés fisiológico ni de comportamiento durante el paso elevado de un Chinook a 50 m, que produce un ruido de pico de unos 110 dB. No hubo aumento estadísticamente significativo de la velocidad media de movimiento de las cabras en su recinto ni ningún aumento de la duración de movimiento durante la presentación de los estímulos. Tampoco hubo aumento en la frecuencia cardíaca ni la concentración de cortisol salival durante los ensayos. En el último día del estudio las cabras fueron expuestas a dos pasajes de un helicóptero Chinook a 50 m y 75 m de altura, mientras que pastaban en un pastizal. En todos los casos se registró el cortisol salival, el comportamiento y la frecuencia cardíaca de las cabras antes, durante y después de las presentaciones del estímulo.

La producción de leche en vacas lecheras no se vio afectada por el ruido de aviones sónicos. En un estudio realizado por Head *et al.* (1993), las vacas expuestas a ruido de sobrevuelo de aviones a baja altura registrados justo antes del ordeño no mostraron conductas aversivas ni disminución de la productividad, durante un período de 21 días. Los helicópteros causaron peor reacción que sobrevuelos bajos de otros aviones. Sin embargo, los helicópteros entre 9 a 18 m de altura no afectaron la producción de leche ni las tasas de aborto de vacas y novillas (F-35A EIS, 2015; Sayre *et al.*, 2002).

5.3.2 Efectos sobre mamíferos marinos

La respuesta al sobrevuelo de aviones depende de las diferentes especies, poblaciones y grupos dentro de una población en función de la edad, el sexo, y la hora del día (Myrberg, 1978). Las focas (*Phoca vitulina*) son más propensas a sobresaltarse que los elefantes marinos del norte (*Mirounga angustirostris*). Las ballenas grises y las marsopas no exteriorizaron respuestas de comportamiento ante el ruido de aviones o sobrevuelos (Wyle, S/A). Tampoco evidenciaron respuestas al ruido de una aeronave, excepto cuando la sombra pasó sobre ellos y mostraron cierta tendencia a bucear (Richardson *et al.* 1995 citados por Hastings y Popper, 2005). Como los manatíes pasan la mayor parte de su tiempo debajo de la superficie y no se asustan fácilmente, no se esperarían efectos adversos por el sobrevuelo de aeronaves sobre ellos (Wyle, S/A).

La sensibilidad auditiva de los mamíferos marinos podría reducirse luego de explosiones o estampidos sónicos. En estudios experimentales con explosiones realizadas con un cañón de carburo para control de plagas, que generó 145 dBA (147 dBZ) a 5 m y 116 dBA (126 dBZ) a 50 m, el 74 % de los elefantes marinos machos reaccionaron con comportamiento de alerta pero sólo el

65 % de las hembras lo hizo y el 26 % de los cachorros. Los animales regresaron a sus actividades normales a los pocos minutos, sin evidenciar habituación al sonido o incremento de movimientos o comportamientos en respuesta a amenazas. Sin embargo cuando el ruido fue producido por la presencia de personas, la reacción de alerta fue más prolongada; el 70 % de los machos huyó hacia la rompiente. En época reproductiva, entre el 60 % y el 95 % de las hembras estaba alerta por más tiempo y se trasladó a menos de 1 m de sus crías.

Los estudios de Davis *et al.* (2000, citados por Wyle, S/A) indican que hay delfines a lo largo de todo el espacio aéreo de la marina de Eglin y Tyndall, de donde deducen que el ruido de los aviones no desalienta el uso de la zona por parte de los delfines ni tampoco los perjudica. Los delfines reaccionaron ante el sobrevuelo de helicópteros a entre 350 m y 550 m de altura sobre el agua.

5.3.3 Efectos sobre aves

Manci *et al.* (1988) indican que las aves son más sensibles al ruido de aviones que los mamíferos. Según Dooling (1978 citado por F-35A EIS, 2015), sin embargo, dentro de la gama de 1.000 a 5.000 Hz, las aves muestran un nivel de sensibilidad similar a la de los mamíferos de audición más sensible. Pero a diferencia de los mamíferos, la sensibilidad de las aves decae más rápidamente hacia las frecuencias más altas y más bajas.

Observaciones pasivas y estudios que examinan impactos de aves contra aeronaves indican que el ruido de los aviones en las proximidades de los aeropuertos comerciales aparentemente no inhibe la presencia de aves ni el uso de las áreas próximas a ellos para nidificación ni para forrajeo.

Eventos de alto ruido (como el sobrevuelo de aviones a baja altura) pueden hacer que las aves presenten comportamientos de escape o evitación, tales como abandonar perchas o nidos (Ellis *et al.* 1991 citados por F-35A EIS, 2015). Estas actividades imponen un costo energético que, a largo plazo, puede afectar su crecimiento o supervivencia. Además, las aves pueden dedicar menos tiempo a actividades como la alimentación o el cuidado de sus crías, ya que deben dedicar mucho tiempo a la evitación del ruido.

Se observó que las aves canoras quedaron en silencio antes de la ocurrencia de un estampido sónico (aviones F-111) seguido de "gritos discordantes estridentes". Diez segundos después de la explosión retornó el canto normal (Manci *et al.*, 1988). Los cuervos respondieron mediante la emisión de llamadas de protesta, batiendo sus alas y elevándose mucho sobre el suelo. Manci *et al.* (1988), reportaron una disminución de la fertilidad en algunos pequeños paseriformes territoriales (esto es, aves que se posan o pájaros) después de la exposición a sobrevuelos a baja altura. Sin embargo, se ha observado que los paseriformes no se alejan a gran distancia de una fuente de alimento debido a una perturbación inespecífica como el sobrevuelo de aeronaves (U.S. Forest Service 1992 citado por Wyle, S/A).

El pájaro carpintero de copete rojo se aclimata con éxito a eventos de ruido militar (artillería, armas pequeñas, helicópteros y maniobras). Cuando el ruido era muy fuerte, las aves salieron de sus nidos pero regresaron a ellos dentro de un período relativamente corto de tiempo (por lo general dentro de los 12 minutos). Cuando la distancia a la fuente era de más de 122 m o cuando

el nivel de ruido no superaba un SEL de 70 dBA, las aves no se levantaron de sus nidos. Además, la exposición al ruido no se tradujo en una mortalidad o cambios estadísticamente detectables en el éxito reproductivo (Wyle S/A).

Según reportan Lynch y Speake (1978 citado por Wyle, S/A), las crías del pavo salvaje del este (*Meleagris gallopavo silvestris*) reaccionaron a estampidos sónicos (reales y simulados) con levantamiento rápido de la cabeza y aparente estado de alerta durante entre 10 y 20 segundos. No hubo daños a los nidos como consecuencia de estampidos sónicos. En otras simulaciones a las que se expuso a 21 nidadas, en la mayoría de los casos los pollos quedaron inmóviles luego de la explosión inicial. Después las pavas y pollos corrieron entre 4 m y 8 m para alcanzar el borde del bosque. Los pollos siguieron comiendo en tanto las pavas permanecieron alerta por un corto período de tiempo (aproximadamente 15 a 20 segundos). Cada grupo de observación regresó a sus actividades normales en un plazo máximo de 30 segundos después de una explosión. En ningún caso hubo pollos abandonados o que se dispersaran y extraviaran.

Manci *et al.* (1988) encontraron que la mayoría de las aves rapaces no mostraron una respuesta negativa a los sobrevuelos. Las respuestas negativas se asociaron principalmente a aviones de hélice y a reacción que pasaban reiteradamente a menos de 800 m de un nido.

Anderson *et al.* (1989) investigaron los efectos de los sobrevuelos a baja altura de helicóptero sobre 35 nidos de halcón de cola roja. Algunos de los nidos no habían sido sobrevolados antes del estudio. Los halcones sin exposición previa a vuelos de helicópteros exhibieron un fuerte comportamiento de evitación.

Ellis *et al.* (1991 citados por F-35A EIS, 2015) describen las reacciones a sobrevuelos de nivel medio y bajo y a estampidos sónicos de gran amplitud en ocho aves rapaces (halcón peregrino, halcón negro común, halcón de Harris, halcón de zona de cola, halcón de cola roja, águila real, halcón de la pradera, águila calva). Los sobrevuelos a una distancia de 150 metros o menos produjeron pocas respuestas significativas. No hubo respuestas severas. Las respuestas típicas fueron agacharse y, muy raramente, salir del sitio en que están posados. Las respuestas significativas fueron más evidentes antes de la puesta de huevos y después de que las crías han crecido. Los adultos que estaban incubando no rompieron los nidos, no rompieron los huevos ni lastimaron a los pichones. Podría haber habido un efecto previo de acostumbamiento, debido a la proximidad de un sitio militar. Las respuestas a largo plazo, evaluados en función del éxito reproductivo un año después, mostraron que las tasas de productividad y recuperación de los nidos estaban dentro o por encima de los valores esperados para poblaciones autosostenibles. En línea con esos resultados, varios estudios sobre aves rapaces nidificantes indican que las aves se acostumbran a los sobrevuelos de aeronaves y que el éxito reproductivo a largo plazo no se ve afectado (F-35A EIS, 2015).

Manci *et al.* (1988) informan que las aves migratorias acuáticas fueron particularmente perturbadas por el ruido de aviones. Los más sensibles parecían ser los gansos de la nieve. Éstos y los gansos de Canadá parecieron ser más sensibles que otros animales, como buitres, coyotes y aves rapaces. Los gansos abandonan sus nidos cuando los aviones están a menos de 300 m (1.000 pies), en comparación con mayores alturas de vuelo. Se observó una reducción general de los tamaños de las bandadas, por lo que se recomendó reducir el vuelo de aviones en las proximidades de las zonas de paradas premigratorias.

Los niveles de ruido umbral de respuestas significativas oscilan entre 62 dB para la barnacla carinegra del Pacífico (*Branta bernicla nigricans*) (Ward y Stehn 1990 citado por F-35A EIS, 2015) a 85 dB para la golondrina de mar con cresta (*Sterna bergii*) (Brown 1990 citado por Dooling y Popper, 2007).

Burger (1986, citado por Mancini *et al.*, 1988) estudió la respuesta de migración de aves playeras ante perturbaciones humanas y encontró que las aves no volaban en respuesta a los sobrevuelos de aeronaves aunque podía abandonar sus nidos en respuesta a intrusiones más localizadas como presencia de personas o perros en la playa. El mismo autor estudió los efectos del ruido del aeropuerto JFK de Nueva York sobre gaviotas que anidaron menos de 1 kilómetro del aeropuerto, con niveles sonoros de entre 85 a 100 dBA en acercamiento y 94 a 105 dBA en el despegue. En general, no parecía haber ningún efecto adverso prominente de las aeronaves subsónicas sobre la anidación, aunque algunas aves abandonaron sus nidos cuando el Concorde voló por encima de ellas y, cuando volvieron, exhibieron un comportamiento agresivo. Grupos de gaviotas que descansaban en la zona se mantuvieron en donde estaban cuando el Concorde voló por encima de ellas, aunque muchas volaron, giraron, dieron una vuelta alrededor y aterrizaron en seguida para seguir descansando con su bandada (US Air Force 2000 citado por Wyle, S/A). Las gaviotas próximas a una colonia de aves zancudas en otro estudio se mantuvieron en donde estaban posadas cuando hubo sobrevuelo de aeronaves subsónicas por encima de ellas (Burger 1981, citado por Mancini *et al.*, 1988).

Book y Bradley (1990 citados por Brouček, 2014) reportaron un mayor pánico y agresividad en pavos como respuesta a una grabación de ruido de sobrevuelo de aeronaves. Un estudio con pavos realizado por Bowles *et al.* (1990 citados por Head *et al.*, 1993), trabajó sobre las diferencias entre ruido real y grabado de sobrevuelo de aviones. Los resultados sugieren que los pavos se habitúan al ruido de forma rápida y no se observaron diferencias de crecimiento entre los grupos experimentales y de control, aunque hubo una mayor dificultad para el manejo de los individuos.

Un estudio sobre patos negros americanos en cautiverio determinó que el ruido tenía efectos energéticos y fisiológicos insignificantes sobre las aves adultas. Los experimentos mostraron que los patos adultos se aclimataron rápidamente al ruido. No hubo efectos sobre la formación de parejas, anidación, la producción de huevos, y el éxito de eclosión. Sin embargo, las crías tuvieron un crecimiento menor y también tasas de supervivencia más bajas que una población de control. Otro estudio mostró que el tiempo de acostumbramiento de los patos a ruido de 80 dBA fue de 17 días, en los que la respuesta se redujo del 38 % al 6 % de las aves y permaneció estable en este valor. En el mismo estudio, el pato de la Florida no pareció habituarse al ruido del avión, evidenciando una vez más la respuesta al ruido es propia de cada especie (F-35A EIS, 2015).

Según Oh *et al.* (2011 citados por Brouček, 2014), los pollos de engorde expuestos al ruido de aviones de 110 dB durante 5 minutos cada 20 minutos cada día y cada tres noches durante nueve semanas desde el nacimiento, no mostraron diferencias en el crecimiento en comparación con un grupo de control. Cabe mencionar que actualmente la Unión Europea tiene normativa que regula los niveles sonoros a los que pueden exponerse las aves de corral durante su vida productiva.

Los sobrevuelos de aviones militares F-16 no afectaron la actividad reproductiva de colonias de aves (garceta grande, garceta blanca, garza tricolor y garza azul pequeña). Otro estudio mostró que, ante el sobrevuelo de aviones a entre 60 m y 120 m (195 a 390 pies) el 90 % de las aves zancudas o no reacciona o sólo mira hacia la fuente de ruido; el 2 % que vuela del nido regresa a él dentro de los 5 minutos. Al parecer, las aves zancudas no nidificantes tuvieron una incidencia ligeramente mayor de reaccionar ante los sobrevuelos que las aves nidificantes (Wyle, S/A).

Las especies que son objeto de sobrevuelos poco frecuentes no parecen habituarse a esa perturbación tan fácilmente.

5.4 Aerogeneradores

La bibliografía reporta estudios contradictorios y no siempre se desglosan los efectos debidos a la exposición a ruido de otros debidos a otros factores.

Según estudios realizados en Dinamarca y Holanda los animales se ven afectados por el ruido de aerogeneradores y manifiestan síndromes de estrés, insomnio y nerviosismo, que tienen como consecuencia una merma en la producción y un mayor número de abortos. Los estudios daneses indican que la contaminación sonora genera desorientación en los animales domésticos y silvestres, neurosis y estrés en el ganado, que afectan directamente a la calidad de la carne y la leche. Como consecuencia los animales envejecen antes y producen menos, a edades en las que deberían dar altos rendimientos. En Makara, Nueva Zelanda, parece comprobarse que el ruido de aerogeneradores ubicados a 1000 metros de los corrales de las ovejas causa angustia a los animales.

En relación al ruido de baja frecuencia, Castelo Branco *et al.* (2010) reporta que, luego de la puesta en funcionamiento de 4 aerogeneradores instalados a entre 300 m y 700 m de distancia de la zona en estudio, nacieron 4 caballos lusitanos con deformidades en las extremidades. Al analizar el tejido de los tendones de los animales, se obtuvieron como resultado respuestas biológicas clásicas de la exposición a ruido de baja frecuencia: engrosamiento de las paredes de los vasos sanguíneos debido a la proliferación de colágeno. Cabe indicar que en ese mismo establecimiento habían nacido en los 6 años anteriores a la puesta en funcionamiento de los aerogeneradores un total de 13 caballos saludables.

5.4.1 Efectos sobre las aves

Existe un gran número de estudios acerca del impacto de parques eólicos sobre la fauna, los cuales señalan a las aves entre los animales más afectados. Entre los efectos principales, se menciona: riesgo de colisión, molestias y desplazamiento, efecto barrera y destrucción del hábitat. No todas las especies presentan el mismo tipo de respuesta. Las que tienen sentido de la audición más agudo, como las aves rapaces diurnas y las cazadoras nocturnas, acusan menos colisiones que, por ejemplo, los paseriformes.

Los efectos directos de los parques eólicos sobre la avifauna se refieren principalmente a *colisiones* o alteraciones bruscas del vuelo debido al movimiento de las palas de los rotores. El nivel de riesgo es generalmente proporcional a la velocidad de giro del rotor (velocidad angular).

Las colisiones ocurren cuando los animales chocan contra alguna parte del aerogenerador (palas o torre), lo que por lo general causa su muerte. Es uno de los efectos más “visibles”. La Academia Nacional de Ciencias de USA estimó en 2006 que la energía eólica es responsable de menos del 0,003 % (3 cada 100.000) de las muertes de aves provocadas por los seres humanos y animales domésticos (AWEA, 2011).

Revisten una especial importancia cuando se trata de especies amenazadas por la escasez de sus poblaciones como es el caso de las grandes rapaces o aves en vuelo migratorio. Aunque por lo general los estudios se centran en los efectos de los aerogeneradores en las grandes rapaces se ha demostrado que un 78 % de las aves muertas en Estados Unidos fueron paseriformes protegidos (Erickson et al., 2001). Las víctimas mortales más comunes en cuanto a número de especies de aves son los paseriformes de migración nocturna, especialmente durante las migraciones de primavera y otoño. La NWCC (2010) asigna a estas aves el 75 % de las muertes por colisión.

Se puede encontrar en la bibliografía valores muy diversos a propósito de tasas de mortalidad. Según varios autores las tasas de mortalidad de aves en la zona de parques eólicos son mayores que fuera de ellos, aunque menores que las de murciélagos. No es esperable que las tasas de mortalidad referidas estén produciendo riesgos de preservación para ninguna especie. Las tasas de mortalidad de aves reportadas oscilan en general entre 0,08 y 7 aves por MW instalado, a menos de valores atípicos que han podido ser explicados. El 65 % de las aves muertas fueron aves de pequeño porte (paseriformes), con mayoría de alondras; las aves de rapiña representaron el 8 % y las aves de caza serranas, el 7 %. Las tasas de mortalidad tienen picos en otoño y primavera para los paseriformes, en tanto para las aves de mayor porte el pico ocurre entre fines de verano y comienzos de otoño.

La habilidad de los individuos para esquivar el rotor en movimiento está relacionada con las características de su audición (rango audible, frecuencias de máxima sensibilidad y umbral auditivo). Dooling (2002) consideró la posibilidad de que el ruido generado por las turbinas eólicas pudiera servir a las aves para detectar a tiempo y evitar las turbinas, pero llegó a la conclusión de que, si bien es posible, al acercarse a un aerogenerador, especialmente bajo condiciones de vientos fuertes, las aves pierden la capacidad de ver las palas antes de que estén lo suficientemente cerca para oírlas.

En la Figura 5-4 puede verse a qué distancias puede ser detectado por las aves el ruido de un aerogenerador. El ruido de fondo considerado es el del viento. En el caso de un aerogenerador de eje vertical (gráfico a la izquierda), si el nivel de ruido de fondo ocasionado por el viento es de 70 dBA, un ave puede detectar el funcionamiento de la máquina a una distancia de aproximadamente 25 m. En cambio, para detectar el silbido ocasionado por el pasaje de la pala debería estar a 15 m.

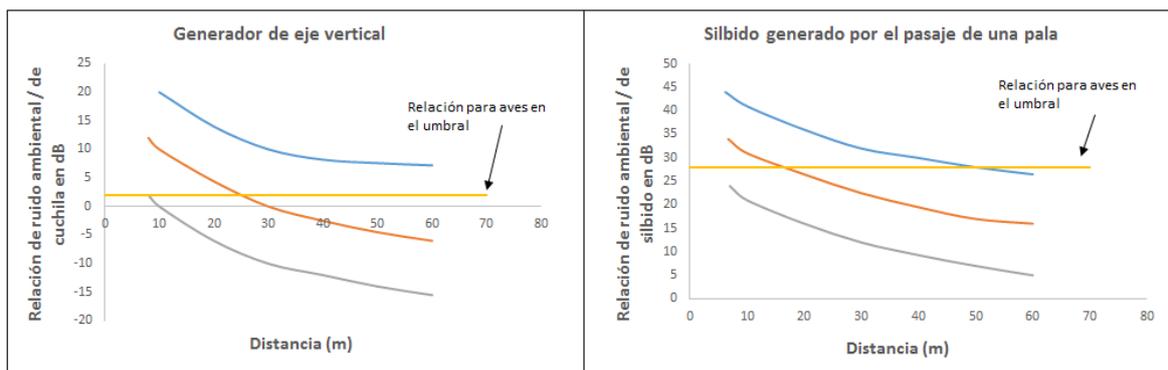


Figura 5-3. Distancias a las que un ave podría detectar el ruido de un aerogenerador. Izquierda: generador de eje vertical. Derecha: silbido generado por el pasaje de una pala. (Redibujado de Dooling, 2002).

Sin embargo, un estudio realizado con radar en Tjaereborg, en el oeste de Dinamarca, donde hay instalada una turbina de 2 MW con un rotor de 60 m de diámetro, mostró que las aves tienden a cambiar su ruta de vuelo entre 100 m y 200 m antes de la turbina, y pasan por arriba o por el costado, a una distancia segura. Este comportamiento ha sido observado en forma consistente de día y de noche.

Hay indicios que sugieren que la mortalidad de aves en los parques eólicos se correlaciona positivamente con la densidad de aves (Everaert, 2003). La abundancia parece ser el mejor parámetro para predecir la probabilidad de fatalidades para aves rapaces en parques eólicos.

La mayoría de los estudios sugieren que las instalaciones eólicas tienen poco impacto en la anidación de aves (Howell y Noone 1992, Johnson et al., 2000b, 2003). El único informe que reporta comportamientos de evitación de instalaciones eólicas por parte de aves rapaces se refiere al parque eólico de Buffalo Ridge, Minnesota, donde la densidad de nidos de rapaces en 261 km² de tierra que rodean la instalación fue de 5,94/100 km², pero no se encontraron nidos presentes en los 32 km² que cubre la instalación pese a que el hábitat fue similar (Usgaard et al. 1997).

El área de influencia de las turbinas de viento sobre las aves de pastizal es del orden de 100 m. Para paseriformes de pradera el radio de influencia en cuanto a anidación parece ser bastante menor. La alondra cornuda (*Eremophila alpestris*) parece el menos afectado; hay algún indicio de desplazamiento de gorriones chicharra (*Ammodramus savannarum*). Kerlinger (2000, en NWCC 2010) informó que los pájaros cantores de pradera aumentaron en abundancia dentro de una instalación eólica en años después de la construcción, lo que sugiere la habituación, pero no hay suficiente evidencia empírica actualmente para apoyar la hipótesis de la habituación.

Muchas aves evitan anidar cerca de instalaciones ruidosas de cualquier naturaleza. En estudios realizados en diferentes lugares se muestra una tendencia a anidar a cierta distancia de los parques eólicos. En varios estudios se reporta que una mayoría de especies acusa una cierta “distancia de evitación” para construir sus nidos. Estas distancias suelen situarse entre 500 m y 800 m de las instalaciones, y se han reportado reducciones en las poblaciones de entre 38 % y 53 %. Se reportan casos en que el decaimiento y el alejamiento del sitio original han sido suficientemente grandes como para que una especie desapareciera de su hábitat original; esto ocurrió, por ejemplo, en Austria con una población de gallos lira.

Un estudio publicado por Leddy *et al.* (1999) acerca de aves nidificantes de pastizales en Minnesota, mostraba una presencia notoriamente más alta de estas aves dentro de los primeros 180 m desde las turbinas en relación a áreas similares en las que no había aerogeneradores. La cuantificación se realizó en base a transectas cada 40 m.

Otro estudio dirigido al seguimiento de chorlitos de la montaña desde el comienzo de la operación de un parque eólico, mostró que al comenzar la operación del parque, el nido más próximo se encontró a 337 m del parque eólico. Al año siguiente (2002) también se halló un único nido, esta vez a 63 m. Pero en 2003 ya aparecieron 5 nidos, en radios de entre 79 m y 195 m, y el número de nidos fue incrementándose a la vez que las distancias al parque se iban reduciendo año a año. Algo similar se verificó en estudios sobre urogallos.

Los niveles de evitación de las turbinas eólicas sugieren que la densidad de aves nidificantes se puede reducir entre un 15 % y un 53 % en un radio de amortiguación de 500 m. Pearce-Higgins *et al.* (2009) realizan un estudio comparativo de la distribución de aves nidificantes en el área de influencia de 12 parques eólicos en Gran Bretaña, durante la temporada reproductiva. De las 12 especies consideradas, 7 mostraron frecuencias de ocurrencia significativamente más bajas cerca de los aerogeneradores; ninguna resultó más propensa a ocurrir cerca de ellos. Las especies que aparecieron como más afectadas fueron el ratonero común *Buteo buteo*, el aguilucho pálido *Circus cyaneus*, el chorlito dorado *Pluvialis apricaria*, la agachadiza común *Gallinago gallinago*, el zarapito real *Numenius arquata* y la collalba gris *Oenanthe oenanthe*.

5.4.2 Efectos sobre quirópteros

Posiblemente los quirópteros constituyen el grupo más afectado por el funcionamiento de los aerogeneradores. De hecho, basándose en las características ecológicas y en los resultados de los seguimientos de parques eólicos, el grupo de expertos europeo Eurobats considera que 21 de las 35 especies de murciélagos presentes en Europa pueden verse afectadas significativamente por los parques eólicos. El pico de víctimas mortales ocurre a finales de verano y principios de otoño, coincidiendo con la migración de muchas especies, y además se produce un pico secundario de muertes de algunas especies en algunas instalaciones durante la migración de primavera. En una posición extrema y opuesta, Galán (2006) relativiza fuertemente las posibles afectaciones adversas del ruido de aerogeneradores sobre poblaciones de murciélagos y afirma:

“...una simple pareja de lechuzas en el área puede suponer un impacto comparativo 100 veces mayor que el representado por los aerogeneradores del parque eólico.”

Los datos cuantitativos disponibles no son ni abundantes ni coincidentes. En parques eólicos en los que se han utilizado metodologías que se consideran adecuadas para detectar las colisiones con los murciélagos, se ha estimado su mortalidad entre 6,3 y 99 murciélagos por aerogenerador y por año, lo que supone un impacto de mayor magnitud que en el caso de las aves.

Strickland *et al.* (2011) mencionan que en 54 de 66 estudios se reportan datos de menos de 10/MW/periodo de estudio, con valores que van desde 0,07/MW/periodo de estudio a 39,7/MW/periodo de estudio. También referencian una revisión de 21 estudios de 19 instalaciones de energía eólica realizada por Arnett *et al.* (2005), en donde los autores reportan las tasas de muerte de murciélagos más altas en las instalaciones de energía eólica situadas en las

crestas boscosas en el este de Estados Unidos (14,9 a 53,3/MW/período de estudio) y las más bajas en las regiones de las Montañas Rocosas y del Noroeste del Pacífico (0,8 - 2.5/MW/período de estudio). Además, mencionan que las instalaciones construidas en los paisajes agrícolas también podrían dar lugar a tasas relativamente altas de mortalidad de murciélagos.

Se maneja un conjunto de 12 hipótesis acerca de las causas de muerte de murciélagos en parques eólicos (Strickland *et al.*, 2011). Ninguna de ellas ha sido probada completamente ni se considera exclusiva ni excluyente de las demás. Son las siguientes:

- Hipótesis de corredor lineal: Los parques eólicos situados sobre cimas boscosas crean claros que forman paisajes lineales. Los murciélagos usan con frecuencia estos paisajes lineales durante la migración para descansar y para la búsqueda de alimento. Incluso pueden evaluar estas zonas como posibles sitios de apareamiento. En contrapartida, cuando los aerogeneradores se ubican en las cimas de crestas deforestadas y ventosas, como las preferidas precisamente por ello para obtener energía eólica y que son lugares extraordinariamente pobres en insectos voladores nocturnos, son lugares muy poco atractivos para los murciélagos.
- Hipótesis de atracción por lugares de perchas: Los murciélagos habitualmente, buscan refugios en los árboles altos y, por tanto, si las turbinas eólicas son percibidos como refugios potenciales. Por lo tanto, su presencia podría incrementar los riesgos de mortalidad de murciélagos que buscan dormitorios para la noche o durante las escalas migratorias.
- Hipótesis de atracción del paisaje: Las modificaciones del paisaje que se deben realizar para instalar de un parque eólico, como la construcción de corredores y clareos en torno al sitio de cada turbina crean condiciones favorables para los insectos y en consecuencia para los murciélagos insectívoros. Tanto las poblaciones residentes como las migrantes pueden verse igualmente atraídos por estas áreas para alimentarse.
- Hipótesis de baja velocidad del viento: Durante los períodos de baja velocidad del viento, las muertes de murciélagos aumentan porque los insectos aéreos son más activos
- Hipótesis de atracción de insectos: Todas las características del hábitat que constituyen biotopos atractivos para la proliferación de insectos son utilizadas por las diversas especies de murciélagos. Puede decirse en general que los quirópteros realizan sus actividades de campeo y caza a muy baja altura, a menudo en estrecho contacto con las superficies topográficas que revisan. Las especies insectívoras tienen un consumo de insectos muy elevado, que alcanza por día hasta el 30 % a 38 % de su peso corporal (unos 10 gramos de insectos para un murciélago de 30 gramos aproximados de peso, diariamente). Las especies antropófilas cazan sobre todo en las aglomeraciones urbanas, granjas, jardines, por encima de los depósitos de basura, caminos y con gran regularidad en torno a las lámparas de los postes de luz que atraen lepidópteros nocturnos y múltiples insectos. Los murciélagos siguen frecuentemente los arroyos y ríos a lo largo del fondo de los valles, donde aprovechan para beber. En efecto, por sus requerimientos energéticos los quirópteros tienen necesidad de beber agua con frecuencia. Antes de la caza propiamente dicha y a lo largo de su actividad nocturna, los murciélagos acuden repetidas veces a tomar agua, por lo que frecuentan zonas bajas y húmedas, donde además son muy abundantes los insectos. Los insectos voladores son

también atraídos por el calor producido por las góndolas de los aerogeneradores y la concentración de insectos atrae a los murciélagos.

- Hipótesis de atracción visual: Los murciélagos y sus presas pueden verse atraídos por la iluminación de seguridad que se instala en las turbinas eólicas como requisito de la Administración Federal de Aviación (FAA). La iluminación que se recomienda en la actualidad no aumenta el riesgo de colisión para murciélagos ni para pájaros cantores migratorios. Son luces estroboscópicas (o similar) rojas que producen destellos momentáneos intercalados con períodos oscuros de hasta 3 segundos de duración; las instalaciones comerciales pueden iluminar sólo parte de las torres (por ejemplo, una de cada cinco o sea el 20 % del total de turbinas) y todas las luces deben encenderse en forma sincrónica.
- Hipótesis de atracción acústica: Los murciélagos pueden ser atraídos por sonidos audibles y/o ultrasonidos producidos por los aerogeneradores. Los sonidos producidos por el generador y los sonidos silbantes de la rotación de las paletas pueden atraer a los murciélagos.
- Hipótesis de fracaso de la ecolocalización: Los murciélagos podrían no detectar las turbinas de viento por ecolocalización, o calcular mal la velocidad del rotor. Si los murciélagos no logran detectar a tiempo el rotor en movimiento, pueden golpearse y morir en consecuencia.
- Hipótesis de distorsión del campo electromagnético: Si los murciélagos tienen receptores sensibles a los campos magnéticos y las turbinas eólicas producen campos electromagnéticos complejos, en la proximidad de la góndola el vuelo de esos animales puede ser alterado por tales campos y favorecer una colisión mortal contra el rotor en movimiento.
- Hipótesis de descompresión o barotrauma: Los murciélagos volando en las cercanías de los aerogeneradores pueden sufrir una rápida descompresión que puede causarles lesiones internas fatales, por ejemplo al expandirse violentamente los pulmones a causa de la subpresión en la succión de la turbina.
- Hipótesis de la inversión térmica: El efecto más probable de la inversión térmica es la creación de una densa niebla en los valles fríos, posiblemente con alta concentración tanto de murciélagos como de insectos en las crestas. Esto puede alentar a los primeros a alimentarse en las zonas altas o simplemente motivarlos a dirigirse hacia allí para evitar la niebla y respirar aire fresco.
- Hipótesis del sitio de apareamiento: Para los murciélagos machos, las turbinas aparecen como grandes árboles que los motivan a posarse allí, con la esperanza de que también las hembras se sientan atraídas por esas perchas.

La hipótesis de las colisiones aleatorias incrementadas por el rotor en movimiento no resulta creíble, dado que los quirópteros muestran una excelente capacidad de detección, maniobrabilidad en vuelo, detallada memoria de accidentes topográficos y características de uso del espacio durante sus actividades de campeo y alimentación, por lo que puedan detectar (y evitar) con gran facilidad estructuras como los aerogeneradores, y una vez constatada su presencia en un área es muy improbable que estos animales olviden o confundan una referencia de esa magnitud situada en un punto fijo.

5.5 Establecimientos de cría, ordeño y faena de ganado

Todos los tipos de ganado reaccionan negativamente al sonido de gritos de gente. Entre las medidas que se suelen sugerir para mejorar el manejo de animales, suele indicarse trabajar preferiblemente en silencio o por lo menos evitar gritos, silbidos, ruidos y sonidos agudos (Grandin, 1989).

Los vacunos son herbívoros de manada, como los caballos, pero también son animales de presa. Por eso, al igual que otros ungulados, se asusta ante novedades que se le presentan en forma inesperada. El miedo los mueve a estar permanentemente vigilantes para escapar de los predadores. El miedo es un importante factor de estrés que puede elevar los niveles de algunas hormonas mucho más que otros factores físicos adversos.

El umbral de ruido que se espera cause alguna respuesta de comportamiento en el ganado es de entre 85 dB y 90 dB (Manci *et al.*, 1988). Ruidos de intensidad mayor provocan respuestas de escape, inmovilidad o fuerte sobresalto (Brouček, 2014). A mayores niveles sonoros, mayores resultan las conductas de escape, en consonancia con una reacción de miedo. Se ha verificado también la preferencia por zonas menos ruidosas a través de la experimentación en laberintos.

Según indica Grandin (2000), los animales de pastoreo son muy sensibles a los sonidos de alta frecuencia. La emisión de sonidos en la frecuencia de 2000 Hz sobre ruido de 75 dB, 85 dB y 95 dB contribuyó a reducir el apetito de los animales (Cwynar y Kolacz, 2011 citados por Brouček, 2014). Posiblemente en esta respuesta estén involucrados el sistema nervioso y el neuroendócrino.

Los terneros son sensibles a los ultrasonidos. Cuando el transmisor de ultrasonidos se conectó a una distancia de 1 m, los terneros se levantaron y se orientaron hacia la fuente de sonido. Después de 30 s, todos los terneros tenían sus oídos dirigidos hacia la fuente. Después de 10 minutos, algunos terneros comenzaron a arañar sus oídos repetidamente en señal de molestia. Durante el período de 10 minutos de exposición, ninguno de los terneros se volvió a echar (Algers, 1984 citado por Grandin, 1996).

El nivel sonoro de los lugares donde se alojan los animales de granja puede provocar situaciones estresantes, al extremo que en algunos países se reglamentan los niveles sonoros admisibles en los lugares en que se encuentran los animales en cría, para evitar perjudicar la salud animal.

Los lugares de cría intensiva de animales de granja son sitios extremadamente ruidosos, al igual que las plantas de faena. Los sistemas de mezcla de raciones y abastecimiento de los comederos, la ventilación, la limpieza con agua a presión son algunas de las fuentes de ruido más significativas, sin mencionar los propios ruidos biológicos de los animales (vocalizaciones, apareamiento, entre otras).

Las reacciones de estrés en animales de granja se manifiestan a partir de 75 dB. Brouček (2014) sugiere mantener un nivel de 50 dB en establecimientos de cría, aunque en la actualidad los niveles reales son mucho más elevados.

En plantas de faena, aun cuando las instalaciones estén bien diseñadas, hay algunas causas que con frecuencia complican el manejo de los animales y varias de ellas tienen que ver con ruidos,

como la ocurrencia de silbidos agudos de descargas de aire o chirridos metálicos. Grandin (1998) indica que mantener los equipos bien lubricados para evitar chirridos en las plantas de faena, reducir los ruidos metálicos y emplear sistemas hidráulicos silenciosos, procurando evitar las frecuencias de 7.000 Hz a 8.000 Hz, que son las de mayor sensibilidad para los bovinos, contribuye al bienestar animal. El ruido de descargas de aire genera un gran rechazo al ganado y debe evitarse.

Kilgour (1978, citado por Grandin, 1980) sugiere que en mataderos de cerdos se requiere un mayor nivel de ruido ambiente para enmascarar los chillidos de alarma de los animales que ingresan a la sala de faena y propone usar grabaciones de gruñidos de satisfacción para reducir el estrés de los animales, ya que los cerdos se comunican entre sí vocalmente.

Una práctica hoy bastante difundida es la de poner música funcional en los frigoríficos de modo que los animales sufran menos estrés. Los primeros estudios mostraban que no sólo aparentaban estar más tranquilos cuando escuchaban música desde que se los descargaba en los corrales de espera sino que además aparecían dificultades de manejo cuando se sacaba la música. Los estudios de Webb (1966, citados por Grandin, 1989) sugieren que el ganado parece preferir la música instrumental al rock and roll. Los sonidos permanentes generan menos rechazo que los intermitentes, aunque las ovejas y cerdos tienden a huir menos que los bovinos incluso sometidos a sonidos de 120 dB.

En lo relativo a ganado lechero, es importante conocer el nivel sonoro existente en las salas de ordeño, ya que la producción de leche puede verse afectada si se generan condiciones de estrés para los animales.

Según Kovalčík y Šottník (1971, citados por Wyle, S/A), un ruido de 80 dB no tuvo ningún efecto negativo en las vacas lecheras. El consumo de alimento se incrementó, la producción de leche se mantuvo sin cambios, y se mejoraron los índices de la tasa de liberación de leche. Sin embargo, la exposición inmediata a un ruido de alta intensidad (105 dB) dio como resultado una disminución en el consumo de alimento, producción de leche, y la intensidad de la liberación de la leche. El aumento gradual de ruido de hasta 105 dB resultó en una respuesta menos negativa. En efecto, un ruido repentino de 105 dB podría disminuir la cantidad de leche en el siguiente ordeño e incluso interrumpir una eyección de leche en curso (Algers *et al.*, 1978 citados por Brouček, 2014). Algers y Jensen (1991 citados por Brouček, 2014) indican que la producción de leche se redujo en vacas lecheras expuestas durante 1,4 h de 80 a 100 dB de ruido dos veces al día. Por el contrario, un estudio de tres semanas no encontró diferencias entre niveles de presión sonora de 70 dB y 80 dB cuando se produce en una sala de ordeño autotandem (Kauke y Savary, 2010 citados por Brouček, 2014).

Nosal (2004) estudió el comportamiento de vacas durante el ordeño en dos tambos, con y sin ordeñadoras mecánicas. En sus estudios, en el caso de sala manual con niveles sonoros de no más de 70 dBA y vibraciones de entre 0,1 y 0,2 m/s², los animales presentaron buena salud de la ubre. En cambio, con niveles de ruido superiores a 70 dBA y vibraciones de más de 0,3 m/s² se registraron los siguientes problemas: el estado de salud de la ubre presentaba deterioro y el contenido de células somáticas (SCC) en la leche superó el valor de 200.000 SCC/mL (el umbral límite considerado como indicador de buena salud de la ubre era de 100.000 SCC/mL). En un estudio posterior, Gyax y Nosal (2006) constataron que el SCC aumentó con la intensidad de las

vibraciones pero no con el ruido acústico. Ante modificaciones realizadas en las salas, la mejora relativa de SCC pareció correlacionada con la reducción de las vibraciones pero no con la reducción del ruido audible. También la reducción de las vibraciones parecía mejorar la salud de la ubre, lo que puede haberse relacionado con el aumento del bienestar y la reducción del estrés de las vacas durante el ordeño.

5.6 Explosiones y estudios sísmicos

Elsayed (1997, citado por Hastings y Popper, 2005) llevó a cabo una serie de investigaciones con animales terrestres para examinar las respuestas bioquímicas a nivel de tejidos expuestos a explosiones. Entre las respuestas que advierte, indica que el ruido de una explosión puede agotar los antioxidantes y anticipar la oxidación de los lípidos.

Stuhmiller *et al.* (1996, citados por Stocker, 2002) concluyeron que la incidencia de estallido al pulmón y letalidad se correlaciona con la energía total de la onda, normalizada por el volumen pulmonar en los animales terrestres. Sus resultados son sumamente contundentes, por lo que es recomendable estimar el potencial de lesión en el pulmón asociado con una explosión a partir de este modelo sencillo.

La reacción típica de aves domésticas ante la exposición a un ruido repentino e intenso es una respuesta de sobresalto. La reacción cesa en cuanto se termina el estímulo, y en pocos minutos toda la actividad vuelve a la normalidad. Esto sugiere que las aves se habitúan con relativa rapidez (Sayre *et al.*, 2002). Un efecto significativo negativo de la exposición aguda a ruido de entre 80 dB y 100 dB en pollos de engorde se observó en cuanto a grado de estrés y temor. Ruidos fuertes súbitos pueden causar reacciones de histeria en varias razas de pollos (Brouček, 2014).

Dado que los niveles de ruido de baja frecuencia en el ambiente marino en el hemisferio norte se han incrementado considerablemente durante los últimos 60 años, los efectos de la contaminación acústica submarina sobre los mamíferos marinos con audición bien desarrollada pueden ser graves (Jones, 2008). Es bastante consensuado que los niveles de presión sonora en el medio acuático que causan efectos adversos sobre la biota son de 180 dB o más. Los impactos sobre las especies, incluyendo mamíferos marinos y peces, van desde la interferencia con las llamadas de comunicación al desplazamiento de especies a nuevos hábitats; desde el daño físico permanente al desplazamiento temporal desde el área que habitan.

Jones y Stokes (2009) indican que las variables clave que parecen regir la interacción física del sonido y los peces incluyen el tamaño del individuo en relación a la longitud de onda del sonido, su masa corporal, variantes anatómicas, y la ubicación en la columna de agua en relación a la fuente de sonido. Los efectos pueden incluir cambios a nivel celular o en algunos órganos del cuerpo, así como efectos fisiológicos con respuestas de estrés y cambios en el comportamiento.

Los estudios reportados por varios investigadores describen daños no auditivos en peces, incluyendo evidencia de rotura capilar en la piel, neurotrauma, hemorragia ocular, ruptura de la vejiga natatoria y muerte. Carlson *et al.* (2007) postulan que el daño a tejidos no auditivos se relaciona con la fuerza (o el trabajo mecánico) ejercida sobre el tejido, la que puede estimarse a través del SEL acumulado. Los autores muestran además que la vulnerabilidad a daño de tejido

no auditivo sigue una relación inversa con la masa del pez. Proponen, en consecuencia, criterios provisionales para nivel de pico y SEL en relación a daño de tejido auditivo y TTS, considerando por separado a las especies generalistas y especialistas.

Hastings (1990, 1995) reportó "aturdimiento acústico" en cuatro guramis azules (*Trichogaster trichopterus*) expuestos durante aproximadamente ocho minutos a un tono puro de 150 Hz con una presión máxima de 198 dB re 1 μ Pa. Tres de cada cuatro de los peces se recuperaron. La pérdida de conciencia exhibida por estos peces podría haber sido causada por neurotrauma, sobre todo porque esta especie tiene una burbuja de aire en la cavidad de la boca situada cerca del cerebro, que mejora la capacidad auditiva de la especie (Yan 1998; Ladich y Popper 2004). Por lo tanto, los peces con proyecciones de la vejiga natatoria u otras cavidades con aire cerca del oído (por ejemplo, peces mariposa, peces ardilla, y muchas otras especies) podrían ser susceptibles de sufrir neurotrauma al exponerse a altos niveles de presión sonora.

Hastings y Popper (2005) indican que Cernak *et al.* (1996) examinaron la bioquímica relacionada con neurotrauma en la lesión por estallido. Al igual que en animales terrestres, también encontraron productos de pre-oxidación de lípidos, así como aumento de los niveles de iones de lactato y calcio y disminución de los niveles de glucosa, magnesio e iones de zinc. Los cambios en los niveles de lactato y de glucosa indican cambios en el metabolismo y la energía en el tejido dañado, mientras que los cambios en las concentraciones de iones indican ruptura y daño celular. Los investigadores postulan que las señales neuronales aferentes de órganos lesionados (tales como pulmones) podrían poner en peligro la función del sistema nervioso central (SNC) y contribuir a un mayor daño con el transcurso del tiempo. Los mecanismos bioquímicos de traumas y barotraumas acústicos, así como los umbrales acústicos a partir de los que se producen, sin embargo, no se han establecido.

Otro tipo de daño tisular causado por la exposición a alto nivel sonoro es un neurotrauma o lesión cerebral traumática transitoria (TBI). Los mecanismos físicos subyacentes para estas manifestaciones son el edema cerebral, contusiones y laceraciones, así como hemorragias en las meninges, sustancia cerebral, raíces nerviosas, y ventrículos (espacios llenos de líquido dentro del cerebro y la médula espinal) que pueden resultar de movimiento relativo extrema entre el cráneo y el cerebro durante la exposición a altas sobrepresiones.

Yelverton *et al.* (1975 citados por Hasting y Popper, 2005) encontraron una correlación directa entre la masa corporal de peces y el producto [sobrepresión x tiempo] de impulsos asociados a explosiones, y determinaron una especie de DL₅₀ expresada en términos del producto de la sobrepresión máxima y la duración total del impulso que provoca la muerte al 50 % de la población en estudio. Las lesiones observadas incluyeron la rotura de la vejiga natatoria, daño renal y hepático, así como la muerte de los peces expuestos. Verificaron a su vez que la presión de pico alcanzada no es un buen indicador, pero el que proponen sí se correlaciona con el daño a la vejiga natatoria y a otros tejidos, así como con la mortalidad de los peces. Trasky (1976, citado por Hasting y Popper, 2005) informó diferencias significativas entre la mortalidad de peces adultos y alevines de salmón y arenque ante una sobrepresión generada por cargas sísmicas enterradas. Otras estructuras dentro del cuerpo pueden ser afectadas debido o a su pequeño tamaño o a sus características dinámicas. Por ejemplo, a niveles suficientemente altos de presión sonora se pueden generar burbujas a partir de micronúcleos presentes en la sangre y otros

tejidos, tales como el adiposo (Haar *et al.*, 1982). En los peces, los vasos sanguíneos son de diámetro particularmente pequeño, por lo que si las burbujas se ven obligadas a salir de la solución, esto podría causar una embolia, coágulos y/o sangrado superficial por estallido de pequeños vasos capilares. Esto también puede ocurrir en los ojos de los peces, donde el tejido podría tener altos niveles de saturación de gas.

André *et al.* (2011) realizaron un estudio de exposición controlada de 87 ejemplares pertenecientes a cuatro especies de cefalópodos -calamares (*Loligo vulgaris*, *Illex coindetii*), sepias (*Sepia officinalis*) y pulpos (*Octopus vulgaris*)- a sonidos de baja frecuencia. Constataron la primera evidencia morfológica y ultraestructural de trauma acústico masivo, incompatible con la vida de los animales de experimentación al someterlos a barridos de ondas sinusoidales de 50 Hz a 400 Hz durante un período de 1 segundo y un segundo período de barrido durante 2 horas, a un nivel sonoro recibido medido con un hidrófono fue de 157 ± 5 dB [re 1 μ Pa] con niveles máximos de 175 dB [re 1 μ Pa]. Se observaron alteraciones permanentes y sustanciales de las células ciliadas sensoriales de los estatocistos, que son las estructuras responsables de la sensación de equilibrio y la posición de los animales: perforación del epitelio sensorial por pérdida de células ciliadas, rotura de membrana citoplasmática y extrusión de material celular. Debajo de las células ciliadas, las fibras nerviosas aferentes estaban inflamadas y mostraron daño mitocondrial o degeneración completa. En la periferia se registró un daño menos grave aunque igualmente severo. Estas lesiones se presentaron en todos los individuos expuestos al ruido (en comparación con su ausencia en los individuos de la población de control) y mostraron una clara progresión en el tiempo, aunque son consistentes con los efectos observados en otras especies que han sido expuestas a intensidades sonoras mucho mayores. Aunque se trata de impactos irreversibles, no se pudo determinar la causa del inicio del trauma acústico generalizado, es decir, si los cefalópodos son más sensibles al movimiento de las partículas o a la presión acústica, o a una combinación de ambos factores.

Los estudios sísmicos también pueden tener efectos adversos sobre mamíferos acuáticos, principalmente por enmascaramiento. Pueden manifestarse a grandes distancias de la fuente (Nieukirk *et al.*, 2004 mencionan entre cientos y miles de kilómetros).

5.7 Hincas de pilotes y tablestacas

Sue *et al.* (2012) clasifican de la siguiente forma los posibles efectos sobre mamíferos marinos ocasionados por el ruido antropogénico:

- Alteración de la conducta (por ejemplo, alimentación, cría, descanso, migración).
- Enmascaramiento de sonidos importantes (los animales pueden compensar parcialmente el enmascaramiento, ya sea mediante el aumento de la amplitud de sus llamadas o mediante la alteración de otras características de la señal).
- Pérdida de audición temporal o permanente.
- Estrés fisiológico o lesiones físicas.
- Cambios a los ecosistemas que resultan en una reducción de la disponibilidad de presas.

La hincada de pilotes genera una respuesta de sobresalto o alejamiento de hábitats altamente utilizados, impactados por sonido (Hastings y Popper 2005). Posiblemente se tengan efectos a más largo plazo en el comportamiento, como la imposibilidad de alcanzar un hábitat de calidad aguas arriba de una fuente permanente de ruido, la dificultad de encontrar compañero o alimentos debido al ruido continuo de la hincada de pilotes. Estos potenciales impactos a largo plazo sobre el comportamiento de los peces no están suficientemente estudiados. Tampoco está clara la influencia de la exposición previa al ruido ni de las exposiciones acumulativas, varias horas, días o semanas más tarde.

Madsen *et al.* (2006 citados por Comisión Europea 2013) estiman que el ruido de la hincada de tablestacas puede ser perceptible para los mamíferos marinos a más de 100 km de distancia, aunque la evidencia del desplazamiento de marsopas sólo se ha constatado a distancias de hasta 15 km a 20 km.

Thomsen *et al.* (2006) indican que pueden ocurrir alteraciones en el comportamiento de los mamíferos marinos hasta distancias considerablemente grandes de la fuente. Estos autores presentan algunos radios de influencia para ciertos efectos sobre focas y marsopas:

- Zona de audibilidad: mayor que 80 km (posiblemente cientos de km desde la fuente)
- Respuestas conductuales: unos 20 km.
- Enmascaramiento: en focas hasta por lo menos 80 km.
- Pérdida auditiva: 400 m para focas, 1.800 m para marsopas.

En algunos monitoreos de largo plazo efectuados en el marco de la construcción de parques eólicos off-shore se ha constatado que algunas especies de peces y mamíferos marinos abandonan la zona durante la construcción, pero luego regresan durante la fase operativa de los parques.

5.8 Uso de sonares, LFAS y sistemas afines

El sonar (**SO**und **N**avigation **A**nd **R**anging) es una técnica que utiliza la propagación del sonido bajo el agua para navegar, comunicarse o detectar objetos sumergidos. El sistema emite impulsos acústicos y receptiona las señales reflejadas que se originan; de su análisis obtiene información acerca de la distancia a que existen obstáculos, su ubicación precisa, dimensiones y otras características. Los sonares tienen muchas aplicaciones; por ejemplo, los barcos mercantes están equipados con sonares para incrementar la seguridad en la navegación.

Sin embargo, los sonares militares y más aún los LFAS (**L**ow **F**requency **A**ctive **S**onar, Sonar Activo de Baja Frecuencia) tienen emisiones de tal intensidad que pueden afectar e incluso matar a algunos mamíferos marinos. Mac-Quhae (S/A) recuerda que la Comisión del Congreso Estadounidense sobre Mamíferos Marinos (MMPA) presentó, en 1997, un informe en el que reconocía un conjunto de importantes efectos adversos del LFAS sobre los cetáceos. Al respecto, Mac-Quhae (S/A) informa:

“El LFAS puede provocar efectos sobre los cetáceos hasta a 100 kilómetros de distancia. La resonancia de estos sonares provoca la vibración de todas las cavidades del cuerpo, la

tráquea, mandíbulas, senos craneales y órganos internos, con mayores repercusiones sobre aquellos que contienen aire.”

Entre los efectos de los LFAs que reseña Mac-Quhae (S/A) se mencionan hemorragias en pulmones y oídos, pérdida parcial o total de la audición y en consecuencia dificultades para comunicarse, estrés -con el consiguiente debilitamiento del sistema inmunológico y sus consecuencias-, cambios en las rutas migratorias, evitación de las zonas habituales de alimentación y reproducción, entre otras alteraciones del comportamiento.

Los efectos del ruido sobre los cetáceos parecen estar atenuados por la interfase aire/agua. Sin embargo, Jones (2008) indica que las ballenas jorobadas macho aumentan la duración de su canción si ante las emisiones de baja frecuencia (150 Hz - 320 Hz) de los sonares militares. Además, afirma que la evidencia que relaciona los sonares militares con los varamientos de zifios (ballenas picudas) es convincente y sugiere que las ballenas hacen cambios repentinos en la trayectoria de buceo con que pueden morir a causa de los efectos de la descompresión. En efecto, se ha sugerido que algunas ballenas pueden exhibir respuestas de pánico ante el ruido de sonares militares y tratan de emerger muy rápidamente. Cuando las ballenas de inmersión profunda salen a la superficie rápidamente en respuesta al ruido del sonar, pueden sufrir los efectos de la descompresión rápida, como el desprendimiento de burbujas gaseosas al reducirse en forma abrupta la solubilidad de gases. Esta hipótesis surgió a partir de que se observó la presencia de lesiones ocasionadas por burbujas de aire en un conjunto de zifios que varó en las Islas Canarias en 2002, a poco de iniciadas ciertas maniobras militares.

Los intentos para mitigar perturbaciones del comportamiento de las especies marinas se suelen basar en establecer zonas de seguridad cuyos radios se obtienen a partir de experiencias anteriores, dejando bastante de lado el cúmulo de avances científicos acerca de cómo el ruido afecta el comportamiento de los mamíferos marinos (Nowacek et al., 2007, Southall et al., 2007 citados por Comisión Europea, 2013, Ellison et al. 2011).

6 Tablas de síntesis

En esta sección se recopilan los principales efectos de la exposición a ruido sobre animales que se han descrito a lo largo de estas notas. Se han tomado como base las tablas que presentan Mancini *et al.* (1988) y se las ha actualizado y adaptado.

Tabla 6-1: Algunos efectos del ruido sobre mamíferos terrestres

Especie	Tipo de Ruido	Efecto
Ganado de varias especies	Estampido sónico (80-370 mN/m ²); vuelos subsónicos de baja altura (50-200 m) (Nixon <i>et al.</i> , 1968; Bond <i>et al.</i> , 1974; Espmark <i>et al.</i> , 1974)	Reacción de sobresalto
	Ruidos de intensidad mayor al umbral de ruido 85 dB y 90 dB (Morgan y Tromborg, 2007).	Conductas de escape, en consonancia con una reacción de miedo. Preferencia por zonas menos ruidosas.
	Ruido durante el transporte (Albright y Arave, 1997).	Aumenta la frecuencia cardíaca del ganado criado a campo.
	Ruido durante el transporte (Grandin, 1998).	El ganado que suele pastar a lo largo de las carreteras rara vez reacciona a este tipo de estímulo
Ganado lechero	Ruido producido por los cencerros Johns <i>et al.</i> (2015).	Las vacas expuestas a 90 dB varias veces al día durante 3 semanas redujeron el tiempo que pasan echadas.
	Explosión de bolsas de papel (Ely y Petersen, 1941)	Cese inmediato de la eyección de leche. 30 minutos después el nivel de producción de leche se recuperó al 70 % del nivel normal.
	Ruido general (105 dB) (Kovalcik y Sottnik, 1971)	Reducción del consumo de alimentos, de la producción de leche y de la velocidad de liberación de la leche
	Ruido inesperado de gran intensidad, como sobrevuelo de aviones a baja altura (> 110 dBA) a la hora del ordeño.	Conductas negativas, como patadas o pisotones, que podrían hacer que las vacas se soltaran de las máquinas de ordeño o podría aumentar la liberación de catecolaminas y en consecuencia reducir la efectividad del reflejo de eyección de leche, disminuir la eficiencia de la extracción de leche, aumentar la leche residual y conducir a una reducción global de la producción de leche
	Ruido de motor de tractor (97 dB) (Brouček <i>et al.</i> , 1983)	Incremento de la concentración de glucosa y del recuento de leucocitos en sangre; bajo nivel de hemoglobina
	Ruido general (1 kHz, 110 dB) (Brouček <i>et al.</i> , 1983)	Aumento de la glucemia, ácidos grasos no esterificados y creatina; disminución de hemoglobina y concentración de tiroxina
	Exposición durante 1,4 h de 80 a 100 dB de ruido dos veces al día Algiers y Jensen (1991).	La producción de leche se redujo en vacas lecheras
	Niveles sonoros de no más de 70 dBA y vibraciones de entre 0,1 y 0,2 m/s ² . (Nosal 2004).	Los animales presentaron buena salud de la ubre.

Especie	Tipo de Ruido	Efecto
	Niveles de ruido superiores a 70 dBA y vibraciones de más de 0,3 m/s ² . (Nosal, 2004)	El estado de salud de la ubre presentaba deterioro y el contenido de células somáticas (SCC) en la leche superó el valor de 200.000 SCC/mL
	Exposición a 1,4 h de 80 a 100 dB de ruido dos veces al día. 70 dB y 80 dB en una sala de ordeño autotandem durante 3 semanas (Kauke y Savary, 2010).	No se encontraron diferencias en la producción de leche en vacas lecheras.
Cabras	Ruido de aviones (Sugawara et al, 1979)	Bajo rendimiento lechero
	Sobrevuelo del helicóptero (Tracey y Fleming, 2007).	No se afectó negativamente el bienestar inmediato ni a largo plazo y las madres no abandonaran a sus crías
	Dos pasajes de un helicóptero Chinook a 50 m y 75 m de altura (Van der Staay et al. 2011).	No se observaron respuestas de estrés fisiológico ni de comportamiento durante el paso elevado de un Chinook a 50 m. No hubo aumento estadísticamente significativo de la velocidad media de movimiento de las cabras en su recinto ni ningún aumento de la duración de movimiento durante la presentación de los estímulos. No hubo aumento en la frecuencia cardíaca ni la concentración de cortisol salival
Cerdos	Ruido general (108-120 dB) (Borg 1981)	aumento de 11-OH-corticosterona y catecolaminas en plasma; reducción del nivel de corticosterona
	Ruido general (93 dB) (Dufour 1980)	Hiperaldosteronismo (exceso de secreción de aldosterona por las glándulas suprarrenales). Esto se relaciona con hipertensión arterial.
	Ruido de aviones grabado (120-135 dB) (Bond et al., 1963)	Aumento de la frecuencia cardíaca
	Estímulo acústico de corta duración y 120 dB Talling <i>et al.</i> (1998)	Aumento de la frecuencia cardíaca y de las concentraciones plasmáticas de glucocorticoides, aunque no se modificó la concentración de catecolaminas plasmáticas
	Exposición a 90 dB de ruido tanto constante como intermitente (Otten <i>et al.</i> , 2004).	Aumento del tiempo que pasaron echados y redujeron las interacciones sociales; incremento de cortisol, ACTH y de la relación noradrenalina / adrenalina
	Exposición a diario o tres veces por semana a ruido de 90 dB durante dos horas (Kanitz <i>et al.</i> (2005).	Respuestas de corto y largo plazo en los animales, en los que se verificó un incremento de globulina, ACTH y cortisol así como en los niveles de unión de corticosteroides.
	Ruido de tránsito, de maquinaria y ruido blanco	Aumento en la respuesta al estrés que los generados al exponer a los animales a sonidos de la granja o del matadero.
Ovinos	Ruido blanco (100 dB) (Ames y Arehart, 1972)	Mayor frecuencia cardíaca y frecuencia respiratoria; menor eficiencia de la alimentación
	Ruido blanco (90 dB) (Ames y	Reducción de la actividad tiroidea

Especie	Tipo de Ruido	Efecto
	Arehart, 1978)	
	Tránsito carretero a menos de 200 m (King y Workman, 1986; Stockwell <i>et al.</i> , 1991; Sayre <i>et al.</i> , 2002)	Pérdidas energéticas, pérdidas en la eficiencia de forrajeo
	Ruido general (4000 Hz, 100 dB) (Ewbank 1977; Cottereau 1978).	Aumento del número de cuerpos lúteos (cuerpos amarillos); más corderos por oveja. En principio no parece haber efectos adversos significativos sobre la reproducción, cuando los animales se exponen a estampidos sónicos
	Exposición prolongada a ruidos fuertes de 100 dB durante 8 h (Cwynar y Kolacz, 2011).	Aumentó la frecuencia respiratoria. Estrés en animales de experimentación
Conejo doméstico	Ruido blanco (107-112 dB) (Nayfield y Besch, 1981)	Aumento del peso suprarrenal; disminución del peso del bazo y del timo
	Ruido blanco (102-114 dB) (Friedman <i>et al.</i> , 1967)	Cambio en el hipotálamo; mayor concentración de colesterol y triglicéridos en plasma; depósitos de grasa en el iris de los ojos; más aterosclerosis aórtica y mayor contenido de colesterol en las aortas
	Timbre eléctrico (95-100 dB) (Zondek e Isacher, 1964)	Agrandamiento de los ovarios; estro (celo) persistente; hematoma folicular
	Ruido blanco (107-112 dB) (Nayfield y Besch 1981)	Aumento del peso de las glándulas suprarrenales; disminución del peso del bazo y del timo
	Ruido blanco (102-114 dB) (Friedman <i>et al.</i> 1967)	Cambio en el hipotálamo; colesterol y triglicéridos en plasma más elevados; depósitos de grasa en el iris de los ojos; más aterosclerosis aórtica y mayor contenido de colesterol en las aortas
	Timbre eléctrico (95-100 dB) (Zondek y Isacher 1964)	Agrandamiento de los ovarios; estro persistente; hematoma folicular
Gato doméstico	Laboratorio ruidoso (Liberman y Beil, 1979)	Elevación del umbral auditivo; pérdida o daño de las células ciliadas del oído interno
	Ruido general (100-1,000 Hz) (Miller <i>et al.</i> , 1963)	Elevación del umbral auditivo
Perro doméstico	Ruidos fuertes repentinos (Stephens, 1980)	Incremento de la concentración de corticosteroides en plasma
Varias especies en laboratorio	Ruido general (150 Hz-40 kHz, 132-140 dB) (Anthony y Ackerman 1957)	Comportamiento "como de ansiedad"
Chinchilla	Estampidos sónicos simulados; ruido general (65-105 dB) (Carder y Miller 1971, 1972; Reinis 1976)	Pérdida de la audición; daño de las células externas de la cóclea
Conejillo de Indias	Ruido general (128 dB SPL) (Beagley 1965); estampido sónico simulado (130 dB) (Hajeau-Chargois <i>et al.</i> 1970)	Daños anatómicos a la audición; pérdida auditiva
Ratón	Estampido sónico simulado (Reinis 1976)	Daño auditivo; sangrado del oído interno
	Ruido intermitente (110 dB)	Disminución de eosinófilos circulantes;

Especie	Tipo de Ruido	Efecto
	(Anthony y Ackerman 1955)	activación suprarrenal
	Ruido de subterráneo grabado (105 dB SPL) (Busnel y Holin 1978)	Intervalo de tiempo más largo entre camadas; menor aumento de peso de los jóvenes; aumento de la incidencia de aborto involuntario, reabsorción y malformaciones
	Ruido continuo de alta intensidad de motor de jet (127 dB); ruido de inicio aleatorio (103-110 dB); ruido de alta frecuencia (113 dB) (Nawrot et al. 1980)	Disminución de la tasa de embarazo (todos los grupos); disminución en el número de sitios de implantación por camada y efectos letales sobre el feto (ruido de aviones de alta intensidad)
	ruido general (106 dB) (Ishii i Yokobori 1960)	Efectos teratogénicos
Rata	Ruido general (105 dB SPL) (Moller 1978; Borg 1979, 1981)	Pérdida de la audición; daños a la estructura del oído interno
	Ruido general (80 dB SPL) (Borg 1978a,b,c)	Vasoconstricción
	Ruido general intermitente (Buckley y Smookler 1970)	Aumento de la presión arterial; hipertensión
	Truenos grabados (98-100 dB SPL, 50-200 Hz) (Ogle y Lockett 1966)	Aumento de la excreción urinaria de sodio y potasio; excreción de oxitocina y vasopresina
	Timbre eléctrico (110 dB) (Sackler et al. 1959)	Disminución del peso suprarrenal, corporal, del timo, el bazo, el hígado, la pituitaria, ovario y útero; ligera ganancia de peso de la tiroides; aumento de la producción de ACTH; inhibición de la gonadotropina, las hormonas ováricas y posible inhibición de las hormonas tiroideas y tirotróficas
	Ruido general (1 kHz, 95 dB) (Fell et al. 1976)	Supresión de la actividad tiroidea
	Ruido general (120 Hz, 95-105 dB) (Jurtshuk et al. 1959)	Reducción de niveles de glutatión en sangre, aumento del peso de las glándulas suprarrenales y el ácido ascórbico; disminución en el colesterol suprarrenal total
	Ruido Intermitente (95 dB) (Hrubes y Benes 1965)	Aumento de la secreción de catecolaminas en la orina; aumento de ácidos grasos libres en el plasma sanguíneo; aumento de peso de las glándulas suprarrenales; inhibición del crecimiento
	Ruido general (92 dB) (Gamble 1982)	Estro vaginal persistente prolongado cornificación ²⁵ vaginal; mayor mortalidad predestete de las crías
	Ruido blanco (102-114 dB) (Friedman et al. 1967)	Cambio en el hipotálamo
Timbre eléctrico (95-100 dB) (Zondek y Isacher 1964)	Agrandamiento de los ovarios; estro persistentes; hematomas folicular	
Ruido general (Zondek 1964)	Disminución de la fertilidad	

²⁵ La cornificación es el proceso por el cual el tejido epitelial se enriquece en queratina y se transforma en un tejido escamoso estratificado.

Tabla 6-2: Efectos de acuerdo al tipo de ruido en mamíferos terrestres

Especie	Tipo de ruido	Efecto
Reno	Estampidos sónicos (35-702 Pa) (Espmark 1972)	Respuestas de sobresalto leves: elevación de la cabeza, parar las orejas, olfatear el aire
Caribú	Sobrevuelo de aviones a baja altura (<200 ft o 60 m): aviones de alas fijas, helicópteros (Klein 1973)	Correr, comportamiento de pánico
	Sobrevuelo de aviones a baja altura (<500 pies): a baja altura (<200 ft o 60 m): aviones de alas fijas, helicópteros (Calef et al. 1976)	Escapar o fuertes reacciones de pánico
	Ruido en general (Calef 1974)	Mayor incidencia de abortos involuntarios; reducción de la tasa de natalidad
Antílope americano	Helicópteros a baja altura (150 ft, distancia oblicua 500 ft; 77 dBA) (Luz and Smith 1976)	Correr como respuesta
Borrego cimarrón (Sayne et al., 2002)	Sobrevuelo de helicópteros, Stockwell et al. (1991)	Reducción en la eficiencia de forrajeo
	Sobrevuelo de helicópteros Bleich et al. (1994)	Movimiento significativo
	Ruido de sobrevuelo grabado, Weisenberger et al. (1996)	Rápida habituación (la respuesta de frecuencia cardíaca duró menos de 5 minutos)
Venado bura (Sayne et al., 2002)	Ruido de sobrevuelo grabado, Weisenberger et al. (1996)	Rápida habituación (la respuesta de frecuencia cardíaca duró menos de 5 minutos)
Ciervos (<i>Cervus elaphus</i>),	Funcionamiento de aerogeneradores (Strickland et al., 2011)	No acusan impactos por el ruido derivado del funcionamiento de aerogeneradores
Caribú (<i>Rangifer tarandus</i>)	Sobrevuelo de aeronaves altitud de 200 pies o menos. (Brouček 2014).	Aumento de la actividad: reacciones como correr y reacciones de pánico
Rata canguro del desierto	Ruido ORV (78-110 dB) (Brattstrom and Bondello 1983)	Elevación temporal del umbral auditivo
Ratón doméstico (silvestre)	Aviones (110-120 dB) (Chesser et al. 1975)	Incremento de los pesos suprarrenales
Rata del algodón	Grabación de ruido de aviones (110 dB SPL) (Pritchett et al. 1978)	Incremento del peso corporal; increment de la secreción de ACTH
	Silbidos agudos (Hepworth 1966)	Agrandamiento de los ovarios; estro persistentes; hematoma folicular
Ratas silvestres	Exposición a ruido de 100 dB durante 12 h (Castelhana-Carlos y Baumans, 2009 citados por Brouček, 2014)	Alteraciones ultraestructurales en las glándulas suprarrenales y en el miocardio. También se encontró daño en el ADN
Visonos criados en granjas	Estampidos sónicos simulados (167-294 mN/m ²) (Travis et al. 1974)	Breve reacción de sobresalto
Lobo / Oso pardo	Sobrevuelo a baja altura de aviones de alas fijas y helicópteros (Klein 1973)	Reacción de sobresalto; correr
Mono Rhesus	Ruido general (Leq (24): 85 dB) (Peterson et al. 1981)	Aumento de la presión arterial

Tabla 6-3: Algunos posibles efectos del ruido y explosiones sobre aves

Animal	Tipo de ruido	Efecto
Canario	ruido blanco (95-100 dB SPL) (Marler <i>et al.</i> 1973)	pérdida de audición (20-60 dB)
Gansos / barnaclas	Aviones a baja altura (helicóptero, jet, hélice) y otras perturbaciones humanas (Ward <i>et al.</i> 1986)	Vuelo como respuesta
Ganso de la nieve	Cessna 185 (300-10,000 ft AGL) (Gunn y Livingston 1974)	Vuelo como respuesta, reducción del tamaño de la bandada
Aves Acuáticas / aves marinas	aviones a baja altura (hidroavión, de ala fija, helicóptero; 100-750 pies AGL) (Gunn y Livingston 1974)	Vuelo como respuesta
aves marinas	Estampidos sónicos (72-89 dBA SPL) (Jehl y Cooper 1980)	Respuestas de sobresalto; abandono de nido
	Estampidos sónicos simulados (155,6 a 145,5 dBA) (Stewart 1982)	Levanta vuelo y circunvala; vuelve a posarse dentro de 2 a 10 min
Gaviotín apizarrado	estampidos sónicos frecuentes (Austin <i>et al.</i> 1970)	reducción de 98 % en la reproducción de la colonia
Gaviota argéntea	Transportes supersónicos de baja altitud (Burger, 1981)	Más luchas; menor tamaño de la nidada debido a roto huevos durante las luchas
Garzas	Sobrevuelos en helicóptero; ala fija (60 a 120 m) (Kushlan 1979)	Reacción de alerta
Escribano lapón o Arnaldo ártico	Helicópteros a baja altura (Gunn y Livingston 1974)	Menor éxito de eclosión y nacimientos; mayor abandono de nidos; desaparición prematura de los pichones
Águila calva	Aeronaves (chorro, la hélice) (Fleischner y Weisberg 1986).	"Volver la cabeza hacia el chorro" (5% de las observaciones), volar de un sitio de percha (5%).
	Perturbaciones humanas y alteraciones aéreas (Grubb y King 1991).	Los helicópteros suscitaron el más alto nivel de respuestas relacionados con aeronaves. Los trastornos generados por el pasaje de aviones resultaron en los niveles más bajos de respuesta. Sin embargo, los vuelos de menos de 170 metros de distancia causaron reacciones similares a otros tipos de perturbaciones.
Águilas / gavilanes / halcones	Sobrevuelo de aviones a baja altura y estampidos sónicos (82-114 dBA) (Ellis, 1991)	Respuestas de "notable alarma"
	helicóptero (Blanco y Sherrod 1973)	pánico, comportamiento de escape frenético cuando el helicóptero apareció en la parte superior de un acantilado
	Vuelos militares por CF-18 Hornet (rimper <i>et al.</i> 1998)	No hubo reacciones evidentes ante el sobrevuelo de estos aviones.
	Sobrevuelos a baja altura de helicóptero sobre 35 nidos de halcón de cola roja (Anderson <i>et al.</i> 1989).	Los halcones sin exposición previa a vuelos de helicópteros exhibieron un fuerte comportamiento de evitación
cóndor de California	Voladura, perforación, estampido sónico, aeronaves a baja altura (Shaw 1970; Wilbur 1978)	Adultos huyen del nido; algunos nidos abandonados
Urogallo mayor	Presencia de aeronaves deportivas ligeras a entre 150 m y 200 m sobre el nivel del suelo	Abandono de comportamiento de apareamiento o directamente los sitios de apareamiento
no especificado	Estampido sónico (media 1,15	Canto continuo de aves fue silenciado por

Animal	Tipo de ruido	Efecto
	lb/ft ² creado por F-III chorros (Higgins 1974)	completo 8.4 s antes de la llegada del boom sónico audible; "Gritos discordantes estridentes" durante unos segundos cuando la pluma era audible, volvieron a "canciones normales" dentro de los 10 s después del boom audible
Cuervo	Estampido sónico (Davis 1967)	llamado estridente, aleteos, planeos y perspersección por grupos de cuervos
Pollo doméstico	Estampidos sónicos simulados (156,3 dB) (Jehl y Cooper 1980)	Pérdida de peso de los pollos de 19 días de edad
	ruido general (100 dB) (Borg 1981)	Aumento de 11-hidrocorticosteroides en el plasma sanguíneo
	Grabaciones de sobrevuelos de aeronaves (115 dB) (Stadelman 1958)	Interrupción del empolle
	Ruido de aviones (3 o más días) (Hamm 1967)	Reducción de la producción de huevos, manteniendo gallinas de alimentación y el agua debido a la tensión de ruido
	Exposición a ruido permanente de 95 dB y 500 (Brouček 2014).	S sobresalto, período de latencia, correr, quedar inmóviles, pequeños movimientos desiguales de la cabeza y comportamiento similar al sueño.
Pollo de engorde	Exposición a ruido de 80 dB (Bedanova et al., 2010).	Elevación significativa de la relación de heterófilos a linfocitos (H:L) y de los de los granulocitos basófilos indicando una respuesta de estrés.
	Exposición a estímulos a intensidades de 80 dB y 100 dB e matadero simulados durante 10 minutos en una sala de ensayo (Chloupek et al 2009)	Elevación muy significativa en el nivel de corticosterona en el plasma de los pollos expuestos en relación con las aves de control.
Gallinas ponedoras	Exposición a ruido de 90 dB (camión, tren y ruidos de aviones) durante 60 minutos (Oh et al. 2011)	Hasta 90 dB el ruido parecía no afectar la productividad y la calidad del huevo de las gallinas ponedoras. Intensidades de ruido de 115 dB fueron eficaces para interrumpir el empolle (cluequera) en gallinas (Gross, 1990)
Codorniz japonesa	ruido general (100-8,000 Hz, 80 dB) (Woolf et al., 1976)	Eclosión acelerada

Tabla 6-4: Algunos posibles efectos del ruido sobre anfibios

Animal	Tipo de ruido	Efecto
Sapo de espuelas	Sonidos grabados de motocicleta (95 dBA) (Brattstrom y Bondello 1983)	Emergencia provocada por las madrigueras
Rana arborícola neotropical (<i>Eleutherodactylus coqui</i>)	Tonos de entre 230 Hz y 3.420 Hz (intensidad variable, dependiendo de la frecuencia)	Conductas de evitación
Rana toro (<i>Rana catesbeiana</i>)	Exposición a niveles de presión sonora (> 150 dB). (Simmons et al. 2014)	Las células ciliadas presentaron respuestas diferenciales. Se renovaron o recuperaron a los 9 días de ocurrida la exposición. La recuperación funcional ocurrió a los 3 a 4 días

Tabla 6-5: Algunos posibles efectos del ruido y explosiones sobre reptiles

Animal	Tipo de ruido	Efecto
Iguana del desierto	Ruido ORV (114 dB para 1 y 10 h) (Bondello 1976)	Cambio en el umbral de audición; pérdida de la sensibilidad auditiva permanente
Lagarto de patas rayadas (<i>Uma scoparia</i>)	Sonidos grabados en buggy (95 dB) (Bondello et al 1.979).	Pérdida de audición después de menos de 9 minutos de exposición

Tabla 6-6: Efectos de acuerdo al tipo de ruido en mamíferos acuáticos

Animal	Tipo de ruido	Efecto
Ballena Beluga	Tráfico de barcos (Acoustical Society of America 1980)	Fácilmente desplazadas
Pinnípedos	Estampidos sónicos (nivel de presión sonora 80-89 dBA) (Jehl and Cooper 1980)	Reacciones de sobresalto
Elefante de mar	Ruido impulsivo producido con un cañón de carburo para control de plagas (115,6 -145,5 dBA) (Stewart 1982)	Comportamientos de alerta
León de mar	Estampido simulado (Stewart 1982)	Abandona la playa fuera de la estación de cría y se va a la rompiente.
Ballenas jorobadas machos	Emisiones de baja frecuencia (150 Hz - 320 Hz) de los sonares militares. (Jones, 2008)	Aumento en la duración de su canción. Cambios repentinos en la trayectoria de buceo lo cual puede producir muerte a causa de los efectos de la descompresión.
Delfín	Ruidos de baja frecuencia en forma permanente (motores y hélices de embarcaciones recreativas) (Rako et al. 2013)	Interferencia con la capacidad para comunicarse.
	Ruido de los aviones (Davis et al. 2000, citados por Wyle S/A)	No se observa desaliento el uso de la zona, tampoco los perjudica. Los delfines sólo reaccionaron ante el sobrevuelo de helicópteros entre 350 m y 550 m de altura sobre el agua.

Tabla 6-7: Algunos posibles efectos del ruido y explosiones sobre peces

Animal	Tipo de ruido	Efecto
Trucha arcoíris (<i>Salmo gairdneri</i>)	Estampido sónico (máx. 4,16 lb/ft ²) (Rucker 1973)	Reacción conductual leve.
Trucha (<i>Salmo clarkii</i>), trucha arco iris (<i>Salmo gairdneri</i>), salmón (<i>Oncorhynchus tshawytscha</i>)		Huevos expuestos en períodos críticos no mostraron diferencias en cuanto a mortalidad.
Arenque (<i>Clupea harengus</i>)	sonidos grabados de una flota pesquera (Schwarz y Greer 1984)	Evitación, alarma y respuestas de sobresalto
	Presiones sonoras (2-18 Pa) en la pared del tanque (Blaxter y Hoss 1981)	respuestas de sobresalto
Bolín (<i>Cyprinodon variegatus</i>) / killis (<i>Fundulus similis</i>)	tanques expuestos a altos niveles de ruido (hasta +30 dB/ub) (Banner y Hyatt 1973)	Tasas de crecimiento reducidas; reducción de la viabilidad de los huevos de carpa
	estampidos sónicos simulados (Dancer et al, 1973)	Reacciones de corta duración
Ayu asiático	Ruido submarino (200-600 Hz, 72-	Saltar como respuesta

Animal	Tipo de ruido	Efecto
<i>Plecoglossus altivelis</i>	80 dB (Konagaya 1980a)	
No especificado	Sonido de dragado submarino (38-75 dB) (Konagaya 1980b)	Respuestas negativas; evitación del campo acústico del lugar de trabajo
Guramis azules (<i>Trichogaster trichopterus</i>)	Exposición durante aproximadamente ocho minutos a un tono puro de 150 Hz con una presión máxima de 198 dB re 1 µPa. (Hastings, 1990, 1995).	"aturdimiento acústico".. La pérdida de conciencia exhibida por estos peces podría haber sido causada por neurotrauma.
Peces con vejiga natatoria	ruidos intensos (Jones y Stokes 2009)	puede hacer que se dañen los tejidos de la vejiga natatoria, la que puede llegar a romperse a causa de estas oscilaciones
Pez rojo (<i>Carassius auratus</i>)	Exposición continua a un ruido de 100 Hz a 10.000 Hz con nivel de presión rms total de 170 dB re 1 µPa.	Los niveles de corticosteroides no cambiaron

Tabla 6-8: Algunos posibles efectos del ruido y explosiones sobre invertebrados

Animal	Tipo de ruido	Efecto
Camarón gris	Ruido de acuario (25-400 Hz, 30 dB) (Lagardere 1982)	Disminución de la ingesta de alimentos, del crecimiento y la reproducción; aumento de canibalismo y mortalidad
Polilla india de la harina	Ruido general (120-2,000 Hz) (Kirkpatrick y Harein 1965)	Reducción del 75 % en los adultos emergentes expuestos en etapa larval
	Ruido general (2-40 kHz) (Tsao, 1969)	Cesación de movimiento
Gusano del maíz / Polilla de la harina	Sonido pulsátil (50 kHz, 65 dB SPL) (Cutkomp 1969)	Reducción del 50 % en la longevidad y del 59 % en el número de huevos por hembra
Abejas de la miel	Ruido general (200-2,000 Hz, 107-119 dB SPL) (Frings and Little 1957; Little 1959)	Cesación de movimiento
Langostas	Ruido general (4 kHz, 80 dB SPL) (Shulov, 1969)	Volar como respuesta
Mosquitos	Ruido general (125 Hz, 13-18 dB por encima del ruido ambiente) (Frings and Frings 1959)	Enjambre de machos alrededor de la fuente
Calamares (<i>Loligo vulgaris</i> , <i>Illex coindetii</i>), sepias (<i>Sepia officinalis</i>) y pulpos (<i>Octopus vulgaris</i>)	Barridos de ondas sinusoidales de 50 Hz a 400 Hz durante un período de 1 segundo y un segundo período de barrido durante 2 horas, a un nivel sonoro recibido medido con un hidrófono fue de 157 ± 5 dB [re 1 µPa] con niveles máximos de 175 dB [re 1 µPa]. (André et al. 2011)	Alteraciones permanentes y sustanciales de las células ciliadas sensoriales de los estatocistos. Perforación del epitelio sensorial por pérdida de células ciliadas, rotura de membrana citoplasmática y extrusión de material celular. Fibras nerviosas aferentes inflamadas, con daño mitocondrial o degeneración completa. Daño menos grave en la periferia.
Calamar	Ruido de una pistola de aire (Fewtrell y McCauley, 2012 citados por Comisión Europea, 2013).	Lanzamiento de tinta, alejarse de la fuente. En estudios de seguimiento, fueron menos sensibles al ruido, pero no fue posible saber si se debió a daño auditivo o a acostumbamiento
Cangrejos ermitaños del Caribe (<i>Coenobita clypeatus</i>).	Reproducción del ruido de un motor de barco (Yim-Hol Chan et al. 2010)	Mayor acercamiento de predadores porque el ruido reduce la atención de los cangrejos

7 Bibliografía

- Alves da Rosa, Clarissa; Bager, Alex (2013) Review of the factors underlying the mechanisms and effects of roads on vertebrates, 16 pp. *Oecologia Australis* 17(1): 6-19, Março 2013 <http://dx.doi.org/10.4257/oeco.2013.1701.02>
- Ames, D.R.; Arehart, L.A. (1972) physiological response of lambs to auditory stimuli. *J Anim. Sci.* 1972, 34:994-998.
- André, Michel; Solé, Marta; Lenoir, Marc; Durfort, Mercè; Quero, Carme; Mas, Alex; Lombarte, Antoni; van der Schaar, Mike; López-Bejar, Manel; Morell, Maria; Zaugg, Serge; Houégnigan, Ludwig (2011). Low-frequency sounds induce acoustic trauma in cephalopods. *Front Ecol Environ* 2011; doi: 10.1890/100124
- Arnett, E.B., Technical Editor. (2005). *Relationships between bats and wind turbines in Pennsylvania and West Virginia: an assessment of bat fatality search protocols, patterns of fatality, and behavioral interactions with wind turbines. A final report submitted to the Bats and Wind Energy Cooperative*. Bat Conservation International. Austin, Texas, USA. 187 pp.
- Barber, J.R.; Crooks, K.R.; Fristrup, K.M. (2010). The costs of chronic noise exposure for terrestrial organisms. *Trends in Ecology and Evolution*, Vol. 25, No. 3, 2010, <http://www.sciencedirect.com/science>
- Barragán Casanova (S/A) Tesis: *Estudio del Impacto Ambiental del tráfico marítimo Barcelona – Baleares*
- Bayne, Erin M.; Habib, Lucas; Boutin, Stan (2008) Impacts of Chronic Anthropogenic Noise from Energy-Sector Activity on Abundance of Songbirds in the Boreal Forest. *Conservation Biology*, Volume 22, No. 5, 1186–1193 2008 Society for Conservation Biology, DOI: 10.1111/j.1523-1739.2008.00973.x
- Bee, Mark A.; Swanson, Eli M. (2007) Auditory masking of anuran advertisement calls by road traffic noise. *Animal Behaviour*, 2007, 74, 1765e1776, doi:10.1016/j.anbehav.2007.03.019
- Blickley, Jessica L.; Blackwood, Diane; Patricelli, Gail L. (2012a) Experimental Evidence for the Effects of Chronic Anthropogenic Noise on Abundance of Greater Sage-Grouse at Leks. *Conservation Biology*, Volume 26, No. 3, 461–471, 2012 Society for Conservation Biology. DOI: 10.1111/j.1523-1739.2012.01840.x
- Blickley, Jessica L.; Word, Karen R.; Krakauer, Alan H.; Phillips, Jennifer L.; Sells, Sarah N.; Taff, Conor C.; Wingfield, John C.; Patricelli, Gail L. (2012b). Experimental Chronic Noise Is Related to Elevated Fecal Corticosteroid Metabolites in Lekking Male Greater Sage-Grouse (*Centrocercus urophasianus*). *PLoS ONE* 7(11): e50462. doi:10.1371/journal.pone.0050462
- Brouček, J. (2014) Review: Effect of noise on performance, stress, and behaviour of animals. *Slovak J. Anim. Sci.*, 47, 2014 (2): 111-123.
- Brown, Casey (c.2008). *The effects of anthropogenic noise on ungulate distribution and behavior in the Grand Teton travel corridor*, 10 pp.
- Castellote, Manuel; Clark, Christopher W.; Lammers, Marc O. (S/A) *Potential negative effects in the reproduction and survival on fin whales (Balaenoptera physalus) by shipping and airgun noise*. SC/62/E3, 12 pp.

- Castellote, Manuel; Mooney, T. Aran; Quakenbush, Lori; Hobbs, Roderick; Goertz, Caroline; Gaglione, Eric (2014). Baseline hearing abilities and variability in wild beluga whales (*Delphinapterus leucas*). *The Journal of Experimental Biology* (2014) 217, 1682-1691 doi:10.1242/jeb.093252 © 2014. Published by The Company of Biologists Ltd
- Castelo Branco, N.A.; Costa e Curto, Teresa; da Costa Pereira, João Pedro; Luisa Mendes Jorge, Luisa; Cavaco Faísca, Júlio; Amaral Dias, Luis; Oliveira, Pedro; Martins dos Santos, José; Alves-Pereira, Mariana (2010) Family with wind turbines in close proximity to home: follow-up of the case presented in 2007. 14th International Meeting on Low Frequency Noise and Vibration and its Control, Aalborg, Denmark, 2010.
- Crino, O.L.; Johnson, E.E.; Blickley, J.L.; Patricelli, G.L.; Breuner, C.W. "Effects of experimentally elevated traffic noise on nestling white-crowned sparrow stress physiology, immune function and life history". *The Journal of Experimental Biology* 216, 2055-2062, 2013. doi:10.1242/jeb.081109
- Dooling, R. (2002) *Avian Hearing and the Avoidance of Wind Turbines*. 84 pp. June 2002, National Renewable Energy Laboratory NREL/TP-500-30844.
- Dooling, Robert J.; Leek, Marjorie R.; Popper, Arthur N. (2015) Effects of noise on fishes: What we can learn from humans and birds. *Integr Zool*. 2015 January; 10(1): 29–37. doi:10.1111/1749-4877.12094.
- Dooling, Robert J.; Popper, Arthur N. (2007) *The Effects of Highway Noise on Birds*. 74 pp. The California Department of Transportation, September 30, 2007.
- European Commission's Directorate & University of the West of England (UWE) (2013). Future Briefs: Underwater Noise, Revised version. *Science for Environment Policy* Issue 7, 8 pp. June, 2013.
- European Commission's Directorate & University of the West of England (UWE) (2015) Environment News Alert Service: Noise from human activity can impair foraging in bats, *Science for Environment Policy*. Issue 425, 3 September 2015.
- F-35A Pacific Operational Beddown Draft EIS. *Appendix E: Noise modelling, methodology and effects*. August 2015.
- Francis, C. D.; Kleist, N. J.; Ortega, C. P.; Cruz, A. (2012). Noise pollution alters ecological services: enhanced pollination and disrupted seed dispersal. *Proc. R. Soc. B* (2012) 279, 2727–2735. doi:10.1098/rspb.2012.0230
- Francis, Clinton D.; Ortega, Caterine P.; Cruz, Alexander (2011a) Different behavioural responses to anthropogenic noise by two closely related passerine birds. *Biol. Lett.* Published online. doi:10.1098/rsbl.2011.0359
- Francis, Clinton D.; Ortega, Caterine P.; Cruz, Alexander (2011b) Noise Pollution Filters Bird Communities Based on Vocal Frequency. *PLoS ONE* 6(11): e27052. doi:10.1371/journal.pone.0027052
- Fuertes Sánchez, L. M. (2010) El croar de las ranas, vital para su supervivencia, Periódico de la Universidad Nacional de Colombia, *Unimedios*, No. 135, 2010. <http://www.unperiodico.unal.edu.co/vpp/article/el-croar-de-las-ranas-vital-para-su-supervivencia>

- Fundación Cethus, IFAW-SAMWG, Instituto de Conservación de Ballenas (Argentina), Projeto Baleia Franca (Brasil), Centro de Conservación Cetácea (Chile), Organización para la Conservación de Cetáceos (Uruguay) (S/A). *Peces y contaminación acústica*.
- Galán, Carlos (2006). *Estudio de probables afecciones del Parque Eólico de Mandoegi (Guipúzcoa-Navarra) sobre poblaciones de Quirópteros*. Biosphere Consultancies & Sociedad de Ciencias Aranzadi, 19 pp. España, julio de 2006.
- Grandin, Temple (1980). Livestock behavior as related to handling facilities design. *International Journal for the Study of Animal Problems*, 1(1), 33-52.
- Grandin, Temple, Reviewed by S.D. Musgrave and G.W. Thrasher (1989). Behavioral Principles of Livestock Handling (With 1999, 2002, 2010, 2014, and 2015 Updates on Vision, Hearing, and Handling Methods in Cattle and Pigs). *Professional Animal Scientist*, pp. 1-11, Dec. 1989
- Grandin, Temple (1996). *Animal Welfare in Slaughter Plants. Presented at the 29th Annual Conference of American Association of Bovine Practitioners*. Proceedings, pp. 22-26 (1996).
- Grandin, Temple (1998) *La reducción del estrés del manejo mejora la productividad y el bienestar animal*. Publicado en The Professional Animal Scientist, Vol. 14, No. 1, Marzo de 1998. Traducción del Dr. Marcos Giménez-Zapiola, www.produccion-animal.com.ar
- Grandin, Temple (2000) *Principios de comportamiento animal para el manejo de bovinos y otros herbívoros en condiciones extensivas*. Publicado en: Temple Grandin (comp.) Livestock Handling and Transport. CABI Publishing, Wallingford, Oxon (Reino Unido), 2000, capítulo 5 (pp. 63-85) y en www.grandin.com. Traducción del Dr. Marcos Giménez Zapiola, www.produccion-animal.com.ar
- Gygax L.; D. Nosal, D. (2006) Short Communication: Contribution of Vibration and Noise During Milking to the Somatic Cell Count of Milk *J. Dairy Sci.* 89:2499–2502, American Dairy Science Association, 2006.
- Hastings, Mardi C.; Popper, Arthur N. (2005) Effects of Sound on Fish. Report for Jones & Stokes Under California Department of Transportation , 82 pp., August 23, 2005.
- Head, H.H.; Kull, R.C. Jr.; Campos M.S.; Bachman, K.C.; Wilcox, C.J.; Cline, L.L.; Hayen, M.J. (1993) Milk Yield, Milk Composition, and Behavior of Holstein Cows In Response to Jet Aircraft Noise Before Milking. *J Dairy Sci* 76:1558-1567.
- Heffner, Rickye S.; Heffner, Henry E. (1983) Hearing in large mammals: Horses (*Equus caballus*) and cattle (*Bos taurus*). *Behavioral Neuroscience*, Vol 97(2), Apr 1983, 299-309.
- Heffner, Rickye S.; Heffner, Henry E. (1992) Hearing in large mammals: Sound-Localizaion Acuity in Cattle (*Bos taurus*) and Goats (*Capra Hircus*). *Journal of Comparative Psychology*, Vol 106(2), 1992, 107-113.
- Herrera-Montes, María Isabel; Aide, T. Mitchell (2011) Impacts of traffic noise on anuran and bird communities. 13 pp. *Urban Ecosyst* doi 10.1007/s11252-011-0158-7
- Immel, A.R. (1995) *Shhhh... those 'peculiar people' are listening*, 1995. <http://www.acoustics.org/press/swa9502.html>
- Johns, J.; Patt A.; Hillmann, E. (2015) Do Bells Affect Behaviour and Heart Rate Variability in Grazing Dairy Cows? *PLoS ONE* 10(6): e0131632. doi:10.1371/journal.pone.0131632

- Jones, Gareth (2008) Sensory Ecology: Noise Annoys Foraging Bats. *Current Biology* Vol 18 No 23 R1098. doi: 10.1016/j.cub.2008.10.005
- Jones & Stokes-Illingworth and Rodkin, Inc (2009) *ICF Technical Guidance for Assessment and Final Mitigation of the Hydroacoustic Effects of Pile Driving on Fish*. California Department of Transportation, 298 pp., February 2009
- Kanitz E, Otten W, Tuchscherer M (2005) Central and peripheral effects of repeated noise stress on hypothalamic-pituitary-adrenocortical axis in pigs. *Livest Prod Sci* 94: 213–224.
- Kight, Caitlin R.; Swaddle, John P. (2011) How and why environmental noise impacts animals: an integrative, mechanistic review. *Ecology Letters*, (2011) 14: 1052–1061 doi: 10.1111/j.1461-0248.2011.01664.x
- Krause, B.L. (1993) The Niche Hypothesis: A virtual symphony of animal sounds, the origins of musical expression and the health of habitats. *The Soundscape Newsletter*, N.6, June 1993, pp. 6-10. <http://wfae.proscenia.net/library/newsletter/SNL6.pdf>
- Lanier, J.L.; Grandin, T.; Green, R.D.; Avery, D.; McGee, K. (2000) *La relación entre el temperamento del animal y su reacción a estímulos súbitos e intermitentes*. Publicado en *Journal of Animal Science*, 2000, 78:1467-1474 y en www.grandin.com Traducción del Dr. Marcos Giménez-Zapiola, www.produccion-animal.com.ar
- Lundstein, Line Gertrud (2013) *Can cortisol be used to assess acute stress in moose?* 3.klasse Utmarksforvaltning, Bacheloroppgave, 15 pp. 2013.
- Luo, Jinhong; Goerlitz, Holger R.; Brumm, Henrik; Wiegrebe, Lutz. (2015) Linking the sender to the receiver: vocal adjustments by bats to maintain signal detection in noise. *Sci. Rep.* 5, 18556; doi: 10.1038/srep18556 (2015).
- Mac-Quhae R. César A. (S/A) *Efectos de la contaminación acústica sobre los cetáceos*. Fundación La Salle de Ciencias Naturales, Venezuela, 5 pp.
- Maldonado Warden, Diego; Alcalá Fernández, Víctor (1996). *Bioacústica en Cetáceos*. Facultad de Ciencias del Mar, Universidad de Cádiz, España, 1996.
- Manci, K.M.; Gladwin, D.N.; Vilella, R.; Cavendish M.G. (1988). *Effects of aircraft noise and sonic booms on domestic animals and wildlife: a literature synthesis*. U.S. Fish and Wild Serv. National Ecology Research Center, Ft. Collins, CO. NERC-88/29. 88 pp.
- Mestre, Vincent (2008) *Effects of Aircraft Noise: Research Update on Selected Topics. A Synthesis of Airport Practice*. Airport Cooperative Research Program ACRP Synthesis 9, Transportation Research Board of the National Academies www.TRB.org
- Morley, E.L.; Jones, G.; Radford, A.N. (2014). The importance of invertebrates when considering the impacts of anthropogenic noise. *Proc. R. Soc. B* 281: 20132683. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2013.2683>
- Myrberg, Arthur A. Jr.; Ha, Samuel J.; Walewski, Stanley; Banbury, John C. (1972). Effectiveness of acoustic signals in attracting epipelagic sharks to an underwater sound source. *Bulletin of Marine Science* 22(4) pp. 927-949, 1972.
- Nachtigall, Paul E.; Supin Alexander Ya; Smith, Adam B.; Pacini, Aude F. (2016) Expectancy and conditioned hearing levels in the bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) *Journal of Experimental Biology* 2016: doi: 10.1242/jeb.133777

- National Wind Coordinating Collaborative NWCC (2010) *Fact Sheet: Wind Turbine Interactions with Birds, Bats, and their Habitats: A Summary of Research Results and Priority Questions*. 8 pp., 2010. www.nationalwind.org
- Nelson, Donald R.; Gruber, Samuel H. (1963) Sharks: Attraction by Low-Frequency Sounds. *Science* Vol.142, pp. 975-977, November 1963.
- Nemeth, E. *et al.* (2010) "Bird song and anthropogenic noise: vocal constraints may explain why birds sing higher-frequency songs in cities", *Proc. R. Soc. B.* 280: 20122798, 2010. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2012.279>
- Pearce-Higgins, J.W.; Stephen, L.; Langston, R.H.W.; Bainbridge, I.P.; Bullman, R. (2009). The distribution of breeding birds around upland wind farms. *Journal of Applied Ecology*, 46: 1323–1331. doi: 10.1111/j.1365-2664.2009.01715.x
- Peris, S. J.; Pescador, M. (2004). Effects of traffic noise on passerine populations in the Mediterranean wood pastures. *Appl. Acoust.* 65, 357-366.
- Petryna, Ana; Bavera, G.A. (2002). *Etología*. Cursos de Producción Bovina de Carne, FAV UNRC. www.produccion-animal.com.ar
- Rabin, Lawrence A.; McCowan, Brenda; Hooper, Stacie L.; Owings, Donald H. (2003) Anthropogenic Noise and its Effect on Animal Communication: An Interface Between Comparative Psychology and Conservation Biology. *International Journal of Comparative Psychology*, 2003, 16, 172-192.
- Radle, A.L. (2007). *Effect of Noise on Wildlife: A Literature Review*, 2007. http://wfae.proscenia.net/library/articles/radle_effect_noise
- Ramsey, Mark. *Schlumberger Oilfield Glossary en Español*. Texas Drilling Associates. Consultado en: http://www.glossary.oilfield.slb.com/es/Terms/a/air_gun.aspx
- Sayre, Roger W.; Seabloom, Robert W.; Jensen, William F. (2002) Responses of Bighorn Sheep to Disturbance in Low-Elevation Grasslands. *The Prairie Naturalist* 34(112): pp.31-46, March/June 2002.
- Simmons, Dwayne D.; Lohr, Rachel; Wotring, Helena; Burton, Miriam D.; Hooper, Rebecca A.; Baird, Richard A. (2014) Recovery of otoacoustic emissions after high-level noise exposure in the American bullfrog. *J Exp Biol* 217, 1626-1636. May 1, 2014. doi: 10.1242/jeb.090092
- Southall, B.; Berkson, J.; Bowen, D.; Brake, R.; Eckman, J.; Field, J.; Gisiner, R.; Gregerson, S.; Lang, W.; Lewandoski, J.; Wilson, J.; Winokur, R. (2009). *Addressing the Effects of Human-Generated Sound on Marine Life: An Integrated Research Plan for U.S. Federal Agencies*. Interagency Task Force on Anthropogenic Sound and the Marine Environment of the Joint Subcommittee on Ocean Science and Technology. Washington, DC.
- Spanjer, G.R. (2006). *Responses of the big brown bat, Eptesicus fuscus, to a proposed acoustic deterrent device in a lab setting*. Bats and Wind Energy Cooperative; Maryland Department of Natural Resources. Bat Conservation International. Austin, Texas, USA.
- Stocker, Michael (2002). *Fish, Mollusks and other Sea Animals' use of Sound, and the Impact of Anthropogenic Noise in the Marine Acoustic Environment*, 26 pp.

- Strickland, M.D.; Arnett, E.B.; Erickson, W.P.; Johnson, D.H.; Johnson, G.D.; Morrison, M.L.; Shaffer, J.A.; Warren-Hicks, W. (2011). *Comprehensive Guide to Studying Wind Energy/Wildlife Interactions*. The National Wind Coordinating Collaborative, Washington D.C., USA.
- Thomsen, F.; Lüdemann, K.; Kafemann, R; Piper, W. (2006). *Effects of offshore wind farm noise on marine mammals and fish*, COWRIE Ltd., Hamburg, Germany.
- Thorell, Karolina (2009). *Factors influencing pig behaviour during unloading from a transport*. SLU, Department of Animal Environment and Health, Uppsala 2009.
- Van der Staay, Franz Josef; Joosse, Martin; van Dijk, Henk; Schuurman, Teun; van der Meulen Jan. (2011) Physiological and behavioural reactions elicited by simulated and real-life visual and acoustic helicopter stimuli in dairy goats. *BMC Veterinary Research* 2011 7:16. doi: 10.1186/1746-6148-7-16
- Vasconcelos, R.O.; Alderks, P.W.; Ramos, A.; Fonseca, P.J.; Amorim, M.C.P.; Sisneros, J.A. (2015). Vocal differentiation parallels development of auditory saccular sensitivity in a highly soniferous fish. *J. Exp. Biol.* 218, 2864-2872.
- Warren, Paige S.; Katti, Madhusudan; Ermann, Michael; Brazel, Anthony (2006). Urban bioacoustics: it's not just noise. *Animal Behaviour*, 2006, 71, 491–502, doi:10.1016/j.anbehav.2005.07.014
- Watts, J. M.; Stookey, J. M. (2000) Vocal behaviour in cattle: the animal's commentary on its biological processes and welfare. *Applied Animal Behaviour Science*, vol. 67, 2000, p. 15-33.
- Weeks, C. A. (2008). A review of welfare in cattle, sheep and pig lairages, with emphasis on stocking densities, ventilation and noise. *Animal Welfare*, vol. 17, 2008, p. 275-284.
- Wyle (S/A). *Noise Basics and the Effect of Aviation Noise on the Environment*, 48 pp.
- Yim-Hol Chan, Alvin Aaden; Giraldo-Perez, Paulina; Smith, Sonja; Blumstein, Daniel T. (2010). Anthropogenic noise affects risk assessment and attention: the distracted prey hypothesis *Biol. Lett.* 2010 6, doi: 10.1098/rsbl.2009.1081