

El canto de la naturaleza



Ricardo Ruiz Boullosa

Clara Alvarado Zamorano

PRÓLOGO

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN

I. LOS SONIDOS DE LOS PÁJAROS

El canto de los pájaros	1
Pájaros cantores	6
Cantantes en duetos, tercetos y más	11
Los pájaros, cantantes con oído absoluto	14
Pájaros danzantes con coreografías a su propio canto	19
Las guacamayas roja y verde	22
El búho, nocturno y silencioso	26
Los gallos, antiguos despertadores de la mañana	32
Los percusionistas del bosque	34
El colibrí	38
Pájaros que cantan como grillos	42
Los pájaros en las ciudades	44
Referencias	49

II. LOS SONIDOS DE LOS INSECTOS

Orquesta de bosques y praderas	57
El campo sonoro de los insectos	62
El oído de los insectos	69
Insectos cantores	72
Los grillos, termómetros naturales	78
Las cigarras	79
Comunicación por vibraciones	86
Referencias	90

III. ANIMALIA ULTRASÓNICA E INFRASÓNICA

Seres silenciosos	95
Trabajadores discriminados veladores del ecosistema	96
Ranas ultrasónicas	108
Un primate ultrasónico	111
Pájaros ultrasónicos	111
Las ballenas y los delfines	115

Animales infrasónicos	126
El sonido del andar del caballo	129
El Aye-Aye	133
La cuija	135
La creación de palabras a partir de los sonidos	138
Referencias	139

CAPÍTULO IV. LOS SONIDOS Y EL CUERPO HUMANO

La voz humana	145
Cómo se produce la voz	147
Voces del pasado	159
Porqué las sopranos sobresalen sobre la orquesta	164
Callas y Pavarotti. ¿Qué los hizo tan famosos?	166
Control de la voz en un recinto	171
Los castrati	173
Canto grupal	176
Los sonidos en el cuerpo humano	179
El sonido y la medicina	183
Sonidos de la medicina clínica	187
Efectos sonoros	190
Referencias	194

CAPÍTULO V. LOS SONIDOS DE LA TIERRA

La Geofonósfera	201
Los rayos y los truenos	201
Como suena un rayo	208
Efectos en la ionósfera traducibles a sonidos	214
¿Se pueden oír los meteoritos?	222
Dunas sonoras	226
El pulso de la Tierra	231
El sonido de los volcanes	235
Bufidos del mar	238
Luces y relámpagos asociados a terremotos	240
Referencias	245

CAPITULO VI. EL SONIDO Y EL ESPACIO

El sonido y la palabra	252
El sonido y el espacio que habita	258
El sonido y la imaginación	265
El sonido y el espacio de las cavernas	273
La arquitectura aural	275
El sonido y los espacios urbanos	282
El cambiante ruido	287
Ecología y acústica	290
La escultura sonora	301
Referencias	306

INTRODUCCIÓN

Constantemente nos mantenemos en contacto con el mundo que nos rodea, e incluso con determinados estados internos de nuestro organismo, a través de nuestros sentidos. Nos maravillamos, sorprendemos, aterrorizamos, por aromas, sabores, texturas, paisajes, sonidos, muchos de los cuales nos permiten disfrutar de agradables momentos por las sensaciones que nos provocan, experimentar sentimientos de rechazo, evocar en ocasiones recuerdos tristes, prevenirnos ante situaciones de peligro, etc. etc.

Al respecto, sin duda, el sentido del oído nos permite, consciente o inconscientemente, percibir directamente o a través de diversos equipos, los sonidos y las vibraciones que los provocan, su volumen, su tono, su timbre, la dirección de la cual provienen, ya sea generados por los animales o nosotros mismos, resultantes de las numerosas y diversas actividades desarrolladas por los seres humanos, o bien, por diversos fenómenos que se manifiestan en la naturaleza.

El sonido es inherente a la presencia de todo grupo animal, incluyendo al humano, y prácticamente todos tenemos desarrollado nuestro sentido del oído. El sonido conlleva una gran cantidad de información que las diversas especies hemos aprovechado a lo largo de nuestra evolución; las claves que el sonido nos da son múltiples: información de la posición, de la dirección y de la naturaleza de las fuentes sonoras, ya sean éstas generadas por depredadores, crías o fuentes diversas del medio ambiente, en general. El sonido es un elemento fundamental para la sobrevivencia (anuncia la presencia de depredadores), para la comunicación, para la elección de pareja, para la obtención de alimentos, entre otras situaciones.

El sonido emitido por los animales se genera a través de diversos mecanismos como, por ejemplo, por fricción (en las alas de los grillos), por vibración de columnas de aire (en el ser humano, mamíferos y pájaros), por golpes súbitos (pájaro carpintero, saltamontes y algunos insectos) o por resonancia de membranas (en insectos y algunos peces); los sonidos forman a veces cantos (sobresaliendo en esto los de los pájaros percheros), incluso formando a veces coros de múltiples individuos (pájaros y grillos), y aunque no somos capaces en general de entender su código o lenguaje (en algunos casos, como el de los perros, podemos aproximarnos a su intencionalidad), a veces nos impresionan por su riqueza o su belleza.

Se cree, en ocasiones, que la cúspide en la Naturaleza de muchos atributos físicos o funcionales como la vista, la audición, etc., está dada en el ser humano en su máxima capacidad, pero sucede que hay muchas especies en que alguna característica de la capacidad auditiva, ya sea el intervalo de audición (en el gato, algunos insectos, los delfines y ballenas), la sensibilidad al sonido y los umbrales de audición (en el búho, y otras aves), la generación de sonidos variados o simultáneos (en varias especies de pájaros), o intensidades relativas, es superior a las del ser humano (del saltamontes y otros insectos).

En este libro se reúnen algunos ejemplos, de la gran variedad existente, en que el sonido es relevante o interesante ya sea, por ejemplo, por lo espectacular o lo poco conocido, o conocido pero sólo por algunos especialistas, o que no es apreciado quizás por su cotidianeidad en la vida diaria como los sonidos de algunos pájaros, los sonidos de las tormentas, lluvia, rayos, etc. Se abordan algunos de los sonidos más espectaculares que generan algunos animales, el ser humano, y la naturaleza en general, ya sea por su intensidad, por su extrañeza, por su variedad, porque algunos no los oímos y porque algunos los escuchamos, acaso también por su belleza.

Con respecto a los pájaros, en el **capítulo I** nos referimos, por ejemplo, al pájaro lira macho, originario de Australia, un excepcional y maravilloso imitador-reproductor de gran diversidad de cantos producidos por otras aves o sonidos varios generados en su entorno, muy probablemente con el propósito de atraer a una hembra para aparearse, tal como lo manifiesta el gran naturalista inglés David Attenborough. Así mismo, hacemos referencia a las cacatúas, las cuales con frecuencia demuestran marcadas respuestas a los sonidos musicales, pudiéndose observar gran cantidad de videos de cacatúas bailando con música popular, lo cual manifiesta su capacidad de percibir el ritmo de la música y sincronizar los movimientos de su cuerpo con el ritmo.

Los insectos, tal como lo mostramos en el **Capítulo II**, son generadores de cantos tal como el característico “cri-cri, cri-cri”, del cortejo sexual que producen los grillos machos (que el conocido compositor mexicano Francisco Gabilondo Soler, plasmó en el personaje “CriCri, el grillo cantor”). En forma similar, cómo no sorprendernos con el canto casi ensordecedor de las cigarras, en especial de *Cyclochila australasiae*, que pese a medir aproximadamente 4 cm de longitud, es uno de los insectos más ruidosos del mundo.

En el **Capítulo III** se aborda el tema de la animalia ultrasónica e infrasónica, aun cuando usualmente no percibimos su lenguaje y señales sonoras, tal es el caso del delfín, uno de los animales más inteligentes de nuestro planeta y que posee la capacidad de generar breves ráfagas de impulsos sonoros de alta y baja frecuencia, denominadas *clicks*, combinadas con una audición direccional muy sensible, que otorga a estos animales un sistema sensorial único en el mar. Similarmente, se comenta acerca de los murciélagos, que cazan y se guían de noche mediante su radar acústico, que permite la Ecolocalización, término que D. Griffin creó en 1938 al demostrar su existencia en los murciélagos.

Los humanos, se dice los animales más inteligentes en la Tierra, aunque no siempre sus acciones lo demuestran, producimos sonidos por tener un cuerpo que interacciona con el medio y utilizamos el sonido para comunicarnos y deleitarnos con nuestros cantos, al igual que los pájaros se deleitan y nos deleitan con el suyo. Cantos como el de las sopranos, algunas muy famosas como María Callas, considerada la cantante de ópera más eminente del Siglo XX, o de tenores como el inolvidable Luciano Pavarotti. Así, el canto humano con sus diversas técnicas de canto, manifestando múltiples sentimientos, alegría, tristeza, dolor, etc. o el papel del sonido en la detección de trastornos del organismo, se tratan brevemente en el **capítulo IV**.

Nuestro planeta, está formado por montañas, ríos, nubes, lagos, mares, llanuras, desiertos, y aire, y luz, y viento, donde se generan y transforman los innumerables ecosistemas habitados por animales, plantas y nosotros, los seres humanos. La rotación de la Tierra y alrededor del Sol, su calor interno y cambiante orientación y cercanía a esa estrella que llamamos Sol, provoca que se generen las estaciones que determinan la aparición de diversos fenómenos en todo el mundo y que esté en constante movimiento en su interior. Así, ya sea por terremotos y temblores, por el mar y sus corrientes, las olas y las mareas que mueven los océanos y lagos; por la atmósfera y sus vientos, lluvia, ciclones, tormentas, rayos y relámpagos, se generan en la atmósfera y en su superficie, microperturbaciones de densidad que denominamos “sonidos”, a los que la gran mayoría de los animales, incluyendo al hombre, somos sensibles. La Tierra, por estos movimientos y vibraciones produce fenómenos, ya sean electromagnéticos (rayos, relámpagos, luz cambiante) o mecánicos, que dan lugar algunos de los sonidos naturales más poderosos del planeta, y espectáculos de luz y sonido algunos espectaculares y periódicos como sucede en el Lago Maracaibo, en Venezuela, o el sonido de los volcanes o de las olas del mar; anotemos por ejemplo, La Bufadora, en Baja California, y cuyas características se abordan en el **capítulo V**.

Cuando el sonido habita momentáneamente un espacio que rodea a la fuente de sonido, ya sea al aire libre en un espacio natural, como una cueva o un cañón, o en un espacio arquitectónico cerrado o semicerrado, como una iglesia, un auditorio o una sala de conciertos, o más pequeños como habitaciones comunes, el ambiente sonoro está en estrecha relación con el ser humano. El sonido generado en estos espacios constituye un tema interesante, pues estos espacios imprimen una huella que nos comunica una o varias de sus características, y su reacción a él o su experiencia con él, dando lugar a diferentes manifestaciones del uso del sonido en el espacio, algunas de las cuales se resaltan en el **capítulo VI**. Al respecto, nos referimos, por ejemplo, a las manchas rojas de la gruta de Pech - Merle, en Francia, que parecen señalar la ubicación de una fuerte resonancia.

Conscientes de que los diversos aspectos del sonido, ya sea en su generación, su transmisión o su recepción, por animales o por el ser humano abordados en este libro son numerosos, amplios y diversos, y de que no somos expertos en ellos, las narraciones que se presentan en sus páginas se basan fundamentalmente en información existente en la literatura científica y en otras fuentes confiables. Está dirigido a cualquier persona que se interese por las manifestaciones de fenómenos naturales en relación al sonido y su interacción con nosotros los humanos, actores y espectadores en la naturaleza. Mediante este libro intentamos dar a conocer, con algunos ejemplos o temas, sólo algunas de las muchas áreas en que el sonido es importante en nuestras vidas.

Los autores

Capítulo I. Los sonidos de los pájaros



EL CANTO DE LOS PÁJAROS

*La bandada de pájaros canora
sus trinos une al murmurar del río;
gime el follaje temblador, colora
la luz el monte, las campiñas dora
y a lo lejos blanquea el caserío.
Y va creciendo el resplandor y crece
el concierto a la vez. Ya los rumores
y los rayos hinchén el viento,
hacen temblar el éter, y parece
que en explosión de notas y colores
va a inundar a la tierra el firmamento, [...]*

*las ramas secas quiebranse al ligero
salto de las ardillas, su chasquido
a unirse va con el golpeo bronco
del pintado y nervioso carpintero
que está en el árbol taladrando el tronco, [...]¹.*

El canto de los pájaros ha fascinado a la humanidad, desde siempre en todas las culturas, su belleza nos fascina e inspira aún hoy día en plena era tecnológica. Nezahualcóyotl, el rey poeta azteca del siglo XV, expresó en uno de sus poemas:

*[...] Resuena el canto, los cascabeles se hacen oír,
a ellos responden nuestras sonajas floridas.
Derrama flores, alegra el canto.
Sobre las flores canta el hermoso faisán,
su canto despliega en el interior de las aguas.
A él responden varios pájaros rojos.*

¹Fragmentos del poema *Himno de los Bosques*, poema pleno de descripciones de impresiones auditivas de los cambiantes paisajes sonoros de la naturaleza del Altiplano Mexicano: el devenir en el tiempo de la vida en un día, del alba al ocaso. Escrito en 1891 por Manuel J. Othón (1858-1906), uno de los grandes paisajistas sonoros de la poesía mexicana, quien nació en San Luis Potosí, México.

*El hermoso pájaro rojo bellamente canta [...]*²

El poeta argentino L. A. Ambroggio, en su reseña del libro *La poesía de los pájaros*, del poeta A. P. Alencart y el pintor Miguel Elías, expresa:

“Los pájaros han habitado siempre la literatura, los domésticos y los salvajes que conviven con nosotros, nuestra propia ancestría de alas, sus trinos, sus lenguajes, su melodía atraen a los humanos con su misterio y los diferencia de otros animales, tocando el aire y el cielo de nuestra propia espiritualidad”³.



Figura 1.1. Se muestra uno de los murales de la cultura maya, de aproximadamente el año 100 D.C., descubiertos en San Bartolo, Guatemala.

http://www.culturekiosque.com/art/news/maya_mural_san_bartolo_guatemala.html

El canto de los pájaros es mucho más antiguo que el hombre pues las aves habitan en la Tierra desde hace más de 60 millones de años, y es motivo de controversia si lo hacen desde hace 100 o 150 millones de años, y si evolucionaron de los dinosaurios (Xu *et al.*, 2014), teoría cada vez más aceptada⁴.

En las culturas prehispánicas, las aves tuvieron un papel

preponderante en su cosmovisión, las representaciones de aves ocurren muy

² Que aparece, en la recopilación de poemas nahuas: *Romances de los señores de la Nueva España* del S. XVI. Traducción de Miguel León Portilla, *Trece poetas del mundo azteca*, UNAM. IIH, 1978, Pp.67-69.

³Luis Alberto Ambroggio, *La poesía de los pájaros*, reseña del poemario *Pájaros bajo la piel del alma*, de Alfredo Pérez Alencart y Miguel Elías Sánchez, 2006, Salamanca: Trilce Ediciones.

⁴En años recientes, se ha aceptado que los descendientes de un ancestro común deben clasificarse en un grupo, para reflejar así las relaciones evolutivas conocidas como *cladística* (análisis por computadora de anatomía comparada, que jerarquiza con respecto a diferencias y similitudes de grupos relacionados). Esto ha colocado a los pájaros, con cierta controversia, entre los descendientes de los dinosaurios.

frecuentemente en las pinturas murales de los mayas, Figura 1.1. En los murales mayas se han identificado hasta 28 especies representadas como individuos o por sus plumas (Navarajo, 2012).

En la poesía azteca, los pájaros frecuentemente son tema principal, aludiendo a sus plumas, a la vida, al hombre y a la muerte; el más famoso de los poetas de esa época es, sin duda, el ya citado Nezahualcóyotl (León-Portilla, 1978). El canto de los pájaros es para comunicarse no con nosotros, sino en su propio mundo con los otros pájaros, sin embargo, aunque no lo entendamos plenamente, —pues apenas tenemos una ligera idea de la función de algunos *llamados* y *cantos*— su canto y su emplumada belleza son para nosotros deleite y fascinación; les ofrecemos cuentos, canciones, pinturas y poemas. Margit Frenk en su discurso de ingreso a la Academia Mexicana de la Lengua (Frenk, 1993), dijo refiriéndose a lo expresado por Salvador Novo de que los pájaros “han huido de la poesía moderna”, a diferencia del cantar del pueblo, pues en las canciones y sones hay muchísimas coplas referidas a los pájaros y que:

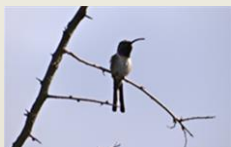
“... Basta en efecto, recorrer los cinco tomos del Cancionero folklórico de México (publicado por El Colegio de México entre 1975 y 1985) para darse cuenta del pulular de pájaros en las coplas populares de nuestro país. Abí revolotean infinidad de aves de las más diversas especies: chuparrosas, garzas, cenizontles, jilgueros, primavera; pericos, papagayos, cotorras; cuicacoche y chachalacas; uno que otro pijuil, totol, gallo; águilas reales e imperiales; mucho gavilán o gavi lancillo, guacamaya, gorrión; el pájaro cardenal y el carpintero, el pájaro cú, el acagualero, jaralero, lagunero, manzanero, mañanero, platanero, hebicero; el pájaro colorado, el verde, el azul, el prieto, y el pájaro mulato, de color azul oscuro y antifaz negro, que sabe imitar el canto de otras aves; el pájaro paisano, el vilán, el galán, y el tildío; por supuesto, la paloma y el palomo, el tordo, la torcaza, la tortolita, además del tecolote, el zopilote, el querreque... Vemos a esos pájaros volando por los aires, atravesando mares, a las orillas de los ríos y en las laderas de los cerros; parados en árboles, nopales, torres, garitas; posados en las ramas de los limones, los olivos, los laureles o “en la cumbre” de una vid, un cardón, una palma.”

No es de extrañar que haya muchísimas y tantas coplas, como dijo Salvador Novo, en el canto del pueblo referidas a los pájaros, pues en México hay del orden de 1 100 especies de aves, lo que representa que casi el 12 % de las especies del mundo lo habitan. Hay un estimado de cerca de 10 000 especies

de aves en el mundo, ocupando México el octavo lugar mundial (Burnie, 2003) en cuanto al número de especies, de las cuales más de 100 del total son especies mexicanas (9%). Por otro lado, las aves se clasifican en 29 órdenes, de los cuales 22 están presentes en nuestro país.

Los pájaros son objeto de estudio de la biología acústica (*bioacústica*), entre otras ciencias, justamente para tratar de entender su canto, del que hasta ahora no mucho se conoce, menos aún el significado de su comunicación. Observamos los pájaros y nos generan sentimientos de paz y tranquilidad o de reflexión, llegando a ser esta observación, en algunas personas, un hobby o incluso una forma de vida; una actividad recreativa que se originó en Inglaterra y Estados Unidos a finales del siglo XIX y principios del XX, y que se puede llevar a cabo a simple vista, a través de prismáticos o telescopios, o por la escucha de los *cantos*. Llega a ser la observación o “avistamiento” de aves, una forma de contribución al conocimiento científico de su estado de salud como especie, de su migración, distribución o número de individuos en determinada región. El avistamiento de aves a menudo implica un componente auditivo significativo, ya que muchas especies de aves son más fácilmente detectadas e identificadas por el oído que por ojo. La mayoría de los observadores de aves persiguen esta actividad por razones recreativas (aunque contribuyen al conocimiento de las poblaciones y su distribución), a diferencia de los ornitólogos, que participan en el estudio de las aves utilizando métodos científicos formales. Actualmente hay decenas de revistas dedicadas al avistamiento o estudio sobre las aves en todo el mundo (por ejemplo: *Bird Conservation International* y *World Birdwatch*). Parte del conocimiento de las aves como población en el mundo ha sido proporcionada por aficionados, dedicados a la observación de aves y a la elaboración de guías o manuales de campo.

En México, por tener tan elevado número de especies, el avistamiento de aves está adquiriendo más auge y hay zonas ya reconocidas a nivel mundial, como la zona de Puerto Vallarta, en Jalisco, donde se pueden observar hasta más de 200 especies, o la zona de Cardel en el estado de Veracruz, donde



bios.conabio.gob.mx

Figura 1.2 Algunos pájaros: Colibrí tijereta (*Doricha eliza*), Mulato azul (*Melanotis caerulescens*) y Codorniz coluda veracruzana.

pasan cientos de miles de aves en migración. Todos los días, de agosto a noviembre, miles de aves rapaces pasan durante la migración aviar que se dice es la más espectacular en el mundo.

Al final de la temporada, más de cinco o seis millones habrán volado sobre los dos sitios mencionados en su camino hacia América Central y del Sur, antes de regresar de nuevo con los vientos de marzo. Los observadores de aves de todo el mundo han estado visitando Cardel desde que el espectáculo de migración se hizo ampliamente conocido (Birder's World, October 2006, Contributing Editor Paul Kerlinger). El estado de Veracruz es el hogar de 84 familias de aves y 730 especies –casi el 70 por ciento de todas las aves que se encuentran en México, 28 de las cuales no se encuentran en alguna otra parte del mundo. Cerca de la mitad de las especies de aves de Veracruz, incluyendo 25 de las 28 especies endémicas, se pueden encontrar en un trayecto cercano a la ciudad de Cardel. En el curso de una semana se pueden observar hasta alrededor de 300 especies, incluyendo aves rapaces (25-30 especies), hasta 20 especies de colibríes, y numerosas

especies endémicas: El Colibrí Cola Hendida o Colibrí tijereta mexicano

(*Doricha eliza*), el Zumbador mexicano o Colibrí abejorro (*Atthis elois*a), el pájaro carricero, Mulato azul (*Melanotis caerulescens*), el Colín Barbudo (*Dendrortyx barbatus*) o codorniz-coluda veracruzana, Figura 1.2, y otras (información en www.BirdWatchingDaily.com).

En el sitio: <http://www.xeno-canto.org/about/terms> se pueden oír algunos de los *cantos* de estos pájaros. *Huitzil, Revista Mexicana de Ornitología* es una revista de la Sociedad para el Estudio y Conservación de las Aves en México, de excelente contenido científico actual sobre las aves en México.

PÁJAROS CANTORES

¿Cantan todos los pájaros? No, no todos, pero todos ya sean machos o hembras producen *llamados*, que son vocalizaciones simples y de corta duración producidas durante todo el año. Y de éstos hay al menos diez tipos (como alarmas, llamadas para iniciar el vuelo, de estrés, agresivas, de defensa territorial, de vuelo, de anidación, etc.). Algunos pájaros tienen entre cinco y quince *llamados*, que los ornitólogos y muchos observadores de pájaros que participan en el avistamiento de aves pueden reconocer.

Según Langmore (1998), definir lo que es un *canto* es algo más complicado pues son vocalizaciones largas y complejas producidas por las hembras y los machos durante todo el año en zonas tropicales o semitropicales, y generalmente por los machos en la época de apareamiento en zonas templadas. Pero, a veces, no hay una clara distinción entre un *llamado* y un *canto*, pues algunos *cantos* son repeticiones de un *llamado* simple que son, en general, de una o dos sílabas de corta duración. En general, los investigadores aceptan como definitorio de un *canto* la complejidad de la vocalización. En su mayoría, los pájaros que cantan en las zonas templadas de la Tierra son machos, incluso hasta hace unos años se creía que sólo los machos cantaban, pero esta suposición resultó ser un caso de sesgo en las conclusiones de investigaciones por haber sido realizadas, en gran parte, en zonas templadas. Sin embargo, en los trópicos o zonas calientes la situación

es diferente, pues muchas hembras cantan, conociéndose por lo menos 40 especies de pájaros en que las hembras cantan. El mismo autor señala una complicación consistente en que no hay una dicotomía clara entre *canto* y *llamado*; así, algunas hembras cantan repeticiones de un trino o gorjeo, con sílabas diferentes para producir complejas combinaciones que se podrían considerar verdaderas canciones. En general, se acepta que un *canto* es una sucesión compleja de vocalizaciones con múltiples sílabas y un *llamado* es una vocalización de una o dos sílabas.

Sólo cantan los passerinos, conocidos comúnmente como percheros, pájaros cantores, aves canoras o simplemente pájaros, que en términos científicos pertenecen al orden de los *Passeriformes*, que abarca casi la mitad de las especies de aves del mundo. En general, los passerinos exhiben más *llamados* que los no-passerinos. En algunos casos, las hembras y los machos cantan juntos o en dueto y algunas especies cantan en coro, en grupos de varios machos y varias hembras, alternándose los cantos; algunos manifiestan una sola canción y otros, muchas.

Por qué cantan en duetos es un problema difícil de responder, existiendo diversas teorías al respecto, quizás todas con algo de razón. Una teoría establece que los duetos ocurren cuando los miembros de una pareja cantan en combinación uno con el otro, sincronizada o alternadamente, por conflictos entre vecinos al defender su territorio, suponiéndose que dos cantos unidos son más efectivos para disuadir que la defensa individual. También podría deberse a que cada miembro del par defiende su territorio contra rivales del mismo sexo, por lo que los miembros de la pareja replican sus canciones para proteger a su pareja en contra de rivales del mismo sexo; al contestar sus canciones, los miembros de la pareja previenen el canto solista de su pareja, y anuncian su situación de pareja. Como se observa, es un tema complicado, no totalmente resuelto. Lo que sí se conoce actualmente (Levin, 1996), es que las hembras son las que inician los duetos y los machos les responden, al menos en la especie *Thryothorus nigricapillus*, soterré caribeño o troglodita cabecinegro.

Se conoce que el canto de los pájaros es producto de un sistema muy complejo de fonación, muy diferente al del humano, que les permite realizar diversas funciones (tales como, cantar dos tonos sin ninguna relación entre ellos, emitir tonos ultracortos, emitir sucesión continua de notas más amplias que las que tiene todo el piano, etc.), a diferencia de nosotros. Aún en la actualidad existe la controversia sobre cuál es el verdadero mecanismo que explica la generación del sonido en los pájaros.

Los pájaros tienen un órgano llamado *Siringe*, ubicado muy abajo en su pecho, justo donde la tráquea se divide en dos bronquios hacia los pulmones, [Figura 1.3](#). La tráquea es muy larga comparada con la equivalente de otros vertebrados, es un tubo largo y ancho que al resonar aumenta considerablemente la intensidad del sonido generado en el canto. La siringe posee dos membranas, una para cada bronquio, y como cada una tiene conexiones nerviosas al cerebro del pájaro, son capaces de vibrar controladamente en forma independiente, es decir, pueden producir sonidos separados. Producen así sonidos mucho más variados y complejos que los de los seres humanos.

Los pájaros con más músculos (hasta nueve en los casos más complicados) tienen cantos más complejos, lo que les permite tensar de diferentes maneras las membranas y cantar con mayor variedad. Se puede consultar es.wikipedia.org/aprendiendobiologiaconcayetano4009.blogspot.com, para mayor detalle de estos sistemas. Las membranas se constriñen reduciendo el diámetro del tubo y vibran por el paso del aire.

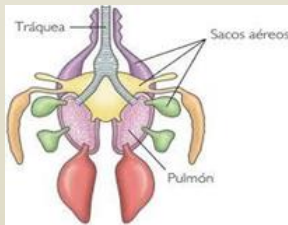
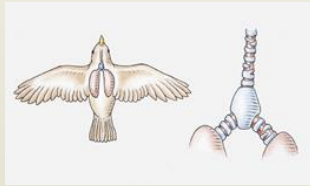


Figura 1. 3. Esquema del sistema respiratorio de los pájaros; al aumentar o reducirse de diámetro, vibra.

Para los que se interesen en los modelos acústico-numéricos, hay un estudio de Fletcher (1988) que establece un modelo físico simple de la siringe y que explica algunas de las características fundamentales de su funcionamiento⁵.

Los cotorros o loros poseen una lengua que les permite adecuar su cavidad bucal para generar sonidos similares a los del habla humana, justamente usando la lengua como lo hacemos nosotros, es decir, generan un sonido con la siringe, así como con la lengua y la garganta; además, cambian el sonido original al cambiar la forma de la cavidad, y las frecuencias de resonancia correspondientes o formantes.

⁵En ese artículo se detalla un modelo físico-matemático, que da cuenta cuantitativamente del canto simple de pájaros como el cuervo. Además, presenta niveles de sonido, el movimiento, la forma de onda, la potencia acústica radiada, el espectro radiado, etc.



El código QR señala a un pájaro que canta un tema similar al del principio de la 5ª Sinfonía de Beethoven⁶.

Las aves ventilan sus pulmones por medio de sacos aéreos, que almacenan aire y actúan como fuelles que provocan que los pulmones tengan un flujo de aire fresco constante. El ciclo de funcionamiento ocurre así: el pájaro aspira y el aire es canalizado desde los bronquios hasta los sacos aéreos posteriores (en forma de globos), donde se almacena el aire, **Figura 1.4**. Al exhalar, los sacos

aéreos posteriores se desinflan, pasando el aire a los pulmones, donde se absorbe el oxígeno. El aire procesado por los pulmones contiene CO₂ (bióxido de carbono) y se aloja a continuación en los sacos aéreos anteriores, luego el pájaro inhala nuevamente aire fresco y lo envía a los sacos aéreos posteriores y expulsa el aire consumido de los sacos anteriores al medio ambiente; finalmente, el aire fresco de los sacos aéreos posteriores fluye nuevamente a los pulmones⁷. Los pulmones funcionan como intercambiadores de gases, y los sacos como ventiladores que permiten un flujo

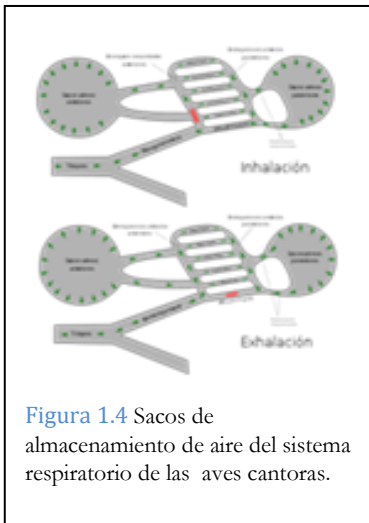


Figura 1.4 Sacos de almacenamiento de aire del sistema respiratorio de las aves cantoras.

⁶El canto de pájaro similar al inicio de la quinta sinfonía de Beethoven se muestra en: <http://www.3quarksdaily.com/3quarksdaily/2012/09/slowed-down-bird-song-sounds-like-human-classical-music.html>.

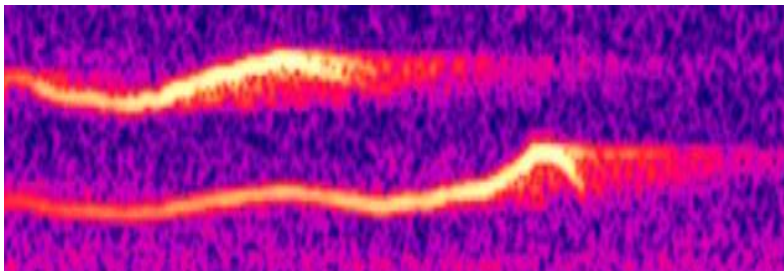
⁷Los sacos de aire permiten así un flujo unidireccional de aire por los pulmones. Esto quiere decir que el aire en los pulmones de los pájaros es fresco y tiene más oxígeno para que se difunda en la sangre, gracias a lo cual los pájaros pueden volar y cantar simultáneamente, durante más tiempo. En los mamíferos el flujo es bidireccional y el aire que entra en los pulmones se mezcla con el que sale, por lo que tiene menos O₂.

continuo y unidireccional de aire fresco (Maina, 2006).

Algunos pájaros, como el ceniztonle de agua o mirlo huertero (*Turdus grayi*), que habita en México y Centroamérica, pueden cantar una nota y después otra, usando alternativamente cada bronquio; otros pájaros pueden cantar hasta 30-40 notas por segundo. Algunos más pueden emitir o cantar dos notas al mismo tiempo o cantar incluso un dueto consigo mismos, Figura 1.5; otros pueden cantar simultáneamente una nota ascendente y otra descendente; unos más usan un lado para notas bajas y el otro para notas altas. Estas acciones no podemos llevarlas a cabo los seres humanos, ni otros animales.

Por medio de sondas, cámaras ultrarrápidas, medidores de vibración láser y otros aparatos, los bioacústicos estudian actualmente el funcionamiento del sistema de generación del sonido en los pájaros. En los últimos años ha habido grandes avances en la comprensión de las diversas características

Figura 1.5. Sonograma que muestra una gráfica de frecuencia (eje vertical) contra tiempo (eje horizontal), del canto del Pájaro Petirrojo, de Costa Rica. El dúo se observa por las dos líneas onduladas que ocurren al mismo tiempo, es decir, a un tiempo dado hay dos frecuencias simultáneas, que suben y bajan al mismo tiempo.
(<http://www.naturesongs.com/costa.html>)



que se conjugan, para que el canto de los pájaros cantores sea una maravilla de la naturaleza.

CANTANTES EN DUETOS, TERCETOS Y MÁS...



Figura 1.6. *Thryothorus euophrys*, Bellavista, Ecuador
http://en.wikipedia.org/wiki/Plain-billed_Wren. (04/02/14).

Los pájaros pueden cantar duetos coordinados —parejas en que al cortejarse, el pájaro macho canta una parte y la hembra la termina—. En algunas especies, grupos de hembras y machos cantan duetos al unísono o los dos cantan la misma nota, pero alternadamente (Mann *et al.*, 2006). También hay especies que cantan duetos y cuartetos, o hasta septetos, el caso más complejo que se conoce es el del *Thryothorus euophrys*, Figura 1.6.

Los pájaros comúnmente poseen repertorios de cantos. En muchos pájaros de zonas templadas, donde casi únicamente cantan los machos (Templeton *et al.*, 2013), sucede que cuando parte o todo el repertorio se comparte entre individuos de la misma especie, los rivales pueden encimar o empatar los cantos como signo de defensa en disputas territoriales.



Código QR de un sitio en que se puede oír el canto del cucarachero feliz:

<http://www.wired.com/wiredscience/2013/10/duetting->

En los trópicos, tanto los machos como las hembras, cantan y viven en grupos que cantan coros sincronizados; las hembras y los machos se alternan entre ellos en ciclos en que cada género contribuye con dos de las cuatro partes, en perfecta sincronía. Los autores citados describen el canto del cucarachero feliz (*Phengopedius felix*, antes *Thryothorus* según Templeton *et al.*, 2013) en México, en que parejas —de machos y hembras— defienden su territorio cantando en duetos o individualmente; incluso cantan duetos

característicos de la pareja alternados en el tiempo. Cada pájaro tiene un repertorio muy amplio de frases de cada tipo, por lo cual tiene que elegir el mismo tipo de frase al mismo tiempo que su pareja.

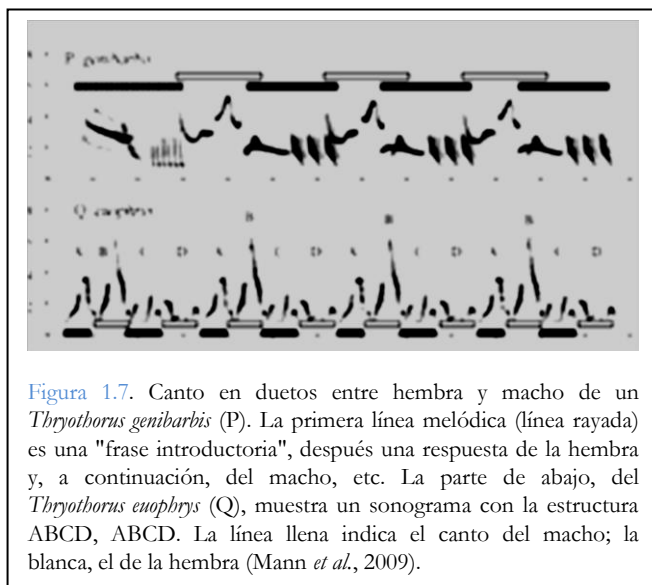


Figura 1.7. Canto en duetos entre hembra y macho de un *Thryothorus genibarbis* (P). La primera línea melódica (línea rayada) es una "frase introductoria", después una respuesta de la hembra y, a continuación, del macho, etc. La parte de abajo, del *Thryothorus euophrys* (Q), muestra un sonograma con la estructura ABCD, ABCD. La línea llena indica el canto del macho; la blanca, el de la hembra (Mann *et al.*, 2009).

En el caso de cuartetos del *Thryothorus euophrys*, algo extraordinario sucede pues cada pájaro con un repertorio de alrededor de 20 frases de cada tipo, para lograr la sincronía necesaria para el canto en cuarteto, requiere que escoja el mismo tipo que los otros del mismo género,

llegando a cantar hasta 15 variaciones en cuatro frases diferentes, con un patrón determinado: ABCD ABCD, cantando los machos A y C y las hembras B y D, es decir, alternadamente en ciclos dentro de los cuales cada género canta dos de las cuatro partes, en perfecta sincronía; es un caso de coordinación extraordinaria por la velocidad con que lo hacen, pues se oyen como si un sólo pájaro estuviera cantando.

La Figura 1.7 muestra un sonograma para este tipo de canto de un *Thryothorus*. A veces, incluso, un solo conjunto de pájaros del mismo género canta junto y, a veces, hay uno o dos del otro sexo. En los cuartetos, cada pájaro de las dos parejas canta su parte en una composición a cuatro voces secuencial, es decir, cada pájaro canta una parte y los otros esperan su turno para entrar a tiempo y cantar la parte que les corresponde de la composición, y así sucesivamente; las

canciones pueden durar ¡hasta 2 minutos! Según parece “debe ser una de las ejecuciones de canto más complejas descritas para un animal no-humano” (Mann *et al.*, 2006).

Con relación a la audición de los pájaros, en general, es relativamente pobre con respecto a las frecuencias que pueden oír, comparada con la de los seres humanos y otros animales. Casi ningún pájaro oye frecuencias superiores a 10 kHz (Fay & Popper, 2000), existen algunas excepciones como en los casos del búho y del colibrí. En el caso de los mamíferos la audición es diferente en varios aspectos, pues algunos pueden oír hasta 100 kHz y, a diferencia de los pájaros cuya sensibilidad es relativamente uniforme, la habilidad de los mamíferos varía fuertemente entre especies, sobre todo en cuanto a oír bajas y altas frecuencias.



Figura 1.8. El cinchonle, o Sinsonte Norteño, es un pájaro cantor que imita el canto de otros pájaros y animales y hasta sonidos mecánicos. Habita desde Canadá hasta México y las Antillas. Canta casi todo el año al amanecer.

LOS PÁJAROS, CANTANTES CON OÍDO ABSOLUTO.

Se dice, y existe cierta controversia en torno a ello, que los pájaros tienen oído absoluto en el sentido de que aprenden y repiten canciones en el tono original, reconociendo la canción en la octava original, es decir, como cuando uno recuerda una canción y la canta justo en el tono original, de tal manera que si se cantara y grabara ese canto, al compararlo con la grabación original (al reproducirlas simultáneamente) no sonaría desafinado, sino como un dueto al unísono, es decir, se cantan las notas exactamente afinadas.

Investigadores canadienses de la Universidad de Alberta mostraron que los seres humanos no estamos a la altura de las aves en esta tarea. Probaron a seres humanos, ratas y tres especies de pájaros (incluso unos criados en cautiverio) y demostraron que los pájaros identifican, clasifican y memorizan mejor los tonos absolutos que los seres humanos y las ratas, y que los seres humanos lo hacemos un poco mejor que los habitantes de las cloacas. Los seres humanos somos bastante buenos en pruebas de tonos relativos (que se refieren a la relación entre dos tonos cuando se emiten uno detrás del otro), lo que permite que el escucha tome uno de ellos como referencia. Sin embargo, cuando se oyen los tonos sin una referencia, es decir, solos o aislados, somos relativamente malos para identificarlos.

El sonido del *canto* o de un *llamado* de los pájaros es a menudo más importante que la vista para que los polluelos reconozcan a sus padres (al cabo de unas semanas o días) y a la inversa. Este sonido también es útil en colonias en que parece que todo es un caos sonoro, pues reconocen a sus polluelos aunque estén inmersos en un mar de *llamados* y *cantos*, como en el caso de los pingüinos en la Antártica, donde los padres salen de la colonia para ir en búsqueda de alimento, a veces a kilómetros de distancia, y regresan para regurgitar y alimentar a sus crías, y entre miles de pingüinos todos gritando al mismo tiempo, reconocen a los suyos por el sonido de sus *llamados*.

Muchas especies imitan los *cantos* de otras especies, aumentando así su repertorio; se ha encontrado que muchos pájaros migratorios tienen un repertorio internacional; las especies que migran pueden aprender *cantos* de otros pájaros en regiones muy alejadas, cuando regresan para aparearse cantan los nuevos *cantos* aprendidos y obtienen ventaja sobre los otros pájaros.

Cuando los pájaros, generalmente los machos, tratan de atraer a una pareja, cantan más fuerte para compensar la atenuación del sonido por la distancia, es decir, para que su *canto* llegue más lejos y durante más tiempo a hembras

lejanas. Generalmente los *cantos* y los *llamados* los hacen los pájaros desde tres o más metros de altura, lo que contribuye a un mayor alcance.

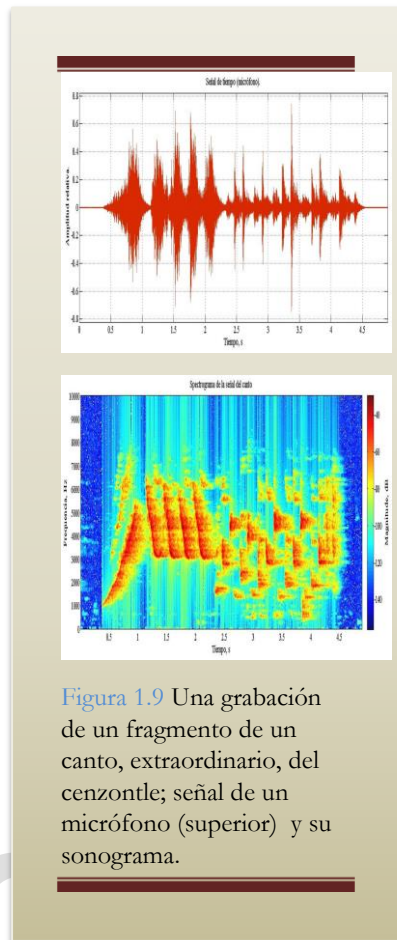


Figura 1.9 Una grabación de un fragmento de un canto, extraordinario, del cenizante; señal de un micrófono (superior) y su sonograma.

El sonido de los pájaros, por ser emitido desde una garganta muy pequeña (del orden de unos milímetros de diámetro), emite ondas casi esféricas que viajan en todas direcciones y que se atenúan o decrecen en amplitud, en proporción inversa a la distancia recorrida a partir de la fuente sonora. Estas ondas son absorbidas y reflejadas por objetos físicos; la absorción y la reflexión dependen de la relación entre la longitud de onda del sonido y el tamaño y propiedades físicas del objeto (blando, duro, liso, rugoso, absorbente, etc.). Se sabe que en un bosque de hoja caduca, las frecuencias menos absorbidas -es decir, frecuencias de sonidos que viajan más lejos- están entre 1.5 kHz y 2.5 kHz; éstas son las frecuencias usualmente presentes en los *cantos* y *llamados* de los pájaros que habitan estas zonas.

Una capacidad interesante que tienen los pájaros, según recientes estudios, es que algunos de ellos pueden estimar a qué distancia se ubica otro pájaro cuando canta, no por el volumen o intensidad, sino por la degradación espectral (absorción del contenido de frecuencias del canto) y la

reverberación del sonido del canto (McGregor & Krebs, 1984; Naguib & Wiley, 2001) en el bosque⁸.

En esos estudios se investigó si los *Thryothorus ludivicianus*, pueden usar separadamente la reverberación y la atenuación de las altas frecuencias de los cantos para estimar la distancia de un cantor. Utilizando grabaciones con reverberación y contenido espectral diferentes en los mismos cantos, encontraron que los pájaros se acercaban más frecuentemente y respondían más intensamente a cantos no degradados (inalterados) que a los degradados (con diferentes tiempos de reverberación y/o altas frecuencias atenuadas). Los resultados mostraron que usan estos parámetros para estimar la distancia a que está otro pájaro con-específico (de la misma especie), permitiéndoles defender sus territorios en hábitats con diferentes propiedades acústicas.



Figura 1.10 *Quiscalus mexicanus*, picho, zanate, etc. Parte del paisaje mexicano por su abundancia en todos los ambientes.

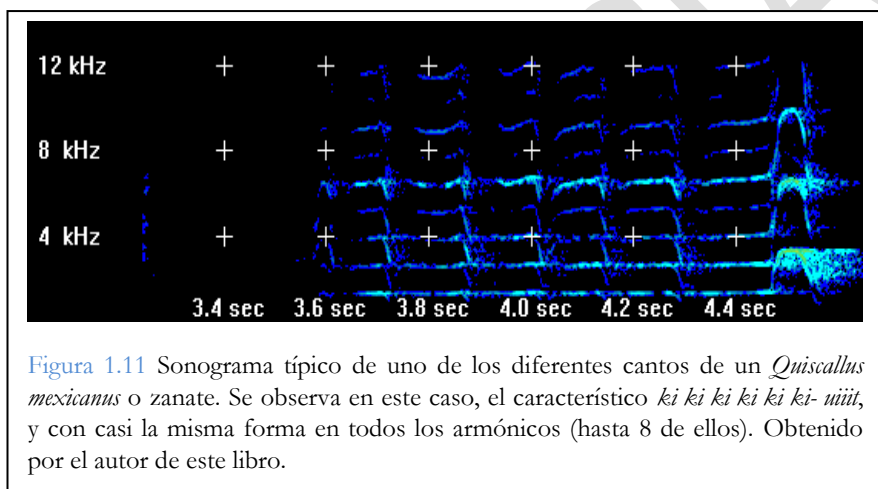
Entre los pájaros cantores e imitadores más famosos está el ruiseñor que puede interpretar más de 300 diferentes cantos, el ceniztonle ("el pájaro de los 400 cantos"⁹, como se le conoce en México, que canta profusamente al amanecer), Figura 1.8 y 1.9. Otro es el "Cuitlacoche rojizo" (*Toxostoma rufum*), capaz de poseer un repertorio de hasta 2 000 cantos!

No se puede dejar de mencionar, a un pájaro el *Quiscalus mexicanus* que es parte del paisaje mexicano en casi cualquier parte

⁸El canto para los pájaros representa un gasto de energía muy grande. Se dice que gastan tanta energía en cantar como en volar. Algunos emiten cientos de notas por minuto y su canto se puede oír hasta varios kilómetros a la redonda.

⁹*Amo el canto de ceniztonle, pájaro de cuatrocientas voces, amo el color del jade y el enervante perfume de las flores, pero más amo a mi hermano: el hombre.* Fragmento de poema atribuido a Netzahualcóyotl, erróneamente según P. Johansson: <http://www.cronica.com.mx/notas/2013/788130.html>

del país, ya que habita en vegetación secundaria, arbustos densos, campos de cultivo, granjas, villas, rancherías, pueblos, parques ciudadanos, manglares, playas de todo tipo, considerado a veces por su abundancia, como plaga, [Figura 1.10](#). El zanate mexicano, conocido con muchos nombres como: Clarinero, Picho (en Veracruz), Acazanate, Zanate (en Veracruz y Tabasco), Izanadí, Teotzanatl, Itzlaolzanate, Grajo, Pájaro prieto, Papate, Picho, Zocao, Cahix, Yuyum, Yuya, K'au, Xcau (en Yucatán).



El macho es de color negro intenso e iridiscente (tonalidades azules y violetas y algún que otro verde), con la cola en forma de abanico, ojos blancos o amarillos en ambos sexos, el macho mide alrededor de 43 cm (del pico a la cola). Pero la hembra es de color café y más pequeña (alrededor de 33 cm de largo). Un macho se posesiona de uno o dos árboles, donde anidan sus hembras (no es monógamo). Su *canto* es variado, pero uno característico lo constituye una sucesión rápida de notas, agudas, incluyendo un rápido y agudo *ki ki ki ki ki* o *kik kik kik kik kik*, y un *uiit* ascendente-descendente.

Este *canto* se muestra en la [Figura 1.11](#), donde se observa la sucesión de notas cortas, y el final de nota rápida ascendente y descendente, con sus

armónicos.El campeón de los imitadores es el pájaro lira que se verá a continuación.

PÁJAROS DANZANTES CON COREOGRAFÍAS A SU PROPIO CANTO



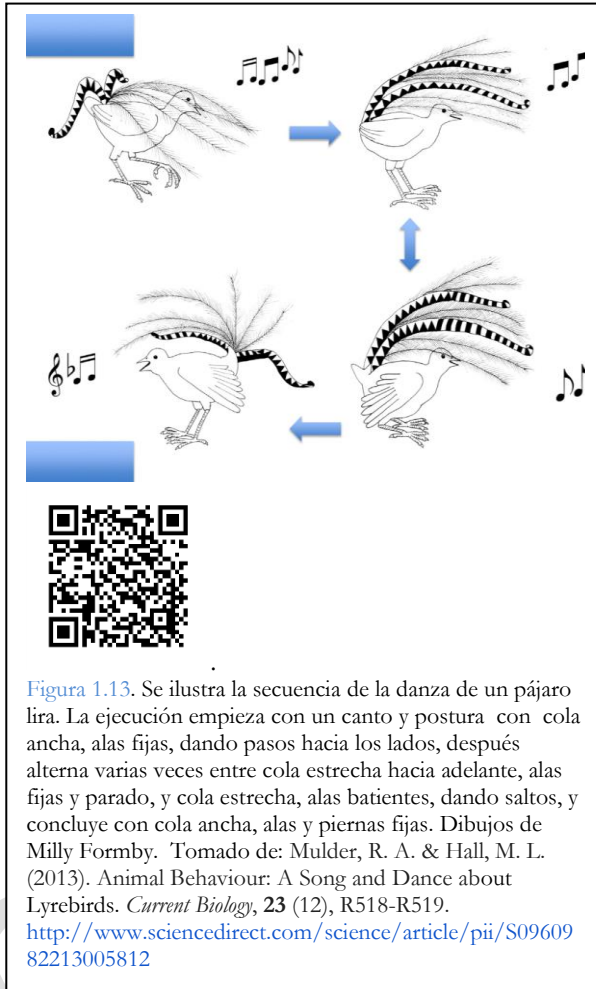
Figura 1.12. Pájaro lira (en Sherbrooke, Australia), llamado así por la forma de la cola, aunque también podría ser por su canto. Código QR de un video muy interesante, de Dalziell *et al.*, 2013, sobre la danza del pájaro lira.

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960982213005812>

El campeón de campeones entre los imitadores es el "Pájaro Lira" (*Menurana novae hollandiae*), de Australia, Figura 1.12, que puede imitar innumerables sonidos, tales como ¡el click de una cámara fotográfica, el sonido de un motor o el de una sierra de cadena! (entre otros muchos) ¹⁰ ; http://www.bbc.co.uk/nature/life/Superb_Lyrebird. Pero además de imitador, hay que añadir que el pájaro lira es un coreógrafo y danzante consumado acompañado con su propio canto.

Un estudio reciente sobre el canto y despliegue de pasos del pájaro lira (Dalziell *et al.*, 2013), demostró que este pájaro a menudo, pero no siempre, elige empatar subconjuntos de *cantos* de su repertorio (de cerca de 100 *cantos* diferentes) con movimientos combinados de la cola, patas y alas, en una coreografía de gestos que es predecible y, aparentemente, intencional. Estos investigadores sugieren que la coordinación de movimientos es difícil de lograr y, en consecuencia, difícil de imitar o piratear; si es así, las hembras actuarían como jueces en un concurso de danza y canto al elegir al pájaro más capaz.

¹⁰El sitio <http://www.pbs.org/lifeofbirds/songs/> muestra algunos sonoclip de la extraordinaria serie de la BBC, *The life of birds*, de David Attenborough.



En la Figura 1.13 se muestra la secuencia de pasos de la danza del pájaro lira, teniendo como música de fondo su propio canto. Esto es muy interesante, pues estudios recientes han corroborado la creencia de que existe un vínculo estrecho y profundo entre la música y los movimientos dancísticos en los seres humanos, que apuntan a que quizás la música y la danza han coevolucionado (Dean *et al.*, 2009). Una característica de los despliegues humanos es que coordinan la danza con la música, empatando el tipo de

paso o danza con el tipo de música.

Una creencia que existía hasta años recientes, consistía en considerar que ningún animal seguiría el ritmo de la música (que es una creación humana) con movimientos corporales, es decir, que danzaran con la música, capacidad que se pensaba era exclusiva de los seres humanos. Pero un

estudio del neurocientífico y músico de origen hindú, Aniruddh D. Patel (Patel *et al.*, 2009), demostró que al menos hay otra especie animal, la cacatúa, que posee la tendencia a moverse en sincronía rítmica con el pulso musical, ya sea moviendo la cabeza, una pata, etc., que es un atributo humano universal, que no se observa comúnmente en otras especies. Esta capacidad de seguir el ritmo con movimientos corporales, se explica mediante una teoría basada en la hipótesis de que dicha capacidad del cerebro se construiría sobre circuitos neuronales, que establecen relaciones entre circuitos auditivos y motores y que se utilizan para el procesamiento vocal complejo.



Figura 1.14. Cacatúa (*Cacatua galerita leonora*) en vuelo. En el sitio <https://www.youtube.com/watch?v=eavtZ8TbbjA>, se pueden observar los videos de la cacatúa moviéndose al seguir el ritmo de la música.

De acuerdo con esta hipótesis, únicamente especies que tienen un aprendizaje vocal como los humanos (pero no los primates), pájaros y cetáceos –incluyendo sobre todo a los delfines–, serían capaces de sincronizar movimientos corporales con el ritmo. Patel y colaboradores muestran como resultado de esta investigación, evidencia experimental de la sincronización a un pulso rítmico en la cacatúa (*Cacatua*

galerita leonora). Al manipular el tiempo de una pieza musical (“Everybody”, de Backstreet Boys), en un amplio margen, Figura 1.14, la cacatúa ajusta espontáneamente el tiempo de sus movimientos rítmicos corporales, moviendo la cabeza y las patas sincronizadamente con el ritmo de la música (que, además, se podría añadir es una construcción humana). Estos resultados concluyen los autores, apuntan a que la sincronización a un ritmo

musical no es unívocamente humana y sugieren que los “modelos animales” pueden dar pistas en los campos de la neurobiología y de la evolución de la música.

Para los interesados en los pájaros de México, y que quieran participar en su conocimiento, conservación, o incluso en la grabación de sus cantos, existe un lugar de Internet en donde se colectan grabaciones de *cantos* y donde se puede participar con colaboraciones diversas: <http://www1.incol.edu.mx/>.

LAS GUACAMAYAS ROJA Y VERDE



Figura 1.15. Guacamaya verde.

dsiapps.semarnat.gob.mx

La guacamaya verde (*Ara militaris militaris*, *Ara militaris mexicana*), Figura 1.15, es una especie considerada en peligro de extinción, tanto nacional como internacionalmente¹¹. Es una de



Figuras 1.16 y 1.17. Guacamaya Roja o *Ara macao*, con sus vibrantes colores.

¹¹ Según la Convención Internacional para el Tráfico de Especies Amenazadas (CITES), la guacamaya verde está entre las especies con mayor grado de amenaza y peligro de extinción, por lo que su comercio internacional se encuentra sumamente restringido. El comercio de las guacamayas roja y verde, junto con el de los tucanes, cotorras serranas, halcones peregrinos y loros de cabeza amarilla, está prohibido por la norma mexicana NOM-059-ECOL-2001. Actualmente existen en México 9 386 unidades de conservación de la vida silvestre, en 112 predios de propiedad federal, que abarcan 16.73 % de la superficie de la República Mexicana. En 2017 se amplió con el parque Nacional Marino de Revillagigedo (4.5% de las aguas de México están ahora protegidas), de 14.8 millones de hectáreas, la zona de no pesca más grande de Norteamérica.

las 22 especies de pericos (más del 30% de ellos en peligro de extinción) que hay en México en prácticamente todas sus entidades federativas). Los factores que más inciden en la extinción de los loros, pericos o cotorros, son la destrucción de su hábitat y la captura y el tráfico ilegal, incluso dentro de áreas naturales protegidas¹².

La guacamaya verde habita principalmente en cañones, barrancos, ríos en selvas y llega hasta bosques de pino-encino, así como zonas áridas, y a alturas de 2 500 metros sobre el nivel del mar (Álvarez del Toro, 1980; Howell & Webb 1995). Prefiere zonas de gran diversidad de plantas dominadas por árboles de 4 a 15 m de altura (Rivera-Ortiz *et al.*, 2013). Actualmente existe en parvadas pequeñas, generalmente en grupos de 20 a 30 ejemplares. En el año 2008 se tenían registradas pequeñas poblaciones aisladas de guacamaya verde en distintos lugares de la República Mexicana (Almazán-Núñez y Nova-Muñoz, 2006)¹³. En Tamaulipas y en Jalisco se han estudiado dos grandes poblaciones, con cerca de 100 ejemplares cada una. En la reserva de la biósfera Tehuacán-Cuicatlán (en Oaxaca, México), Salazar (2001) documentó una población de aproximadamente 100 individuos. En el Sótano del Barro, en Querétaro, se tiene una población de alrededor de 60-80 ejemplares¹⁴. El gobierno mexicano ubica a la guacamaya verde como una especie en peligro de extinción (SEMARNAT, 2002), al igual que la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN, 2006), que en su lista roja de especies amenazadas, señaló que el

¹²La información sobre este problema es relativamente escasa pues no se encuentran disponibles muchos estudios; existe una estimación de las estadísticas del problema en: CULCyT//julio-agosto, 2008, año 5, no. 27.

¹³En México, se encuentran poblaciones aisladas de *Ara militaris mexicana* en la vertiente del Pacífico, desde el sureste de Sonora y suroeste de Chihuahua, pasando por Jalisco hasta Oaxaca y Chiapas; en la Costa del Golfo, en Tamaulipas, y en el centro del país en San Luis Potosí, Estado de México, Querétaro, Jalisco y Michoacán.

¹⁴En México se encuentran grandes abismos, como el Sótano del Barro, en la Sierra Gorda de Querétaro, con 455 metros de profundidad, 410 de los cuales son en caída libre. Gracias a la luz que llega al fondo, en su interior existe un bosque de encinos habitado por una colonia de guacamayas verdes con más de 60 individuos. Es la segunda sima (abismo) más grande del mundo (15 millones de metros cúbicos), únicamente rebasada por Sarisariñama, de Venezuela, con 18 millones de metros cúbicos). El canto de la guacamaya verde se puede oír en: http://www.xeno-canto.org/sounds/uploaded/QXVOPARDCF/guacamaya_verde.mp3

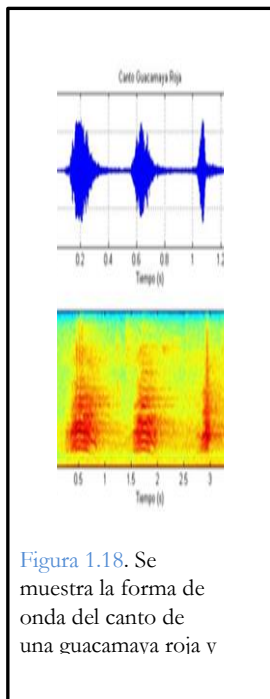


Figura 1.18. Se muestra la forma de onda del canto de una guacamaya roja y

estado de las plantas y los animales se deterioraba progresivamente; así mismo, este problema se mencionó en una convención efectuada en La Haya, Holanda, sobre especies en peligro (CITES, 2007).

[...] *Y el relámpago de las guacamayas rasga el cielo --clamor y bandera-- como si el eco y el vislumbre fuera de la legión del dios de las batallas*¹⁵[...]

En México, la guacamaya roja, Figuras 1.16 y 1.17, ya sólo habita en una pequeña región de los estados de Tabasco y Chiapas; su distribución geográfica se ha reducido ¡en un 98%! como resultado del tráfico ilegal, la cacería y la pérdida de su hábitat. El Zoológico "Miguel Álvarez del Toro", en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, fue la primera institución que logró (en 1987) la reproducción de la *Ara macao*

cyanóptera en cautiverio. A partir de esa experiencia, se lleva a cabo desde hace varios años un proyecto de protección de su hábitat en comunidades de México (y también de Belice y Guatemala).

Alrededor de 70 años estuvo ausente de la zona de Palenque, Chiapas, pero en 2013 regresó a donde reinaba en tiempos antiguos, como consecuencia exitosa de un proyecto de instituciones privadas, gubernamentales y académicas, cuyo propósito es reintroducir y repoblar estas zonas mediante la

¹⁵Fragmento de "El ídolo en el atrio", de Juan José Tablada (1871-1945).

cría de estos hermosos pájaros (Blanco *et al.*, 2007) y su posterior liberación en ellas¹⁶.

A partir de 2014 se planeó reintroducir en la región de los Tuxtlas, Veracruz¹⁷, a cerca de 30 ejemplares (Basañez *et al.*, 2013). Este esfuerzo de recuperación, loable a todas luces, es de capital importancia y de interés social, ecológico, científico y moral para México y el mundo. Cuando vuela, la guacamaya es un ave muy llamativa, por sus colores, pero también por sus *llamados* y potentes *cantos* que reverberan, por la multitud de ecos que se generan al reflejarse y “rebotar” entre los cañones y peñascos que frecuente y en los cuales anida. El *canto* de las guacamayas tiene un espectro de frecuencias amplio en armónicos, [Figura 1.18](#), pero también no armónicos, lo que lo hace un tanto ruidoso y no tan apreciado como sus colores y porte, pero sería una tragedia que un pájaro tan exuberante y bello enmudeciera para siempre. Un sitio donde se pueden oír sus vocalizaciones o *cantos* es:

<http://www.naturalista.conabio.gob.mx/taxa/19020-Ara-militaris>

¹⁶En abril de 2013 se reintegró a la zona del Parque Aluxes, en Palenque, Chiapas, el primer grupo de 20 guacamayas rojas, criadas en el parque ecoarqueológico de Xcaret (en esta acción participan: Acajunga, A. C., el parque Xcaret, el Instituto de Biología de la UNAM, SEMARNAT, la CNANP y la Wildlife Conservation Society), en un evento de importancia capital por lo que representa y que pasó desapercibido para la mayoría de los medios de comunicación. Para 2015 se habían liberado 250 ejemplares. El 14 de abril fue declarado Día de la Guacamaya Roja.

¹⁷<http://naturalista.conabio.gob.mx/taxa/19020-Ara-militaris>: “La especie es además reportada en al menos 15 Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves en México (AICAS). Destacando las siguientes: Sótano del Barro en Querétaro; Acahizotla-Agua del Obispo y Omitelmi en Guerrero; Cuenca baja del Balsas y Coalcomán-Pomaro en Michoacán; El Carricito, Sierra de Manantlán y Presa Cajón de Peñas en Jalisco; San Juan de Camarones, Río Presidio-Pueblo Nuevo y Guacamayita en Durango; San Antonio-Peña Nevada en Nuevo León; El Cielo en Tamaulipas; Cuenca del Río Yaqui y Álamos-Río Mayo en Sonora (Arizmendi *et al.*, 2000). Además, Howell & Webb (1995) reportan a la especie en camino a Sahuaripa, Sonora; en Gómez Farías, Tamaulipas; en El Naranjo, San Luis Potosí; en Camino del Pánuco, Sinaloa; en El Mirador del Águila, Nayarit; y, en El Tuito, Jalisco.”

EL BÚHO, NOCTURNO Y SILENCIOSO



Figura 1.19. Búho de granja (*Tyto alba*) o lechuza de campanario. Mide alrededor de 34 cm de longitud y sus alas poseen una envergadura de alrededor de 90 cm, con un peso medio para los adultos de 350 g y sin diferencia aparente entre ambos géneros.

Pájaros silenciosos en su vuelo, desvelados, cazadores de precisión, con oídos ultrasensibles: Los búhos o lechuzas, Figura 1.19. Aunque poseen excelente visión nocturna¹⁸, no pueden ver en la completa obscuridad. Se sabe de una hipótesis de la década de los 30's del siglo XX, y desmentida actualmente, de que podían detectar la luz infrarroja, tal como la captan algunas cámaras de video. Pero no sólo no perciben el infrarrojo, sino tampoco el color rojo, hecho que permite estudiar sus métodos de cacería, su audición y su

vuelo en cuartos oscuros iluminados con luz roja. Efectúan un vuelo silencioso porque, por un lado, vuelan a una velocidad media baja, y porque tienen adaptaciones especiales en las plumas. En México existen muchas especies y han sido registradas 38 especies en México y Centroamérica, habitan sobre todo en las vertientes del Pacífico (23 especies), en el Norte de México (21), y vertiente del Golfo de México (15)¹⁹, algunas en peligro de extinción, fundamentalmente por la pérdida de su hábitat (Enriquez *et al.* , 2012). Viven en las zonas –los más pequeños como el pigmeo o el de Colima, de 15 cm de alto– donde abundan el saguaro (cactus de zonas semidesérticas),

¹⁸La “calidad” óptica de los ojos de los búhos, medida con los aparatos llamados aberrómetros, es superior hasta por tres veces con respecto a la de los humanos (Harmening *et al.*, 2009; Harmening & Wagner, 2011).

¹⁹ 17 especies están restringidas a México y Centroamérica, y no se han estudiado a detalle.

encinos o sicomoros. Del orden de los *Strigiformes*, hay cerca de 200 especies, solitarios y nocturnos.

La agudeza auditiva del búho o lechuza es espectacular, es mucho más sensible que la del ser humano en algunas frecuencias (puede detectar presiones acústicas hasta 300 veces más pequeñas). www.onthewingphotography.com.

Una de sus características sobresalientes la constituye su súper-oído, además de su capacidad de cazar en absoluta oscuridad. Los primeros experimentos para determinar su agudeza visual y auditiva se realizaron en 1958 (Payne & Drury, 1958), en un cuarto tan oscuro –casi en la oscuridad total– que una película fotográfica expuesta durante una hora y media no mostró cambios después de ser revelada; en ese cuarto, después de que un búho vivió en él durante varias semanas para asegurarse de que lo conocía, soltaron un ratón y



Código QR de un sitio, donde se pueden ver fotografías de muchas especies de búhos y escuchar sus *llamados*, entre otras cosas. <http://www.owlpages.com/sounds.php>

en numerosas ocasiones lo atrapó, empleando únicamente el sentido del oído; este experimento se repitió exitosamente durante meses, asegurándose que no utilizara ningún otro sentido. Otra característica de los búhos es que sus oídos están desalineados horizontalmente, uno más bajo –el derecho– que el otro, y apuntando hacia abajo; a la inversa, el izquierdo está más arriba y apunta hacia arriba, lo que permite a los búhos discriminar la dirección de la fuente, tanto hacia el frente como hacia los lados. La precisión que tienen es pasmosa, el error es de tan sólo un grado en ambos planos: el vertical y el horizontal; utilizan para ello las frecuencias superiores a 5 kHz, pero con un máximo de sensibilidad a esta frecuencia. La sensibilidad también es mucho mayor que la del ser humano: un búho puede detectar a 50 m de distancia los ruidos de un ratón en la maleza; un humano, si acaso, los detecta únicamente a

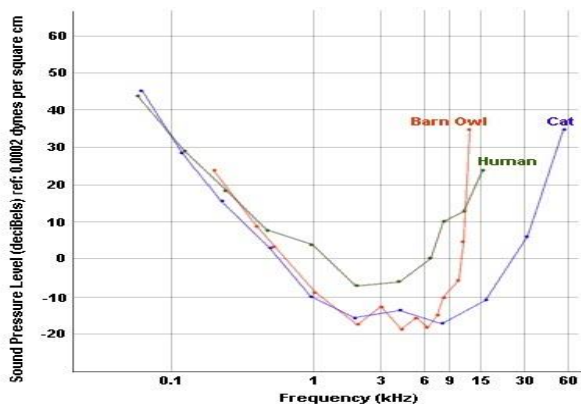
una distancia de cuatro o cinco metros (Konishi, 1973).

¿Por qué? Se sabe que el plumaje alrededor del oído del búho está estructurado como un cono, lo cual incrementa la intensidad de los sonidos captados (recordemos las cornetas que usaban las personas con deficiencia auditiva); las plumas en esa zona están empaquetadas más densamente que en otras partes del cuerpo del búho –de hecho tienen un empaquetamiento hexagonal cerrado–; la piel en donde crecen es más gruesa y forma una especie de arrecife que aumenta hasta en un 15% el área donde se ubican las plumas, las cuales son filamentosas en la entrada al oído, con centros ultradelgados y barbas largas, que se cree tienen el objetivo de reducir el ruido aéreo en los oídos del búho; su tímpano tiene una superficie de alrededor de 50 mm², casi el doble que el de una gallina, y varias veces más que el de otros pájaros.

Su cóclea o caracol es más largo que en otros pájaros, con mucho más células pilosas –de 16 000 a 24 000–, que convierten las vibraciones mecánicas en impulsos nerviosos. Los búhos utilizan (como todos los animales con dos oídos) las diferencias entre las intensidades y las diferencias entre los tiempos de arribo de las ondas sonoras a cada oído, como claves fundamentales para determinar la dirección de la fuente sonora, pero los centros de procesamiento en su cerebro los hace mucho más precisos que otras aves.

La prueba de que los búhos poseen una sensibilidad mucho más grande que el ser humano y el gato, se observa en la curva de sensibilidad del oído del hombre, el búho y el gato, [Figura 1.20](#). La parte inferior de la curva del búho (roja) es la más baja de las tres y en esta gráfica mientras más bajos sean los valores, más sensible será la audición. Se observa que el búho y el gato perciben sonidos inaccesibles al hombre: el búho por su intensidad–alrededor de 40 veces menos intensos– y el gato tanto por la intensidad como por la frecuencia, por ejemplo, entre 0.020 kHz y hasta 60 kHz en el caso del gato. Con respecto a las frecuencias que se alcanzan a oír (sensibilidad a la frecuencia), mientras más a la derecha estén los valores se alcanzarán a oír frecuencias más altas. Aunque el búho no alcanza a percibir frecuencias tan altas como el gato, su sensibilidad es mayor a frecuencias alrededor de 5 kHz,

Figura 1.20. Comparación de audiogramas, gráficas que muestran la sensibilidad del oído del hombre en verde, del gato en azul y del búho, en rojo. Tomado directamente de Konishi (1973). Hearing sensitivity comparison of Barn Owls, Cats & Humans, *American Scientist*, Vol. 61. <http://www.owlpages.com/owlsl/articles.php?a=6>



rango de frecuencias que utiliza para escuchar el ruido que producen sus presas en la maleza y hojarasca.

Los búhos, al tener dos ojos al frente como los humanos, pueden apreciar el mundo en tres dimensiones. En un estudio reciente (van der

Willigen, 2011) se mostró que esta característica les permite, como a los humanos, y a pesar de lo pequeño de su cerebro, percibir la profundidad

relativa, lo cual les es útil no sólo para el control de movimientos dirigidos, como al cazar a sus presas, sino para el reconocimiento del terreno.

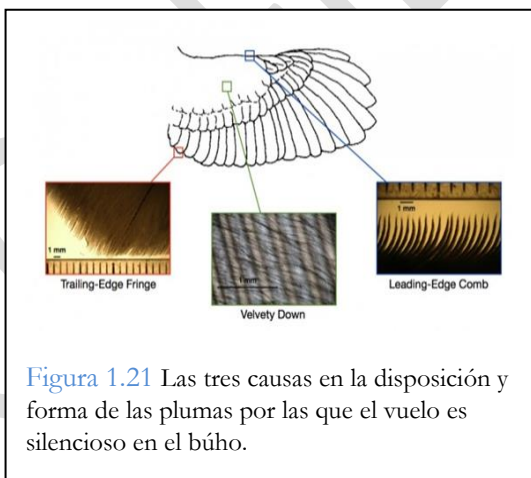


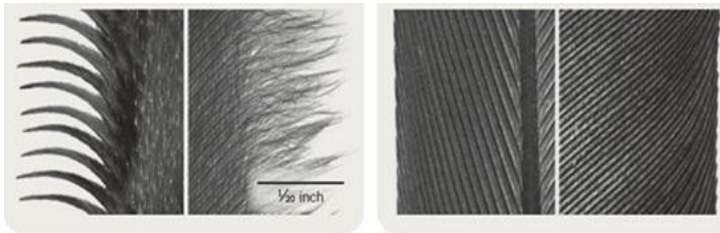
Figura 1.21 Las tres causas en la disposición y forma de las plumas por las que el vuelo es silencioso en el búho.

El sonido producido por el vuelo, casi ausente, o más bien el silencio de su vuelo es una característica sobresaliente y sorprendente. De hecho parece ser el ave

de vuelo más silencioso en la naturaleza; tanto, que ha sido motivo de múltiples estudios científicos en varios países del mundo. En uno de los primeros estudios (Graham, 1934) en que se trataron de explicar las causas de lo silencioso del vuelo, se identificaron tres adaptaciones en las plumas del ala del búho, [Figura 1.21](#), que son aparentemente las responsables del vuelo silencioso: el borde delantero o de ataque de la pluma en forma de peine con los dientes curvados, el borde de salida de la pluma formado por ramas de las “paletas” de las plumas, llamadas “barbas”, y la superficie “vellosa”. Según esto, la función del borde serrado delantero es interactuar con el flujo de aire que llega durante el vuelo, reduciendo la velocidad del flujo en puntos situados en unas extensiones largas y ultrasuaves de las barbas que apuntan hacia la punta de las plumas, y al reducir la velocidad de flujo se reducen también los cambios de presión; esto, aunado a la curvatura hacia arriba y hacia la punta del ala a cierto ángulo, provoca que el flujo se deflexione de una manera suave, lo que resulta en una reducción del ruido.

Existe por supuesto una explicación más completa de éste y otros efectos que ocurren debido a las características de este borde (Bachmann *et al.*, 2012). El papel de las largas barbas aparentemente es reducir la fricción entre las alas al volar. Por último, la función de las barbas en el borde de salida aparentemente es mezclar los flujos de aire de las partes superior e inferior del ala, mezclado que evita la formación de vórtices o remolinos (que generarían ruido) que podrían actuar también como amortiguadores, para evitar el aleteo de las puntas de las plumas en el borde de salida, especialmente durante el aleteo inicial del vuelo —cuando van hacia arriba las plumas se separan—, después el búho planea para atrapar a la presa.

Similar función de suavizar y reducir la velocidad del flujo de aire tendría la superficie “vellosa” o “afelpada” de las partes inferior y superior de las plumas. La diferencia con las plumas de otras aves se muestra en la [Figura 1.22](#), en particular con las de una paloma.



THE NEW YORK TIMES, IMAGES FROM FRONTIERS IN ZOOLOGY

Figura 1.22 Fotografía (modificada de la original). Se muestra el borde de ataque (izquierda) y de salida de una pluma de búho comparada con la de una paloma (derecha). La diferencia es evidente.

<https://www.google.com.mx/url?sa=i&ret=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&cad=rja&uact=8&ved=&url=http%3A%2F%2Fwww.nytimes.com%2Fimagepages%2F2013%2F02%2F25%2Fscience%2F0226-sci-ANGIER.html%3Fref%3Dscience&bvm=bn.121421273,d.eWE&psig=AFQjCNFNVTxHWYtHlPSqgrvzCA3VT2yIjw&ust=1462998754655471>



Figura 1.23 Aspas de un ventilador (Ziehl-Abegg) que incorpora el borde de ataque serrado del ala del búho. La reducción de ruido es de 7 dB y es más eficiente en consumo de energía.

En general, parece que un efecto final de este plumaje es el ensanchamiento del espectro sonoro del sonido hacia las altas frecuencias y el amortiguamiento de estas frecuencias (arriba de 2 kHz y hasta 10kHz), por las características especiales del plumaje.

Explicar totalmente el efecto de las diferentes variables en las plumas es muy complejo, por lo mismo actualmente se realizan muchos estudios sobre esta cuestión, pues se ha visto que tendría consecuencias para la reducción de ruido en diversos sistemas, desde ventiladores, **Figura 1.23**, y turbinas hasta alas de aviones o donde sea que haya flujos de aire que chocan con cantos de superficies

(Lilley, 1998; Bachmann *et al.*, 2011; Chen *et al.*, 2012; Jaworsky & Peake, 2013; Geyer *et al.*, 2014).

Un video de la BBC (<http://www.bbc.co.uk/programmes/b054fn09>), muestra el espectacular por silencioso vuelo del búho de granja:

<https://www.youtube.com/watch?v=-WigEGNnuTE>. El video tiene la virtud de que compara directamente en una cámara reverberante y en las mismas condiciones, el vuelo real de un búho, una paloma y un halcón, sobrevolando los micrófonos a la misma altura (más, menos, algunos centímetros); adicionalmente, los investigadores monitorean con audífonos su vuelo en tiempo real. Se comparan los niveles de la señal de los micrófonos proporcionales a la amplitud del sonido, producidos al pasar sobre una línea de varios micrófonos que captan el sonido del vuelo desde que parten de un extremo de la cámara al otro, volando sobre la línea de micrófonos. Los vuelos son controlados por entrenadores profesionales.

La grabación muestra que el nivel de la señal grabada del búho es casi cero, prácticamente no se oye su vuelo a diferencia de los otros dos que claramente se visualizaban. No dan más datos de los niveles de sonido o las diferencias de niveles de presión sonora, pero el video muestra de manera clara y ilustrativa (además de que se oyen las diferencias y se ven de manera gráfica), la enorme diferencia entre las amplitudes o intensidades del sonido del vuelo del búho con respecto al de la paloma y el halcón.



Figura 1.24 El gallo cantor *Gallus gallus*.

LOS GALLOS: ANTIGUOS DESPERTADORES DE LA MAÑANA

Los gallos (*Gallus gallus*), Figura 1.24, fueron (y todavía lo son en algunos lugares) el símbolo del amanecer, del nacimiento del día. Sin embargo, todos saben que los gallos no solamente cantan al amanecer, también lo hacen cuando oyen a otros

gallos y varias veces durante el día.

Unos investigadores japoneses (Shimmura & Yoshimura, 2013), mostraron que el *canto* es causado por un reloj biológico interno (llamado circadiano) o por estímulos externos. El *canto* en la madrugada antes de amanecer y alrededor de este evento sí está controlado por un reloj circadiano, y aunque estímulos como la luz y otros *cantos* de gallos induce a los gallos dominantes a cantar, su intensidad está regulada por el reloj circadiano.

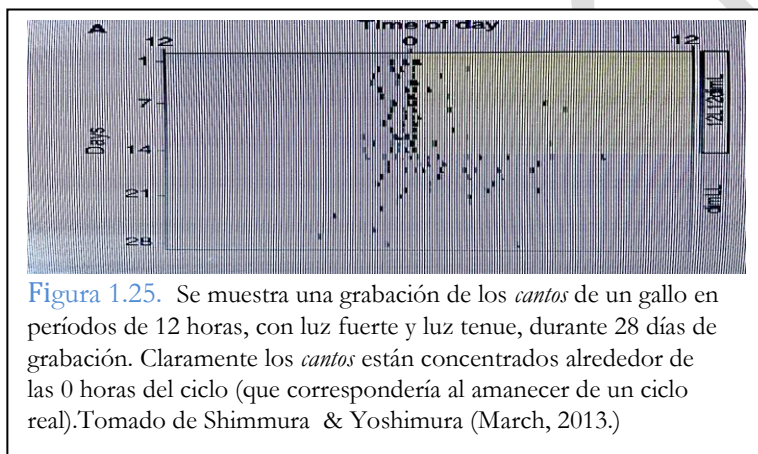


Figura 1.25. Se muestra una grabación de los *cantos* de un gallo en períodos de 12 horas, con luz fuerte y luz tenue, durante 28 días de grabación. Claramente los *cantos* están concentrados alrededor de las 0 horas del ciclo (que correspondería al amanecer de un ciclo real). Tomado de Shimmura & Yoshimura (March, 2013.)

Esos investigadores grabaron los *cantos* de varios grupos de gallos y tomaron videos de ellos con luz infrarroja, durante periodos de 12 horas con iluminación constante pero a diferentes intensidades, y con y sin *cantos* grabados de diferentes intensidades (en jaulas especiales en cuartos a prueba de luz y sonidos externos). Concluyeron que el *canto* del gallo anuncia el amanecer cada mañana en función del reloj circadiano, y que aunque cantan por estímulos externos, también está controlado por un reloj circadiano.

La Figura 1.25, muestra una grabación típica de un gallo que fue mantenido en ciclos durante 12 horas bajo luz intensa y bajo luz tenue. Los periodos de luz intensa y tenue están indicados por los colores de fondo (amarillento: luz

fuerte, grisáceo: luz tenue). Claramente se ve en la gráfica que a alrededor de la mitad del ciclo (0 horas) hay muchos más *cantos* que a otras horas.

También parece ser que los gallos cantan para comunicar su estatus de gallo, dominante o no, a los otros gallos; la frecuencia y calidad de su canto varía conforme ese estatus (Leonard & Horn, 1995). Los gallos dominantes producen cantos de más elevada frecuencia que los subordinados, cantan más frecuentemente y usualmente atacan a los subordinados que cantan. Aparentemente, los más dominantes son los más grandes y de mayor cresta, sin embargo, las hembras parece ser que no responden mucho a sus *cantos*, la vista para las gallinas parece ser más importante.



Figura 1.26.

El pájaro carpintero, *Driocopus pileatus*, percusionista de los bosques. Muy común en los bosques de México.

LOS PERCUSIONISTAS DEL BOSQUE

En un bosque sano y conservado, uno de los sonidos que tarde o temprano oiremos son los golpes secos y agudos de tambor, resonando por el bosque. ¿Qué son esos sonidos? Las personas que frecuentan los bosques saben la respuesta: los tocadores de tambor de los bosques, es decir, los pájaros carpinteros y sus tambores, los árboles; son pájaros de la familia de los Piciformes, llamados los pica-madera en algunas regiones. Existen cerca de 214 especies, alrededor de 27 habitan en México, casi por todo su territorio ²⁰. Uno de los más extendidos en toda Norteamérica, incluyendo México, es el *Driocopus pileatus* – carpintero lineado o rayado–, muy distinguible el macho por su cresta roja en la cabeza, así como por su gran tamaño, cerca de 30 cm, Figura 1.26. Los pájaros carpinteros, en general, comen insectos y larvas y, en

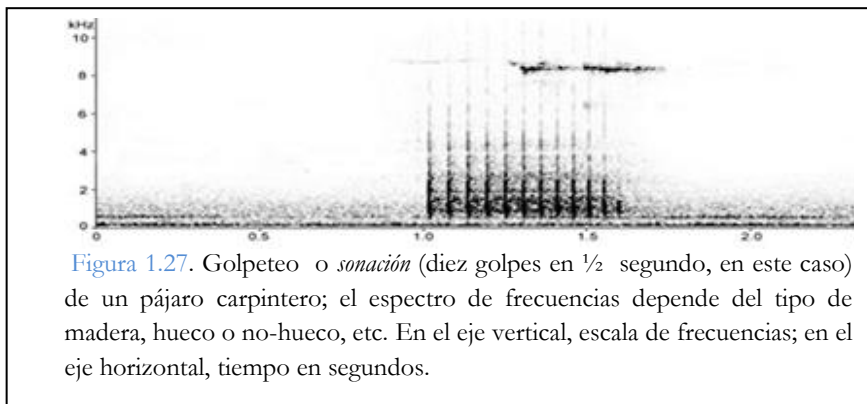
²⁰El pájaro carpintero imperial (*Campephilus imperialis*) fue el más grande del mundo, pesaba cerca de un kilo y era endémico de México. Triste y vergonzosamente para México, parece que se ha extinguido, se cree que por la tala indiscriminada en los bosques del norte y occidente del país.

invierno, en las zonas templadas complementan su dieta con nueces, bellotas –frutas del encino o roble–, etc. Algunos se alimentan casi exclusivamente de bellotas como el carpintero bellotero (*Melanerpes formicivorus*), que hace huecos en los troncos (y postes de teléfono²¹) para almacenar grandes cantidades de bellotas.

Su habilidad para subir por los troncos refleja una serie de adaptaciones morfológicas y anatómicas, por ejemplo, sus patas tienen dos dedos hacia adelante y dos dedos cortos hacia atrás en forma de X, llamadas "patas zigodáctilas". Su cola está formada por plumas extremadamente fuertes que, además de servirle para el vuelo, le ayuda a trepar al recargarse en un punto de apoyo y permanecer pegado al árbol mientras busca su alimento, los insectos o las larvas. Cuando sube, da una serie de saltos rápidos y en algún momento del movimiento se despega totalmente del árbol. Si los insectos se encuentran en la superficie del tronco no perforan la madera, pero si se ubican dentro del tronco, entonces el pájaro carpintero rápidamente puede perforar y remover grandes cantidades de madera, como es en el caso del pájaro carpintero rayado en búsqueda de las hormigas carpinteras, también comedoras y excavadoras de madera. En México se les han dedicado sones y canciones como el siguiente son jarocho popular:[...]

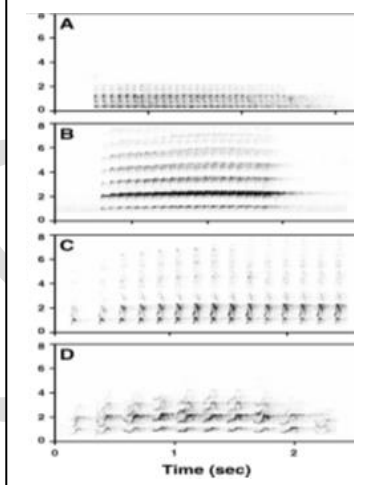
*Soy un pájaro capaz por las alturas yo vuelo
soy un pájaro capaz,
A los mil metros del cielo
sólo me habría de enseñar
sólo me habría de enseñar
el pájaro carpintero.
Carpintero, carpintero
que canta que nadie se asombre.
carpintero, carpintero[...]*

²¹ Esta actividad de hacer nidos y almacenar bellotas en los postes de teléfono causa preocupación en Estados Unidos y Canadá pues los debilitan, por lo que hay campañas para alejar a los pájaros carpinteros de los postes. Aparentemente no hay una razón por la cual les gustan los postes y simplemente podría ser porque como están secos resuenan más y eso, como a todo percusionista, les agrada.



Cuando buscan su comida --insectos o larvas--, picotean periódicamente en la superficie del tronco y escuchan. Se cree que este tamborileo con su pico es un método de búsqueda del insecto o larva en el interior de la madera, y que pueden diferenciar entre el sonido de la madera sólida y el de la madera hueca, dentro de la cual se encuentra el insecto o larva, es decir, que pueden diferenciar entre las resonancias de la madera, según sea sólida o hueca. En la Figura 1.27 se muestra un espectrograma de este tipo de tamborileo.

Figura 1.28 Espectrograma de cuatro llamados primarios acústicos del pájaro carpintero rayado. Muestras de carpinteros en la Florida, A) patrón de tambor, B) cackle, C) wuk, D) wok. (Tremain *et al.*, 2008).



Aun cuando se ha investigado poco sobre la comunicación de los pájaros carpinteros, se cree que el propósito principal del tamborileo, que funciona de manera similar al *canto* de los pájaros, es el anuncio de las fronteras territoriales de un pájaro carpintero dado. Escogen árboles, postes u objetos como techos de lámina, antenas etc., tales que resuenen y tengan más

intensidad de sonido radiado. Al igual que otros pájaros, usan diferentes tamborileos para atraer a sus parejas.

Actualmente se cree que el uso de la percusión es la contrapartida evolutiva del canto de los pájaros y reemplaza las complejas vocalizaciones de los *passerinos* para la comunicación a larga distancia; se ha encontrado que si un pájaro carpintero ejecuta un patrón de sonido dado, con una cadencia dada, a otro con-específico, se da una respuesta también con-específica (Dodenhoff *et al.*, 2001). La especie más estudiada ha sido precisamente el *Dryocopus pileatus* (que es no-migratorio y monógamo), quizás por su apariencia majestuosa,



gran tamaño y amplia distribución. Un estudio reciente estableció que el patrón de golpeteo es una sucesión de golpes de 11 a 30 veces en 3 segundos, que disminuye en amplitud al final del patrón.

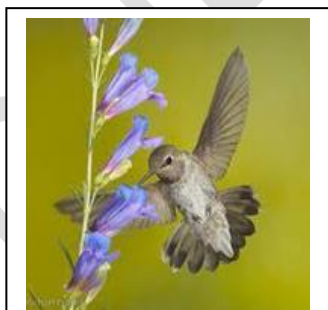
Las vocalizaciones, *llamados* o *cantos* producidos con la garganta, tienen variantes básicas y consisten en señales acústicas simples de una a dos sílabas individuales o en serie (Bull & Jackson, 1995), que tienen diferentes nombres en inglés (debido a que es común que las investigaciones se lleven a cabo en países de habla inglesa): *cakle* (o serie *wuk* rápida), la serie *wuk*, y el denominado *wok*, que son patrones rítmicos característicos, [Figura 1.28](#). Los sonidos del canto son una serie de monosílabos que suena más o menos: *ke..ke..ke..ke..ke*.

Investigadores de Canadá y Estados Unidos (Tremain *et al.*, 2008) han analizado grabaciones de diversas señales acústicas, adquiridas por medio de micrófonos, tomando muestras de los *cantos* y patrones rítmicos entre los meses de enero y abril del 2006, por 24 horas, en siete diferentes sitios de una región de la Florida, en Estados Unidos. Encontraron que existen variaciones estacionales tanto en los patrones de percusión como en las vocalizaciones, y que éstas alcanzan su máximo en marzo, poco antes del período de apareo y crianza. Este comportamiento es similar al observado en los *passerinos* de zonas templadas, y apoya la hipótesis de que los *llamados* y patrones rítmicos

son la contraparte funcional del *canto* de los pájaros, es decir, se comunican y llaman usando los "tambores" arbóreos por medio de patrones rítmicos característicos. Este tipo de comunicación por frases rítmicas con tambores se utilizó en épocas pasadas en Africa, como una especie de telégrafo acústico, el sonido de los tambores durante el día puede llegar hasta cinco o seis km de distancia sobre la jungla o valles, y en la noche puede llegar hasta 15 o más kilómetros de distancia. Actualmente parece que hay algunas tribus en el Congo que todavía se comunican por medio de tambores ver por ejemplo: <http://www.philtulga.com/Talking%20with%20Drums.html>.

EL COLIBRÍ

En México habitan más de 65 especies del colibrí, también llamado, chupamirto o picaflores. De la familia de los *Trochilidae*, este pequeño pajarito que casi todos conocemos, ha sido objeto en las últimas décadas de estudios y controversias referentes a su *sonación* (sonidos de procedencia mecánica, no de la siringe), sus *llamados* y su *canto*, [Figura 1.29](#). Una descripción bellamente ilustrada y muy completa de todos o casi todos los colibríes de Norteamérica, en especial de México, fue publicada por CONABIO (Arizmendi y Berlanga, 2014).



[Figura 1.29](#) Un colibrí desplegando 5 pares de plumas de la cola.

Durante mucho tiempo se consideró que no cantaba, sino sólo emitía *llamados* simples y sin mucho interés para los observadores. Actualmente se sabe que sí canta y algunas especies tienen *cantos* complejos, pero no se ha estudiado tan ampliamente como el de otros pájaros.

En México se han realizado estudios sobre el *canto* del colibrí cuello amatista –*Lampornis amethystinus*– y se han identificado hasta cuatro modalidades: a) territoriales, que son una

especie de ruido como cacareo, formado por una serie de monosílabos: “*ki-ki-ki-ki-ki-ki-ki*”, de número variable, b) de alimentación, cuando forrajea, es una especie de zumbido “*zzzzzzzz*”, de dos a ocho tonos, c) cuando hacen vuelos de despliegue son una serie de silbidos de frecuencia descendente, y d) de *canto* propiamente dicho, una frase introductoria seguida de mezclas de 4 a 9 tonos en frases complejas (Ornelas *et al.*, 2002).

Durante mucho tiempo existió una controversia relacionada con el colibrí: En varias de las especies, el colibrí macho ejecuta vuelos de despliegue para impresionar –se supone– a la hembra. Durante estos vuelos, el pajarito sube a unos treinta metros de altura y súbitamente se deja caer en un vuelo en picada hacia la hembra; cuando está muy cerca de ella hace un cambio de dirección súbito hacia arriba y justo en el nadir o extremo bajo del vuelo, despliega las alas de la cola –la cual está formada por hasta ocho plumas– y, simultáneamente, se oye una especie de silbido muy breve (de menos de un segundo de duración y de frecuencia descendente), denominado usualmente *chirp*.



<http://www.mu-seevirtuel.ca/Exhibitions/Colibri/En/Hummingbird/Identifying-Them-Attracting-Them/How-To-Identify-Them/songs-calls-and-noises.html>, código QR.

Se creía hasta hace poco tiempo, que dicho sonido era producido por el colibrí con la siringe, pero investigadores de la Universidad de California (Clark & Feo, 2008; Clark, 2009; Clark & Feo, 2010) mostraron en varios artículos, los resultados de una profunda investigación sobre las características del vuelo del colibrí de Anna, o de cuello rojo, coronirrojo (*Calypte anna*) y concluyeron que el sonido lo generan las plumas exteriores de la cola, el par exterior de los cinco pares que tienen casi todos los colibríes, Figura 1.30 y Figura 1.31.



Figura 1.30 El colibrí de Anna, *Calypte anna*. Alcanza hasta 4 g de peso y mide como 10 cm de largo, incluyendo el pico.



Figura 1.31 Foto compuesta de varias tomas (tomadas cada 0.01s), a partir de un video del vuelo en picada de un colibrí de Anna, en donde se observa, en la parte inferior derecha, el despliegue de las plumas de la cola, durante cerca de 0.060 s, cuando alcanza alrededor de 98 km/h. Credits: C. J. Clark; http://berkeley.edu/news/media/releases/2008/01/30_hummingbird.sht ml

Es decir, el silbido que se oye es una *sonación* y no un *canto*. Esos investigadores observaron que cuando el macho sube hasta 30 o 40 m de altura y se deja caer en picada, despliega en abanico las plumas de la cola, durante un período de tiempo de 60 ms; esto ocurre en la parte baja de la picada. Usando una cámara de video de 500 cuadros/s, observaron la sincronización entre el despliegue del abanico de plumas y el sonido.

La velocidad necesaria para producir este sonido es superior a 20 m/s, mayor que las velocidades normales de los colibríes en vuelo (del orden de 13 m/s). De ahí que necesariamente tienen que hacer ese clavado aéreo para alcanzar estas velocidades y generar el sonido típico que se observa en el cortejo. En el extremo inferior del clavado, el colibrí pega sus alas al cuerpo y entonces alcanza una velocidad máxima promedio de (27.3 ± 3.2) m/s (alrededor de 98.3 Km/h). Después de este punto, abre las alas y despliega las plumas de la cola, y es entonces cuando se oye el sonido característico del cortejo.

Cuando se normaliza la velocidad con la longitud del cuerpo del colibrí (la longitud del cuerpo, sin incluir el pico, es de aproximadamente 0.07 m), resulta que es la velocidad corpo-específica (385 longitudes corporales por segundo) más alta conocida para un vertebrado, ¡Incluso es más elevada que para un avión jet de combate! En los momentos en que el colibrí extiende sus alas para subir y cambiar de dirección, alcanza aceleraciones (centrípetas) de casi ¡diez veces! la aceleración de la gravedad. Resulta también que ésta es la aceleración más alta reportada para cualquier vertebrado en una maniobra aérea voluntaria, excepto en los pilotos de aviones caza (Clark, 2009). Posteriormente, para probar si realmente eran las plumas las que producían el silbido, estos investigadores les quitaron estos pares de plumas a varios de ellos –las plumas les vuelven a crecer en cuatro o cinco semanas– y todos los que no tenían estas plumas, dejaron de producir la sonación en los vuelos en picada.

Estos resultados permitieron concluir que son las plumas las que producen el *chirp*. Para confirmar esta conclusión, las plumas quitadas a los pobres pajarillos, fueron excitadas por un chorro de aire a la misma velocidad que en el vuelo en picada del colibrí, y se observó que vibraban a una frecuencia de alrededor de 4 kHz, la misma frecuencia medida en el vuelo. El mecanismo de producción del sonido, demostrado en este estudio, consiste en que las plumas vibran a su frecuencia de resonancia, por la acción del aire cuando alcanzan las velocidades máximas en la trayectoria del vuelo de cortejo.

Las boquillas de instrumentos de viento, como las del clarinete y del oboe, son ejemplos de estructuras que vibran por la acción del aire a su frecuencia de resonancia, determinada por sus propiedades elásticas (del medio en que se encuentra el resonador) y geométricas. Los experimentos muestran que todos o casi todos los sonidos de este tipo de despliegue serían producidos por este efecto, pero se confirmarían al hacerse los estudios correspondientes.

Otra característica del colibrí de Anna o de cuello azul, es que produce elaborados *cantos* que se extienden en frecuencia hasta 30 kHz. Estos difieren

de los de otros colibríes, en que son atonales y compuestos de transitorios breves, fricativos (como las consonantes fricativas: *f*, *s*, *v*). De las frecuencias ultrasónicas del espectro del *canto*, algunas son armónicas de las notas audibles –abajo de 18 kHz–, pero también tienen componentes no armónicas.

Sin embargo, se duda que los colibríes oigan estas frecuencias ultrasónicas, debido a que parece que sólo oyen sonidos con una frecuencia máxima de 7 kHz (Pytte *et al.*, 2004). En la siguiente dirección de Internet se pueden oír diversos *llamados* y *cantos* de varios colibríes: http://www.allaboutbirds.org/guide/Annas_Hummingbird/sounds

PÁJAROS QUE CANTAN COMO GRILLOS



http://www.metacafe.com/watch/yt-T2Bsu4z9Y3k/moon_walking_bird/; código QR

Los manequines, del orden *Passeriformes*, son pájaros que usan la danza y el *canto* para atraer a las hembras. Son rechonchos y con tallas de 7 a 15 cm de largo y peso de 8 a 30 g. Los *tyranneutes* son los más pequeños y los *antyllophia*, los más grandes. Los machos son casi siempre negros con manchas de colores brillantes en la cabeza o cuello y algunos con colas largas y decorativas, [Figura 1.32](#). Durante la época de apareamiento, los machos emperchados –en algunas especies– o en el suelo, se reúnen en árboles en áreas que son como un escenario, donde compiten en un festival de danza y coreografía con canto y sonido. En un estudio (Bostwic & Prum, 2005) se muestra por primera vez el mecanismo, muy complicado, por medio del cual estos llamativos pájaros producen sonidos por *sonación* a través de las plumas de las alas, de manera muy similar a como lo hacen los grillos.

Los sonidos, generados con las alas, son resultado de una adaptación evolutiva de las plumas; algunas de ellas tienen las puntas rígidas y otras

contiguas tienen estridulaciones, –ondulaciones, en este caso siete, como en las láminas de los techos–, [Figura 1.33](#). Los pájaros al mover las alas hacia atrás, rozan los extremos de unas plumas con las otras produciendo el sonido por estridulación, al igual que los grillos y los saltamontes. Este mecanismo, además, provoca la resonancia de las plumas, generando un sonido tonal con armónicos. Al mover rápidamente las alas (a un ritmo de alrededor de 107 veces por segundo, más rápido que como las mueve un colibrí), las puntas de las plumas se frota dos veces en cada ciclo y producen el sonido. En un estudio posterior (Bostwick *et al.*, 2010), en maniquines *Machaeropterus deliciosus*, se confirmó lo anterior, y se concluyó que este mecanismo es un ejemplo extremo de la modificación evolutiva de una estructura de locomoción –las plumas–, para la producción de una señal acústica promocional o de anuncio.

Este mecanismo modificado en los maniquines, es único entre los vertebrados y muestra extraordinarias coincidencias con la producción del sonido en muchos insectos, como vimos antes, incluyendo el uso de partes de las plumas endurecidas, movimientos extremadamente rápidos de las extremidades, y multiplicación de frecuencia por la estridulación. El sonido que producen es algo así como: *tick-tick-ting*, los dos primeros sonidos son una especie de *clic* o sonido muy corto, y el "*ting*" es como una nota sostenida (durante aproximadamente 0.34 segundos) de un violín. Las frecuencias fundamentales del "tick" son de alrededor de 1 490 Hz y las del "ting" de 1 590 Hz; con armónicos a múltiplos enteros de la frecuencia fundamental. Estos pájaros mueven las alas a una frecuencia de 107 Hz y los sonidos producidos se oyen hasta varias decenas de metros de distancia.

Estos maniquines, además y por si fuera poco su extraña *sonación*, son otro posible ejemplo de coordinación entre mecanismos productores de sonidos y movimientos corporales –danzas–, debido a que ejecutan danzas coreografiadas muy complicadas, entre ellas un movimiento de danza retrógrada, semejante al paso hacia atrás, "moonwalking" (pasos tan rápidos que no se pueden ver a simple vista), de Michael Jackson, cuyo original parece ser autoría del mimo francés Marcel Marceau.

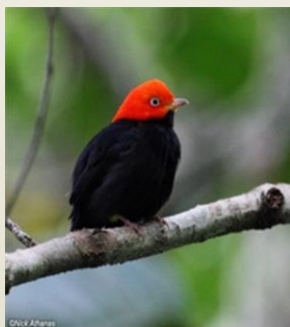


Figura 1.32 Manaquín, *Pipra mentalis*. Las Guacamayas, Chiapas, Mexico. http://antpitta.com/images/photos/manakins/gallery_manakins.htm

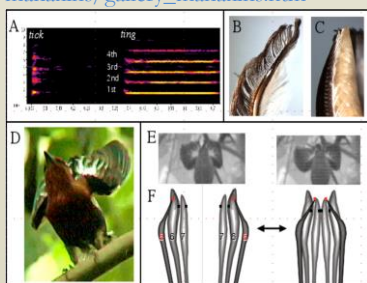


Figura 1.33. A) Sonograma del "canto" del manaquín; la parte del "Ting" muestra cuatro armónicos. B) y C) Muestran las estridulaciones del ala y plectros. D) y E) Exhiben como mueve las alas hacia atrás. F) Izquierda, la pluma secundaria (5 en rojo) con los extremos endurecidos (plectro), y la pluma (6 en negro) con estridulaciones (la lima). Derecha lo mismo pero el plectro –pluma 5– ya resbaló sobre la pluma 6, generando los sonidos. Para más detalles, ver artículo original (Bostwic & Prum, 2005). <http://www.sciencemag.org/content/309/5735/736>

Una filmación con cámara de alta velocidad por la autora de un estudio sobre este tipo de danza en el manaquín, se puede ver en: http://www.allaboutbirds.org/guide/Annas_Hummingbird/sounds; http://www.youtube.com/watch?v=eI_quJRRGxk

Existen algunas especies de manaquines en el sur y centro de México, pero su hábitat se extiende hasta Argentina. Algunas de las especies que habitan en México son *Pipra mentalis* (manaquín cabeza roja) y *Quirophía alinearís* (manaquín cola larga).

Otro aspecto interesante que tiene que ver con el sonido y su danza, se relaciona con el hecho de que en algunas especies se asocian dos machos durante largos períodos de su vida para atraer a las hembras, en la época de apareamiento, pero sólo uno de ellos se aparea (el macho alfa); el otro vive a su sombra y participa en la danza, pero únicamente mediante solos intermitentes y dúos (pax de deux); hasta que muere el macho alfa, hereda entonces la danza, el

estrellato y... a las hembras.

LOS PÁJAROS EN LAS CIUDADES



Código QR de
Biodiversidad
Mexicana, que
incluye aves en las
ciudades.
<http://www.biodiversidad.gob.mx/>.

Según la Organización de las Naciones Unidas, la urbanización es un gran tema de preocupación en nuestros días, y actualmente es el segundo en importancia después del calentamiento global; más de la mitad de la población mundial vive en pueblos y ciudades, y para el año 2030 se espera que 5 000 millones de humanos vivan en zonas urbanas. Esta situación por supuesto implica un gran daño al medio ambiente, incluyendo polución del aire, basura y ruido, lo cual tiene algunas consecuencias nocivas para los animales, en particular, para los pájaros. Para que la conexión entre los habitantes de la biodiversidad, incluidos los seres humanos, subsista y mejore, —y no se extinga una de cada tres especies del planeta, como se espera suceda al ritmo actual—, se requiere de esfuerzos de planeación urbana, conservación y, sobre todo, de educación e investigación orientada a las condiciones de cada ciudad. En particular, estudios actuales apuntan a que es necesario planear, diseñar y construir espacios verdes en las ciudades, que se sabe ahora, son refugio de especies nativas y migrantes. Si se diseñan y construyen, restauran y conservan más espacios verdes con especies de plantas y árboles nativos, se aumentaría la diversidad de especies de pájaros en los medios urbanos.

Una ciudad, a pesar de ser mezcla de concreto, vidrio y acero, con árboles, plantas y tierra, así como seres humanos y animales, puede soportar la vida de un gran número de pájaros, en un sistema ecológico aparentemente hostil. Sin embargo, los pájaros son más visibles y audibles en zonas de recreo o comida de los habitantes de la ciudad, ya sea en parques o cerca de zonas de venta y consumo de alimentos, pues muchos pájaros comen las sobras que caen al suelo. Se ha encontrado, en diversos estudios, que en zonas metropolitanas los pájaros se adaptan y muchas especies habitan esas áreas. Por ejemplo, en

las zonas metropolitanas de Estados Unidos habita el 60% de todas las especies (incluyendo plantas); 35 de las áreas de más rápido crecimiento (de más de un millón de habitantes) son hogar de 1200 especies, y 553 especies sólo habitan en esas zonas (Ewing *et al.*, 2005); en la Ciudad de México alrededor de 80 especies de pájaros, habitan o pasan temporadas como migrantes.

En el sitio QR de Biodiversidad Mexicana, se muestran numerosas especies en México. Aún pequeñas áreas de espacio verde pueden ser importantes para muchos pájaros, que se han adaptado al medio brutalmente modificado y alterado por el ruido y la agitación de la ciudad. En los medios urbanos,



Para los interesados en los pájaros de México, y que quieran participar en su conocimiento, conservación, o incluso en la grabación de sus *cantos*, les interesará saber que hay un lugar de Internet en donde se colectan grabaciones de *cantos* y donde se puede participar con colaboraciones diversas:
<http://www1.inecol.edu.mx/>, código QR.

ciudades y zonas metropolitanas, conviven al menos tres sistemas ecológicos claramente diferenciados: los bosques urbanos, los parques y las calles o avenidas arboladas. En la Ciudad de México corresponden, por ejemplo, al Bosque de Chapultepec, a la Alameda Central (u otros parques similares) y al Paseo de la Reforma y calles arboladas.

Los pájaros, junto con los insectos, contribuyen a la acústica de un entorno natural y junto con los ruidos del viento en los árboles, la lluvia, el correr del agua, relámpagos y truenos, constituyen las fuentes más conspicuas de un entorno natural. Los pájaros habitan, en general, en zonas arboladas, ya sean bosques o medios arbolados semiurbanos, o incluso en las áreas urbanas densamente pobladas.

Las calles arboladas constituyen un hábitat intermedio entre los parques y las calles sin vegetación. Dependiendo de su constitución (con o sin arbustos, flores, etc.) pueden ser hogar para algunas especies de pájaros. En un estudio (Murgui,

2007), en la ciudad de Valencia, España, se consideraron los factores que influyen en la población de los pájaros en sus calles arboladas (91 especies en 800 calles con más de 37 000 árboles), concluyendo que los más importantes son la variedad y abundancia de los árboles, y su altura. Las calles arboladas potencialmente pueden constituir corredores, en los cuales los pájaros se movilizan o navegan en el ambiente urbano y transurbano, constituyendo así una especie de corredores ecológicos.

Sin embargo, el ruido antropogénico (resultante de las actividades humanas) provoca respuestas de alerta y vuelos de defensa en los pájaros. No es claro si los pájaros que viven en medios urbanos se adaptan a estas perturbaciones o si las especies que subsisten en esos medios son las que son tolerantes al ruido. Hay evidencia de que a pesar de que se adaptan, el ruido urbano —en particular el del tráfico— es estresante para muchas especies; así, se ha observado, por ejemplo, que las poblaciones de pájaros, dependiendo del volumen de flujo vehicular, se ven reducidas en los alrededores de las calles y avenidas más transitadas.

En Holanda, las poblaciones de pájaros de pasto mostraron una reducción de entre el 12% y hasta el 56% de su población, dentro de una cercanía de 100 m a calles o avenidas, con flujos de 5 000 vehículos al día, y similares porcentajes hasta 500 m si el flujo era de 50 000 vehículos por día; algunas especies mostraron una reducción de la población a distancias de hasta 3.5 Km del trayecto (Reijnen & Foppen, 2006). La causa primaria de esta reducción de las poblaciones parece ser el ruido urbano (Reijnen *et al.*, 1997; Forman & Alexander, 1998). Uno de los mecanismos acústicos que afectan la densidad de población de los pájaros es el enmascaramiento, es decir, el encubrimiento de los *cantos* por el ruido urbano rico en bajas frecuencias (Rheindt, 2003; Warren *et al.*, 2006). El enmascaramiento ocurre porque el ruido urbano, producido principalmente por los vehículos de transporte y la maquinaria de construcción, producen preponderantemente ruidos de baja frecuencia, y las frecuencias medianas o relativamente altas son menos intensas, lo cual enmascara el *canto* de pájaros que contenga componentes de más baja frecuencia.

En los pájaros, al igual que en otras especies, existe una correlación entre su tamaño y lo agudo –o altura– del *canto*; las especies pequeñas cantan con tonos más agudos, y las especies grandes, con tonos más bajos o graves.

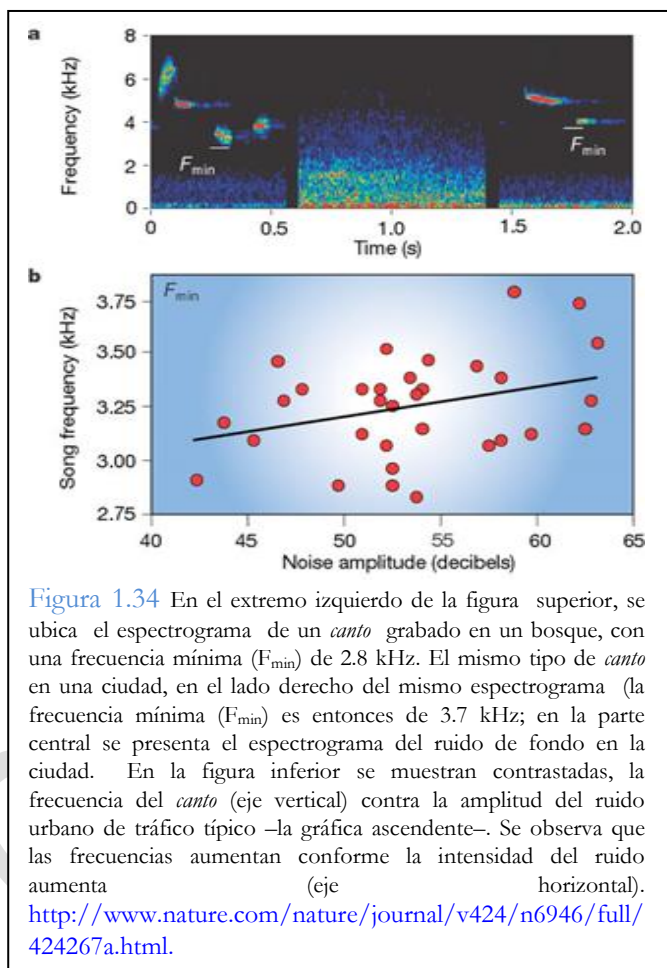


Figura 1.34 En el extremo izquierdo de la figura superior, se ubica el espectrograma de un *canto* grabado en un bosque, con una frecuencia mínima (F_{min}) de 2.8 kHz. El mismo tipo de *canto* en una ciudad, en el lado derecho del mismo espectrograma (la frecuencia mínima (F_{min}) es entonces de 3.7 kHz; en la parte central se presenta el espectrograma del ruido de fondo en la ciudad. En la figura inferior se muestran contrastadas, la frecuencia del *canto* (eje vertical) contra la amplitud del ruido urbano de tráfico típico –la gráfica ascendente–. Se observa que las frecuencias aumentan conforme la intensidad del ruido aumenta (eje horizontal).
<http://www.nature.com/nature/journal/v424/n6946/full/424267a.html>.

frecuencias, debido a que los niveles de ruido aumentan hacia las bajas frecuencias. En consecuencia, *cantos* con notas relativamente altas o agudas serán oídos más fácilmente en ciudades ruidosas.

Por lo anterior, las especies cuyo *canto* es más agudo –o de más alta frecuencia– son menos susceptibles al ruido urbano. Se ha documentado (Slabbekoorn & Ripmeester, 2008) que existen pájaros que cambian su frecuencia de emisión haciéndolo más agudo como respuesta al ruido urbano, **Figura 1.34**. Los problemas de percepción en los pájaros son, por lo tanto, mayores a bajas que a altas

Una hipótesis de por qué muchos pájaros se están adaptando al ambiente ruidoso en las ciudades, supone que los pájaros aumentan la intensidad de sus *cantos*—una especie de grito—para sobreponerse al ruido. Esto trae como consecuencia que se vuelvan más agudos, como cuando los humanos gritamos, en cuyo caso, la voz se vuelve más aguda o como comúnmente se dice, chillona (Reinberger, 2013).

El ruido ambiental urbano también puede ser dañino para los pájaros a través de un estrés directo, igual que en los humanos; pudiéndose reducir su capacidad de respuesta por enmascaramiento de las señales de alarma, debido a la presencia de depredadores y por interferencia de señales acústicas en general. Dado que las funciones principales de las señales acústicas del canto aviar es la defensa del territorio y la atracción de pareja, ambas se ven amenazadas cuando la eficiencia de las señales se ve reducida por los altos niveles de ruido.

Algunos autores en Europa y Canadá proponen medidas para mitigar el ruido y otros factores que afectan a los pájaros, protegiendo así mismo a los humanos e incluso a los bosques (Slabbekoorn & Ripmeester, 2008).

REFERENCIAS.

1. Almazán-Núñez, R. C. y Nova-Muñoz, O. (2006). La guacamaya verde (*Ara militaris*) en la Sierra Madre del Sur, Guerrero, México. *HUITZIL. Revista Mexicana de Ornitología*, 7(1), 20-22.
2. Álvarez del Toro, M. (1980). *Las aves de Chiapas*. Universidad Autónoma de Chiapas, Tuxtla Gutierrez, México.
3. Arizmendi, M. C. y Berlanga, H. (2014). *Colibríes de México y Norteamérica*. Humminbirds of Mexico and North America, CONABIO. México. 180 pp. bios.conabio.gob.mx
4. Arizmendi, C., del Laura, M., Valdelamar, M., del Coro Arizmendi, M., & Valdelamar, L. M. (2000). *Áreas de importancia para la conservación de las aves en México* (No. Sirsi) i9789701843192).

5. Bachmann T., Blazek S., Erlinghagen T., Baumgartner W. & Wagner H. (2012). Barn Owl Flight. In: Tropea C, Bleckmann H, editors. *Nature-Inspired Fluid Mechanics*. Part of the Notes on Numerical Fluid Mechanics and Multidisciplinary Design Book Series. Springer Berlin Heidelberg; NNFM **119**, 101–117.
6. Bachmann, T., Mühlenbruch, G. & Wagner, H. (March 23, 2011). The barn owl wing: an inspiration for silent flight in the aviation industry?, *Proc. SPIE 7975, Bioinspiration, Biomimetics, and Bioreplication*, 79750N ; doi:10.1117/12.882703; <http://dx.doi.org/10.1117/12.882703>
7. Basañez, A. K., Figueras, B. R. R., XCARET, P. E. y México, K. F. (2013). *Proyecto de Reintroducción de la Guacamaya Roja en la Reserva de la Biosfera de Los Tuxtlas, Veracruz*. <http://www.pericosmexico.org/proyectos.html>
8. Blanco, S. G., Acajungla, A. C., Garrido, P. G., Presidente de Acajungla, A. C., Pali, A. M. Q., y CEO, X. (2007). *Reintroducción de la Guacamaya Roja (Ara macao cyanoptera) en Palenque, Chiapas*.
9. Bostwick, K. S. & Prum, R. O. (2005). Courting bird sings with stridulating wing feathers. *Science*, **309** (5735), 736-736.
10. Bostwick, K. S., Elias, D. O., Mason, A., & Montealegre-Z, F. (2010). Resonating feathers produce courtship song. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, **277** (1683), 835-841.
11. Bull, E. L. & Jackson, J. A. (1995). *Pileated woodpecker (Dryocopus pileatus)*. In: Poole, A., Gill, F. (Eds.), *The Birds of North America*, No. 148. The Academy of Natural Sciences, Philadelphia, PA, and the American Ornithologists' Union, Washington, DC, pp. 1–24.
12. Burnie, D. (2003). *The Concise Animal Encyclopedia*. Houghton Mifflin Harcourt.
13. Chen, K., Liu, G. Q. ND Liao, Yang, Y., Ren, L., Yang, H. & Chen, X. (2012). The Sound Suppression Characteristics of Wing Feather of Owl (*Bubo bubo*). *Journal of Bionic Engineering*, **9**, 192-199.
14. CITES (2007). *The Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora*. Meeting in The Hague, Netherlands, 2nd June 2007.
15. Clark, C. J. (2009). Courtship dives of Anna's hummingbird offer insights into flight performance limits. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, **276** (1670), 3047-3052.
16. Clark, C. J. & Feo, T. J. (2008). The Anna's hummingbird chirps with its tail: a new mechanism of sonation in birds. *Proceedings of the Royal Society B:*

- Biological Sciences*, **275** (1637), 955-962.
17. Clark, C. J. & Feo, T. J. (2010). Why do Calypte hummingbirds “sing” with both their tail and their syrinx? An apparent example of sexual sensory bias. *The American Naturalist*, **175** (1), 27-37.
 18. Dalziell, A. H., Peters, R. A., Cockburn, A., Dorland, A. D., Maisey, A. C., & Magrath, R. D. (2013). Dance choreography is coordinated with song repertoire in a complex avian display. *Current Biology*, **23** (12), 1132-1135.
 19. Dean, R. T., Byron, T., & Bailes, F. A. (2009). The pulse of symmetry: On the possible co-evolution of rhythm in music and dance. *Musicae Scientiae*, **13** (2 suppl), 341-367.
 20. Dodenhoff, D. J., Stark, R. D. & Johnson, E. V. (2001). Do woodpecker drums encode information for species recognition? *The Condor*, **103** (1), 143-150.
 21. Enríquez, P., Eisermann, K., y Mikkola, H. (2012). Los búhos de México y Centroamérica: necesidades en investigación y conservación. *Ornitología Neotropical*, **23**, 247-260.
 22. Ewing, R., Kostyack, J., Chen, D., Stein, B., & Ernst, M. (January 2005). Endangered by Sprawl. How Runaway Development Threatens America's Wildlife. National Wildlife Federation, Smart Growth America, and NatureServe. Washington, D.C.
 23. Fay, R. R. & Popper, A. N. (2000). Evolution of hearing in vertebrates: the inner ears and processing. *Hearing Research*, **149** (1), 1-10.
 24. Fletcher, N. H. (1988). Bird song - a quantitative acoustic model. *Journal Theoretical Biology*. **135**, 455-481.
 25. Forman, R. T. & Alexander, L. E. (1998). Roads and their major ecological effects. *Annual Review of Ecology and Systematics*, **29** (1), 207-231.
 26. Frenk, M. (1993). "Charla de pájaros o las aves en la poesía folklórica" , <http://www.academia.org.mx/SesionPublica&id=49>
 27. Geyer, T., Sarrad, E. & Fritzsche, C. (2014). Measuring owl flight noise, In: *Congress and Conference Proceeding INTER-NOISE 2014*, **249** (8), 183-189, Institute of Noise Control Engineering, Melbourne, Australia, 16-19 November.
 28. Graham, R. R. (1934). The Silent Flight of Owls. *Journal of the Royal Aeronautical Society*. **38** (286), 837-843
 29. Harmening, W. M., & Wagner, H. (2011). From optics to attention: visual perception in barn owls. *Journal of Comparative Physiology A*, **197** (11), 1031-1042.

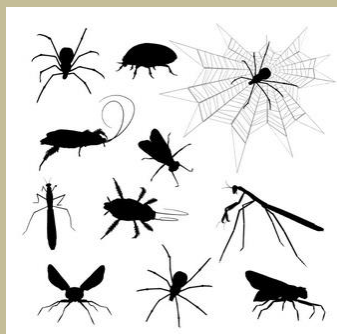
30. Harmening, W. M., Nikolay, P., Orlowski, J., & Wagner, H. (2009). Spatial contrast sensitivity and grating acuity of barn owls. *Journal of Vision*, **9** (7), 13.
31. Howell, S. N., & Webb, S. (1995). *A guide to the birds of Mexico and northern Central America*. Oxford University Press. <https://www.nwf.org/pdf/Wildlife/EndangeredbySprawl.pdf>
32. Jaworski, J. W. & Peake, N. (2013). Aerodynamic Noise from a Poroelastic Edge with Implications for the Silent Flight of Owls. *Journal of Fluid Mechanics*, **723**, 456 – 479.
33. Konishi, M. (1973). How the owl tracks its prey. *American Scientist*, **61**, 414-424.
34. Langmore, N. E. (1998). Functions of duet and solo songs of female birds. *Trends in Ecology & Evolution*, **13** (4), 136-140.
35. León-Portilla, M. (1978). *Trece poetas del mundo azteca*, UNAM. IHH, Pp.67-69.
36. Leonard, M. L. & Horn, A. G. (1995). Crowing in relation to status in roosters. *Animal Behaviour*, **49** (5), 1283-1290.
37. Levin, R. N. (1996). Song behaviour and reproductive strategies in a duetting wren, *Thryothorus nigricapillus*: I. Removal experiments. *Animal Behaviour*, **52** (6), 1093-1106. II Playback experiments p.1107-1117.
38. Lilley, G. M. (1998). A Study of the Silent Flight of the Owl. In: *4th American Institute of Aeronautics and Astronautics/CEAS Aeroacoustics Conference* p. 2340.
39. Maina, J. N. (2006). Development, structure, and function of a novel respiratory organ, the lung-air sac system of birds: to go where no other vertebrate has gone. *Biological Reviews*, **81** (4), 545-579.
40. Mann, N. I., Dingess, K. A., & Slater, P. J. B. (2006). Antiphonal four-part synchronized chorusing in a Neotropical wren. *Biology Letters*, **2** (1), 1-4.
41. Mann, N. I., Dingess, K. A., Barker, K. F., Graves, J. A., & Slater, P. J. (2009). A comparative study of song form and duetting in neotropical *Thryothorus wrens*. *Behaviour*, **146** (1), 1-43.
42. McGregor, P. K., & Krebs, J. R. (1984). Sound degradation as a distance cue in great tit (*Parus major*) song. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, **16** (1), 49-56.
43. Murgui, E. (2007). Factors influencing the bird community of urban wooded streets along an annual cycle. *Ornis Fennica*, **84** (2), 66.

44. Naguib, M., & Wiley, R. (2001). Estimating the distance to a source of sound: mechanisms and adaptations for long-range communication. *Animal behaviour*, **62** (5), 825-837.
45. Navarrio Ornelas, M. D. L. (2012, Julio). Arte y ciencia a través de las imágenes de aves en la pintura mural prehispánica. *Anales del Instituto de Investigaciones Estéticas*, **22** (7), 5.
46. Ornelas, J. F., González, C. & Uribe, J. (2002). Complex vocalizations and aerial displays of the Amethyst-throated Hummingbird (*Lampornis amethystinus*). *The Auk*, **119** (4), 1141-1149.
47. Patel, A. D., Iversen, J. R., Bregman, M. R., & Schulz, I. (2009). Experimental evidence for synchronization to a musical beat in a nonhuman animal. *Current Biology*, **19** (10), 827-830.
48. Payne, R. S., & Drury, W. (1958). Marksman of the darkness. *Natural History*, **67**, 316-323.
49. Pytte, C. L., Ficken, M. S. & Moiseff, A. (2004). Ultrasonic singing by the blue-throated hummingbird: a comparison between production and perception. *Journal of Comparative Physiology A*, **190** (8), 665-673.
50. Reijnen, R. & Foppen, R. (2006). Impact of road traffic on breeding bird populations. The Ecology of Transportation: Managing mobility for the Environment Part of the Environmental Pollution book series (EPOL, volume 10, (Pp. 255-274). Springer Netherlands.
51. Reijnen, R., Foppen, R. & Veenbaas, G. (1997). Disturbance by traffic of breeding birds: evaluation of the effect and considerations in planning and managing road corridors. *Biodiversity & Conservation*, **6** (4), 567-581.
52. Reinberger, S. (2013). Birds that go wild for the city. *Max Planck Research*, **1** (13), 72-79.
53. Rheindt, F. E. (2003). The impact of roads on birds: does song frequency play a role in determining susceptibility to noise pollution? *Journal für Ornithologie*, **144** (3), 295-306.
54. Rivera-Ortíz, F. A., Oyama, K., Ríos-Muñoz, C. A., Solórzano, S., Navarro-Sigüenza, A. G., & Arizmendi, M. D. C. (2013). Habitat characterization and modeling of the potential distribution of the Military Macaw (*Aramilitaris*) in Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, **84** (4), 1200-1215.
55. Salazar, T.J.M. (2001). Registro de Guacamaya verde (*Ara militaris*) en los cañones del Río Sabino y Río Seco, Santa María Tecomavaca, Oaxaca, México. *HUITZIL. Revista Ornitológica Mexicana*, **2**, 18-20.

56. SEMARNAT (2002). *Norma Oficial Mexicana NOM-059- ECOL- 2001*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Protección Ambiental -Especies Nativas de México de Flora y Fauna Silvestres-. Categorías de Riesgo y Especificaciones para su Inclusión, Exclusión o Cambio. Diario Oficial del 6 de marzo de 2002.
57. Shimmura, T., & Yoshimura, T. (2013). Circadian clock determines the timing of rooster crowing. *Current Biology*, **23** (6), R231-R233.
58. Slabbekoorn, H., & Ripmeester, E. A. (2008). Birdsong and anthropogenic noise: implications and applications for conservation. *Molecular Ecology*, **17** (1), 72-83.
59. Templeton, C. N., Ríos-Chelén, A. A., Quirós-Guerrero, E., Mann, N. I., & Slater, P. J. (2013). Female happy wrens select songs to cooperate with their mates rather than confront intruders. *Biology Letters*, **9** (1), 20120863.
60. Tremain, S. B., Swiston, K. A. & Mennill, D. J. (2008). Seasonal variation in acoustic signals of Pileated Woodpeckers. *The Wilson Journal of Ornithology*, **120** (3), 499-504.
61. UICN (2006). Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. *Para la Naturaleza*, U. M. Comunicado de Prensa de mayo de 2006, Ginebra, Suiza.
62. Van der Willigen, R. F. (2011). Owls see in stereo much like humans do. *Journal of Vision*, **11** (7), 10.
63. Warren, P. S., Katti, M., Ermann, M. & Brazel, A. (2006). Urban bioacoustics: it's not just noise. *Animal Behaviour*, **71** (3), 491-502.
64. . Xu, X., Zhou, Z., Dudley, R., Mackem, S., Chuong, C. M., Erickson, G. M., & Varricchio, D. J. (2014). An integrative approach to understanding bird origins. *Science*, **346**(6215), 1253293.

CONFIDENCIAL

Capítulo II. Los Sonidos de los insectos.



ORQUESTA DE BOSQUES Y PRADERAS



*[...]Suspenden los sauces su lamento,
calla la voz de las cañadas bondas
y un vago y postrer hálito menea
rozando apenas las espigas blondas.
va a inundar a la tierra el firmamento...
...No ha callado ni una nota ni un ruido:
en el espacio rojo y encendido
se escucha el agudísimo zumbido
del insecto apresado por la araña; [...]*

*[...] y las ondas armónicas desgarran,
con desacorde son, el chirriante
metálico estridor de la cigarra.
Corre por la hojarasca crepitante
la lagartija gris, zumba la mosca
luciendo al aire el tornasol brillante
y, agitando su crótalo sonante,
bajo el brenal la víbora se enrosca[...]*

1

¹ *Himno de los bosques*, Manuel José Othón, Editorial Capullos, San Luis Potosí, 1918.

Los insectos, bichos conocidos por todos nosotros desde que nacemos: moscas, moscos, cucarachas, chinches, pulgas, piojos, alacranes,..., la lista es larga y variada. Nos provocan asco, temor, fobias y algunas pocas, muy pocas, filias (hacia las mariposas, las catarinas, algunos grillos, y... algunos otros). Sin embargo, en muchos países del mundo -México destaca en este sentido- se comen y cultivan; y algunos dicen, son el futuro de la alimentación de la población del mundo. Los insectos existen en nuestro planeta desde hace muchos millones de años: Grillos, chicharras, saltamontes (en general, los *ortópteros*, de *orthós*, derecho, y *pterón*, ala), desde hace 200 millones de años, según se acepta; y las mariposas (*lepidópteros*, de *lepis*, escama) desde hace alrededor de 100 millones de años, por citar dos ejemplos.

Los sonidos de los insectos, junto con los de los pájaros y los del viento, la lluvia, etc., constituyen el grueso de los sonidos que identificamos como propios de la naturaleza. Un bosque o una selva sin el canto de los pájaros y de los insectos, sería para la mayoría de las personas, como ir al mar y encontrarlo sin sonido de las olas y las gaviotas o los pelícanos; sería una situación, además de misteriosa, estresante. Fueron los sonidos naturales más conspicuos durante la evolución del hombre y el desarrollo de la civilización, podría ser, incluso, que los primeros cantos del hombre –repetitivos y sin melodía– hayan surgido como imitación de los *cantos* de los insectos cantantes y, después, de los pájaros.

<http://www.ars.usda.gov/pandp/docs.htm?docid=10919>.



Los sonidos emitidos por los insectos pueden ser consecuencia de sus actividades de locomoción o de su alimentación, o bien porque los generan intencionalmente (son los denominados *cantos* y *llamados* del insecto). El sonido que producen al desplazarse o comer, es objeto de estudio por especialistas en la tecnología de la detección y el control de insectos, para prevenir plagas o para efectuar el control de la calidad de los alimentos consumidos por los seres humanos; en este caso, se usan sensores para detectar y/o grabar sus sonidos:

existen, incluso, bancos de sonidos de insectos². El canto de los insectos es objeto de estudio de diversas ramas de la ciencia, tales como comunicaciones, bioacústica, neurofisiología, genética y evolución de las especies. Con respecto al sonido, los insectos nos generan muchas interrogantes, pues aun siendo tan pequeños emiten sonidos de gran intensidad, cuya longitud de onda es mucho mayor que su aparato emisor (en algunos insectos hasta decenas o cientos de veces más grande); emiten sonidos casi puros y muy potentes, pueden detectar sonidos muy débiles, se pueden comunicar a grandes distancias en relación a su tamaño, etc.

El número y la variedad de insectos que producen sonidos con sistemas especializados, exceden al de todos los organismos vivos combinados, por la enorme cantidad de especies de insectos —más de un millón— conocidas actualmente, y también de muchas no conocidas.

Sin embargo, sólo a algunas de ellas pertenecen los insectos cantantes: grillos, saltamontes, chapulines³, los cuales emiten sonidos lo suficientemente intensos para ser percibidos por los humanos. Los *cantos* de los grillos, en general, son musicales para el oído humano, debido a que sus frecuencias son relativamente bajas y casi exclusivamente de una sola frecuencia (se les denomina frecuencias puras), además la intensidad de su sonido es relativamente baja; los *cantos* de cigarras y saltamontes suenan a nuestros oídos como zumbidos rasposos, debido a que sus frecuencias son menos puras, más altas y los sonidos son más intensos.

Se cree que bien podrían haber sido los ancestros de los insectos cantantes, los primeros organismos en la Tierra que se comunicaron por medio de ondas sonoras en el aire, es decir, mediante el sonido. Otros insectos sólo

²Existe un banco de sonidos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Son grabaciones de sonidos producidos por insectos o larvas, comiendo, cortando o masticando diversos productos como semillas, madera, granos, etc. Se muestra el código QR en el último párrafo de esta página.

³ Que pertenecen al orden de los *Orthoptera* (alas rectas), con dos subórdenes: *Ensifera* (grillos, chapulines verdes, caras de niño, con antenas más grandes que su cuerpo, y *Caelifera* (chapulines, saltamontes, de antenas cortas).

hacen ruido con sus alas como los abejorros, los moscos y las moscas, y parece ser que también se comunican por medio de estas ondas sonoras.

El sonido de los insectos es muy variado porque puede involucrar casi cualquier parte de su exoesqueleto –mandíbulas, antenas, patas anteriores o posteriores, alas, abdomen, etc. Los mecanismos por los cuales lo producen son básicamente cinco: a) frotando una parte del cuerpo contra otra, por ejemplo, la estridulación (en grillos, saltamontes, escarabajos, polillas, mariposas, hormigas; b) golpeando una parte del cuerpo contra otra, ya sea los pies (en algunos saltamontes), la punta del abdomen (en cucarachas), la cabeza (en el escarabajo anobio); c) vibrando las alas (mosquitos, moscas, abejas, avispas); d) expulsando aire por conductos o poros (grillos de cuerno corto); e) deformando unos instrumentos llamados tímbriles con ciertos músculos (en cigarras y otros bichos).

Los insectos producen sonidos en dos situaciones generales:

a) Por las condiciones de luz o humedad, en forma continua durante períodos largos; estos sonidos son los más intensos y conocidos y son denominados *cantos ordinarios* o *comunes*. También se les conoce como *cantos solitarios*, porque a menudo dejan de emitirlos en presencia de otro animal o de una persona.

b) Por la presencia de otros organismos, como es el caso de los sonidos producidos por los machos para las hembras (alarmas, chillidos, estrés, que son llamados *sonidos de protesta*); como resultado de actividades de otras especies depredadoras de una especie dada; los sonidos de cortejo ante una hembra; los sonidos de intimidación, pelea, advertencia, causados por la presencia de otro macho; y, los producidos por una hembra ante un macho de la misma especie.

Dentro de los sonidos emitidos por los insectos se encuentran los producidos por su vuelo. Recordemos el clásico zumbido que cuando más cansados y dispuestos a dormir estamos, aparece súbitamente como un ataque suicida de un mosquito “kamikaze”. De hecho, este sonido es como el de un avión o de una avioneta cuando pasa por encima de nosotros: el



Figura 2.1 Mosquito *Aedes aegypti*. Observe las rayas blancas en sus patas.

sonido cambia de frecuencia por el efecto Doppler, al pasar el mosquito con gran velocidad cerca de nuestros oídos. Sin embargo, en el mundo de los mosquitos, este irritante zumbido puede ser un canto de amor; en los mosquitos, las hembras usan el sonido para atraer a los machos que cuando oyen el sonido del vuelo de la hembra, se dirigen a ella. Recientemente se ha encontrado que el zumbido del mosquito constituye una señal de apareamiento con la cual

la hembra irradia su presencia.

En el mosquito *Aedes aegypti*, Figura 2.1, que transmite las terribles enfermedades virales Fiebre Amarilla y Dengue, y las de más reciente aparición: Sukunguya y Sika, machos y hembras interaccionan acústicamente modificando sus frecuencias o tonos de vuelo, de tal manera que coinciden formando un dueto al unísono. Pero este unísono no ocurre a 400 Hz (la frecuencia de la hembra), ni a 600 Hz (la frecuencia del macho), sino a un armónico de 1 200 Hz, compartido por los dos. El órgano del oído de los mosquitos, el órgano de Johnston, cuya sensibilidad a la frecuencia llega hasta 2 000 Hz (Cator *et al.*, 2009).

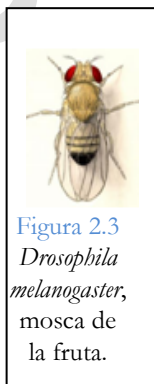


Figura 2.3 *Drosophila melanogaster*, mosca de la fruta.



Figura 2.2 *Apis mellifera*, abeja común o europea.

En la abeja, *Apis mellifera*, Figura 2.2, el zumbido debido al movimiento vibratorio de sus alas, cambia según esté o no cargada de néctar: sin néctar aletea alrededor de 330 veces por segundo, con néctar cambia a alrededor de 440 veces por segundo. También utiliza este sonido para indicar la existencia, o también, la... ¡distancia!, a una fuente de comida. Se ha encontrado (Bastian & Esch, 1970) que en los mosquitos y abejas se detectan sonidos del

orden de kHz, producidos por un mecanismo diferente al común producido por sus alas (que está en el intervalo de frecuencias de cientos de ciclos por segundo, o en la zona de los tonos de una guitarra, por ejemplo).

En el caso de la mosca de la fruta *Drosophila melanogaster* (que es una de las moscas más pequeñas, pues mide apenas 2.5 mm de largo), [Figura 2.3](#), el macho gira alrededor de la hembra cuando oye su batido de alas. Otros insectos, como la cucaracha gigante, emiten sonidos de enojo cuando algo las irrita, expulsando aire por poros que tienen en el tórax; otros, como los grillos, emiten sonidos golpeando las mandíbulas o batiendo las patas contra las alas.

EL CAMPO SONORO DE LOS INSECTOS

Se encuentran insectos de todos los tamaños, desde 1-2 mm (*Drosophila* o mosca de la fruta) hasta alrededor de 50 mm (Cicadas como la *Cyclochila*) y con pesos de entre decenas de microgramos hasta alrededor de 10 gramos. Se comunican, en general, a través de pulsos cortos (llamados sílabas) repetidos en un patrón ("un tren de pulsos"), según el tipo de canto y de especie de que se trate. Sin embargo, no oímos todo lo que los insectos se comunican entre sí, pues muchos de los sonidos que emiten no los percibimos por estar más allá de nuestros límites de audición. Muchos de sus sonidos son de carácter ultrasónico, es decir, más allá del límite superior de la audición del hombre, probablemente producto de la adaptación y evolución de los insectos a la aparición, hace 65 millones de años, de los murciélagos – que emiten sonidos ultrasónicos para cazar insectos. El oído de la mayoría de los insectos se ha adaptado para percibir las señales que emiten muchos de sus depredadores, lo que les permite mayor capacidad de sobrevivencia.

Uno de los objetivos de la comunicación entre miembros de una especie dada, es maximizar la distancia a la cual el *llamado* (o *canto*) llega. Resulta que esta distancia depende de la potencia acústica que puede producir el animal en cuestión y de la frecuencia del sonido generado, porque la distancia que el sonido puede recorrer depende de la absorción del sonido en el aire, y de la dispersión (rebotes con hojas, troncos, etc.) que generan ecos y ruido. Esta dependencia implicaría que existe alguna relación entre el tamaño del animal y la frecuencia generada, en el caso de los animales que generan el sonido a través del aire. Considerando el mecanismo de producción (aire a través de una constricción, radiación, pérdida por dispersión etc.), los bioacústicos

concluyen que la frecuencia es inversamente proporcional a la masa del animal elevado a la 0.4 potencia (Fletcher, 2005).

En el caso de los insectos la relación no es tan consistente, pues los mecanismos de producción son diferentes (por frotación, por clics de membranas rígidas, por dientes frotados y, además, generalmente dependen de resonadores y pantallas para aumentar la intensidad).

El mecanismo de producción del sonido en los insectos es relativamente más fácil de entender que el que se lleva a cabo en los mamíferos o en los pájaros, no se diga en el hombre. Los insectos son, desde el punto de vista de la acústica, fuentes sonoras extremadamente pequeñas, pues en su gran mayoría miden, como se dijo anteriormente, menos de 5 cm de largo ⁴, en consecuencia, el tamaño del aparato productor del sonido es mucho más pequeño, del orden de milímetros de longitud. Cómo logran emitir sonidos de baja frecuencia –en relación a su tamaño– fue una de las primeras preguntas que se hicieron los bioacústicos. Básicamente hay dos mecanismos fundamentales (Fletcher, 2005):

a) Por la deformación súbita de una serie de membranas rígidas (*timbales*), pero relativamente flexibles, con dos estados estables (cada una) e intercambiados de uno a otro y movidos por la acción muscular decenas de veces por segundo; cada membrana se va deformando una tras otra formando un tren de pulsos de sonido. El sonido es un tren de sílabas idénticas correspondiente a una serie de deformación de los timbales (a veces hasta diez de ellos unidos en una estructura llamada Tympana); la información se logra cambiando el número de sílabas en una emisión o variando la rapidez de repetición. Además, estas estructuras están en una cavidad en el cuerpo que está entonada a la misma frecuencia de las sílabas. Las dos Tympana se mueven en fase, es decir, al mismo tiempo y en la misma dirección.

b) El otro mecanismo es el usado por los grillos cantores y algunos

⁴ Hay insectos, como algunas mariposas de hasta 15 cm de envergadura y otros insectos de grandes dimensiones, pero no cantan.

saltamontes, que generan el sonido raspando una especie de sierra con dientes con alguna parte de su anatomía (generalmente un ala) que la hace vibrar. El paso de cada diente genera un pulso y el paso de toda la sierra genera un tren de pulsos por el ala. En este caso, las vibraciones son generadas por las dos superficies del ala y el sonido de cada superficie está desfasado con respecto al de la otra ala.

Las intensidades de las señales de los insectos pueden ser casi inaudibles o ensordecedoras para los humanos. Asimismo, los sonidos pueden ser casi tonos puros (como tonos musicales) o como sonidos transitorios con muchas frecuencias (casi ruido). Si se considera que las señales acústicas de los insectos tienen que dar información sobre la especie, sexo, fortaleza o posición en el espacio, los biólogos consideran que estas señales tienen que maximizar el alcance de la señal, y se ha encontrado que las señales muy intensas con un patrón temporal característico de la especie son más efectivas que una señal variable en frecuencia y tiempo, pero más leve. Las señales que emiten los insectos interactúan con el medio (plantas y obstáculos), y la comunicación entre ellos se considera como una interacción entre el medio y la anatomía o fisiología de cada especie (Bennet-Clark, 1998).

Resulta que para que una fuente sonora emita eficazmente un sonido determinado, la frecuencia del sonido debe ser tal que la longitud de onda correspondiente sea del orden del tamaño de la fuente o menor a ella⁵. Como, en general, los insectos tienen longitudes máximas del orden de 1 a 5 cm, los sonidos que emiten usualmente están constreñidos a generar frecuencias de sonido con longitudes de onda similares a sus propias dimensiones, lo cual implicaría que la mayoría de los insectos no podrían

⁵Un radiador de sonido funciona mejor cuando emite sonidos con longitudes de onda (λ) similares o menores a su propia dimensión (D , digamos). Es decir, la relación entre la longitud de onda del sonido emitido y la dimensión máxima del radiador en el insecto, debe ser menor o igual a uno; $\lambda / D \leq 1$, expresa matemáticamente esta condición.

radiar eficientemente sonidos de menos de aproximadamente 7 kHz ⁶.

Cuando un insecto emite ondas sonoras, éstas se esparcen como ondas esféricas, ya que es una fuente sonora⁷ muy pequeña. Lejos del insecto, en cuyo caso la distancia de observación, r , es mucho mayor que la longitud de onda del sonido, λ , ($r \gg \lambda$), las ondas radiadas decrecen en *amplitud* como $1/r$ o en *intensidad* como $1/r^2$. Esta ley de variación es aplicable tanto a la *presión* como a la *velocidad* de las partículas del aire, que oscilan por el paso de las ondas. Esto es equivalente a modelar a un insecto como si fuera lo que se llama un *monopolo* (o fuente simple, equivalente a una pequeña esfera que se dilata y se comprime alternadamente o a un pistón que radia sonido de una sola de sus caras) tal sería el caso de la bolsa que se comprime y expande de un sapo, o del radiador del sonido del Tympana de las cícadas o chicharras.

Por otro lado, hay otro tipo de fuentes llamadas *dipolares*, menos eficientes que las monopolares, que radian como un pistón que radia por ambas caras, o un diapasón musical (sería el caso de las alas del insecto batiendo en direcciones contrarias, es decir, como un par de fuentes sonoras de signos contrarios muy cerca una de la otra), como en la mosca común o la de la fruta (*Drosophila*).

⁶A *grosso modo*, si todo el insecto radiara sonido —lo cual no sucede— y midiera 30 mm de largo, como frecuencia = velocidad del sonido / λ , el sonido sólo se radiaría eficazmente arriba de una frecuencia cercana a: $f = (340 \text{ m/s}) / 0,03 \text{ m} = 11,3 \text{ kHz}$.

⁷ Se le dice fuente sonora a un generador de sonido, que puede ser casi cualquier cosa que vibra como consecuencia de alguna acción —golpe, aire, rasgado—, sobre ese objeto o sistema.

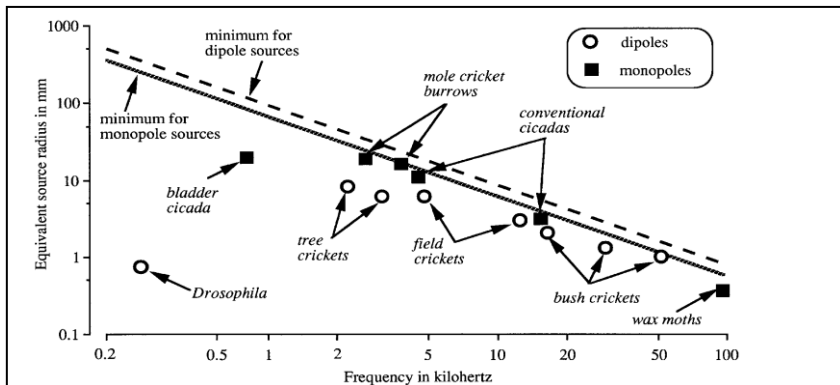


Figura 2.4 Tamaño de fuente mínima en mm, eje vertical, en un insecto, para una transferencia óptima de energía vs. Frecuencia del sonido emitido. Tomado de Bennet-Clark, 1998.

Ahora bien, resulta que la eficiencia de una fuente sonora depende de la razón entre su diámetro o alguna otra dimensión, y la longitud de onda del sonido radiado. Si se trata de un monopolo, la relación mínima para que la radiación sea óptima es de $1/6$ de la longitud de onda, en cambio, si se trata de un dipolo es de $1/4$ de dicha longitud⁸.

Si esta relación, ilustrada en la Figura 2.4, es menor, la eficiencia decae muy rápidamente conforme dicha relación tiende a 0. Algunos de los insectos más "ruidosos", es decir, con un *canto* muy intenso, son los grillos comunes y muchas especies de saltamontes y cigarras (que tienen fuentes monopulares de dimensiones muy cercanas a la óptima, mostradas en los cuadros negros de la Fig. 2.4). Los insectos muy pequeños que emiten sonidos de frecuencias muy altas, como la polilla *Achroia*, de 8 mm de longitud, los producen por medio de un timbal de 0.6 mm de diámetro; las señales de entre 1 y 4 kHz son las que más y mejor (en el sentido de tener menos ecos y menos absorción de hojas y obstáculos) se propagan en la vegetación densa. En espacios más abiertos los insectos usan frecuencias aún más altas.

⁸ A esta relación se le conoce como la resistencia de radiación específica; cuando se cumple la relación óptima ($1/6$, o $1/4$ de λ), se dice que la fuente está óptimamente acoplada al medio donde radia.

Sin embargo, parece que muchos insectos producen cantos de frecuencias que son menores que las óptimas (parece que se sacrifica eficiencia de emisión, por frecuencias más bajas que llegan más lejos por tener menor interferencia con el medio), para el tamaño de sus generadores acústicos. Algunos sustituyen este mecanismo con trucos como usar cornetas, o pantallas, que aumentan el tamaño efectivo de la fuente sonora y la intensidad del sonido.

En el caso de las alas batientes de los insectos, su comportamiento acústico (suponiendo que baten al mismo tiempo, o que una sola ala bate, como sucede a veces cuando los insectos se cortejan) es un tipo de fuente dipolar. Mientras una cara del ala comprime el aire a su alrededor, la otra cara lo descomprime, es decir, una aspira y la otra expira; muy cerca del ala la onda se esparce como una onda esférica, mientras que a distancias de varias longitudes de onda se tiene una onda plana. Una onda acústica tiene dos componentes: la presión acústica y la velocidad de partícula; en la onda plana la amplitud de estas componentes varían de igual manera (con la ley inversa al cuadrado de la distancia). En el campo cercano donde la onda es esférica, la magnitud relativa de la componente de velocidad de partícula varía aún más fuertemente, la onda sonora resultante es producto de la interferencia de estos dos efectos contrarios. La intensidad del sonido es, en este caso, muy pequeña y se puede decir que la energía sonora no viaja en esta zona cercana a la fuente⁹, sin embargo, sí provee de un estímulo muy fuerte a los sensores de los insectos¹⁰, por el movimiento muy amplio de las partículas de aire en el campo cercano. Tal es el caso de insectos muy pequeños como la *Drosophila melanogaster* que tienen comunicación acústica, con alcance de su canto o llamado muy corto, de unos cuantos milímetros; sus antenas detectan el canto del macho, el nivel de presión (dada fundamentalmente por la componente de velocidad), aumenta de 74 dB a 5mm, a 92 dB a 2 mm. Esto muestra como los detectores de movimiento o velocidad de los insectos son útiles, en general, para los animales muy pequeños; estos detectores pueden

⁹Se dice que si la velocidad y la presión están en cuadratura de fase y la intensidad es estrictamente cero, no hay viaje de energía.

¹⁰ En este caso la velocidad de las partículas de aire aumenta no con el cuadrado sino con el inverso del cubo de la distancia a la fuente (es decir más fuertemente conforme r es más pequeña) y con el inverso del cuadrado de la frecuencia.

ser alas, aristas o membranas muy ligeras, sostenidas libremente al aire.

La señal se produce batiendo las alas que tienen un tamaño de $1/200$ de la longitud de onda, lo que está muy por abajo de la relación óptima para máxima eficiencia. Parece ser que, en realidad, las *Drosophila* utilizan el olor para comunicación a larga distancia (para atraer a la pareja) y que la comunicación acústica es de cortejo a muy corta distancia; las alas batidas emiten sonidos de tonos más bajos (el tono está ligado a la frecuencia del sonido, así un sonido grave es de baja frecuencia, y uno agudo, de frecuencia elevada), emiten diferentes cantos según la especie y cuando efectúan sus danzas de cortejo, las moscas están separadas por distancias del orden de medio centímetro a un centímetro. Sus cantos son pulsos que duran de 2 a 6 milésimas de segundo (ms), cuya longitud de onda es de 60 cm a 2 metros (lo que equivale a frecuencias de 600 a 170 Hz). Es decir, hay una relación de entre 240 y 800 veces entre la longitud de onda del sonido que emite y el tamaño de la mosca.

En resumen, el campo cercano domina sobre todo lo demás en las cercanías del insecto (cuando la distancia r al insecto es muy pequeña). La velocidad de las partículas es la variable que los *sensores* de los insectos, utilizan cuando se comunican o cazan pues, en el mundo de los insectos las distancias para localizar y prepararse para atrapar a la presa son pequeñas.

Los humanos percibimos también este efecto en el caso de fuentes dipolares relativamente comunes, como lo es, por ejemplo, el diapasón para afinar instrumentos musicales. Si se toca levemente el diapasón a una distancia relativamente grande apenas si se oye, pero conforme la distancia al oído disminuye gradualmente, se empieza a oír levemente y a unos cuantos centímetros súbitamente aumenta.

Los insectos que usan señales sonoras aéreas para su comunicación a distancia, utilizan estructuras y comportamientos especializados, como generadores y radiadores de sonido. Los sonidos más puros y potentes son los que se producen por medio de órganos especializados, como las patas y

alas de los grillos y los timbales de la cigarra¹¹.

Con respecto a las intensidades acústicas¹², consideremos que el oído humano puede detectar sonidos mínimos (que apenas se pueden oír en condiciones ultrasilenciosas) que son del orden de 10^{-12} W/m^2 (nivel de referencia de 0 dB), y máximos (cuando hay dolor en el oído) de 1 W/m^2 (120 dB) de intensidad. Un mosquito volando, produce una intensidad del orden de 10^{-12} W/m^2 , a 10 m de distancia, a 10 cm de distancia la intensidad se reduce a 10^{-8} W/m^2 (40 dB)¹³. Cuando el mosquito vuela en un cuarto silencioso, podemos oírlo aún con un ruido de 20 o 30 dB a una distancia de 30-40 cm.

Un pájaro puede producir fácilmente un nivel de sonido de 80 dB a una distancia de 1 m (que correspondería a una fuente de cerca de 1 miliwatt de potencia acústica), que es el rango de la voz humana o de un radio portátil. Algunas cigarras producen niveles comparables y un gallo puede producir niveles de potencia de 1 W, este sonido se trata más adelante y se dan comparaciones entre los insectos más poderosos. Una orquesta puede producir de 1 a 10 W y un avión jet 1 000 W de potencia acústica¹⁴ (Fletcher, 1992).

EL OÍDO DE LOS INSECTOS

¹¹De las cigarras o chicharras pertenecientes a la clase Insecta (seis patas), existen más de 2 000 especies en todos los continentes. Las cigarras de mayor tamaño son las *Pomponia imperatoria*, de Malasia.

¹²La potencia sonora se mide en watts, como en los focos de luz, leds, etc. (la potencia eléctrica consumida = resistencia del filamento x voltaje), en el caso del sonido, la potencia acústica es proporcional al producto de la presión acústica x la velocidad de las partículas del aire, es una cantidad que depende sólo de las características físicas de la fuente. La intensidad, o la energía que pasa por un área dada por unidad de tiempo, es la potencia por unidad de área (W/m^2), y depende la distancia a la fuente.

¹³ $\text{dB} = 10 \log_{10} (\text{intensidad}/\text{referencia})$. La intensidad de referencia es de 10^{-12} W/m^2 .

¹⁴Algunos equipos electrónicos de sonido pueden generar cientos de watts de potencia acústica; en México se suelen utilizar en los conciertos y mítines por cualquier motivo, con niveles altamente contaminantes para los alrededores –hasta varios cientos de metros a la redonda– y nocivos para el oído y la salud en general.

La percepción sonora en los insectos, por medio del sensor que detecta las vibraciones del sonido de los depredadores, las de con-específicos hembras o machos, las señales de alarma, etc., es muy variada, pues estos animales poseen varios órganos encargados de esa función.

Sucede que los insectos tienen diferentes órganos sensores que utilizan según los requerimientos de cada especie y de la situación de que se trate. Los sonidos de muy baja intensidad (por ejemplo, los sonidos en el cortejo de algunos insectos como el de la mosca de la fruta) y de baja frecuencia, poseen muy poca energía para estimular a los órganos sensibles a la presión, sin embargo, esta energía puede ser suficiente para estimular a órganos que son sensibles a la velocidad de las partículas de aire, pues como se dijo, las velocidades de las partículas son mayores en el campo cercano. Estos órganos sensores están restringidos a un rango de comunicación de unos milímetros (en la mosca de la fruta) a máximo un metro (en mosquitos), y los intervalos de frecuencia también están restringidos a bajas frecuencias, de 70 a 500 Hz. Estas frecuencias son las que se generan cuando este tipo de insectos baten las alas. Ejemplos de estas estructuras sensoriales —no propiamente oídos— que tienen una función auditiva son los llamados *órganos cercas* de las cucarachas, los *órganos de Johnston* o *antenas* en los mosquitos, las *aristas* de la moscas drosófilas, etc. Estos detectores de sonido no constituyen un oído en el sentido que lo conocemos, pues no tienen tímpano.

La hembra de la *Drosophila*—que está como se dijo anteriormente, en el *campo cercano*— percibe el sonido con sus antenas, las cuales poseen a lo largo de ellas pequeños pelos o cerdas (llamados *aristas*), que son sensibles al movimiento de las partículas del aire. Cuando las antenas están orientadas perpendicularmente a la dirección de propagación del sonido, las aristas vibran, pero no cuando están orientadas paralelamente a esa dirección. Esto demuestra que las antenas son sensibles al movimiento (a la velocidad, en realidad) de las partículas del aire, causado por el paso de la onda sonora, pero no a la presión.



Figura 2.5 Izquierda, polilla de la cera. Derecha, tímpano de aproximadamente 0.25 mm de diámetro. Tomado de Moir *et al.* 2013.

(Hoy & Robert, 1996). Entre ellos encontramos a los Ortópteros (grillos y saltamontes), los Homópteros (cigarras o chicharras), los Heterópteros (escarabajos), los Lepidópteros (mariposas y palomillas) y los Dípteros (moscas). El intervalo de frecuencias que pueden detectar varía de 2 hasta 100 kHz, y esto les permite la detección de sonidos en rangos de distancias desde cortas hasta muy largas de hasta decenas de metros.

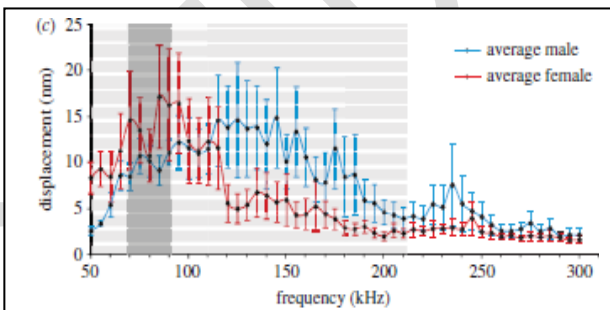


Figura 2.6 Desplazamiento promedio del tímpano de la polilla, obtenida con velocimetría Doppler de 50 a 300 kHz, a 90 dB. El área sombreada corresponde a las frecuencias del cortejo. El área con rayas grises a las frecuencias de los murciélagos. Tomado de Moir *et al.*, 2013.

Más lejos de la fuente sonora, las partículas de aire experimentan el paso de una onda sonora más bien como un cambio de presión. Es importante indicar que el término "oído" se aplica a detectores de sonido sensibles a la presión acústica. Entre los distintos órdenes de insectos, hasta hoy se conocen siete que han desarrollado oídos cuya función es detectar el sonido como ondas de presión acústica

Sus oídos no se encuentran usualmente en la cabeza —como en los vertebrados terrestres— sino que pueden estar ubicados en casi cualquier parte del cuerpo: las patas, el abdomen o el tórax, las alas, etc. Continuamente se conocen o descubren especies con "oídos" y, según Hoy y Robert

(1996), las especies conocidas son sólo la punta del iceberg de los insectos con oídos.

Un caso sobresaliente de audición extrema es el oído de la polilla de la cera, *Galleria melonella*, una plaga de las colmenas de abejas que vive en toda Europa y América, [Figura 2.5](#). Las larvas de esta polilla destruyen los panales de abejas que no están protegidos y que han contenido cría o polen. Su oído tiene la capacidad de percibir sonidos de hasta 300 000 Hz (300 kHz), y es la sensibilidad frecuencial más alta de cualquier animal. Se cree que esta ultrasensibilidad a altas frecuencias es debida a la guerra de millones de años entre los murciélagos, que usan ultrasonidos para cazarlas y las polillas para oírlos¹⁵. El tímpano de estas polillas es del orden de 0.25 mm de diámetro. Esta sensibilidad se midió en un estudio de Moir *et al.*, 2013, con un velocímetro láser de microescaneo (con resolución de 10 picómetros en la amplitud de desplazamiento del tímpano), generándose sonido a diferentes intensidades desde muy bajas hasta altas (hasta 90 dB), a diferentes frecuencias de 50 hasta 300 kHz, y se midió el desplazamiento del tímpano en nm (10^{-9} m); simultáneamente se midió la respuesta del nervio auditivo a estos estímulos (se necesitan al menos varias decenas de picómetros para que se estimule el nervio). La [Figura 2.6](#) muestra dicha gráfica y constituye la curva de sensibilidad del oído de la polilla.

INSECTOS CANTORES

Desde tiempos muy antiguos ha existido en China y Japón, una apreciación por el canto de los grillos y saltamontes que todavía subsiste, aunque en menor grado ya que todavía existen los vendedores de grillos y saltamontes, [Figura 2.7](#); se apreciaban sus cantos y se les hacían poemas. En estas culturas se tenían a los grillos y saltamontes cantores como mascotas, en pequeñas jaulas de esquite, sólo por el placer de oír su *canto* en los meses de invierno, cuando los grillos callan. Los nombres de los cantores solían ser nombres

¹⁵ Aunque los murciélagos, se cree, emiten hasta 212 kHz de frecuencia máxima, nace la duda (expresada por los autores de este estudio) de si ellos o sus presas usan armónicos de esas frecuencias ultrasónicas, o simplemente no se ha medido bien el rango de frecuencias que son capaces de emitir los murciélagos.



Figura 2.7 Vendedores de grillos cantores en China.

ala. Durante el *canto*, en los grillos de árbol las alas están casi en ángulo recto arriba del cuerpo, y los saltamontes apenas elevan las alas, para que vibren sin tocar el cuerpo.



Figura 2.8 *Acheta domesticus*, hembra adulta, longitud 15 mm, con ovipositor (órgano por donde deposita sus huevos, uno a uno).

Los grillos nacen 12 semanas después.

<http://crawford.tardigrade.net/bugs/BugofMonth31.html> 10/09/09

poéticos, como campana dorada, hermano cantor, alondra del pasto, viento de verano, etc. En nuestras culturas el canto de los grillos, no es muy apreciado, y a veces incluso, se considera como molesto. Durante la producción de sonido del *canto*, los grillos de campo elevan sus alas a un ángulo moderado y hacia los lados, y las mueven rápidamente hacia atrás y hacia adelante. Las alas vibran al chocar los dientes de la lima contra el borde del

En el caso de los grillos e insectos similares como los saltamontes¹⁶ (y , en general, los Ortópteros), sus tallas son mayores, y sus territorios abarcan varios metros a la redonda de un determinado individuo. En este caso, las ondas que llegan a los otros individuos serán ondas planas, en donde la velocidad y la presión son casi iguales, por lo que las antenas ya no son tan útiles, pues los movimientos de las partículas de aire son extremadamente pequeños.

En este caso, los sensores que

¹⁶ Las langostas son saltamontes que se han unido a un enjambre (según parece a través de la liberación de serotonina) y tienen un comportamiento parecido a las abejas en colmena. Los saltamontes son de cuerpo y patas trasera muchomás grandes que los grillos.

perciben las altas frecuencias que emiten los grillos en sus cantos, son sensores de presión, u *oídos*, como se dijo anteriormente; formados por membranas muy ligeras tendidas sobre un volumen cerrado, generalmente un pequeño tubo o cavidad, y protegidas en algún lugar del cuerpo del insecto, funcionan de hecho como un micrófono de audio. Sin embargo, los sistemas detectores son más complicados en la realidad, pues algunos grillos tienen dos sensores acoplados por bolsas de aire, sensibles tanto a la velocidad a bajas frecuencias, como a la presión a altas frecuencias.

Es interesante el caso de cantos puros e intensos como los del grillo, [Figura 2.8](#), porque un sonido para tener un alcance máximo debe emitirse con una gran potencia o gasto de energía, y para que se distinga del ruido de fondo debe tener tonos casi puros¹⁷ (o en términos acústicos, una banda de frecuencias estrecha). Para que diferentes sonidos, en una gama amplia de frecuencias, sean emitidos con la máxima eficacia, debe existir una amplia superficie efectiva de vibración y una buena asociación entre la superficie emisora y el aire que la rodea, lo que hace que la resonancia del radiador deba ser relativamente amortiguada, por lo que pierde energía más rápidamente. Pero sucede que para que el sonido sea puro se necesita una resonancia que, al contrario, sea poco amortiguada. No es muy fácil encontrar un sistema que

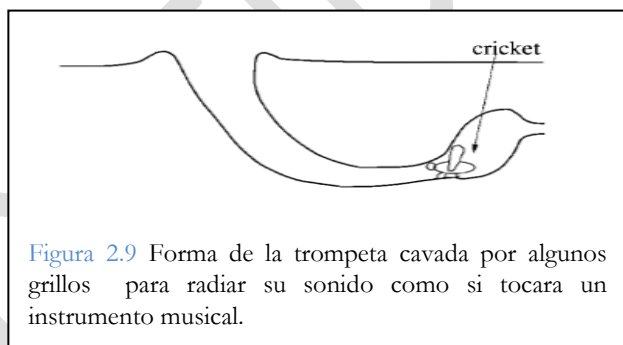


Figura 2.9 Forma de la trompeta cavada por algunos grillos para radiar su sonido como si tocara un instrumento musical.

cumpla ambas condiciones; en los ortópteros estas condiciones sí se cumplen y, en particular, casi todas las especies conocidas de grillos emiten tonos puros.

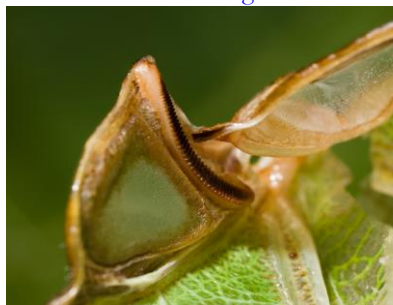
¹⁷Recordemos que un tono puro es un sonido que es producido por una vibración senoidal. Es el caso del sonido de un diapasón para afinar instrumentos, cuando se toca gentilmente, si se toca muy fuerte, se generan otros tonos llamados parciales además del fundamental.

Los grillos, entre otros insectos, han desarrollado trucos para solventar la inherente falta de eficacia de su fuente sonora. Los grillos de campo son los más comunes y usualmente hacen madrigueras en la tierra. Cavan un nido en forma de trompeta, [Figura. 2.9](#), con una cavidad al final, y cuando cantan se posicionan justo entre la boca de la trompeta y la cavidad interior, de tal manera que es resonante con la frecuencia de su llamado o canto (Daws *et al.*, 1996). El grillo macho sale y en la entrada de la madriguera canta un *llamado*, estando listo para desaparecer si llega un depredador. Las hembras motivadas por el *llamado* se acercan, y cuando el macho ha encontrado pareja cambia el *canto* a uno de cortejo, y los preliminares al apareamiento pueden ocurrir.

El *canto de cortejo* tiene un tono casi puro (con un ligero sonido raspado) pero intermitente, y una posible explicación del porqué de esta pureza¹⁸, radica en que al estar el grillo al ras del suelo, el sonido emitido no tendrá reflexiones

Figura 2.10 Aparato estridulante, típico, de un grillo. La lima serrada (aparato estridulador) en el centro y el borde del ala a la derecha.

<http://songsofinsects.com/biology-of-insect-song>



y, por lo tanto, no producirá interferencias o puntos nulos de sonido. El sonido del *canto* no lo podrían producir muscularmente, pues las vibraciones de 4 ó 5 kHz son extremadamente altas para hacerlo bajo ese mecanismo. Se sabe que se lleva a cabo aproximadamente, de la siguiente manera: Inicialmente se generan pulsos por un mecanismo conocido como *estridulación*: los grillos frota sus pequeñas alas detrás de la cabeza. Durante los movimientos que llevan a cerrar las alas, un raspador o *plectro* que está en una de

¹⁸Un tono "puro" es un tono cuya gráfica de amplitud (de presión) vs. tiempo es una senoide, es decir, la gráfica de una función trigonométrica llamada seno (cateto opuesto entre hipotenusa en un triángulo rectángulo, para los que recuerden sus cursos de matemáticas de secundaria).

las alas (generalmente la izquierda) frota la otra ala, donde se encuentra una serie de *dientes cuticulares*, [Figura. 2.10](#).

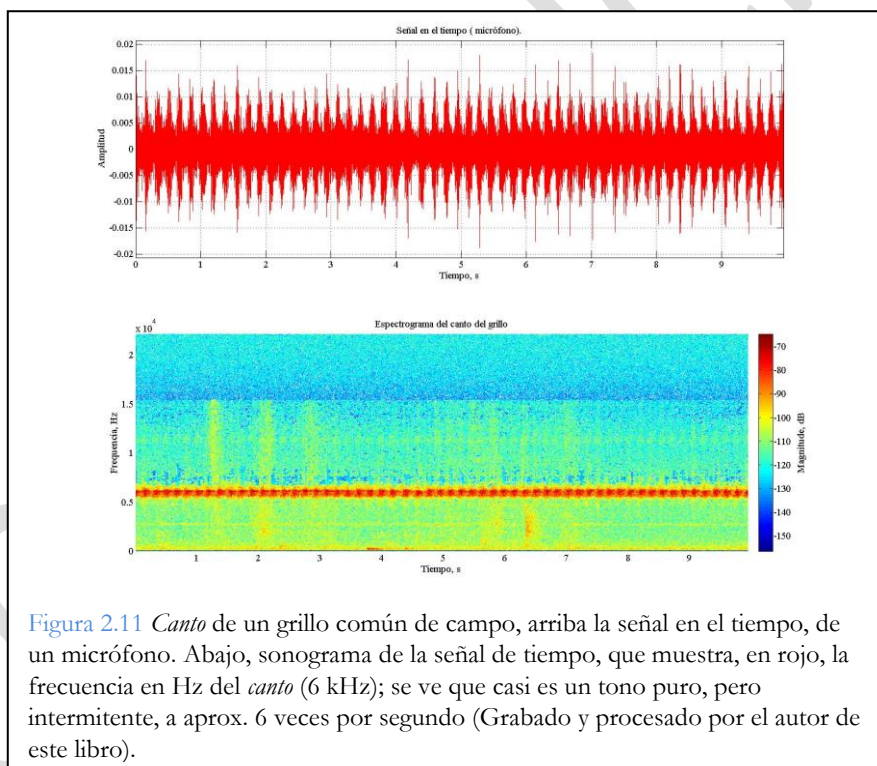
Durante la estridulación, el plectro se mueve a través de los dientes –como al tocar el instrumento musical llamado güiro– y las vibraciones que se producen son amplificadas por las celdas y venas que rodean a los dientes en el ala, resonando a la frecuencia de los impactos de los dientes. El avance del plectro sobre los dientes es controlado por un mecanismo de escape como en los relojes, de tal manera que el paso de cada diente da un golpe que genera o emite un ciclo de onda (*monociclo*) a una frecuencia *cercana* a la frecuencia del radiador, que es reforzada por el golpe del siguiente diente antes de que decaiga ese ciclo, lo cual tiene el efecto de amplificar fuertemente la energía total emitida, a través de prácticamente eliminar el amortiguamiento (Montealegre-Z. *et al.*, 2009).

Es pues, una condición de resonancia, y después de que el plectro barre a todos los dientes se tiene un tren de ciclos de onda que constituyen una onda homogénea. Como el tren de ciclos inicia suavemente –y termina de igual manera, por la forma de los dientes en el plectro– el sonido es muy musical y sin ruido asociado. La [Figura 2.11](#) muestra el canto de un grillo común que emite un tono intermitente de 6 kHz, la parte superior corresponde a la señal de tiempo. La parte inferior corresponde al espectrograma, en éste la línea roja se ve entrecortada lo que corresponde a que el canto es intermitente y se produce aproximadamente seis veces por segundo. El arpa del ala de un grillo es un sistema resonante levemente amortiguado, el arpa casi flota sostenido en el centro del ala por tejidos muy suaves y su frecuencia de resonancia determina la frecuencia portadora del canto del grillo¹⁹ (Bennet-Clark, 2003).

Para que la resonancia sea máxima se necesita que la frecuencia de impacto de los dientes sea casi igual a la de la resonancia del arpa, esto lo hace el

¹⁹Es decir, la frecuencia de la vibración del ala es la que determina la frecuencia del canto. En comunicaciones se denomina frecuencia portadora a la frecuencia fundamental que lleva la información en forma de modulaciones, ya sea de amplitud o en frecuencia, de esa portadora.

organismo del grillo de manera automática, sin importar las condiciones ambientales que lo rodean. Las alas, después de ser impactadas por un diente, tienen impulsos contrarios y ambas alas deben oscilar en fase para que el sonido no se apague por interferencia, pues si vibran en fases opuestas se anula el sonido por interferencia destructiva. Un mecanismo mecánico recorre la frecuencia en el ala izquierda y compensa la fase para que ambas alas vibren en sincronía. El resultado es una vibración de las alas con un espectro de frecuencias en que la rapidez de impacto del rascador con los dientes (número de dientes tocados por el raspador por unidad de tiempo), corresponde a la componente de frecuencia más baja (fundamental) en una serie armónica de frecuencias.



A lo anterior, debe corresponder una eficiente emisión del sonido, que como se dijo, necesita de una superficie relativamente grande, que corresponde al arpa.

El *canto* de los insectos cantores puede ser usado para distinguir e identificar la especie del cantor. Incluso a “oído” se puede llegar a identificar el género y/o



Para oír una muestra de estos diversos sonidos se puede consultar: <http://songsofinsects.com/identification-basics>.

la especie. Existe una terminología en inglés para los diversos sonidos que emiten los cantores. Dentro de esta están los siguientes nombres: *Silaba*- una nota producida por el paso de un diente con el raspador del ala. *Trill* (*especie de trémolo*)- una serie continua de sílabas. De tono puro en los grillos, y rasposa en los saltamontes. En los saltamontes hay varios tipos: *Lisp*- una breve, suave, nota o notas, *Zit*- un sonido corto, *Tsip*- un sonido breve, como borroso, *Rattle*- Una serie larga de notas rasposas unidas. Y otras combinaciones de estos nombres (y sonidos).

Estas son algunas de las razones por las cuales los grillos pueden emitir sonidos intensos, aun cuando la cuestión es más complicada de lo que aquí se describe, pero puede considerarse una buena aproximación. Para su comunicación, los grillos usan la frecuencia, la intensidad y la estructura temporal del canto. Las estridulaciones no son siempre en forma de dientes, existiendo una variedad muy grande de formas: las hay hexagonales, en forma de venas salientes o aplanadas, etc., la complejidad de esto se revela en el trabajo de Robillard & Desulter-Grandcalas (2004).

LOS GRILLOS: TERMÓMETROS NATURALES



Figura 2.12 Grillo común en una rama de árbol, en Chichinautzin, Morelos. Foto del autor de este libro.

En general, el ritmo del canto (número de veces que emite un canto por minuto) aumenta con la temperatura, dentro de un intervalo de entre 8 y 30 grados centígrados, según revelan estudios en algunas especies de grillos. Una explicación de por qué cambia el

ritmo con la temperatura, establece que es consecuencia de que el batimiento de las alas posteriores que producen el canto, es producto de la tensión y distensión de los músculos que controlan las alas. Estas contracciones están regidas por procesos metabólicos, que en última instancia son reacciones químicas. El ritmo cambia con la temperatura porque la velocidad de las reacciones químicas que lo controlan cambia con la temperatura; una ley debida al científico sueco Svante Arrhenius²⁰, describe la rapidez de las reacciones químicas. Utilizando datos experimentales (Block, 1966), encontró una relación entre la temperatura y el número de cantos en un segundo. Esta relación se establece mediante una complicada fórmula, pero que puede simplificarse y aproximarse a una ecuación lineal simple²¹. El ritmo de canto, es decir, el número de veces por segundo que emite un *triiit...triiit...triiit...triiit...*, depende de la temperatura y también de la especie de que se trate (Walker & Collins, 2010). La fórmula para el grillo común o grillo de campo, *Gryllus similis*, de color casi negro, es:

Temperatura (Celsius) = [(No. de cantos en 14 segundos)*5 + 40]/9;

Para el grillo de árbol (generalmente de color verde, parecido al de la [Figura 2.12](#)), *Oecanthus fultoni*:

Temperatura = [(No. de cantos en 13 segundos)*5 + 40]/ 9.

LAS CIGARRAS

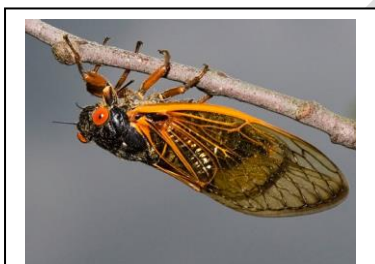
Las cigarras o chicharras, de la familia Cicadidae, tienen especial interés por su famoso (por intenso) *canto*. Hay miles de especies de cigarras (en Malasia algunas miden hasta 15 cm de largo) y son unos de los pocos insectos que se enfrían a sí mismos al sudar. La mayoría de las cigarras tienen un ciclo de

²⁰Svante A. Arrhenius(1859-1927) estudió la conductividad eléctrica en electrolitos e introdujo el concepto de energía de activación en las reacciones químicas (la mayoría de las reacciones químicas requieren una energía de activación para iniciarse, es decir, un extra de calor para iniciarse). Se le otorgó el Premio Nobel de Química en 1903.

²¹Esta fórmula es más exacta para el grillo nevado de árbol, *Oecantus fultoni*.

vida de dos a ocho años y no están sincronizadas, es decir, la población emerge durante todo el año y se encuentran en cualquier época del año.

Pero existen siete especies de cigarras periódicas que se encuentran en Norteamérica, en particular, en Estados Unidos; tres de ellas con un ciclo de alrededor de 17 años, como la *Magicalcaca cassini*²² y cuatro de ellas con un ciclo de aproximadamente 13 años, [Figura 2.13](#). Constituyen un dramático espectáculo, pues en cuestión de horas surgen miles de millones de adultos voladores y una algarabía estridente. Sólo los machos emiten el *canto* para atraer a las hembras en la mayoría de estas especies (lo cual, se dice, motivó al famoso historiador y filósofo, y quizás misógino, griego Jenofonte, a decir algo como: "benditas sean las cigarras que tienen esposas mudas"). Cuando una hembra ha sido atraída al macho, éste se monta por una hora sobre ella y muere poco tiempo después. Varios días después, la hembra deposita sus



[Figura 2.13](#) *Magicalcaca cassini* de alrededor de 3 cm de largo.

<http://bugguide.net/node/view/210586/bgimage>

huevos (hasta cientos de ellos) en la parte baja de la corteza de las ramas de los árboles y muere también al poco tiempo. Dos meses más tarde las ninfas salen y caen a la tierra, donde rápidamente se introducen hacia las raíces del árbol, a profundidades desde 30 cm hasta 2.5 m bajo tierra; alrededor de entre 13 y 17 años después, salen de la tierra para iniciar otra vez el ciclo.

La anatomía funcional de las cigarras fue revelada recientemente por unos

²²En el año 2004 se identificaron en Estados Unidos algunas especies periódicas de cicádidos (entre ellas, *M. septendecim*, de 3 cm de largo, y *M. cassini*, con ciclos de vida de 17 años). Estas cigarras se distinguen por dos ojos rojos extremadamente brillantes. Tardan de 1-1.5 h en su metamorfosis, y otras cuatro horas en ponerse negras y endurecer su nuevo exoesqueleto. Después permanecen de 4 a 7 días para madurar en lo alto de los árboles. Sus cantos son variados, con tonos casi puros e intensos, hasta clics seguidos de zumbidos o gorjeos. Todas las cigarras protestan cuando se les perturba al tocarlas o moverlas.

investigadores en Estados Unidos, usando tomografía computarizada de alta resolución, microscopía electrónica y vibrometría láser. Ellos establecieron que las cigarras generan su canto por medio de un instrumento sumamente eficaz (un par de músculos tímbricos ultrarápidos, oscilantes, colocados en su cavidad anterior abdominal), que jala y deforma membranas reticuladas muy rígidas colocadas en la parte anterior del abdomen, debajo de las alas. Cada membrana (llamada *membrana tímbrica cuticular o timbal*) es abombada y está constituida de un material rígido (quitina²³).

En la [Figura 2.14](#) se muestran en imágenes de tomografía, la forma de los timbales, los músculos que los accionan o tímbricos, y las señales acústicas de los *clics* de las cigarras. El par de músculos súper rápidos salen de un punto común (la V quitinosa), detrás de las membranas; cada músculo va a una de las membranas y juntos forman una V. Cada músculo se adhiere a la membrana correspondiente por medio de una placa quitinosa (*apodema*) que se angosta hacia el músculo (Nahirney *et al.*, 2006).



Código QR de la página de J. Seuer, donde se pueden oír cantos de cigarras.

<http://sueur.jero.me.perso.neuf.fr/buzzes.html>

Los timbales presentan unas ondulaciones como lámina de techumbres, [Figura 2.14A](#), lo cual los hace rígidos pero, asimismo, capaces de flexionarse súbitamente, como el fondo abombado (convexo) de algunas botellas o latas, produciéndose el sonido característico del *clic*. Cuando el músculo de cada timbal se contrae y jala, comba el timbal hacia adentro, emitiéndose un *clic sonoro* al doblarse. Esto se puede simular con un envase de plástico de algún refresco embotellado —comprimiendo con un

dedo su pared— o con una pelota de tenis de mesa (ping-pong), que si se comprime en un punto con el dedo pulgar, se comba en la dirección de la fuerza aplicada y después regresa a su estado normal, súbitamente, generando el *clic sonoro*. En el caso de la cigarra, la membrana vuelve a su estado normal

²³Polisacárido, constituye el segundo polímero más abundante después de la celulosa, forma parte del exoesqueleto de crustáceos, moluscos, insectos y otros seres vivos, defendiéndolos del contacto con el medio externo.

al aflojarse cada músculo, debido a la rigidez de la membrana o timbal. Este sonido es amplificado por unas cavidades en el abdomen del macho que funciona como una caja de resonancia, en forma similar a lo que sucede en una guitarra o violín.

Estos músculos se contraen alternativamente como si fueran dos pistones de un motor en V, [Figura 2.14C](#). En la *M. cassini* la frecuencia es de ¡50 contracciones por segundo!, lo que hace que se lleven a cabo a muy alta velocidad. Estos *clicks* producen el sonido característico de estas cigarras, además debido a que están onduladas, cada vez que una ondulación se deforma, genera una serie de *subclicks* dentro del sonido principal. En la [Figura 2.14D](#) se muestra la acción de los músculos y la forma de onda del sonido resultante. La intensidad del sonido que producen las cigarras llega a alcanzar 100.7 dB, a un metro de distancia, para algunas cigarras como la africana (*Brevisana brevis*). Esta es la cigarra más potente de las más de 2 000 especies de cigarras conocidas.

Otro efecto muy conocido, que llama la atención en los insectos cantores, consiste en que cuando muchos machos están cerca o en una zona determinada, se sincronizan o alternan elementos periódicos de sus canciones. Cada grillo sincroniza su canto tratando de coincidir con el canto de referencia, adelantándose o atrasándose en el tiempo.

Este es un mecanismo espontáneo autoorganizado, que se estructura sin la intervención de agentes externos, de osciladores acoplados –las alas de los grillos– y se logra por la interacción acústica y audición de los grillos. Esto se observa aun cuando estén rodeados o mezclados con miembros –cantantes– de otras especies. Cuando un individuo empieza a cantar, inmediatamente unos segundos después también están cantando docenas o centenas de individuos, oyéndose al principio un caos de cantos al azar, pero en breves instantes cantan todos al mismo ritmo y tono. A este canto coral sincronizado se le llama *sincronía por fase amarrada*, refiriéndose al hecho de que la fase –el tiempo de inicio del canto de cada grillo– está en sincronía

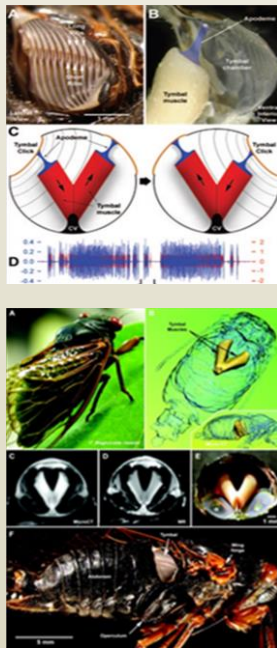


Figura 2.14 En la

parte superior: A) aspecto externo de la serie de tímpanos que forman la Tympana; B) y C) aspecto interno de los músculos tímpanos y como se contraen alternadamente; D) traza en azul, vibración del tímpano; en rojo, del sonido producido. Cada subpulso del doblamiento de cada ondulación produce un pulso de 7.1 KHz. En la parte inferior: fotos reales de los tímpanos en la cicada (Nahirney *et al.*, 2006).
<http://www.fasebi.org/content/20/12/20>

con la de los demás grillos²⁴.

La sincronización de sistemas físicos, en términos sencillos, es simplemente el ajuste y coincidencia de los ritmos de oscilación de dos o más osciladores que interactúan entre sí. La primera observación de este fenómeno se atribuye al matemático, astrónomo y físico holandés Christian Huygens (La Haya, 1629-1695), cuando trabajaba con relojes, y quien en 1673 publicó un estudio sobre el reloj de péndulo, dando las bases matemáticas de su funcionamiento. Observó que dos relojes de péndulo idénticos, colgados de una viga de madera tenían exactamente el

²⁴ Este fenómeno es similar a la sincronización de las luciérnagas, en Asia, cuando miles de luciérnagas emiten pulsos sincronizados, de tal manera que cientos de árboles se “prenden” al mismo tiempo por los millones de luciérnagas instaladas en ellos.



Figura 2.15. Relojes de péndulo colgados de una viga de aluminio, sincronizados en antifase. Tomado de: Oliveira, H. M., & Melo, L. V. (2015). Huygens synchronization of two clocks. *Scientific reports*, 5, 11548.

mismo ritmo del tic-tac, y que los péndulos siempre oscilaban en sentidos contrarios, Figura 2.15. Atribuyó este fenómeno al hecho de que estaban acoplados por la viga de madera. No importa cómo se mueva el péndulo —o se saque de fase—, en poco tiempo vuelven a estar sincronizados²⁵. En el caso de los grillos y las luciérnagas, por supuesto que se sabía desde hace cientos de años que se sincronizaban. La explicación de cómo ocurre esta sincronización se inició con Huygens y se desarrolló en el siglo XX; ahora se sabe que puede ocurrir en sistemas muy simples, pero también en sistemas complejos y caóticos.

También existen especies que aun cuando no entren en sincronía, reconocen el *canto* de otro miembro de la especie. Los niveles de sonido en dBA que alcanzan estos eventos de sincronía pueden ser muy altos; por ejemplo, el tenaz *canto* de la comunidad de cigarras es constante durante horas en ciertas épocas del año (es decir, casi una especie de ruido de fondo constante) en el campo, en lugares calientes, silvestres, lejos del hombre, y llega a alcanzar más de 80-85 dBA (como ocurre más fuertemente cerca de Mascota, Jalisco, México, entre los meses de abril y octubre), niveles medidos por el autor de este libro²⁶.

²⁵ La sincronización de Huygens, sigue siendo un problema de interés y en las últimas décadas se han publicado muchos artículos sobre el tema. La sincronía puede ocurrir en fase o en contra fase (0 o 180 grados) según las condiciones en que se tengan sostenidos los osciladores o péndulos (Pantaleone, , 2002).

²⁶En una página de Jerome Seuer, investigador en bioacústica y biodiversidad, se pueden oír los cantos o llamados de algunas cigarras europeas y mexicanas.

<http://seuer.jerome.perso.neuf.fr/buzzes.html>

En la [Tabla 1](#) se mencionan los insectos acústicamente más poderosos. Es decir, insectos capaces de producir los sonidos más intensos, entre 20 Hz y 20 kHz. El Nivel de Presión Sonora (NPS) en dB (decibeles referidos a veinte micropascales) –volumen o intensidad en términos comunes—²⁷, se cuantifica como el nivel producido en decibeles por un solo insecto, a una distancia de un metro.

²⁷El nivel de presión sonora se define como $20 \log_{10} (p/p_0)$, donde p es la presión acústica medida, y p_0 la presión acústica de referencia; $p_0 = 20$ micropascales (20 millonésimas de Pascal (1Nw/m^2)).

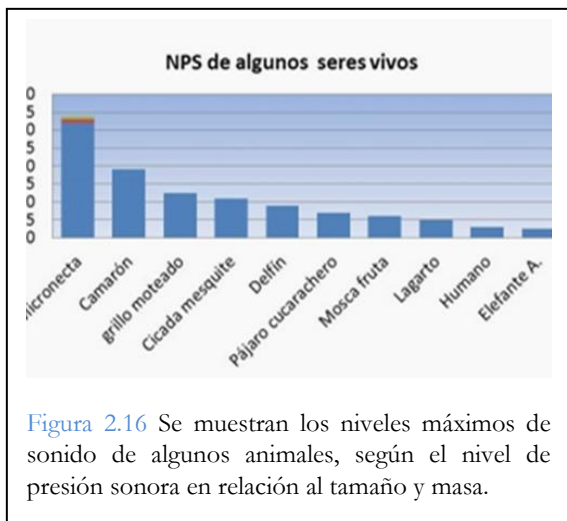
Especie	Canto	NPS (promedio) dB re 20 uPa
<i>Brevisana brevis</i>	llamado	100,7(10)
<i>Pyena semiclara</i>	llamado	100,2(11)
<i>Diceroprocta apache</i> (Davis)	llamado	100,2(8)
<i>Tibicen walkeri</i> (Metcalf)	alarma	99,9(8)
<i>Tibicen resh</i> (Haldman)	alarma	99,9(9)
<i>Cyclochila australasiae</i> ^{**}	llamado	99,7(8)

Tabla 1. Niveles de presión para los insectos más sonoros o ruidosos, ajustados para 1 m, a partir de 0.50 m, en la tabla original de John M. Petti, *Book of Insect Records*, University of Florida, 1997.

http://entnemdept.ufl.edu/walker/ufbir/files/pdf/UFBIR_Chapter24.pdf (17/03/14).

La cícada africana, *Brevisana brevis*, produce un llamado de 100.7 decibeles a un metro de distancia, lo que la ubica como probablemente el insecto más ruidoso o poderoso conocido, considerando únicamente la presión sonora a un metro de distancia. Sin embargo, cuando se considera el tamaño de su cuerpo y su masa, se necesita hacer otra corrección, esta vez con respecto a la masa²⁸.

²⁸Se sabe que la presión sonora producida por los insectos se relaciona con la masa más que con el tamaño. Se hace una corrección considerando la longitud del insecto al cubo –la masa es



El insecto más poderoso acústicamente es, considerando su tamaño, un pequeñísimo insecto acuático (de sólo dos milímetros de largo), llamado insecto o chinche barquera o remera, *Micronecta scholtzi*. A una distancia de un metro puede producir un nivel de presión sonora máximo de 100 dB re $2,10^{-5}$ Pa (Sueur *et al.*, 2011), pero

si se considera su tamaño y masa queda en primer lugar como el insecto más poderoso acústicamente. En la Figura 2.16 se muestran animales de otras especies, con el nivel de presión sonora producido, en función de su volumen y masa.

COMUNICACIÓN POR VIBRACIONES

No únicamente los animales grandes usan la señalización a bajas frecuencias; también algunos de los más pequeños la usan, por ejemplo, un grillo del África occidental (*phacophilacris spectrum*), sin estridulaciones en las alas, emite pulsos de baja frecuencia de entre 8-12 Hz con sus alas, pero en un patrón similar al de los cantos de los grillos normales o de sus ancestros.

proporcional al volumen del insecto –, de ahí el cubo de la longitud. El enlace con la presión sonora y el tamaño del insecto se estima –considerando que el nivel de presión sonora es una escala logarítmica–, como la relación entre el nivel en dB de la presión y el logaritmo del cubo de la longitud del insecto [$3 \log (\text{longitud del cuerpo})$], esta relación se expresaría en una gráfica de NPS vs. [$3 \log (\text{longitud del cuerpo})$].

Las reinas de las abejas, [Figura 2.17](#), se comunican a través de señales de vibración de baja frecuencia, generadas por el mecanismo de vuelo, pero sin



Figura 2.17 La abeja reina, única hembra fértil, es la madre de casi todas las abejas en una colmena. Estas nacen de huevos fecundados—obreras—, y huevos no fecundados —zánganos.

abrir las alas, posteriormente las vibraciones son amplificadas por el tórax. Suenan como pitidos de las cornetas de plástico para fiestas, con añoranzas de gaita, o como graznidos, generalmente para prevenir a otras abejas reina; se supone que son sonidos de defensa de territorio y su disposición a pelear por él, generalmente suenan con un tono de Sol#. Un caso especial es el de las avispas que usan un sondeo vibracional, o ecolocalización: golpean el sustrato con sus antenas y detectan los ecos con sus órganos subgenuales (Broad & Quickle, 2000) —órganos especializados localizados en las seis patas en la tibia—; muchas especies de termitas también producen señales de alarma vibratoria.

Hay animales muy grandes (ballenas, elefantes, etc.) que generan sonido de



Figura 2.18 *Nezara viridula* o chinche verde (Jumil). Para algunas personas es apesoso y de ahí viene "huele a chinche". Para otras, esta especie tiene un agradable olor a canela y eucalipto.<http://acoustics.org/pressroom/ht>

muy baja frecuencia, infrasonido, para comunicarse a grandes distancias —del orden de kilómetros—; y, animales muy pequeños (moscas, arañas, chinches, etc.) que emplean vibraciones de baja frecuencia —de algunos Hz hasta decenas de Hz—, para comunicarse a distancias muy pequeñas —del orden de centímetros—.

Se conoce que las arañas usan las vibraciones para comunicarse entre ellas, y como recurso para la detección de sus posibles presas.

En general, parece ser que los métodos preferidos de los insectos son la

percusión del sustrato –superficie sobre la que están parados– como, por ejemplo, una hoja o una rama pequeña, y la tremolación. La percusión es un tamborileo que llevan a cabo con diferentes partes del cuerpo; la tremolación se asocia con movimientos de oscilación, bamboleo y saltos o movimientos súbitos de alguna parte del cuerpo, estas oscilaciones son transmitidas al sustrato por medio de las patas y llegan hasta donde se ubica la presa. También se producen mediante los timbales –como en las cigarras– y por estridulación, en algunos grillos. Estas señales vibratorias viajan como ondas sonoras de baja frecuencia a través de las plantas.

La chinche verde, *Nezara viridula*, usualmente conocida en México como *Jumil*²⁹, [Figura 2.18](#), es miembro de la familia *Pentatomidae* (Panizzi, 1997). Habita en plantas (tomate rojo y especies de plantas similares), que transmiten sin amortiguar marcadamente las señales vibratorias características de esta especie –de alrededor de 100 Hz–. Es un bicho cosmopolita que vive en casi todos los continentes, es polífago y peste de algunos cultivos. Como parte del cortejo amoroso, las hembras y machos producen señales vibratorias que a veces intercambian en dueto (Bailey, 2003; Cokl *et al.*, 2000). Estas señales son de baja frecuencia (de entre 80 y 120 Hz) y son producidas por vibraciones del cuerpo, básicamente por movimiento del abdomen. Sus órganos sensoriales están localizados en las uniones intersegmentales, llamadas *sensilia campaniforme*.

Se sabe que los machos pueden localizar a la hembra con mucha precisión y parece ser que usan el tiempo de arribo diferencial entre las patas, o sea la diferencia de tiempo que ocurre entre la detección por una pata y la otra; las diferencias de tiempo de arribo entre las patas es de alrededor de 200 μ s (Virant-Doberlet & Cokl, 2004). Las plantas tienen sus frecuencias características en que vibran y transmiten mejor las vibraciones, coincidentemente, por ejemplo, las frecuencias de óptima transmisión en plantas como el tomate rojo, [Figura 2.19](#), son del orden de 100 Hz, que

²⁹El jumil es una chinche sagrada para algunos indígenas en México. Se conocen más de 52 especies diferentes, pero muy parecidas entre sí; todas son comestibles, pero las que más se consumen como comida son: *Edesa mexicana*, *Eusquistus taxcoensis*, etc. Habitan especialmente en la zona del eje neovolcánico (Morelos, Guerrero, Oaxaca, Cd.Mx., etc.).

coincide con las frecuencias del *canto* de Jumil. La figura muestra la transmisión de vibraciones a diferentes distancias a través de diferentes especies de plantas y, por asociación, la adaptación del Jumil a esta circunstancia.

La detección de las vibraciones con más sensibilidad en otros insectos, ocurre por medio órganos subgenuales –que quiere decir debajo de las rodillas– y parece ser que los órganos están entonados a un rango de frecuencias tal que pueden detectar desplazamientos de 1 nm (nanómetro o $10^{-9}\text{m} = 0,000000001\text{ m}$) o una mil millonésima de metro, entre 750-1500 Hz.

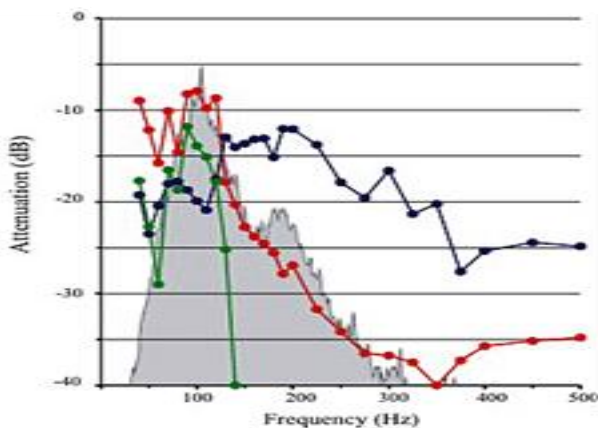


Figura 2.19.

La transmisión de vibraciones a través de varias plantas. Las plantas se hicieron vibrar con un tono puro sintetizado, y las vibraciones resultantes medidas con un vibrómetro láser a varias distancias del punto de excitación. La atenuación en dB en función de la frecuencia a una distancia de 50 cm o más. El espectro de vibraciones del canto de la *N. viridula* es la zona azulada; 0 dB corresponde al punto de excitación-donde no hay todavía amortiguamiento; plantas con transmisión de banda ancha-azul (hiedra, uva, pera, soya); plantas con transmisión con características de filtro pasa-bajas (rojo), (fríjol, tomate, papa, etc.). En verde, valores medidos en el frijol a más de tres metros. Tomado de: Broad, G. R., & Quicke, D. L. (2000). The adaptive significance of host location by vibrational sounding in parasitoid wasps. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, **267**(1460), 2403-2409.

REFERENCIAS

1. Bailey, W. J. (2003). Insect duets: underlying mechanisms and their evolution. *Physiological Entomology*, **28**(3), 157-174.
2. Bastian, J. & Esch, H. (1970). The nervous control of the indirect flight muscles of the honey bee. *Zeitschrift für vergleichende Physiologie*, **67**(3), 307-324.
3. Bennet-Clark, H. C. (1998), Size and scale effects as constraints in insect sound communication, *Phil. Trans. R. Soc Lond. B*, **353**, 407-419.
4. Bennet-Clark, H. C. (2003). Wing resonances in the Australian field cricket *Teleogryllus oceanicus*. *Journal of Experimental Biology*, **206**(9), 1479-1496.
5. Block, B. C. (1966). The relation of temperature to the chirp-rate of male snowy tree crickets, *Oecanthus fultoni* (Orthoptera: Gryllidae). *Annals of the Entomological Society of America*, **59**(1), 56-59.
6. Broad, G. R. & Quicke, D. L. (2000). The adaptive significance of host location by vibrational sounding in parasitoid wasps. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, **267**(1460), 2403-2409.
7. Cator, L. J., Arthur, B. J., Harrington, L. C. & Hoy, R. R. (2009). Harmonic convergence in the love songs of the dengue vector mosquito. *Science*, **323**(5917), 1077-1079.
8. Cokl, A., Virant-Doberlet, M., & Stritih, N. (2000). The structure and function of songs emitted by southern green stink bugs from Brazil, Florida, Italy and Slovenia. *Physiological Entomology*, **25**(2), 196-205.
9. Daws, A. G., Bennet-Clark, H.C. & Fletcher, N.H.,(1996) The mechanism of tuning of the mole cricket singing burrow. *Bioacoustics*, **77**, 81-117.
10. Fletcher, N. H. (1992). *Acoustic systems in biology* (p. 333). Oxford: Oxford University Press.

- 11.. Fletcher, N. H., & Index, A. (2005). Acoustic systems in biology: from insects to elephants. *Acoustics Australia*, **33**(3), 83.
12. Hoy, R. R. & Robert, D. (1996). Tympanal hearing in insects. *Annual Review of Entomology*, **41**(1), 433-450.
13. Moir, H. M., Jackson, J. C., & Windmill, J. F. (2013). Extremely high frequency sensitivity in a 'simple' ear. *Biology letters*, **9**(4), 20130241.. <http://dx.doi.org/10.1098/rsbl.2013.0241>
14. Montealegre-Z, F., Windmill, J. F., Morris, G. K., & Robert, D. (2009). Mechanical phase shifters for coherent acoustic radiation in the stridulating wings of crickets: the plectrum mechanism. *Journal of Experimental Biology*, **212**(2), 257-269.
15. Nahirney, P. C., Forbes, J. G., Morris, H. D., Chock, S. C., & Wang, K. (2006). What the buzz was all about: superfast song muscles rattle the tymbals of male periodical cicadas. *The FASEB Journal*, **20**(12), 2017-2026.
16. Panizzi, A. R. (1997). Wild hosts of pentatomids: ecological significance and role in their pest status on crops. *Annual Review of Entomology*, **42**(1), 99-122.
17. Pantaleone, J. (2002). Synchronization of metronomes. *American Journal of Physics*, **70**(10), 992-1000.
18. Robillard, T. & Desutter-Grandcolas, L. (2004). High frequency calling in Eneopterinae crickets (Orthoptera, Grylloidea, Eneopteridae): adaptive radiation revealed by phylogenetic analysis. *Biological Journal of the Linnean Society*, **83**(4), 577-584.
19. Sueur, J., Mackie, D. & Windmill, J. F. (2011). So small, So loud: extremely high sound pressure level from a pygmy aquatic insect (Corixidae, Micronectinae). *PloS ONE*, **6**(6), e21089. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0021089>
20. Virant-Doberlet, M. & Cokl, A. (2004). Vibrational communication in insects. *Neotropical Entomology*, **33**(2), 121-134.

21. Walker, T. J. & Collins, N. (2010). New world thermometer crickets: the *Oecanthus rileyi* species group and a new species from North America. *Journal of Orthoptera Research*, **19**(2), 371-376.

CONFIDENTIAL

CONFIDENCIAL

Capítulo III. Animalia Ultrasónica e Infrasonica



SERES SILENCIOSOS

Los seres humanos, a pesar de las sorprendentes habilidades de nuestros oídos, no somos los más altamente capacitados en audición dentro de la clase de los mamíferos; el límite de audición de frecuencias altas de cerca de 20 000 Hz (para humanos muy jóvenes, en general, entre 15 y 20 kHz) que poseemos, es la base de nuestras referencias y es el límite antropomórfico por el cual a los sonidos de más de 20 000 Hz los llamamos ultrasonidos. Sin embargo, la gran mayoría de los mamíferos vertebrados tienen la habilidad casi universal de oír sonidos de alta frecuencia y oyen bien arriba de este límite y algunos, como se verá más adelante, muy por arriba de este límite –un orden de magnitud arriba, hasta cerca de 200 000 Hz. Según parece, los gatos oyen sonidos ultrasónicos de hasta 50 000 Hz o más, y parece ser, precisamente porque los ratones –una de sus presas preferidas– emiten sonido en esa región de frecuencias. Los vertebrados no mamíferos están más restringidos en su capacidad de audición de altas frecuencias. Los pájaros, exceptuando algunos colibríes–un asunto controversial actualmente–, tienen un límite superior de alrededor de 12 000 Hz, y en los anfibios, los reptiles y los peces, es de 5 000 Hz (Dooling *et al.*, 2000)¹.

Se acepta entonces que los animales, incluidos los humanos, que tienen una audición de sonidos de frecuencias arriba de 10 kHz, son excepcionales. A pesar de la prevalencia de audición ultrasónica en los mamíferos, relativamente pocas especies presentan sensibilidad para las señales ultrasónicas, orientada a la comunicación intraespecífica o sea entre sus congéneres; se conocía hasta hace poco, que únicamente las utilizaban los microquirópteros (micromurciélagos) y los cetáceos como delfines y ballenas dentadas (*odontocetas*), así como algunos roedores como el ratón y las ratas, que emiten vocalizaciones puramente ultrasónicas de comunicación.

Sin embargo, en los últimos años se han descubierto varias especies de

¹Hasta hace poco esto era cierto, pero en el 2006 se descubrió una rana ultrasónica en la isla de Borneo.

animales (dos especies de ranas, una de colibrí y una de primate) que emiten y se comunican por señales ultrasónicas. Lo que probablemente muestra que faltan por descubrir otras especies que pueden generar o percibir sonidos ultrasónicos. Esta pequeña variedad de especies, se dice, refleja las limitaciones inherentes a la comunicación ultrasónica, como su corto alcance, aunque esta comunicación tiene en algunos contextos sus ventajas –una mejor relación señal a ruido -que evita la percepción de las vocalizaciones por depredadores y da lugar a mayor eficiencia energética.

En el 2006 se descubrió que unas ranas en la Isla de Borneo, que viven cerca de caídas de agua o arroyos en caída muy ruidosos, utilizan sonidos ultrasónicos para comunicarse entre sí; serían los primeros anfibios ultrasónicos conocidos (Feng *et al.*, 2006). En China, otras especies parece que también lo hacen. Asimismo, se encontró que existe una especie de colibrí – que sería el único pájaro conocido con esta capacidad– que emite sonidos ultrasónicos, pero no está comprobado que se comuniquen entre sí o respondan a llamados puramente ultrasónicos. Este es un campo de estudio actualmente muy activo y, con frecuencia, se publican resultados de estudios que nos dejan usualmente sorprendidos con respecto a las capacidades auditivas y de comunicación sonora de los animales.

TRABAJADORES DISCRIMINADOS VELADORES DEL ECOSISTEMA

Vuelan como pájaros, se esconden de día, tienen dientes, son lactantes cuando bebés, ven en la oscuridad total: son una de los órdenes de mamíferos más sorprendentes y extraordinarios. Tiene una variedad y diversidad que habita casi todo el planeta, con más de 1 000 especies. Varían en tamaño y peso, desde el mamífero más pequeño de 1.5 gramos de peso, hasta los llamados zorros voladores de 1 Kg de peso y envergaduras de más de 2 metros!

Trabajan reforestando, plantando semillas, controlando plagas –más efectiva y ecológicamente que cualquier sistema tecnológico–, polinizando (el plátano es polinizado por ellos) y ayudando –en el caso de México– al cultivo del agave, así como beneficiando y protegiendo los cultivos de maíz, al comer la polilla que los ataca (Zárate–Martínez *et al.*, 2012). “Hacen miles de veces más trabajo, más efectivo y más barato” expresan Medellín y

Equihua (2011), refiriéndose al monumental trabajo que realizan los murciélagos al sembrar campos de semillas, controlar plagas, etc., llevando a cabo un trabajo que no podrían hacer miles y miles de trabajadores; sin embargo, estos mismos autores expresan (p. 12) que “Los murciélagos sufren de una mala reputación injusta e inmerecida, resultado de siglos de asociarlos con el diablo o con los vampiros, acusándolos de ser animales sucios y sedientos de sangre”. Habitan prácticamente en todo el mundo –excepto en el Ártico y la Antártida y algunas islas de Oceanía–, aunque por su rareza y ser nocturnos, se les considera como poco familiares y poca gente los ha visto “en vivo”.

Los mur-ciég-alos (del latín. *mus*, *muris* ratón; *caecus*, ciego y *alatus*, alado), cuyo nombre se convirtió en murciélago, son los únicos mamíferos voladores del planeta. Han sido parte de la cultura, símbolos de fertilidad y de vida de muchos pueblos, lo cual implica decir materia de mitos, de tradiciones y de supersticiones. En México han sido considerados "símbolos de fertilidad y de vida, pero también de desolación y muerte" (Cruz, 2007). Entre los mayas el murciélago era considerado un dios y aparece en varias estelas, códices y vasijas; se le ha relacionado, en general, con el inframundo y la noche u oscuridad. En el Popol Vuh (libro maya sobre el origen del mundo, la civilización y los diversos fenómenos que ocurren en la naturaleza), el Dios Murciélago baja del cielo para decapitar a los primeros hombres mayas.

En la tradición nahua, el nacimiento del murciélago se debió al sacrificio de Quetzalcóatl, ya que los hombres, al igual que los murciélagos, nacen de la unión del cielo y de la tierra, a través de los dos líquidos sagrados de un dios: la sangre y el semen. El murciélago es, a su vez, el "dueño" de la menstruación, de la capacidad femenina de procrear, pues él la provocó (al morder la vulva de la diosa Xochiquetzal²) y luego la administra permitiendo

²“Xochiquétzal es una metáfora de la joven que da placer sexual a los jóvenes y que representa la tentación que hace caer a los hombres castos; es naturalmente hermosa, joven y alegre. Tlazoltéotl, en cambio, era la diosa de la pasión y de la lujuria, la barredora de la transgresión sexual, del adulterio...”. “Xochiquétzal era atendida por otras diosas y estaba acompañada y guardada por mucha gente, de tal manera que ningún hombre la podía ver. Los que la cuidaban eran enanos, jorobados, payasos y bufones, que la

que ella venga o se vaya (Muñoz, 2006).

Varias localidades de México tienen nombres relacionados con el murciélago, como Zinacatepec (cerro de los murciélagos) y Zinacantán (donde viven los tzotziles, "gente del murciélago"). Esto es probablemente resultado de que en México habitan alrededor de 140 especies, de las cerca de mil que se conocen (Cruz, 2007). El peso de los murciélagos varía de entre 1.5 y 2 g (*Craseonycteris thonglongyai*) hasta 1.5 Kg. Los también llamados *zorros voladores* —con más de 60 especies conocidas— llegan a tener envergaduras de hasta 2 m (*Pteropus vampyrus*, que habitan en Camboya, Malasia, Indonesia, etc.).

Los murciélagos pertenecen al orden de los *Quiróptera* (mano alada), con dos subórdenes *Megaquiroptera* —megamurciélagos—, y *Microquiroptera* —micromurciélagos—. Las diferencias entre unos y otros son que, en general, los micromurciélagos usan ecolocalización, algunos pocos tienen cola, orejas relativamente grandes y ojos chicos; por el contrario, los megamurciélagos no usan ecolocalización, excepto una especie, tienen orejas pequeñas y ojos grandes y ninguna especie tiene cola. Sin embargo, no todos los megaquirópteros son más grandes que los microquirópteros, por ejemplo, el *Macroglossus* tiene una envergadura de 25 cm, que está dentro del rango de muchos microquirópteros. Los megamurciélagos tienen un solo subgénero: *Pterodidae* (los zorros voladores), que poseen una cabeza parecida a la del perro o zorro, con ojos grandes y orejas simples, generalmente de color café y no tienen nariz de hoja.

Dentro de los megaquirópteros únicamente los llamados murciélagos de la fruta egipcios, [Figura 3.1](#), —que habitan en África, India y Pakistán— ecolocalizan; miden alrededor de 15 cm de largo, pero su envergadura es de 60 cm, es decir, tienen alas muy grandes, poseen cara parecida a la de los perros o zorros, por lo que también se les llama “zorros voladores”.

divertían con música y bailes, y que también desempeñaban el oficio de embajadores cuando mandaba mensajes a los dioses que ella cuidaba”. Silvia Trejo, *Arqueología Mexicana*, **XV** (87), Sept.-Oct. 2007.

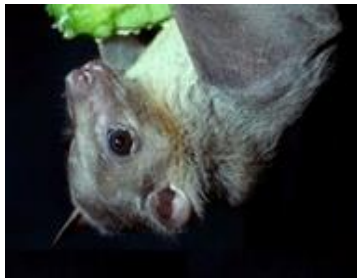


Figura 3.1 Murciélago de la fruta, *Roussetus aegyptiacus*, cuya cabeza ciertamente parece canina.

Los micromurciélagos son más pequeños, de entre 1.5 y 160 g de peso, sus orejas son grandes y complejas, y poseen un aditamento extraño en la nariz, una especie de hoja; constituyen un total de 17 familias. El más pequeño es el *Tylonycteris pachypus*, el murciélago del bambú, que pesa entre 1.5 y 6 g, tiene una envergadura de alrededor de ¡sólo 30 mm! y habita en las Filipinas. Todos poseen buena visión y algunos incluso cazan empleando sólo la vista (Altringham *et al.*, 1996). Tienen la variedad más grande de formas de



Figura 3.2 Las cabezas de los micromurciélagos muestran la mayor diversidad entre los mamíferos, debido a su variada dieta y métodos de captura de alimento. Hill & Smith, 1984; Cryan *et al.*, 2000. Imagen: http://www.dgdc.unam.mx/temp_murcielagos_main.html. 30/09/09.

cabeza, entre los mamíferos, Figura 3.2.

En México habitan siete familias de las 17 que se conocen, y las más abundantes pertenecen a la superfamilias *Phyllostomidae* (cabeza de lanza) y *Vespertilionidae*. Uno de los murciélagos más pequeños del mundo habita también en México, el *Miotys planiceps*, que llega a pesar 7 g. Una especie muy estudiada es el murciélago conocido como murciélago mexicano o brasileño, de cola libre (*Tadarida brasiliensis*), que puede volar a 3 300 o más metros de altura. Los países con más especies son México, Costa Rica, Brasil y Bolivia.

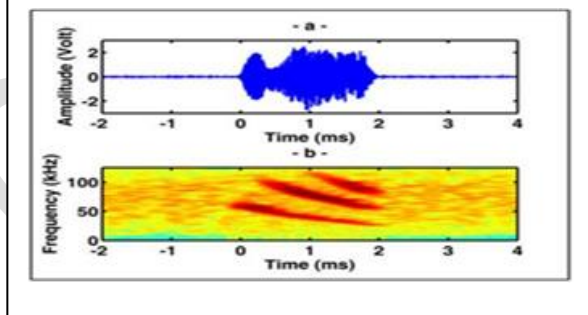
Por si fuera poco, los murciélagos del suborden de los *Microquiróptera* son extraordinarios en otro rubro, por ser los mamíferos (además de los delfines y las ballenas) que aparte de tener buena vista, pues no son ciegos, tienen el sistema-sonar o radar acústico- de ecolocalización más avanzado.

La ecolocalización entre los animales es extremadamente rara, existe entre los mamíferos sólo en las ballenas, los delfines y los murciélagos. Algunos otros animales como las musarañas tienen la capacidad de ecolocalizar, pero es muy rudimentaria, y algunos pájaros lo realizan con sonidos de más baja frecuencia que los que utilizan los mamíferos, es decir, con sonidos audibles. El más conocido es un pájaro llamado *Salangana linchi* (*Collocalia linchi*) o *vencejo*, parecido a la golondrina –aunque no tiene ninguna relación con ésta–, del sur de Asia –Indonesia y Malasia– que utiliza sonidos de entre 2 y 10 kHz para localizar sus nidos en la oscuridad de las cuevas y alguna especie como

Aerodramus papuensi, incluso afuera de las cuevas para alimentarse en la noche. Esta especie es relativamente conocida porque sus nidos son muy codiciados; los cazadores de nidos de las cuevas las extraen, para cocinar la llamada “sopa de nidos”.

El radar acústico de los murciélagos consiste en un emisor de ultrasonido, los receptores –sus oídos– y el procesador de señales que es su

Figura 3.3 a) La estructura temporal, con forma de onda, de un pulso de muy corta duración (2 milisegundos), ultrasónico, de un murciélago café (*Eptesicus fuscus*). b) El sonograma correspondiente muestra una frecuencia modulada descendente, así como tres armónicos. Los pulsos de eco localización son de muy corta duración (1-5 ms) y de entre 20 kHz y 100 kHz en frecuencia. <http://www.acoustics.org/press/154th/aytekin.htm>

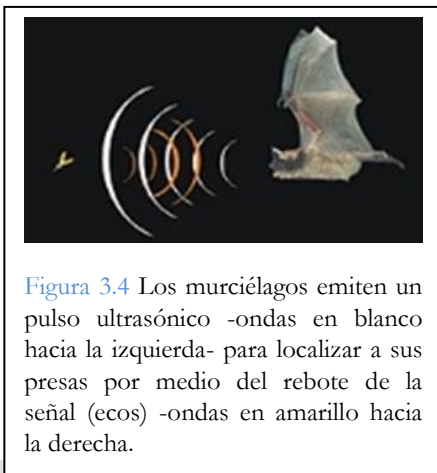


cerebro.

El emisor es la garganta, con un aparato vocal similar al de todos los

mamíferos, pero especializado en ultrasonido. Su garganta emite pulsos de ultrasonido de corta duración, [Figura 3.3](#), emitidos por la boca –o nariz de hoja–, que al chocar con un obstáculo, o presa produce *ecos* reflejados de dichos objetos; navegan y detectan así a sus presas y luego las capturan³, [Figura 3.4](#). Esta doble capacidad: la de volar y la de ecolocalizar, son las características más sobresalientes de los murciélagos, capacidades que le permitieron a estos mamíferos voladores –los únicos mamíferos que lo hacen –utilizar estas capacidades de vuelo nocturno, y ecolocalización, para cazar, evitar a sus depredadores – aves rapaces– y a sus competidores, o al contrario, buscar parejas y defender su territorio.

La investigación sobre el sonar, en estos animales, se inició cuando los primeros naturalistas no podían comprender cómo era posible que los



murciélagos “vieran” en la oscuridad; entonces, el italiano Lazzaro Spallanzani, a finales del siglo XVIII, realizó experimentos para investigar la habilidad de los murciélagos para volar libremente y capturar insectos en la oscuridad, evitando obstáculos donde los búhos no podían hacerlo; entonces les tapó los ojos con vendas, los soltó en cuartos oscuros con muchos obstáculos y observó que no perdían esa habilidad. Poco después, al investigar la posibilidad de que se tratara de un sentido

³El término SONAR se estableció en la segunda guerra mundial como contraparte del famoso RADAR; es un acrónimo en inglés (SOund Navigation and Ranging). Originalmente se refería al principio de detectar objetos bajo el agua (submarinos y minas explosivas), utilizando pulsos de sonido y detectando los ecos producidos por esos objetos. En 1944 se originó el término ecolocalización (echolocation), aplicado a la orientación animal basada en la transmisión de pulsos ultrasónicos y la recepción de los ecos para localizarlos. Actualmente se usa *sonar*, *ecolocalización*, *sonar biológico* o *biosonar*, indistintamente para referirse a la detección, localización, discriminación, reconocimiento y navegación (orientación), que llevan a cabo los animales usando la energía acústica y los ecos.

diferente al de la vista, el suizo Jurine les tapó los oídos con cera de abeja y detectó que al no poder oír se desorientaban y estrellaban, en la oscuridad, con los obstáculos. Spallanzani corroboró estos experimentos y concluyó, finalmente, que en los murciélagos la audición jugaba un papel importante en su capacidad para evitar obstáculos al volar. Sus descubrimientos fueron ridiculizados, rechazados y olvidados por más de un siglo, al no poder explicar por qué los murciélagos eran totalmente silenciosos al volar (Au y Simmons, 2007).

Fue hasta 1938 que en el Harvard Medical School Laboratory, con el desarrollo de un micrófono piezoeléctrico de cristal que captaba las altas frecuencias, se llevaron a cabo experimentos con distintas especies de murciélagos para confirmar que los murciélagos utilizan la —actualmente denominada— *ecolocalización*; se detectaron y grabaron por primera vez las señales del sonar de los murciélagos (Pierce y Griffin, 1938), en particular, de la especie *Miotis lucifugus*, Figura 3.5, emitidas en pulsos de muy corta duración (1–2 ms). Ellos detectaron frecuencias que iban de 30 a 70 kHz, actualmente se sabe que se encuentran de 18 a más de 120 kHz. Los murciélagos pueden determinar, cuando vuelan, las posiciones relativas de los objetos en términos de distancia y dirección; la distancia la determinan por el tiempo de retardo



Figura 3.5 .Micromurciélago *Miotis lucifugus*, pequeño murciélago café. Muy común, habita en Norteamérica desde México hasta Alaska.

entre la señal emitida y el arribo del eco o reflexión y para ubicar la dirección utilizan las señales que arriban a cada oído. Los murciélagos también hablan y cantan, utilizando los pulsos como sílabas y organizándolas para crear cantos de cortejo o comunicarse entre ellos.

La doble capacidad (vuelo nocturno y ecolocalizar) son las características más sobresalientes de los murciélagos. Capacidades que les permitieron a estos mamíferos —los únicos mamíferos que lo hacen— utilizarlas, para cazar, evitar a sus

predadores— aves rapaces— y a sus competidores, o al contrario, buscar parejas y defender su territorio.

En muchas ocasiones, los murciélagos se “hablan” y comunican en frecuencias audibles para los humanos, con chillidos similares a los de los ratones, muy agudos, y los emiten con duraciones cortas o largas, fuertes o débiles, o con entonaciones diferentes. Y se dice que algunas de estas “palabras” tienen frecuencias más altas y sólo oímos las de bajas frecuencias. Las madres se comunican con sus crías mediante sonidos audibles para nosotros y también con ultrasonidos; así mismo, al aparearse se comunican con sonidos diversos desde clics, zumbidos, y pulsos ultrasónicos y audibles. Algunas especies vibran con temblores más o menos prolongados cuando están en sus guaridas, pero no está claro para qué o por qué.

Los mecanismos de control y producción de los *llamados* o *cantos* son similares a los de los demás mamíferos, incluyendo al hombre. De las aproximadamente 1 200 especies de murciélagos, la mayoría los emiten por la boca, pero cerca de 300 especies que lo hacen por la nariz, tienen oídos más pequeños y menos sofisticados pero, por el contrario, su nariz es de forma extremadamente compleja. Cuando detectan la presa se abalanzan en vuelo directo hacia ella, emitiendo pulsos cada vez más cortos y más frecuentes, hasta que la atrapa y consume su merienda.

La mayoría de las especies de murciélagos usan pulsos de ultrasonido cortos. Los procesos y variaciones que ocurren en estos pulsos de eco localización son complejos, pues varían en forma y propiedades dependiendo de la especie, y se correlacionan con las diversas maneras y estrategias de caza, así como con los diferentes mecanismos de generación y procesamiento de la información recibida (Hill & Smith, 1984). La mayoría de las familias usan sonidos de frecuencia modulada (FM) que disminuyen en frecuencia a través de una octava. La composición espectral de frecuencias —dependiente de qué frecuencias y armónicos están presentes—, y la estructura temporal, [Figura 3.6](#) —cuantos clics por segundo o la variación de frecuencia en los de FM— están determinadas esencialmente a nivel de su laringe. Pero existe cierta filtración según el camino de salida al exterior.

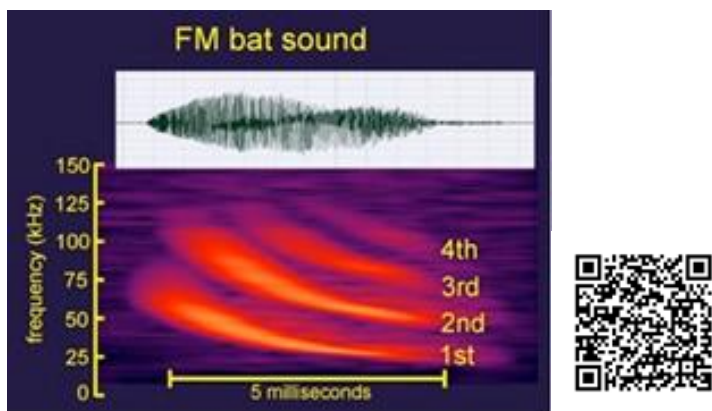


Figura 3.6 Señal de tiempo en el cuadro blanco. Abajo: en rojo, el espectrograma que muestra una señal de ecolocalización de alrededor de 7 milisegundos de duración, del gran murciélago café. La señal es de frecuencia modulada (FM), en forma de barrido—el barrido en frecuencia hacia abajo se nota por la forma curva de los armónicos en rojo, más baja frecuencia hacia el final de cada curva—; cada instante de sonido contiene frecuencias ultrasónicas desde 20 hasta 110 kHz, en varios armónicos—hasta 4 en este caso—. Imagen tomada de: http://www.scholarpedia.org/article/User:Robert_Galambos/Proposed/Echolocation_in_bats

Hay murciélagos que emiten el sonido por la nariz y otros por la boca; la nariz de los que emiten por este órgano, tiene colgajos, surcos y arrugas, así como canales alrededor de las fosas nasales (llamadas hojas o herradura), lo que hace, a nuestros ojos, extremadamente feos a los murciélagos. Los que lo emiten por la boca poseen más control sobre la modulación que los que lo emiten por la nariz (Thomas *et al.*, 2004).

La actividad muscular para llevar a cabo estos cambios en el número de clics (hasta 200 por segundo), y las modulaciones en frecuencia o barridos en frecuencia de hasta una octava, las tienen que realizar en tiempos ultracortos—fracciones de milisegundo o microsegundos hasta milisegundos—. Los sonidos de los rebotes de objetos del medio o de una presa, que llegan finalmente al oído medio del murciélago son transformados por la forma de la cabeza y las orejas.

Las orejas —que actúan como antenas acústicas— amplifican o debilitan las señales, dependiendo de su dirección de arribo, y crean información acústica que el murciélago utiliza para determinar la posición y dirección de la presa o del objeto de donde vienen los rebotes o ecos. Los mecanismos que utilizan son los mismos que los que empleamos los humanos: la diferencia interaural temporal y la diferencia interaural de intensidad (TTD y IID). Por ejemplo, sonidos que vengan de la derecha serán percibidos por su oído derecho antes y con más intensidad, que por el oído izquierdo. Conforme la presa se mueve hacia el frente del murciélago, esta diferencia en tiempo de arribo e intensidad decrece y empieza a aumentar en el oído izquierdo, conforme se mueve hacia la izquierda. Las señales del rebote se reciben pues, con diferente intensidad y diferentes tiempos de arribo a cada oreja; a partir de la diferencia entre la intensidad percibida por cada oreja, y la diferencia de tiempo entre la detección de estas intensidades, el murciélago determina la posición y dirección del obstáculo, ya sea su presa o un objeto del medio. Pueden localizar tanto en planos horizontales como verticales. Las señales que emiten varían según la especie y se pueden correlacionar con diferentes estrategias de caza y mecanismos de procesamiento de información (Grinnell, 1995)⁴.

<http://www.batcon.org>



La cantidad de información que procesa el murciélago es verdaderamente sorprendente, pues a partir de los ecos que percibe, deduce el tamaño, la velocidad relativa y la distancia a que se encuentra la presa, así como el azimut — estrictamente, el ángulo con respecto al Norte, pero, en este caso, el ángulo horizontal con respecto a la normal a la línea que une los ojos del murciélago—, la elevación (con respecto a sus ojos, hacia arriba o hacia abajo de ellos) y las características finas que le dan información de hasta que

bicho se trata. Lo más sorprendente es que lo hace con un error menor del 1%.

⁴Sucede que en algunas especies, el oído interno está especializado en detectar frecuencias alrededor de 61.5 kHz, que corresponde al segundo armónico del pulso emitido. El murciélago bigotón, por ejemplo, baja o sube la frecuencia del pulso emitido, de tal manera que la frecuencia del pulso de retorno (eco) tenga una frecuencia justamente en el intervalo de 61.0 - 61.5 kHz. A este mecanismo se le conoce como Compensación de Corrimiento Doppler.

Las intensidades de los pulsos de ecolocalización varían, por supuesto, de especie a especie. Medidos a 10 cm de la nariz, enfrente del murciélago, los niveles de presión varían de 60 a 120 dB (Altringham *et al.*, 1996). El ambiente y el comportamiento de caza influyen en la intensidad de los pulsos utilizados. Los que cazan en el aire usan intensidades mucho mayores que los que buscan presas en superficies. Algunos ajustan la intensidad según la situación o contexto de caza; estas variaciones han causado algunos problemas en el estudio de los murciélagos, pues algunas señales pasan totalmente desapercibidas mediante la instrumentación utilizada.

La emisión de pulsos de alta intensidad debería ser costosa en términos de energía gastada, sin embargo, resulta que durante el vuelo en los murciélagos, el aleteo, la respiración y la ecolocalización están sincronizados en una relación de 1:1, es decir, hay un pulso por cada aleteo, por cada respiración. Este sistema respiratorio-locomotor les permite producir señales intensas sin costo o con un gasto de energía muy pequeño, por arriba del requerido para su vuelo (Rayner, 1991).

http://www.eparks.org/wildlife_protection/wildlife_facts/bats/bat_house.asp



Hasta hace aproximadamente diez años, los murciélagos eran la especie que más rápido decrecía en México, pero actualmente, gracias a los esfuerzos por detener su desaparición mediante diversos programas, entre los que destaca el Programa para la Conservación de los Murciélagos en México (PCMM), y la acción de organizaciones como Pronatura y alguna que otra compañía privada, se han recobrado algunas poblaciones importantes de murciélagos.

Existe la creencia incorrecta de que los murciélagos son sucios, portadores de enfermedades, que atacan a las personas y que se lanzan a la cabeza, que son rabiosos ⁵ y dañinos no sólo por la cuestión de la sangre que supuestamente chupan –sólo el vampiro lo hace y básicamente al ganado–, sino también por el olor que desprenden y se dice que por respirar sus

⁵El 99% de los casos de rabia son debidos a mordeduras de perros, que son el principal vector de la rabia.

lores se contaminan los pulmones con hongos, etc.⁶. Sólo existen tres especies de chupadores de sangre (dos de ellas de aves) y sólo una de ganado, esta especie es la que causa actualmente uno de los rechazos más fuertes al murciélago, pues se le atribuye chupar sangre a todas las especies. Resulta que los murciélagos nunca atacan sólo porque sí, al sujetarlos puede ser que muerdan, por lo que habría que cuidarse de no agarrarlos sin guantes; es importante mencionar que menos del 1% pueden ser portadores de la rabia. Son limpios y se la pasan limpiándose, espulgándose, como los gatos. Su guano, básicamente producto de los residuos de los insectos que consumen, es rico en N₂.

Cien murciélagos comen, en promedio, un kilo de insectos en una noche (es decir, uno de ellos se come 10 g de insectos por noche⁷), gracias a lo cual los campesinos y gente del campo logran considerables ahorros en plaguicidas de hasta, se dice, un 50%. Se sabe que alrededor del 70% de los murciélagos se alimenta de insectos, cerca del 20% de frutas, aproximadamente el 7% del néctar de los insectos y de polinizadores, y el 3% se alimenta de reptiles, roedores y anfibios.

Habría que enfatizar pues, que los murciélagos son, en general, benéficos para sociedad humana, existen esfuerzos para ayudar a su conservación, y tratar de erradicar la mala fama que se les atribuye. En Estados Unidos existen sitios que proveen gratuitamente planos para hacer casas para los murciélagos que se pueden construir en patios o azoteas; en el sitio de la Organización Internacional para la Conservación de los Murciélagos (<http://www.batcon.org/>) se puede encontrar información adicional.

⁶ Las enfermedades que si pueden diseminar los murciélagos, son pocas y raras, básicamente Histoplasmosis (el hongo *Histoplasma capsulatum* se disemina en los pulmones) que puede ser grave y es transmitida por el guano de los murciélagos (y también por las defecaciones de palomas y cerdos). Otra sería la rabia por mordeduras de un murciélago infectado, pero ocurre en grado menor que por los perros, y alguna otra infección; en general no se recomienda agarrarlos sin guantes o protección adecuada.

⁷ Si un mosquito pesa ~ 5 mg, se comería cerca de 2 000 moscos.

RANAS ULTRASÓNICAS

Una prueba de que aún, pese a todas las especies que han desaparecido, no acabamos de conocer la naturaleza y sus criaturas, es el caso de las ranas ultrasónicas. Recientemente se descubrió, primero en China (2005) y poco



Figura 3.7 Rana ultrasónica, *Huia cavitympanum*. En 2008 se descubrió en la Isla de Borneo, endémica de esa isla, la segunda rana que emite sonidos puramente ultrasónicos, además de los audibles.
<http://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0005413>.

después en la Isla de Borneo (2008), que unas ranas –ya conocidas anteriormente– emitían sonidos ultrasónicos; por lo que serían el primer anfibio conocido que los emite. En China, utilizando equipo de grabación y de análisis de ultrasonido, unos investigadores descubrieron por primera vez, que un anfibio: la rana *Odorrana tormota*, antes llamada *Amolops tormotus*, rana de torrente de oídos cóncavos, emite y percibe ultrasonidos (Feng *et al.*, 2006; Arch *et al.*, 2008).

Estas pequeñas ranas viven en arroyos en las montañas, y parecería que desarrollaron la comunicación

ultrasónica para comunicarse por arriba del ruido de fondo del agua al correr por las rocas y piedras. En el 2005, al llevarse a cabo estudios reproduciendo sonidos ultrasónicos de grabaciones previas del llamado de las ranas, aparecieron varias ranas en su respuesta; aún más concluyentes fueron pruebas de laboratorio, mediante las cuales se demostró que el cerebro de las ranas es sensible a frecuencias de hasta 34 kHz (Feng *et al.*, 2006).

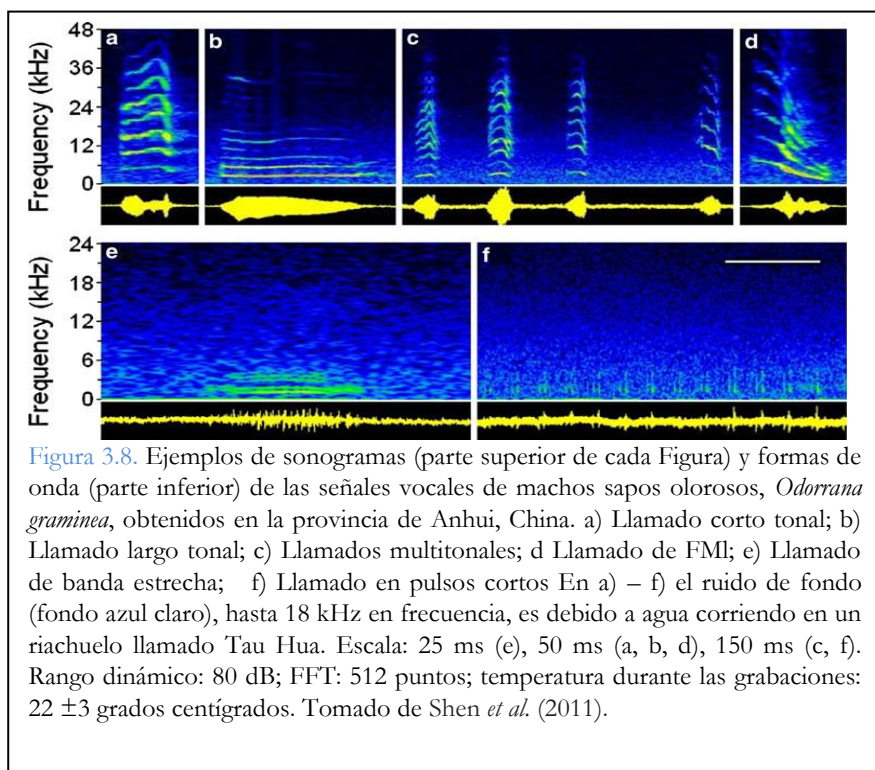
Algunos de los investigadores que participaron en el anterior estudio, tuvieron noticias de otra rana con características similares a la de China, existente en la Isla de Borneo, **Figura 3.7**. En el 2008 experimentaron en esa isla con las ranas, por primera vez se encontró una especie de rana que emite señales vocales exclusivamente ultrasónicas arriba de 20 kHz. Es decir, se puede comunicar con sus congéneres por medio de cantos puramente ultrasónicos, emitiendo sonidos que no contienen sonidos audibles, pero pudiéndolos emitir, si así lo requiere. Estos investigadores usaron grabaciones y

reproductores ultrasónicos utilizando *llamados*, grabados previamente, que contenían únicamente ultrasonido; encontraron que los machos respondían incrementando sus *llamados*. También hicieron estudios electrofisiológicos y encontraron que el sistema auditivo está entonado para percibir frecuencias ultrasónicas, con máxima sensibilidad en el rango ultrasónico.

Estas ranas, conocidas como *Huia cavitympanum*, viven exclusivamente en la Isla de Borneo y pueden oír frecuencias de hasta 38 kHz. La mayoría de las ranas, alrededor de 5 000 especies diferentes, tienen oídos planos a los lados de la cabeza, son oídos como los de los mamíferos; esta podría ser la explicación de por qué perciben los ultrasonidos. Arch *et al.* (2009) en un artículo presentan los resultados de sus experimentos y las conclusiones anteriores. La explicación que dan de por qué estas ranas desarrollaron este mecanismo de comunicación, consiste en que las ranas han corrido sus frecuencias de emisión y audición –evolutivamente–, para evitar la interferencia en su comunicación producida por los sonidos de baja frecuencia del agua corriendo y chocando contra las rocas. Las ranas también producen sonidos de más baja frecuencia, pero al utilizar ultrasonido se pueden comunicar a pesar del ruido del agua, como muestra la [Figura 3.8](#); este ruido tiene un espectro de frecuencias casi como si fuera ruido blanco⁸ hasta los 18 kHz. <http://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0005413>.

Un caso similar –una adaptación para superar el ruido antropogénico en los medios urbanos– es el caso de la rana australiana *Litoria ewingii*, la cual ha adoptado un *canto* o *llamado* más agudo. Normalmente su *canto* es de frecuencias más bajas, que se ven enmascaradas por el tráfico de automóviles (Parris *et al.*, 2009). Este mecanismo de adaptación es similar al que utilizan los cantantes de ópera, cuando utilizan la formante del *canto* o del cantante, una especie de resonancia del tracto vocal, generalmente a una frecuencia muy alta, de alrededor de 3 kHz.

⁸El ruido blanco es un ruido similar al que hace la televisión cuando no está sintonizando una estación. Contiene, en teoría, simultáneamente todas las frecuencias o tonos dentro de un intervalo igual al rango de la audición humana.



Cuando se canta con la formante del canto, la voz se oye muy claramente, a pesar del enmascaramiento por el sonido de la orquesta, “se oye por arriba de la orquesta”. Este es un caso de adaptación para sobrepasar el enmascaramiento producido por el sonido de la orquesta. Esto como se ve también lo aprovechan los animales, incluso se ha demostrado, como se presentó en el capítulo de los pájaros, que algunos pájaros urbanos utilizan esta adaptación al subir la frecuencia –el registro– de sus *cantos* para sobresalir del ruido urbano.

UN PRIMATE ULTRASÓNICO

Figura 3.9 *Tarsius*
syrichta, de
Mindanao.
<http://rsbl.royalsocietypublishing.org/content/suppl/2012/01/28/rsbl.2011.1149.DC1/rsbl2011.1149supp3.wave>



Se descubrió que el primate nocturno más pequeño, el *tarsier* (*Tarsius syrichta*), de alrededor de 13 cm de alto, que habita en Filipinas, es el único primate que puede enviar y recibir sonidos totalmente ultrasónicos, ya que otros emiten en audible con un poco en ultrasónico, Figura 3.9. Tiene una sensibilidad auditiva con un límite superior de 91 kHz, y puede comunicarse con vocalizaciones conocidas, hasta alrededor de 70 kHz (Ramsier *et al.*, 2012), estas frecuencias están entre las más altas de que se tiene noticia para animales terrestres, y es un ejemplo extremo de comunicación ultrasónica. Para los *tarsiers*, según estos autores, las vocalizaciones ultrasónicas pueden representar un canal de comunicación privada que evita ser oído por los depredadores, presas y competidores, así mismo aumenta la eficiencia energética y/o mejora la detección contra el ruido de fondo. En el sitio señalado en la Fig. 3.9, se puede oír una vocalización ultrasónica pura de este primate, reducida la frecuencia grabada 15 veces, es decir,

15 veces más lenta, para poder oírla.

¿PÁJAROS ULTRASÓNICOS?

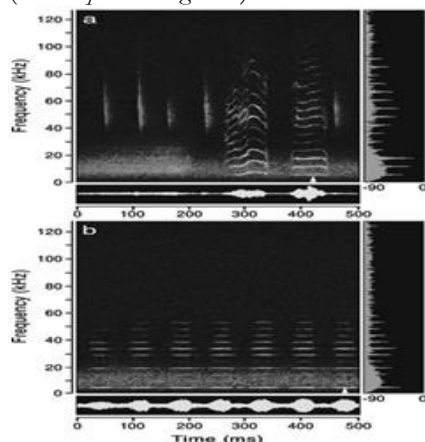


Figura

3.10 *Abroscopus albogularis*,
mosquitero carrirufu (familia
Sylviidae). Tomada de
www.commonswikimedia.org

El pájaro *Abroscopus albogularis*, Figura 3.10, mosquitero carrirufo, de la familia Sylviidae⁹, habita entre Nepal y el sur de China, así como en Indochina, en bosques verdes húmedos y de bambú, a altitudes de hasta 2 500 m. Su canto

Figura 3.11 Espectrogramas (panel superior izquierdo), formas de onda (panel delgado inferior) y amplitud promedio del espectro (panel superior derecho), de vocalizaciones de animales en el lugar de estudio. a) Grabación simultánea de un llamado corto de dos notas del sapo *A. tormotus*, y de los pulsos de ecolocalización de FM de un murciélago que pasó justo por el lugar, en el momento de la grabación, líneas casi verticales. b) Canto pulsado del carrirufo (*Abroscopus albogularis*). Son evidentes los armónicos hasta 54 kHz



(Narins *et al.*, 2004). Código QR, canto del *Abroscopus albogularis* <http://aribase.bsc-eoc.org/species.jsp?aribaseid=684016CBDE2EC973>

es una especie de *tuit..tuit*, muy agudo. Generalmente habita cerca de arroyos y riachuelos, cuyo caudal aumenta en época de lluvias, por lo cual el ruido del caudal de estos arroyos y pequeñas cascadas aumenta y, consecuentemente, también el nivel del ruido de fondo en las cercanías.

⁹Grupo de pequeños pájaros insectívoros *passerinos*. En México existen ocho especies de pájaros de esta familia, tales como el *Poliophtila caerulea*, perlitita azul-gris, que habita en casi todo el occidente de México.

Figura 3.12. El colibrí cuello azul (*Lampornis clemenciae*) muestra comportamientos en el canto que sugieren el uso de sonidos ultrasónicos. Su repertorio de cantos es extenso y complejo. Nativo de los bosques montañosos de México, en verano se le encuentra en Arizona, el sur de Nuevo México, el oeste de Texas y en Sonora, México.



Investigadores de Alemania, China y Estados Unidos hicieron grabaciones usando equipo ultrasónico, así como mediciones de niveles de ruido, espectros, etc., Figura 3.11, en las cercanías de los arroyos donde habita este pajarillo. El ruido en estos arroyos es de banda ancha, con máximos cerca de 100 Hz, y decae cerca de 20 dB a 2 kHz y hasta 60 dB a 28 kHz. En el sitio <http://avibase.bsc-eoc.org/species.jsp?avibaseid=684016CBDE2EC973> se puede oír una grabación real con el ruido de fondo del agua corriendo y el canto del *Abroscopus*. Los espectrogramas muestran claramente las componentes de alta frecuencia de su canto. La curva inferior muestra la señal de tiempo del canto *tuit...tuit...tuit*. Estos resultados provocaron controversia porque dentro de los vertebrados, únicamente algunos mamíferos emiten *llamados* con componentes ultrasónicas, y el canto de la rana y de este pájaro, constituyó la primera prueba de que los *anuranos* y *passerinos* son capaces de producir *llamados* con componentes tonales ultrasónicas. Aparentemente las altas frecuencias de este pajarito son producto de las adaptaciones al ruido, pues algunos de estos pájaros viven cerca de ríos, rápidos y

cascadas, al igual que las ranas ultrasónicas, sin embargo, hasta el año de 2004 no había pruebas de que este pájaro tuviese oído para estas frecuencias ultrasónicas (Narins *et al.*, 2004)

. Pero la pregunta continúa ¿por qué emiten estos pájaros estas componentes de alta frecuencia? Podría deberse, como se dijo, para sobrepasar el enmascaramiento, pero también puede ser que esas componentes estén dirigidas en realidad a depredadores capaces de oír ultrasonidos, o quizás, por lo que se llama un epifenómeno –un subproducto del mecanismo de

producción del sonido. Cuando estos investigadores hicieron el estudio, no quedó claro cuál era la respuesta. Sobre todo por la pregunta fundamental ¿Pueden los pájaros que generan estas altas frecuencias, oírlos? Hasta donde se sabe, algunos pájaros pueden oír hasta 12 kHz como máximo. Sin embargo, otros investigadores (Pytte *et al.*, 2004) al estudiar otra especie, el colibrí cuello azul –que también emite sonidos ultrasónicos hasta de 30 kHz–, [Figura 3.12](#), encontraron que sus oídos no responden –usando respuestas cerebrales auditivas, excitando desde 1 kHz hasta 50 kHz– y que su oído oye solamente hasta 7 kHz.

Concluyeron que debe considerarse que posiblemente otras especies podrían oír y producir sonidos ultrasónicos. Sin embargo, en el caso del colibrí cuello azul parece que no funciona como comunicación (intraespecífica) entre sus congéneres y habría que identificar una explicación adaptativa de este fenómeno. Así que es de esperar que en el futuro se resuelva la cuestión de si algunos pájaros que emiten ultrasonidos, también los oyen.

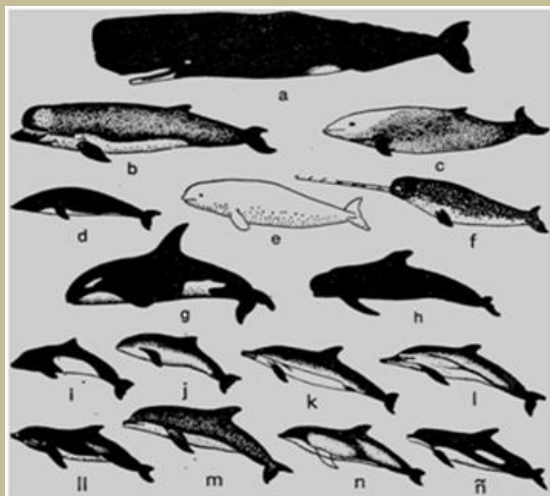


Figura 3.13A. Odontocetos: a) cachalote; b) hiperodonte; c) *Ziphius cavirostris*; d) *Ziphius lissodelphis*; e) beluga; f) narval; g) orca; h) globicéfalo; i) puerco de mar de aleta blanca; j) puerco de mar común; k) delfín rayado; l) delfín delfus; ll) delfín de aleta blanca; m) tursus; n) delfín delfus del Pacífico; ñ) marsopa. Figura tomada de Belkóvich y Yáblokov, 1965, citado en Morózov, 1987, p. 175.



Figura 3.13B. Tamaños relativos de la ballena más grande y la más pequeña: la ballena azul y el delfín de Hécotor, al lado del de un buzo.

[http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Image-Blue_Whale_and_Hector_Dolphine_Colored.jpg](http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Blue_Whale_and_Hector_Dolphine_Colored.jpg)

Las ballenas y los delfines

De los murciélagos—los mamíferos más pequeños—pasemos a algunos de los mamíferos más grandes, los delfines y las ballenas, del orden de los cetáceos. Existen cerca de 80 especies que habitan todos los mares y océanos del globo terráqueo, algunos incluso en agua dulce; la más grande es la ballena azul (*Balaenoptera musculus*, de más de 25 metros de largo) y las más pequeñas corresponden a las marsopas (*Phocoena phocoena*), de cerca de un metro de largo, a las cuales pertenecen las vaquitas del Mar de Cortés, en peligro de extinción.

La división de los cetáceos en los que tienen dientes —odontocetos—, Figura 3.13A y los que no los tienen—mysticetes—, Figura 3.14, coloca a los delfines

como ballenas odontocetas —al poseer hileras de dientes cónicos. Las odontocetas pueden tener entre 21 m (la ballena de esperma), 10 m (la orca) y 1 m de largo (la vaquita del Mar de Cortés), pero los delfines —de los cuales hay 35 especies— en general, tienen entre 1 y 3 m de largo. La [Figura 3.13B](#) muestra el tamaño relativo de la ballena azul y el delfín de Héctor comparado con un hombre o una mujer.

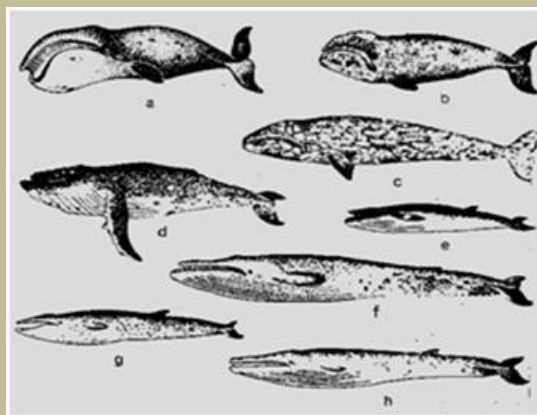


Figura 3.14 Mysticetes: a) ballena de Groenlandia; b) ballena austral; c) ballena gris; d) rorcual jorobado; e) balenóptero acutirroso; f) ballena azul; g) ballena boreal; h) fisálido. Figura tomada de Belkóvich y Yáblokov, 1965, citado en Morózov, 1987, p. 175.

Las ballenas se alimentan de kril, pequeños peces (arenque, aguacioso, capelín) y cefalópodos, que pueden capturar a más de 200 m de profundidad. Con sus barbas (de 260 a 480), suspendidas al maxilar y de menos de 1 m de longitud, filtran el alimento. En la parte ventral del cuerpo presentan de 50 a 100 largos surcos entre las aletas pectorales; estos surcos les permiten aumentar su capacidad bucal y torácica cuando se despliegan al entrar agua y alimentos, recuperando su aspecto inicial al expulsar el agua a través de las barbas, así como su forma hidrodinámica.

Los murciélagos y los delfines, además de ser mamíferos, comparten la utilización del ultrasonido –y el sonido audible también– en la ecolocalización y comunicación social. En la vida de los delfines –y ballenas en general– la acústica juega un papel muy importante, ya que las ondas sonoras se transmiten bajo el agua mejor que cualquier otro tipo de ondas –como las electromagnéticas y las térmicas–. Por ejemplo, la luz no se transmite



Figura 3.15 Delfín Mular o de nariz de botella (*Tursiump truncatus*). Especie que con mayor frecuencia se tiene en cautiverio en los delfinarios.
grajapalmera-planetalibre.blogspot.com

fácilmente en el agua, por lo que la visibilidad está limitada por la profundidad, así la visión alcanza unas decenas de metros en las mejores condiciones, pero puede ser de algunos centímetros en aguas turbias; incluso, a grandes profundidades hay poca luz durante el día y casi total invisibilidad en noches oscuras.

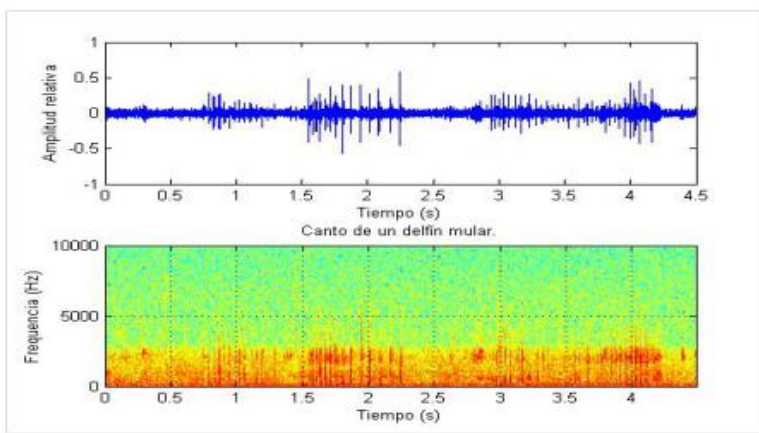
El hecho de que delfines y ballenas generen sonidos se conoce desde hace muchos años, pero su estudio científico se inició durante la segunda guerra mundial; en particular, porque se detectó que los sonidos emitidos por algunas criaturas del océano interferían con las operaciones de submarinos y el sonar. Después de esa época se ha continuado con el estudio de su audición y generación de sonidos.



Código QR de
sonidos de
ballenas.[http://
www.oceanmamm
alinst.com/songs.h
tml](http://www.oceanmammalinst.com/songs.html)

En 1953 (Griffin, 1958) se demostró que los delfines (delfín mular o cabeza de botella, *Tursiurn truncatum*), [Figura 3.15](#), emitían pulsos de sonido de frecuencias entre 80 y 120 kHz. Los delfines emiten sonidos audibles para nosotros de entre 6 y 15 kHz, [Figura 3.16](#), pero también los de alta frecuencia de más de 170 kHz, para ecolocalización, al igual que los murciélagos. Poco después se demostró que los delfines podían evitar obstáculos usando su sistema de sonido. La intensidad puede ser tan alta que incluso hay una hipótesis llamada del “estampido”, según la cual algunos odontocetas atontan y

momentáneamente debilitan a su presa con pulsos sonoros intensos; esta teoría fue propuesta por los rusos Bélkovich & Yablokov, en 1963 (Bélkovich



[Figura 3.16](#) Serie de clics y “esquics” (de “squeaks” -onomatopeya inglesa) audibles de un delfín mular (*Tursiops truncatus*). Las frecuencias se encuentran debajo de 5 000 Hz.

& Yablokov, 1965); Benoit–Bird *et al.*, 2006).

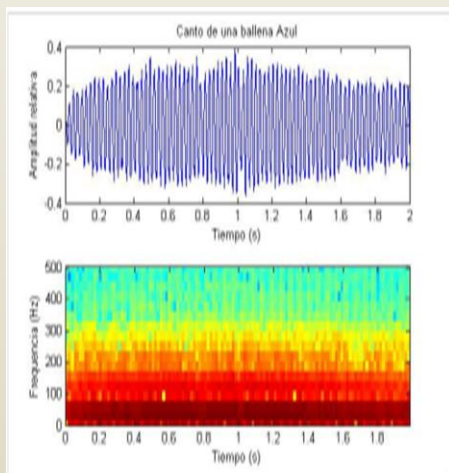


Figura 3.17 En la gráfica superior, señal del canto de una ballena azul -lo que se observaría en un osciloscopio-, gráfica inferior, el sonograma de esta señal de tiempo; se observa que las frecuencias son muy bajas, abajo de 200 Hz y muy fuerte alrededor de 30-40 Hz (rojo intenso), obtenido (por el autor) de un Archivo .wav en

<http://www.partnersinrhyme.com/soundfx/animals/whalesdolphinsseal.shtml>

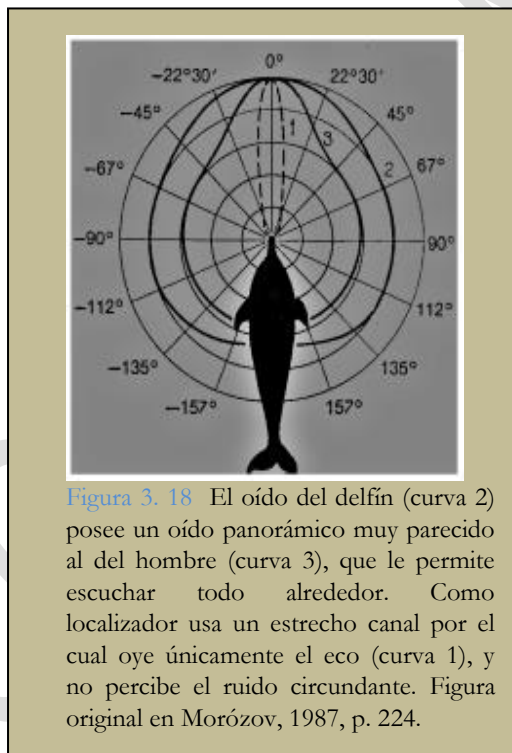
Otros investigadores (Au & Simmons, 2007) hicieron una revisión de anécdotas, de datos de la generación del sonido y del forrajeo. Pronto se estableció firmemente que los delfines mandaban señales de eco localización en el rango de 50–150 kHz, que eran muy direccionales hacia adelante y que podían detectar –el *Tursiops truncatus*– diferencias en el tamaño de unas esferas del orden del 10%, es decir, si una esfera tuviese 10 cm de diámetro, podrían detectar una esfera como diferente si midiese entre 9 y 11 cm.

Los sonidos de la ballena jorobada y de la de esperma, empezaron a ser estudiados y grabados en los años 1952–1954. Con el paso del tiempo, la comunidad científica observó que las ballenas y

delfines emiten una gran variedad de señales acústicas, utilizando un intervalo de frecuencias muy amplio, de unos cuantos Hertz (15– 40 Hz) las ballenas azules, **Figura 3.17** y, en general, las *mysticetes*; y hasta más de 150 kHz las *odontocetas*, es decir, los delfines (Au, 2012). Los más grandes tienden a usar frecuencias más bajas y los más pequeños, más altas frecuencias. Sus intensidades son muy altas, por ejemplo, el canto de la ballena azul, centrado

en alrededor de 15 Hz a 1m de distancia, tiene una intensidad de 188 dB re 1 μ Pa. La ballena azul es uno de los animales de mayor tamaño que han existido en la Tierra –las más grandes pesan hasta cerca de 200 toneladas–, se alimentan de crustáceos, viven alrededor de 80 años y maduran a los cinco años.

Cada una de las especies que componen el orden de los cetáceos tiene un repertorio acústico único, que depende del hábitat donde ha evolucionado a lo largo de millones de años. Se supondría que para detectar a sus presas, una especie costera necesitará extraer con precisión los detalles a corta distancia del relieve que le rodea. La ausencia de este mismo relieve requerirá para los llamados pelágicos (que viven en alta mar), obtener información a media o larga distancia, sobre la presencia de tal o cual banco de peces.



En experimentos llevados a cabo en Rusia en los 70's del siglo XX (Au, 2012), se descubrió que el delfín podía distinguir si varias esferas del mismo diámetro y pintadas del mismo color, eran de latón, de acero, de plomo, de goma, o de cristal etc., ¡incluso en plena oscuridad! Se podría decir que claramente "ve como con rayos X", porque el oído del delfín es de una agudeza extrema, [Figura 3.18](#).

Los delfines poseen dos tipos de audición, una pasiva y otra activa, que funcionan en paralelo y simultáneamente:

- a) La audición pasiva es omnidireccional —

panorámica— lo que impone una alta sensibilidad a bajas frecuencias, hasta alrededor de 10 000 Hz¹⁰, permite que los delfines tengan una audición adecuada de lo que sucede en su entorno, ya que las bajas frecuencias no se atenúan mucho y pueden recorrer largas distancias. La distancia a la que está un objeto sonoro la pueden inferir del espectro del sonido y de la experiencia en la audición panorámica.

b) Por el contrario, la audición activa impone una radiación de los pulsos que debe ser estrecha y muy direccional, lo que se logra con frecuencias altas; igualmente, las dimensiones de la cabeza imponen una frecuencia mínima del orden de 100 000 Hz¹¹. En última instancia, al igual que algunos pájaros, los delfines pueden producir sonidos simultáneos de frecuencias y amplitudes diferentes en el tiempo.

La ausencia de cuerdas vocales en los delfines se acompaña de otra particularidad, única también en mamíferos, consistente en no utilizar el conducto auditivo externo para la audición. Reciben las vibraciones auditivas a través de sus mandíbulas, las cuales dirigen la información directamente hacia el oído medio e interno, donde se procesa antes de llegar al cerebro.

Ya que la absorción del sonido depende de la frecuencia, sobre todo en el agua, los sonidos con las frecuencias que utilizan los delfines, determinan fuertemente la distancia a que otros de su especie los oirán. Las frecuencias bajas serán menos absorbidas que las altas frecuencias; por ejemplo, debajo de 5 000 Hz, el sonido es muy poco absorbido en su viaje hasta distancias de más de ¡100 km!, pero para frecuencias arriba de 10 kHz, la absorción es muy

¹⁰Las dimensiones de la cabeza del delfín, $d \approx 0.20$ m, imponen una $\lambda_{\min} = d$ para que suceda este tipo de audición, por lo que existe una frecuencia máxima de $f_{\max} \approx c/\lambda_{\min} \approx 10$ 000 Hz -considerando que la velocidad del sonido en el agua es de aproximadamente 1450 m/s.

¹¹Para generar un haz estrecho de radiación, la frecuencia debe cumplir con que $\lambda_{\min} = d/10$, ó $f_{\min} = 10 (c/d) \approx 100$ 000 Hz.

grande¹². Esto impone en cada especie limitaciones de distancia a la propagación de sus *llamados*; por ejemplo, para las ballenas –que emiten abajo de 1 kHz –las distancias son enormes, pero para los delfines que emiten sonidos ultrasónicos las distancias son muy cortas¹³ (Au & Simmons, 2007). Incluso se conoce que los delfines usan su biosonar para encontrar especies enterradas en la arena a profundidades de 20 a 40 cm.

Los murciélagos usan el sistema de sonar para distancias pequeñas, del orden de 3 a 4 metros, a diferencia de los delfines que pueden detectar objetos relativamente pequeños a distancias que varían de decenas de metros, como en el caso de las marsopas de bahía, *Phocoena phocoena*, a hasta más de cien de metros en el caso del delfín cuello de botella. Sus métodos de caza son diferentes porque sus fuentes de comida se comportan de diferente manera (insectos y peces). La velocidad del sonido en el agua es alrededor de cinco veces mayor que en el aire, por lo cual la velocidad de transferencia de la información durante la transmisión del sonido, es mucho más rápida en el caso del delfín. Las señales usadas por los murciélagos, como se mencionó anteriormente, tienen duraciones de 300 a 3 000 μ s, entre frecuencias de 12 kHz a 200 kHz.

Los delfines emiten señales de entre 40 y 70 μ s de duración, la mayoría en forma de *clics*, aunque también emiten señales continuas. Sus señales no cambian mucho ni en duración ni en forma, a diferencia de las de los murciélagos, que las varían durante el tiempo de caza en ambos aspectos, pues ajustan, por ejemplo, el ritmo de emisión para que los ecos lleguen antes de que se emita la siguiente señal. Las señales de alta intensidad en los delfines, casi siempre tienen frecuencias de 100 kHz o más, y las de baja intensidad se ubican entre 30 y 60 kHz. Los delfines mulares pueden viajar hasta a 30 km/h, salen a la superficie para respirar y se comunican por un complejo sistema de “*squics*”, y silbidos. Pesan alrededor de 500 kg y viven hasta 45 ó 50 años permaneciendo libres en su hábitat natural; delfines y marsopas que no

¹²A una frecuencia de 50 KHz, la pérdida por absorción en el aire es de 2dB/m comparado con 0.01 dB/m en agua salada, es decir, más de 200 veces menor.

¹³Se pueden escuchar diversos cantos o llamados de delfines y ballenas en: <http://www.oceanmammalinst.com/songs.html>

emiten señales continuas, emiten *clics* que duran hasta 100 μ s.

Los delfines no tienen cuerdas vocales y generan el sonido por medio de unos sacos de aire cercanos al orificio de soplado. El origen es básicamente nasal y la laringe o garganta del delfín no interviene. Esta es casi la única información que a ciencia cierta se conoce sobre la producción del sonido en las odontocetas.

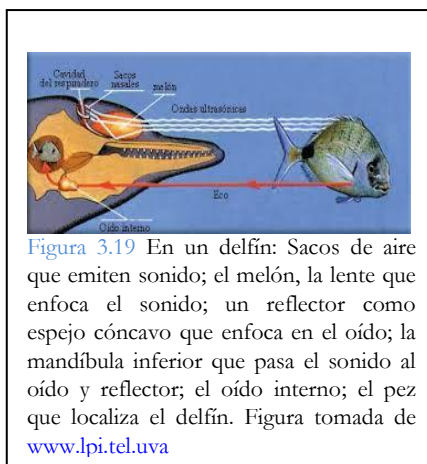


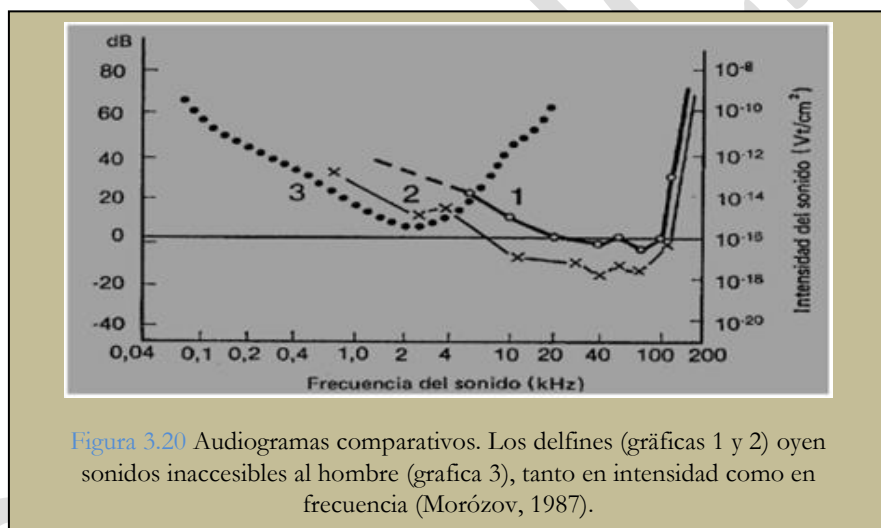
Figura 3.19 En un delfín: Sacos de aire que emiten sonido; el melón, la lente que enfoca el sonido; un reflector como espejo cóncavo que enfoca en el oído; la mandíbula inferior que pasa el sonido al oído y reflector; el oído interno; el pez que localiza el delfín. Figura tomada de www.lpi.tel.uva

A esta estructura en la cabeza de los delfines se le conoce como *labios fónicos*; el paso del aire provoca que vibren los labios y se generen vibraciones que pasan por un elaborado laberinto de canales y bolsas de aire, situados en la parte superior de la cabeza, hacia el llamado *melón* —una especie de lente adiposo— que moldea el sonido y lo dirige hacia el agua direccionalmente, casi como una linterna común que dirige un haz de luz, Figura 3.19; se puede decir que “alumbran” —o

zonifican— con sonido para “ver” con el oído. El sonido al chocar con los objetos genera reflexiones —ecos— que en función del objeto varía en forma y contenido.

El mecanismo no es claro y hay varias teorías con respecto a cómo funciona, todas muy diferentes entre sí (Au & Simmons, 2007). Las orcas producen una gran variedad de sonidos: clics, silbidos y pulsados, que varían en frecuencia de 1 a 25 kHz. Los clics son pulsos de sonido de muy corta duración, los pulsados son una serie de clics —llamada *tren de pulsos*— que emplean sobre todo para ecolocalización. Un silbido es un sonido que aparece en el sonograma como la línea más baja ondulada o casi recta y con pocas líneas arriba de ella, que indicarían los armónicos de esta frecuencia. Algunos sonidos a veces tienen componentes de clics y silbidos uno tras otro.

La audición de los delfines y odontocetas, en general, es muy similar a pesar de sus diferencias de tamaño, y poseen una gran sensibilidad en intervalos de frecuencias muy grandes, de unos cuantos Hz a más de 100 kHz, [Figura 3.20](#). Es decir, son capaces de oír sonidos en un intervalo de más de 12 octavas, por ejemplo de 50 Hz hasta casi 204 800 o más, todavía no se tiene bien definido cuál sería el límite superior. Qué tan sensibles son en su audición es importante conocerlo, para saber cómo les afecta el ruido, sobre todo el generado por barcos, lanchas, sonares, artefactos de pesca o submarinos. Los odontocetas tienen un oído suprasensible: el umbral absoluto del *Tursiops truncatus* es de 0.015 pW/m², casi tan bajo como el del animal terrestre más sensible, el gato¹⁴.



¿Y cómo se mide la audición de los delfines y ballenas? Aparte del papeleo que en algunos países, como Estados Unidos, es muy grande por la cuestión de la

¹⁴El umbral absoluto es la intensidad mínima promedio (en watts/m²) que una especie dada puede oír. Como es tan baja, la unidad se da en picowatts (10⁻¹² Watts). Así, el del delfín es de 0.015 x 10⁻¹² watts/m² ó 0.013 picowatts/m²; el del hombre es de aproximadamente 1 picowatt/m².

protección a los animales, es todo un proceso de entrenamiento de los delfines o ballenas para que hagan diferentes tareas, lo cual puede durar muchos meses de trabajo, antes de obtener los primeros resultados.

Se le enseña al delfín, por ejemplo, a responder con un silbido cuando perciba un tono; previamente se le enseña a estacionarse en una plataforma, en la cual está instalado el emisor de sonido –un transductor piezoeléctrico–, entonces el delfín sostiene con su boca una placa cubierta de hule y se le enseña a permanecer ahí hasta que oiga un estímulo. Se emplean las llamadas técnicas de acondicionamiento operantes, basadas en los mismos principios de entrenamiento de perros utilizando silbatos o clickers, que se fundamentan en refuerzo positivo para entrenar el comportamiento. Una prueba de audición requiere de la cooperación del operador del sistema de control (computadora, sensores y actuadores), del entrenador del delfín, y... por supuesto del delfín, [Figura 3.21](#). Los operadores usan aparatos de intercomunicación entre ellos para transmitirse información, así como monitores de video para observar la misma información acerca del desarrollo de la prueba.

El operador acciona el sistema para que la computadora empiece a mandar los tonos de prueba a frecuencias diferentes. Estos tonos duran de un cuarto de

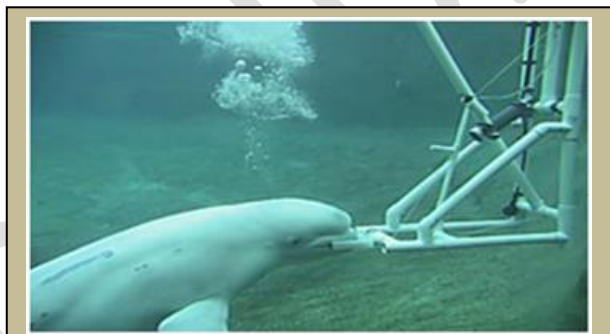


Figura 3.21 *Delphinapterus leucas*, Beluga o mal llamada ballena blanca. Delfin en entrenamiento para obtener su audiograma. El emisor de sonido de prueba es la esfera negra ubicada enfrente de su cabeza

<http://www.onlinezoologists.com/topics/mmsound/heartest/>

segundo a un segundo y se procede a variar su amplitud o sonoridad. Cuando el delfín silba en respuesta a un tono, el próximo tono se emite más bajo en intensidad o amplitud. Si el delfín deja de emitir un silbido –permanece callado–, es signo de que no oyó ese tono, entonces el siguiente se hace más fuerte. Este procedimiento,

como de escalera, es el mismo que se usa para obtener los audiogramas o probar la audición en los humanos. Cuando una serie de tonos ha sido probada, se envía un estímulo para que el delfín obtenga su premio (comida). Entonces el delfín deja la plataforma de pruebas y vuelve a encontrarse con su entrenador.



Código QR de
PROFEPA
sobre
conservación de
la vaquita
marina.[http://www.
profepa.gob.
mx/innovaporta
l/v/1670/1/mx](http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/v/1670/1/mx/vaquita_marina.htm)

[http://www.pr
ofepa.gob.mx/i
nnovaportal/v
/1670/1/mx/
vaquita_marina
.htm](http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/v/1670/1/mx/vaquita_marina.htm)



A diferencia de algunas especies de delfines muy estudiadas—como el delfín mular o cuello de botella— no se sabe con exactitud como oyen las ballenas—*mysticetes*—, únicamente se conoce la anatomía de su oído, pero no cómo llega el sonido a sus oídos, su audición en función de la frecuencia o su sensibilidad a los sonidos.

Diferentes grupos de ballenas o delfines poseen *llamados* diferentes—especies de dialectos—como en el caso de los pájaros. Las ballenas jorobadas tienen una variedad de gruñidos, gemidos y ronquidos que unen y entrelazan para formar lo que se llaman *cantos*. Las frecuencias en estos sonidos van de 20 Hz a 5 kHz. Normalmente son los machos los que emiten los *cantos*, sobre todo en aguas no muy profundas y de fondos planos.

La posible extinción del cetáceo odontocete *Phocoena sinus*, marsopa de nombre común *Vaquita Marina* del Mar de Cortés, en México, es uno de los casos más claros de que se tiene noticia de la posible extinción de una especie por manos del hombre. Aunque esta zona fue declarada área protegida desde el año 2005, la vaquita marina tenía un ritmo alarmante de muertes accidentales (y muchas veces por la pesca de la *totoaba*¹⁵), por quedar atrapadas en las redes de pesca para capturar camarones y el pez totoaba.

¹⁵ La totoaba es un pez de la familia de las corvinas y carnívoro, mide hasta dos metros, y hasta 100 kilos de peso. Su pesca se debe al gran precio que en China se paga (hasta 60 000 dólares el kilo) por la vejiga natatoria —el buche— que utilizan para controlar su flotabilidad. Se le atribuyen cualidades afrodisíacas, medicinales y regenerativas.

En un estudio (Jaramillo–Legorreta *et al.*, 2007) se estimó que quedaban alrededor de entre 150 y 500 ejemplares y había un ritmo de caza de entre 40–80 ejemplares al año. A pesar de los resultados de varios estudios, en que se recomendó adoptar medidas para –básicamente–, evitar o prohibir el uso de redes en esa zona para evitar su desaparición –debida fundamentalmente a que quedan atrapadas en las redes de los pescadores de la zona, durante muchos años no se hizo nada para proteger a esta marsopa y evitar su posible extinción. Sin embargo, a partir de 2009 (Aguilar *et al.*, 2009) se instauró un programa para su conservación en la Reserva de la Biosfera “Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado”. En el sitio del portal correspondiente se pueden encontrar algunas de las acciones que se han llevado a cabo y recursos de que dispone el programa. En 2018 parece ser que la vaquita sigue en máximo peligro de extinción; el Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF, por su sigla en inglés) advirtió (14 de mayo de 2016) que la vaquita marina está al borde de la extinción, ya que de acuerdo con el Comité Internacional para la Recuperación de la Vaquita (CIRVA) se estimaba que a finales de 2015 sólo quedaban 60 ejemplares¹⁶. Se están tomando medidas de emergencia, para ver si se pueden proteger en cautiverio y procurar su reproducción. El plan fue anunciado en enero de 2017 y consiste en trasladar algunos ejemplares a un santuario temporal, también continúan los esfuerzos encaminados a combatir la pesca ilegal y eliminar las redes de enmalle en el hábitat del cetáceo. Se espera evitar su extinción y lograr su recuperación en años futuros.

ANIMALES INFRASÓNICOS

En la naturaleza el infrasonido está presente todo el tiempo, causado por volcanes, avalanchas, temblores, meteoritos, tormentas, rayos, olas del mar,

¹⁶ El gobierno de México estableció un comité especial para su protección en 2013, y se ordenó la eliminación de las redes llamadas “agalleras”, usadas para pescar camarón y totoaba, con su sustitución gradual por redes que no atrapen vaquitas. En abril de 2015 el Presidente anunció un plan sin precedentes, que incluye la prohibición de usar redes agalleras por dos años y la compensación con 70 millones de dólares a las comunidades pesqueras afectadas. Aun así, parece que algunos pescadores siguen pescando totoaba (muy solicitado en China, y pasándolo por E.U.) y matando a las vaquitas (Periódico Excelsior, 14/05/2016).

etc. Sin embargo, el infrasonido por poseer una frecuencia tan baja, no lo podemos oír. Sólo cuando, por ejemplo, las tormentas y los rayos están relativamente cerca oímos los truenos y el viento, por sus frecuencias altas y bajas, pero no tan bajas que no las podamos oír. Aun así, consideremos que el sonido predominante de los truenos es de bajas frecuencias, como sonidos de tambores gigantes cuando están cerca o de cañones en la lejanía.

Podemos oír los truenos lejanos aun cuando están a alrededor de 20 kilómetros de distancia y esto es debido a que los sonidos de baja frecuencia viajan grandes distancias; si pudiéramos oír frecuencias más bajas, oiríamos truenos a 100 o más kilómetros de distancia. El término *sonido infrasónico* se refiere a ondas sonoras, cuyas frecuencias son menores a 20 Hz (que los humanos no podemos oír), esto quiere decir que las longitudes de onda son muy grandes, 20 metros, y esto tiene como consecuencia que los objetos en la superficie de la Tierra no lo difractan o reflejan muy eficientemente, por lo cual el sonido no encuentra obstáculos del tamaño de su longitud de onda y, por lo tanto, puede viajar grandes distancias.

Durante una visita en 1984 a un zoológico, la investigadora Katie Payne, de la Universidad de Cornell, Estados Unidos, descubrió la comunicación de baja frecuencia entre animales de tierra —las ballenas eran los únicos animales conocidos que emitían sonidos de baja frecuencia—. Ella estaba junto a las jaulas de los elefantes cuando sintió un bailoteo en el aire, como cuando se viaja en un automóvil con la ventana abierta a una altura equivocada en que se oye una oscilación molesta.



Figura 3.22 Elefante africano (*Loxodonta africana*).

Sospechó que los elefantes se estaban comunicando e investigaciones posteriores probaron que los elefantes sí se podían comunicar utilizando frecuencias muy bajas de entre 5 y 30 Hz. Como el sonido de baja frecuencia puede viajar muy lejos en el aire, sin amortiguarse, o decaer mucho

en intensidad, se encontró que los elefantes se pueden comunicar a

distancias de hasta más de 1.5–2 Km. Esto explicó algunos de los hasta entonces misterios de estos paquidermos: Cómo las hembras podían atraer a machos a varios kilómetros de distancia, y cómo grupos dispersos se coordinaban para no coincidir en los mismos recursos alimenticios. Como resultado de estas investigaciones se ha encontrado que otros animales como la jirafa, el rinoceronte, quizás los leones y los tigres, los lagartos, etc., se comunican mediante infrasonidos.

Así mismo, se abrió la puerta a un campo de la investigación sobre el uso del infrasonido en la comunicación animal. Muchas personas habían observado que los elefantes cuando estaban en grupos, de repente, súbitamente, se “congelaban” sin ninguna razón aparente y, después de unos segundos los elefantes corrían o continuaban con lo que estaban haciendo. Este comportamiento parece deberse a que están percibiendo, oyendo u oliendo, el ambiente y se concentran con sus múltiples sentidos en este hecho, ante un posible peligro o una manada a la distancia. Esto lo descubrió otra investigadora, C. O’Connell–Rodwell, de la Universidad de Stanford, quien estudió a los elefantes en el Parque Nacional de Etosha, en Namibia, [Figura 3.22](#); ella conjeturó que usaban sus trompas para sensar las vibraciones. Sus investigaciones mostraron que los elefantes tienen formas extrañas de detectar las ondas sísmicas que viajan por la tierra; el método que utilizan consiste en que –además de sus huesos del oído medio, que aparentemente están hechos para detectar frecuencias bajas, pues sus dimensiones son de las más grandes en los mamíferos– poseen una cóclea parecida a la de los reptiles y especializada en sensar vibraciones. Pero aún más, resulta que los elefantes al vocalizar a bajas frecuencias, generan *ondas superficiales* que viajan sólo por la superficie de la tierra no penetrando a grandes profundidades –llamadas *ondas de Raleigh*¹⁷– que tienen, se cree, la capacidad de una comunicación sísmica (Gunther *et al.*, 2004). Parece que esta habilidad la usan en combinación con

¹⁷Las ondas de Raleigh son ondas, que se generan, entre otras causas, por los temblores, que viajan en la superficie de la tierra –como las olas en la superficie de los océanos– y tienen una combinación de movimiento longitudinal –como una onda en un resorte– y transversal, como una onda en una cuerda. Las partículas de agua en una ola de mar realizan un movimiento circular, en la tierra realizan un movimiento elíptico en la superficie y circular contrario a cierta profundidad. Estas ondas (junto con otras llamadas de Love) son las más dañinas en los temblores, y se sienten después de las primeras sacudidas en un temblor, pues viajan más lentamente.

otras formas de comunicación, incluyendo la vocal, la visual y la química; todas, finalmente, para contribuir a sus comportamientos sociales, ya sea para aparearse, prevenirse de los demás depredadores o posiblemente con otros propósitos.

Dicha investigadora observó, en alguna ocasión, que algunos elefantes ponían la trompa en el suelo y su punta dirigiéndola hacia la parte interna de sus pies. Mediante estudios posteriores (O'Connell–Rodwell *et al.*, 2006) se confirmó su teoría, aceptada actualmente, de que en los elefantes hay cierta forma de censado del ambiente a través de las vibraciones. Los elefantes se paran de “puntas”, o recargan el peso en las puntas de sus pies, o se balancean en sus “talones”, justo antes de que los grupos corran en alarma. Ellos encontraron que ciertas placas de grasa en sus pies les ayudan a conducir las vibraciones de las puntas de sus pies a través del cuerpo hasta los oídos. Esto es similar a lo que ciertas personas sordas utilizan para oír: la conducción ósea a través de los huesos del cráneo hasta el oído medio. La punta de la trompa del elefante también tiene una zona sensible a las vibraciones y por eso cuando hay peligro se ve a los elefantes poner la trompa en el piso y pararse de puntas. Un sitio en donde se pueden ampliar esta información es: <http://www.nwf.org/News-and-Magazines/National-Wildlife/Animals/Archives/2005/Secret-Sounds-of-Elephants.aspx>

EL SONIDO DEL ANDAR DEL CABALLO

Figura 3.23 Un caballo islandés ejecutando una andadura llamada *Tölt*.



De los sonidos generados con propósitos de comunicación, en general, pasamos a sonidos rítmicos, es decir, con cierta estructura temporal, generados con las patas y manos por los pasos de los caballos, que no tienen ningún objetivo o fin. Estos sonidos son generados por lo que se conoce como la *Andadura*, sonidos generados por la manera característica de caminar o correr del caballo. Así, hay andares o “aires” naturales del caballo (como el trote o el galope), y –contrariamente– andares aprendidos en una especialidad o disciplina en la hípica tradicional. Esta disciplina consiste en

que el caballo se desplaza con trotes de diferentes tipos, llamados b́pedos laterales, b́pedos diagonales, o al galope lento o ŕpido. El aspecto sonoro, o la percepci3n auditiva en su aspecto ŕtmico, de los andares, pueden ser tan importantes como el aspecto visual. Actualmente s3lo se entrena y practica en la regi3n de Galicia, en Espa1a (*andadura serrada y chapeada*) y en algunos pa3ses latinoamericanos, especialmente en Puerto Rico con el *paso fino*, en Colombia con la *trocha* y variedades de 3stos en Venezuela, Per3, M3xico, etc. En Islandia con el pony y el paso T3lt, [Figura 3.23](#).

La andadura posee una historia muy antigua, pues se dice que Gengis Kan utilizaba un tipo de trote para desplazarse de manera ŕpida y sin cansar a los caballos. El aspecto utilitario de la andadura consist3a en que al poderse desplazar de manera ŕpida y c3moda, sin cansar al caballo, se pod3an recorrer grandes distancias a velocidades de 40 Km/h al trote y hasta 60 Km/h a galope ŕpido.



Los “aires” del caballo, los distintos modos de desplazarse, pueden, como se mencion3 anteriormente, ser naturales o producto de un desarrollo mediante la cr3a y el entrenamiento; los aires naturales son el *paso*, el *trote* y el *galope*, [Figura 3.24](#). Lo interesante, desde el punto de vista del sonido producido o auditivo de esta disciplina, es el ritmo de los sonidos de los golpes caracter3sticos que estas modalidades de desplazamiento del caballo generan. As3, una manera de distinguirlas es mediante el patr3n ŕtmico sonoro del andar, lo cual no es f́cilmente perceptible visualmente. Existen diversas combinaciones de estos movimientos seg3n las patas que utiliza el caballo:

a) *Al paso*, es una andadura de cuatro tiempos en la que las pisadas est3n bien



Figura 3.25. Fotografías de E. Muybridge, 1887, (Muybridge&Mozley, 1979), las primeras fotografías del andar (en este caso galope) de un caballo.<http://www.uhu.es/cine>

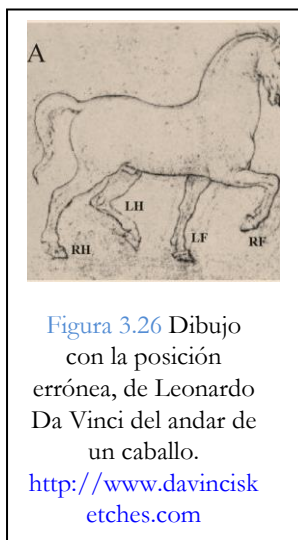
definidas en una secuencia regular. Si la marcha comienza con la pierna trasera izquierda, la secuencia con la que el caballo pisa es: trasera izquierda, delantera izquierda, trasera derecha, delantera derecha, nuevamente trasera izquierda, delantera izquierda,... Puede andar al paso todo el día y gastar poca energía. Al *paso* es un andar estable y lento. Se utiliza para los trabajos pesados y la agricultura en zonas rurales. Durante la caminata, el caballo siempre tiene tres patas en el suelo y otra en el aire (exceptuando un breve instante cuando el peso se trasfiere de una pata a la otra), moviendo la cabeza de arriba abajo para ayudarse a mantener el equilibrio.

b) *El trote*, en cambio, es un andar natural de dos tiempos, en el cual el caballo se desplaza moviendo pares de patas al unísono en diagonal, alternadas y sucesivas. En el primer tiempo se desplazan y apoyan la pata de un lado con la mano del lado contrario, y en el otro tiempo, la otra pata con su mano diagonal. Este es un andar muy estable y el caballo no mueve casi la cabeza. En el sonido resultante del trote, se oyen dos golpes seguidos, un silencio corto y dos golpes, etc., en un paso de dos tiempos, **ta.ca...ta.ca...**, producido de manera relativamente rápida.

c) En el denominado *galope medio*, se tiene una andadura en tres tiempos: trasera izquierda, trasera derecha y delantera izquierda a la vez, seguidas por la delantera derecha y un instante de suspensión cuando las cuatro extremidades permanecen en el aire.

d) El *galope o galope tendido* (o carrera) es el que llevan a cabo los caballos de manera natural cuando se les deja libres. Es el movimiento que capturó Edward Muybridge mediante fotografías, por primera vez en 1887, como

resultado del encargo de un millonario, que había apostado a que los caballos en un instante de su carrera estaban totalmente al aire, sin ninguna pata o mano en tierra. Él tomó las fotografías después de haber inventado una serie de gatillos electromagnéticos, [Figura 3.25](#).



etc., y de la cavernas. De las pinturas prehistóricas, menos de la mitad son erróneas (47%), a diferencia del 84% de las fechadas antes de las fotos de Muybridge, incluyendo algunas de Leonardo Da Vinci, [Figura 3.26](#); en las pinturas e imágenes fechadas después de 1887, el porcentaje baja al 58%.



En el *galope* se tiene una andadura en cuatro tiempos; es una extensión del galope medio, pero con las cuatro pisadas completamente separadas y aumentando la fluidez y soltura de la andadura.

Con la pierna delantera derecha por delante, la secuencia de las pisadas es: trasera izquierda, trasera derecha, delantera izquierda, delantera derecha, seguidas por un instante de suspensión. El caballo galopa con una

pierna por delante, a la izquierda o a la derecha, lo que le permite girar sin disminuir velocidad y mantener el equilibrio. El galope siempre es “lanzado”, ya que después de cada ciclo, el caballo tiene todas sus extremidades suspendidas en el aire. El sonido del galope es: **ta.cata...ta.cata...**

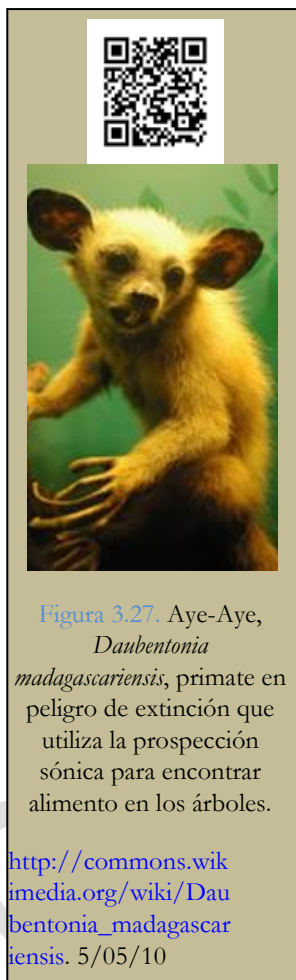
Existe otra gran variedad de *Andaduras*, no naturales de los caballos, practicadas en diversos países, tales como la *trocha*, nombre dado a una especie de trote en Colombia, en que el caballo hace un movimiento en diagonales¹⁸ en cuatro tiempos: mueve en forma alterna mano y pata opuestas: (primer tiempo) mano derecha, luego pata izquierda (segundo tiempo), luego mano izquierda (tercer tiempo), y finalmente pata derecha (cuarto tiempo) y suena entonces: **tras...tras...tras...tras...tras...tras...tras...tras...tras**. Se puede observar un video de estos movimientos en: <http://www.purodeaquí.com/2007/07/01/hablemos-de-trocha-2-de-2/>. Cuando anda a paso fino, en Costa Rica, Colombia, Venezuela: **ta...ca...ta...ca...ta...ca...ta...ca...ta...ca...ta...ca...ta...ca...** <http://www.zamyhorse.com/etroteygalope.htm>.

EL AYE-AYE

Una extraña criatura de cerca de tres kilos de peso y 60 cm de largo, incluyendo la cola, el primate nocturno más grande –en peligro de extinción– habita en la isla de Madagascar, [Figura 3.27](#). Se agarra del tronco del árbol y con uno de sus dedos, el más grande, golpea la corteza repetidamente y escucha atentamente, después se dirige a un punto y golpea otra vez, poco después se le ve rascando y haciendo un hoyo para sacar larvas de insectos. El aye-aye (*Daubentonia madagascariensis*) es un primate capaz de detectar el

¹⁸ Según dicen los entendidos: un bípodo diagonal es el movimiento de patas y manos opuestas, y bípodo lateral con manos y patas del mismo lado. Una “batida” es la elevación, suspensión, avance y apoyo, cuando el miembro toca tierra y se produce el sonido del golpe; si en un bípodo se hace la batida al mismo tiempo y llegan a tierra juntos se oirá un solo golpe, cuando los cuatro miembros han ejecutado una batida completa de cada miembro, o un ciclo completo de movimiento constituye un “aire”, que en este caso es simétrico.

movimiento de las larvas aun cuando estén situadas muy profundo en el tronco.



Sus manos poseen cinco dedos fuertes, el tercero es casi hueso y piel y es el más largo; el cuarto es más grueso y termina en una uña muy afilada. Se le conoce por su técnica de forrajeo –búsqueda de comida– percusivo, para encontrar insectos y larvas, similar al método del pájaro carpintero– aunque el pájaro carpintero no existe en Madagascar–, pero utiliza como martillo o baqueta la garra del dedo central. El aye-aye usa el dedo central para golpear y después escuchar el sonido resultante: posiblemente resonancias o ecos, o quizás como solemos identificar los humanos, oír que suena a “hueco”, “blando”, o los sonidos de las larvas e insectos, etc.; este método constituye su método de prospección sónica.

Por lo mismo, tiene grandes orejas que puede mover hacia todos lados para enfocarse en un sonido en algún punto en particular, en forma similar a como el conejo mueve sus orejas. Se dice que podría ser que usara también la prospección sísmica, al sentir las vibraciones resultantes después de que golpea; probablemente son los dos tipos de prospecciones que utiliza según las circunstancias. Una vez que localiza su presa, rasca con la uña o garra y la extrae. (<http://pin.primate.wisc.edu/factsheets/entry/ay-aye>).

Este animal está en peligro de extinción debido, en parte, a mitos y costumbres entre los habitantes de diversas regiones de la Isla de Madagascar, que lo consideran maligno y feo, y esta fealdad –como toda fealdad, y a veces también la belleza, es relativa– le ha traído al aye-aye su desgracia, pues se considera que si un aye-aye nos mira, nos condena a una maldición, incluso,

que si se le toca se condena a alguien a morir en el año siguiente; si el aye–aye es viejo morirá un adulto anciano, si es joven entonces morirá un adulto joven.

En algunas regiones de Madagascar, la superstición llega a tal extremo, que se cree firmemente que ese dedo alargado les es útil para atravesar la aorta de los seres humanos y beberse su sangre y su alma. Como consecuencia, los matan y si se les avienta cerca de la casa o el patio de alguien, le traerá mala suerte o hasta la muerte; esta es una superstición que aún persiste en la actualidad. En general, se considera que observar al aye–aye traerá mala suerte y maldición, pero en la región sureste de la misma Isla de Madagascar, se considera lo contrario, es decir, que traerá buena suerte, pues en este caso se cree que el aye–aye tiene origen humano –posiblemente porque anidan cerca de o en los cementerios– y al contrario, si se le mata, traerá mala suerte al año siguiente.

A pesar de todos los avatares de este inocente animal, ha habido movimientos para tratar de salvarlos y en 1984 se creó una reserva y ya en 1998 había 34 aye–ayes viviendo en cautiverio (Reading & Miller, 2000).

LA CUIJA



Figura 3.28 *Hemidactylus frenatus*, conocida como salamandra, cuija, gekko, etc. Es inofensiva, constituye un medio de control de insectos en las casas; come cucarachas, arañas, grillos, etc. Es el único reptil conocido que vocaliza.

Cuija o salamandra, es el nombre común de lagartijas (Saurópsidos, reptiles) pertenecientes a la familia Gekkonidae, llamadas Gekko, en general, en el mundo, con alrededor de 1300 especies conocidas que habitan en las regiones tropicales del mundo. También se les conoce en México, como salamanquesas, tiracolas (porque si les cae la cola les vuelve a crecer), besadoras, niños, ch'ohkan, etc, **Figura 3.28**. Son lagartijas nocturnas, criaturas de la noche que habitan en árboles y recovecos de casas de regiones calientes y húmedas. Poseedoras de una visión no colora, pero muy fina, pues a dos o tres metros de distancia pueden distinguir

moscos en las paredes, por ejemplo.

A diferencia de la mayoría de las lagartijas, tienen buen oído (parece ser que alcanzan a oír frecuencias de cerca de 10 kHz o incluso, se cree, más allá) y son las únicas lagartijas, de hecho los únicos reptiles que emiten sonidos, muy conocidos por los habitantes de tierras calientes. La palabra *gecko* en malayo se deriva del sonido que algunas de estas lagartijas emiten, *gecko...gecko...* Su longitud varía de 3 a 30 cm.

Son famosas por trepar paredes y caminar por los techos, por lo que han causado interés y asombro desde los tiempos de los griegos. Las cuijas pueden correr verticalmente a velocidades mayores a 1m/s y pueden cargar hasta el doble de su peso sobre superficies verticales lisas. Algo crítico en esta habilidad es su capacidad de adhesión reversible, es decir, que puede pegar y despegar a voluntad cada pie rápidamente.

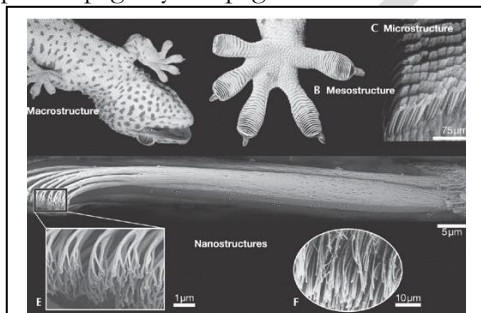


Figura 3.29 (Dadas por Mark Moffett). De izquierda a derecha: A, vista ventral de un *Gekko gecko* trepando por un vidrio vertical; B, vista ventral de un pie de un *Gekko tokay* mostrando un arreglo de *lamellae adhesivos* (llamados *escansores*); C, las *setae* muestran un arreglo de rejilla a microescala en la vista ventral de cada *escansor*, en esta micrografía de escáner electrónica, cada estructura en forma de diamante es el extremo ramificado, de un grupo de *setae* agrupadas como una tetra; D, Imagen Cryo-SEM, de una sola *seta* (imagen de S. Gorb y K. Autumn). Note las fibrilas individuales de keratina que componen los ejes *setales*; E, arreglo a nanoescala de cientos de puntas espátulas de una sola *seta*; F, *espatulae* sintéticas, fabricada de poliamida, en UC Berkeley en el laboratorio de Ronald Fearing usando nanomoldeo. (Campolo *et al.* 2003).



Un video muestra como una cuija caza y se come una polilla:

<https://www.youtube.com/watch?v=OAtQmgNPnjc>.

Esto lo efectúa más que jalando, doblando los pies a ciertos ángulos y ajustándolos en cada caso.

Ya se habían estudiado y documentado desde el siglo XIX, pero un famoso estudio publicado en la revista *Nature* (Autumn *et al.*, 2000) sobre esta habilidad, las lanzó a la fama en el mundo científico y académico. Este estudio y otros posteriores, demuestra que cada dedo de la *gecko* tiene cerca de medio millón de cilios queratinosos –14 000 por mm² –llamados *setae*, cada uno de los cuales se ramifica en cientos de puntas redondeadas llamadas *spatulae* –espátulas– de apenas 0.2 μm ó 200 nanómetros de ancho–que

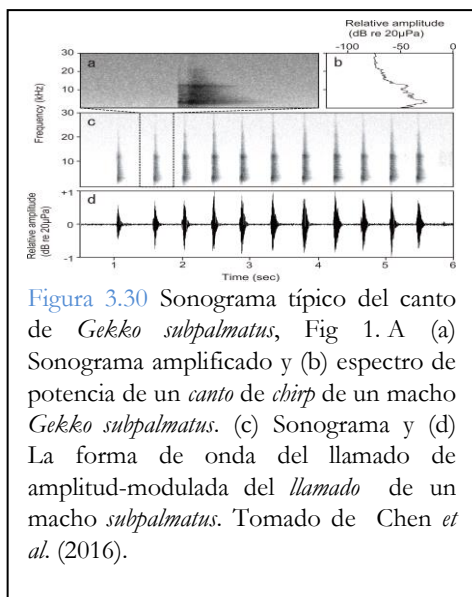


Figura 3.30 Sonograma típico del canto de *Gekko subpalmatus*, Fig 1. A (a) Sonograma amplificado y (b) espectro de potencia de un canto de chirp de un macho *Gekko subpalmatus*. (c) Sonograma y (d) La forma de onda del llamado de amplitud-modulada del llamado de un macho *subpalmatus*. Tomado de Chen *et al.* (2016).

las únicas lagartijas que tienen cuerdas vocales (Gans & Maderson, 1973), lo que les permite, según la especie, hacer complicadas vocalizaciones. Los sonidos varían desde *chirps* y *clics*, hasta sonidos como ladridos y gruñidos, **Figura 3.30**.

De hecho, sus nombres a veces reflejan el origen onomatopéyico *chi..chak* (*Hemidactylus frenatus*), *tokay...tokay* (*Gekko gecko*). Muchos de los sonidos son de amenaza para ahuyentar a los depredadores, incluso humanos, y aun cuando adopten actitudes amenazadoras, en realidad son

son las que hacen contacto íntimo molecular, con las superficies ¹⁹, **Figura 3.29**; esta fuerza adhesiva en un sólo cilio de las patas del gekko es la *fuerza de Van der Waals* (Autumn & Gravish, 2008; Autumn, 2006); fuerza momentánea que ejercen los átomos de una superficie sobre otra, cuando hay una distribución no balanceada de carga eléctrica dentro de un átomo.

Sus sonidos no han sido muy estudiados, pero son interesantes por ser el único reptil que emite sonidos

vocalmente. Son

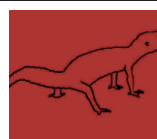


Figura 3.31
Actitud
amenazadora del
*Hemidactylus
frenatus*
(Marcellini,
1977).

¹⁹Las dos patas delanteras del *Gekko gecko*, pueden ejercer una fuerza de hasta 20 N, o sostener hasta más de dos kilos, cuando la fuerza es paralela al plano de la superficie en que se apoya. Los autores mencionados usaron MEMS (sistemas micro-electromecánicos) para medir la fuerza de corte -paralela a la superficie de agarre- de un sólo seta.

inofensivos²⁰, Figura 3.31.

Sus vocalizaciones son de corta duración y con frecuencias dominantes de 1 a 4 kHz, en el caso de la *Gekko gekko*. Su sonido se puede oír desde unos dos o tres metros hasta 20 m. Un estudio de esta especie encontró cuatro tipos de llamados o cantos: de intimidación, de estrés, otro relacionado con interacciones con parejas y una secuencia larga, aparentemente de doble función de territorialidad y llamado. El llamado largo dura, (Brillet & Paillete, 1991) aproximadamente, 22 s con una intensidad de 70 dB a 1 m de distancia, y máxima energía entre 300 y 4000 Hz. Esta secuencia tiene tres fase o etapas: varios pulsos que suenan como cascabeles, bimotivos que suenan como *tok-kays..tok-kay*, y por último, como un gruñido o refunfuño, el número de motivos varía pero la duración de los motivos es relativamente estable.

LA CREACIÓN DE PALABRAS A PARTIR DE LOS SONIDOS.



<http://www.esl-idiomos.com/es/cursos-o-idiomos/coffee-break/voces-de-animales/index.htm>

Una aproximación a como oyen los diferentes hablantes nativos de diferentes países.

Se dice que una de las primeras formas de comunicación que el hombre desarrolló es la onomatopeya (del griego *ονοματοποια*, creación de palabras). La onomatopeya es una especie de interjección emitida para imitar un sonido, muy a menudo asociado a un animal, a un objeto o incluso a conceptos abstractos (tales como ¡shshsh! que indica un llamado al silencio). La onomatopeya es el método de formación de palabras más empleado.

Se dice que toda palabra, en cierto modo, tiene siempre algo de onomatopeya. Por ejemplo, *chis..paaa* evoca el sonido que hace un rayo muy cercano. Las onomatopeyas son hechos culturales y dependen de la sociedad que las crea,

²⁰ En México hay varios cientos de especies de gekkos; en el 2006 se descubrieron otras dos especies. Una de ellas, la más chica en el mundo, las gekko de patas de hoja, de aproximadamente 32 mm de largo, en el estado de Guerrero (Murphy *et al.*, 2009).

con respecto a que existe un acuerdo para la identificación de un sonido producido por una misma fuente para la manera de expresarlo mediante una onomatopeya así, por ejemplo, el canto de un gallo no lo expresa de la misma manera un español, un francés o un norteamericano: *quiquiriquí, cocorico, kokedoodledoo*.

Gubern (2009) expresa a propósito de la onomatopeya que “Ha habido una explotación de la onomatopeya en el mundo de la música, de la poética y de la canción. Pero el medio que la ha formalizado más sistemáticamente ha sido el cómic, porque se ha convertido en una figura casi imprescindible...Y descubrí, sin demasiado esfuerzo, que las onomatopeyas son en su mayoría verbos sustantivos fono-simbólicos ingleses, como *to ring, to knock, to splash*.”... En los comics ya como figura onomatopéyica, “A mayor tamaño, más ruidosa es la onomatopeya, a menor tamaño, menos; las de color cálido son más importantes que las de color frío. Por lo tanto hay un efecto de sinestesia: el tamaño y el color determinan la intensidad o las características formales de este sonido. La onomatopeya tiene un doble valor: a) un valor acústico —en el que hay que tener en cuenta que todas las lenguas se pronuncian diferente, por ejemplo, el «quiquiriquí» en castellano, en francés es «cocorico»; suena un tanto semejante, pero se transcribe de forma distinta— y b) un valor visual, que es el que ha interesado a los pintores y a muchos dibujantes. Y este aspecto visual muchas veces ha acompañado a lo que se llaman *sensogramas*, por ejemplo: «dormir como un tronco»; el «zzzz...» del que duerme, ese sonido de respiración pausada, traducida del inglés «*to sleep like a log*». «Tener una idea brillante» se representa con una bombilla. Existe una serie de *sensogramas* —que también son *ideogramas*, gráficos icónicos— que acompaña a veces a las onomatopeyas.

En el español, los sonidos de algunos animales son: *Balan*, el borrego, el carnero, la oveja y la cabra; *rebuza* el burro; *relinchan* el caballo y la yegua; *gorjea* el canario; *rebrama* el ciervo; *chilla* el conejo; *hablan* la cotorra y el loro; *aúllan* el coyote y el lobo; el cuervo, *grazna, crascita o crosquita*; el elefante, *barrita*; la gallina, *cacarea*; la gallina clueca, *cloquea*; *canta* el gallo; *grazna* el ganso; *maúlla* el gato; *grilla* el grillo; *gorjea* el jilguero; *estrída* la langosta; *ruge* el león; *chilla* la liebre; *zumba* el mosquito; *rebuza* la mula; *trina* el pájaro; *ladra, gruñe, gime*, el perro; *pía* el pollito; *croan* la rana y el sapo; *gorjea* el ruiseñor; *mugen* el toro y la vaca.

REFERENCIAS

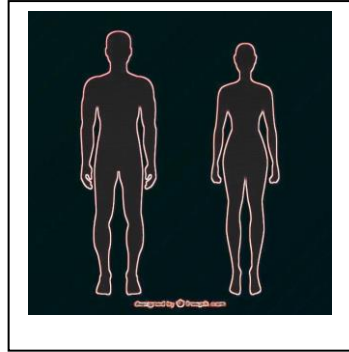
1. Aguilar, R. D., González, L. V. A., Norte, P. & DE TECNOLOGIA, SUBDIRECCION. (2009). Protocolo de investigación.
2. Altringham, J. D., Hammond, I. & Mcowat, T. (1996, October). Bats: *biology and behaviour* (p. 262). Oxford: Oxford University Press.
3. Arch, V. S., Grafe, T. U., & Narins, P. M. (2008). Ultrasonic signalling by a Bornean frog. *Biology Letters*, **4**(1), 19–22.
4. Arch, V. S., Grafe, T. U., Gridi-Papp, M. & Narins, P. M. (2009). Pure ultrasonic communication in an endemic Bornean frog. *PLoS One*, **4**(4), e5413.
5. Au, W. W. & Simmons, J. A. (2007). Echolocation in dolphins and bats. *Physics Today*, **60**(9), p. 40.
6. Au, W. W. (2012). *The sonar of dolphins*. Springer Science & Business Media.
7. Autumn, K. (2006). How gecko toes stick. *Am. Sci*, **94**(2), 124.
8. Autumn, K., & Gravish, N. (2008). Gecko adhesion: evolutionary nanotechnology. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, **366**(1870), 1575–1590.
9. Autumn, K., Liang, Y. A., Hsieh, S. T., Zesch, W., Chan, W. P., Kenny, T. W. & Full, R. J. (2000). Adhesive force of a single gecko foot-hair. *Nature*, **405**(6787), 681–685.
10. Belkóvich, V. M. y Yáblokov, A. V. (1965). Citado en: Morózov, V. (1987). *Bioacústica recreativa*. Editorial Mir: Moscú.
11. Benoit-Bird, K. J., Au, W. W., & Kastelein, R. (2006). Testing the odontocete acoustic prey debilitation hypothesis: No stunning results. *The Journal of the Acoustical Society of America*, **120**(2), 1118–1123.
12. Brillet, C., & Paillete, M. (1991). Acoustic signals of the nocturnal lizard Gekko gekko: analysis of the 'long complex sequence'. *Bioacoustics*, **3**(1), 33–44. DOI: [10.1080/09524622.1991.9753155](https://doi.org/10.1080/09524622.1991.9753155)
13. Campolo, D., Jones, S., & Fearing, R. S. (2003, August). Fabrication of gecko foot-hair like nano structures and adhesion to random rough surfaces. In *Nanotechnology, 2003. IEEE-NANO 2003. 2003 Third IEEE Conference on* (Vol. 2, pp. 856–859). IEEE.

14. Chen J, Jono T, Cui J, Yue X, Tang Y (2016) The Acoustic Properties of Low Intensity Vocalizations Match Hearing Sensitivity in the Webbed-Toed Gecko, *Gekko subpalmatus*. PLoS ONE 11(1): e0146677. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0146677>
15. Cruz, J. M. G. (2007). *Entre la noche y la incomprensión*. En la X Reunión de la Red de Popularización de la Ciencia y la Tecnología en América Latina y el Caribe (RED POP – UNESCO) y IV Taller “Ciencia, Comunicación y Sociedad”, San José, Costa Rica, 9 – 11 de mayo de 2007.
16. Cryan, P. M., Bogan, M. A. & Altenbach, J. S. (2000). Effect of elevation on distribution of female bats in the Black Hills, South Dakota. *Journal of Mammalogy*, **81**(3), 719–725.
17. Dooling, R. J., Lohr, B., & Dent, M. L. (2000), Editors. Hearing in birds and reptiles. En *Comparative hearing: birds and reptiles* (pp. 308–359). Springer New York.
18. Feng, A. S., Narins, P. M., Xu, C. H., Lin, W. Y., Yu, Z. L., Qiu, Q., Xu, Z. M. & Shen, J. X. (2006). Ultrasonic communication in frogs. *Nature*, **440**(7082), 333–336.
19. Gans, C. & Maderson, P. F. (1973). Sound producing mechanisms in recent reptiles: review and comment. *American Zoologist*, **13**(4), 1195–1203.
20. Griffin, D. R. (1958). Listening in the dark: the acoustic orientation of bats and men. Griffin, D. R. Yale University Press, New Haven, CT; reprinted by Cornell University Press, Ithaca, NY, 1986.
21. Grinnell, A. D. (1995). Hearing in bats: an overview. In *Hearing by bats* (pp. 1–36). Springer New York.
22. Gubern, R. (2009, Marzo 14). La onomatopeya es imprescindible en el comic, *Diario ABC*, Cultural, Madrid.
23. Günther, R. H., O'Connell-Rodwell, C. E., & Klemperer, S. L. (2004). Seismic waves from elephant vocalizations: A possible communication mode? *Geophysical Research Letters*, **31**(11) L11602 .
24. Hill, J. E. & Smith, J. D. (1984, July). *Bats: a natural history*. Austin: University of Texas Press.
25. Horvath, G., Farkas, E., Boncz, I., Blaho, M., & Kriska, G. (2012). Cavemen Were Better at Depicting Quadruped Walking than Modern Artists: Erroneous Walking Illustrations in the Fine Arts from Prehistory to Today. *PloS one*, **7**(12), e49786. [doi:10.1371/journal.pone.0049786](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0049786)

26. Jaramillo–Legorreta, A., Rojas–Bracho, L., Brownell Jr, R. L., Read, A. J., Reeves, R. R., Ralls, K. & Taylor, B. L. (2007). Saving the vaquita: immediate action, not more data. *Conservation Biology*, 21(6), 1653–1655.
27. Marcellini, D. (1977). Acoustic and visual display behavior of gekkonid lizards. *American Zoologist*, 17(1), 251–260.
28. Medellín, R. A. y Equihua, C. (2011). Celebración del murciélago. *¿Cómo ves? Revista de Divulgación de la Ciencia de la UNAM*, 159, 10–14.
29. Morózov, V. (1987). *Bioacústica recreativa*. Editorial Mir: Moscú.
30. Muñoz, M. (2006). El culto al Dios Murciélago en Mesoamérica, *Arqueología Mexicana*, 14(80), 17–23.
31. Murphy, R. W., Blair, C., & De La Cruz, F. R. M. (2009). A new species of leaf-toed gecko, genus *Phyllodactylus* (Squamata: Gekkota: Phyllodactylidae) from Guerrero, Mexico. *South American Journal of Herpetology*, 4(1), 17–24.
32. Muybridge, E., & Mozley, V. (1979). *Muybridges complete human and animal locomotion: all 781 plates from the 1887 'Animal locomotion' by Eadweard Muybridge, introduction to the Dover Edition by Ventura Mozley, Vol. 1, containing original volumes 1 & 2: Males (nude), 3 & 4: Females (nude)*. Dover Publications, Incorporated.
33. Narins, P. M., Feng, A. S., Lin, W. Y., Schnitzler, H. U., Denzinger, A., Suthers, R. A. & Xu, C. (2004). Old World frog and bird vocalizations contain prominent ultrasonic harmonics. *Journal of the Acoustical Society of America*, 115, 910–913.
34. O'Connell–Rodwell, C. E., Wood, J. D., Rodwell, T. C., Puria, S., Partan, S. R., Keefe, R. & Hart, L. A. (2006). Wild elephant (*Loxodonta africana*) breeding herds respond to artificially transmitted seismic stimuli. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 59(6), 842–850.
35. Parris, K. M., Velik–Lord, M. & North, J. (2009). Frogs call at a higher pitch in traffic noise. *Ecology & Society*, 14(1):25.: <http://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss1/art25/>
36. Pierce, G. & Griffin, D. R. (1938). Experimental determination of supersonic notes emitted by bats. *Journal of Mammalogy*, 19(4), 454–455.
37. Pytte, C. L., Ficken, M. S.O. & Moiseff, A. (2004). Ultrasonic singing by the blue-throated hummingbird: a comparison between production and perception. *Journal of Comparative Physiology A*, 190(8), 665–673.
38. Ramsier, M. A., Cunningham, A. J., Moritz, G. L., Finneran, J. J., Williams, C. V., Ong, P. S. & Dominy, N. J. (2012). Primate

- communication in the pure ultrasound. *Biology Letters*, **8**(4), 508–511.
39. Rayner, J. (1991). The cost of being a bat. *Nature*, **350**, 383–384.
40. Reading, R. P. & Miller, B. (Eds.). (2000). *Endangered animals: A reference guide to conflicting issues*. Greenwood Publishing Group.
41. Shen, J. X., Xu, Z. M., Feng, A. S., & Narins, P. M. (2011). Large odorous frogs (*Odorrana graminea*) produce ultrasonic calls. *Journal of Comparative Physiology A*, **197**(10), 1027–1030.
42. Thomas, J. A., Moss, C. F., & Vater, M. (Eds.). (2004). *Echolocation in bats and dolphins*. University of Chicago Press.
43. Zárate–Martínez, D., Serrato Díaz, A. y López–Wilchis, R. (2012). Importancia ecológica de los murciélagos. *Contactos*, **85**, 19–27

CONFIDENCIAL



Capítulo IV. Los Sonidos y el Cuerpo Humano



Los estudios con respecto al funcionamiento del aparato vocal humano son relativamente recientes. El tratado más antiguo sobre el canto, de Giovanni Maffei (fisiólogo y maestro de música), data del siglo XVI, escrito en forma de carta para aquellos que quisieran estudiar sin maestro. En los siglos XVII y XVIII se escribieron varios libros sobre métodos para entrenar la voz. En el siglo XIX, el ambiente mecanicista consideró al universo y a todo su contenido como una gran máquina, asignándole a la ciencia el papel de descubrir el funcionamiento de cada una de las partes que integran al universo; así, al sistema productor de la voz humana se le consideró como una máquina y se le llamó *aparato vocal*, así mismo, en ese siglo se avanzó en el estudio de su funcionamiento y su anatomía al observarse por primera vez en vivo su funcionamiento con el laringoscopio, inventado por el español Manuel García¹. Este personaje escribió en 1854 un reporte a la Royal Society sobre sus “Observaciones fisiológicas sobre la voz humana”. Avances se dieron también en la enseñanza de la técnica del canto operístico, con el mismo Manuel García, quien aplicó sus observaciones y descubrimientos más que nada a la enseñanza del canto. En el siglo XIX, el canto en Europa y América alcanzó gran apogeo, tanto en la técnica de enseñanza como en la aparición de cantantes profesionales y música dedicada al canto, en óperas de múltiples compositores. Aun así, la producción de la voz es uno de los procesos sonoros menos entendidos.

Robert Willis, en 1828, había descubierto que cada sonido de una vocal está conectado con una frecuencia particular, relacionada con una resonancia de la cavidad buco-faríngea o tracto vocal. H. V. Helmholtz mostró, en 1860, que

1 El español Manuel García fue un famoso tenor y maestro de canto del siglo XIX. Miembro de una familia dedicada por generaciones al canto. Su padre, Manuel del Pópulo García, fue un famoso tenor y compositor; su madre, una destacada soprano (J. Briones). Sus hermanas fueron notables cantantes y compositoras: la Malibrán y la Viardot, una hija también fue soprano y vivieron en México algún tiempo. Manuel García escribió en 1840 el *Traité complet de l'art du chant* y en 1854 inventó el laringoscopio, una especie de periscopio con el cual pudo verse, por primera vez, cómo funcionaba el aparato vocal completo mientras producía un tono.

Figura 4.1 La máquina parlante de Faber¹, Euphonia, un automatón, tenía un fuelle operado por los pies que proveía aire a presión. El aire salía a través de unas lengüetas vibrantes.

www.strangerdimensions.com



ciertas vocales están relacionadas no sólo con una, sino con dos resonancias, que se llamaron después *formantes*. En 1924, Richard Paget mostró que esto era cierto para todas las vocales y construyó modelos de las distintas configuraciones del tracto vocal, que cuando se excitaban soplando por un extremo emitían el sonido de alguna vocal.

J. Faber construyó varias máquinas, la primera fue mostrada en Viena en 1840 y después en USA, construyó su “maravillosa máquina parlante” y finalmente “Euphonia”, inicialmente

exhibida en Londres, que podía “mantener” una conversación, Figura 4.1. La máquina parlante de Faber², un automatón, tenía un fuelle operado por los pies que proveía aire a presión. El aire salía a través de unas lengüetas vibrantes. El “buzz” de la lengüeta vibrante era modificado por las resonancias de los tubos a la izquierda del operador y por unas aperturas en forma de labios ubicadas en la parte superior de los tubos. Con el teclado se escogía que tubos se utilizaban.

COMO SE PRODUCE LA VOZ

2 En el siglo XIX estuvo de moda la construcción de automatones, máquinas que simulaban y producían acciones propias de los seres vivos. Se construían como niños que tocaban la flauta u otro instrumento, una orquesta (la pianola es de esa época) o, incluso, emitían sonidos semejantes a la voz humana. Josef Faber, inventor vienés construyó el automatón (accionado, en este caso, por una persona); esta máquina se exhibió en Londres en 1851. El primer fonetista experimental, en realidad, fue J. Von Kempelen, quien también construyó una máquina parlante en 1791, en Viena. (*Mechanismus der menschlichen Sprachenebst Beschreibung einer sprechenden Maschine*), actualmente en el Deutsches Museum, Munich. <http://www.ling.su.se/staff/hartmut/kemplne.htm>

La voz, producto de la fonación, puede ser hablada o cantada y producida en cada caso por el mismo sistema, pero usando diferentes maneras de controlar la emisión. Parece ser, no fue producto de una estructura u órgano, cuya finalidad inicial haya sido producirla. Más bien, resultó de una adaptación evolutiva que fue posterior a otras necesidades del cuerpo humano, como respirar y comer.

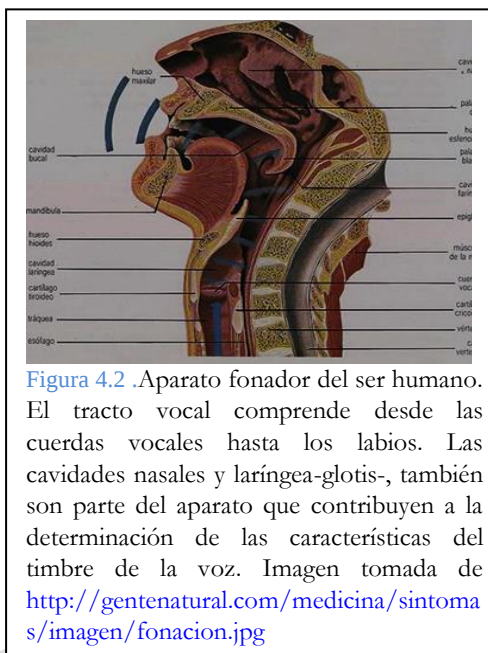


Figura 4.2 .Aparato fonador del ser humano. El tracto vocal comprende desde las cuerdas vocales hasta los labios. Las cavidades nasales y laríngea-glótis-, también son parte del aparato que contribuyen a la determinación de las características del timbre de la voz. Imagen tomada de <http://gentenatural.com/medicina/sintomas/imagen/fonacion.jpg>

El aparato fonador o instrumento orgánico que produce la voz es muy complejo e incluye los pulmones, la laringe, la faringe, la nariz y la boca, Figura 4.2. Los pulmones producen un exceso o un descenso de presión que da lugar, como consecuencia, a una corriente de aire en dos sentidos posibles, según sea el caso de expiración o inspiración,. Esta corriente de aire pasa por la *glotis*, el espacio en la base de la *laringe* entre las cuerdas vocales. Los extremos en la parte frontal – vista de frente a una persona- de las cuerdas vocales están sujetos al cartilago *tiroides* (manzana de Adán) y los extremos posteriores

a dos cartílagos pequeños movibles, los *aritenoides*, Figura 4.3.

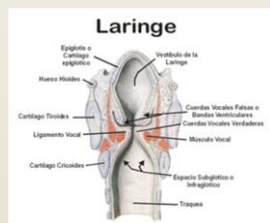


Figura 4.3

Diagrama de corte de la garganta que muestra la colocación de las cuerdas vocales y cartílagos asociados. Tomada de: http://orlcba.com/images/garganta/laring_e_corte_animacion_700px.jpg

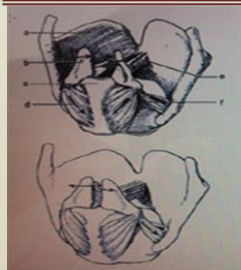


Figura 4.4 Superior: Separación de las cuerdas por acción de los músculos (d) – *cricoaritenideo posterior*- los *aritenoides* rotan sobre su eje. Inferior: Las cuerdas se cierran con el músculo *cricoaritenideo lateral* (f). Figura tomada de Torres, B. y Gimeno, F. (*Anatomía de la voz*, 2008).

Estas cuerdas, por cierto, tienen además la función de proteger a los pulmones del paso de partículas que pudieran estar en la corriente de aire al inspirar.

La laringe, que es el lugar donde se asienta la producción del sonido como voz, tiene como función principal la protección de las vías respiratorias, además de intervenir en la deglución y en la fonación³ (Torres y Gimeno, 2008).

La *laringe* tiene la forma de un tubo que encaja dentro de la *faringe* una cavidad más amplia que va de la boca al esófago. El techo de la faringe es el *velum* o velo del paladar, que a su vez es la entrada a la *cavidad nasal*⁴.

Está situada, Figura 4.3, arriba de la tráquea y en su prolongación se encuentra el cartílago *cricoides*, que tiene el aspecto de un anillo cuya montadura está hacia atrás. Posee la forma de un libro abierto hacia atrás, Figura 4.4. Gracias a sus caras articuladas y a los músculos que los regulan, los *aritenoides* pueden efectuar movimientos de

³ Justo arriba de las cuerdas vocales se encuentran las cuerdas vocales “falsas”, que entran en acción cuando alguien sostiene la respiración con los pulmones llenos de aire.

⁴ Cuando el velo está arriba (en todas las vocales excepto las nasalizadas), el paso a la nariz está cerrado y el aire se mueve a través de la boca.

rotación, que tienen por efecto acercar o alejar las cuerdas vocales entre sí, ensancharlas o adelgazarlas, y aumentar o disminuir su tensión.

Existe una musculatura extensa llamada *extrínseca*, constituida por músculos



<http://www.ims.uni-stuttgart.de/institut/arbeitsgruppen/phonetik/EGG/page10.htm>

En este lugar se pueden oír y ver las voces y la tensión y el ajuste de la forma que las cuerdas vocales adoptan con cada tipo de voz.

suspensores de la laringe, que tienen la función de mantenerla en su lugar, asegurando al mismo tiempo una movilidad suficiente, para permitirle efectuar desplazamientos verticales en el curso de la respiración, la fonación y la deglución.

El mecanismo de la respiración consiste en que, durante la respiración en reposo, un mensaje es enviado por el cerebro para que el músculo más importante en la respiración, el diafragma (músculo en forma de paracaídas que separa a los pulmones y corazón de los demás órganos internos), se

contraiga, **Figura 4.5**. Esta contracción hace que el diafragma vaya hacia abajo comprimiendo los órganos internos, dilatando simultáneamente los lados en los que está inmerso

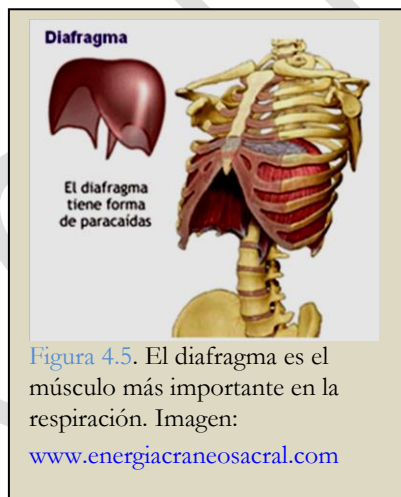


Figura 4.5. El diafragma es el músculo más importante en la respiración. Imagen:

www.energiacraneosacral.com

Esto hace que la caja torácica se expanda aumentando su volumen, lo cual reduce la presión en el interior de los pulmones por debajo de la presión atmosférica, creando un vacío relativo en los pulmones. En consecuencia, el aire fluye hacia adentro de los pulmones, llenándolos de aire pasivamente. Durante la expiración, la contracción del diafragma se libera y el aire entonces fluye hacia el exterior de los pulmones, y así el ciclo se repite. Este es un mecanismo de fuelle que da presión a una cavidad. Durante la respiración en reposo, se respira un volumen del orden

de medio litro de aire (en pulmones sanos), en tanto que durante el canto se necesita un volumen casi tres veces mayor. A este sistema de músculos y su control se le denomina el “soporte” del canto.

Al cantar, la respiración es consciente y se vuelve voluntaria, pues se requiere controlar con precisión el flujo de aire a los pulmones. Una parte muy importante en la educación de la técnica del canto consiste precisamente en el control de la respiración, para obtener un flujo constante y controlado. Los cantantes aprenden a vaciar los pulmones conservando su posición inhalatoria durante toda la fonación, gracias a la contracción simultánea de los músculos inspiradores (diafragma e intercostales externos de las costillas) y espiradores (músculo transversal del abdomen y músculos intercostales medios e internos de las costillas). Con la ayuda de estos músculos se puede modular la compresión periférica, a fin de obtener una regulación de la presión espiratoria muy fina.

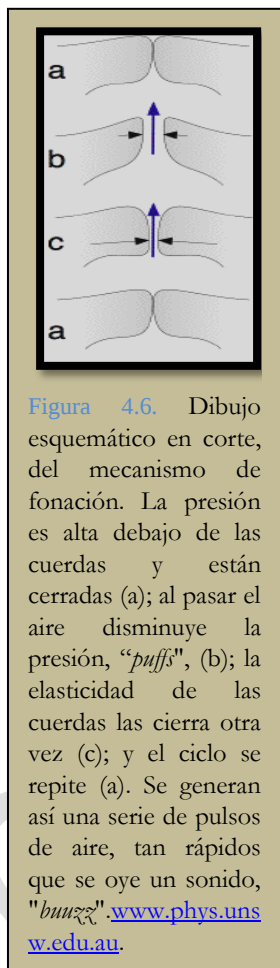
Esto permite regular no sólo la duración de la expiración, sino la intensidad, la estabilidad, y la justeza del tono; a lo anterior hay que añadir que un cantante, para perfeccionarse, necesita manejar con precisión muchísimos músculos, ¡alrededor de 196!, para la práctica profesional del canto de ópera (Scotto Di Carlo, 1991).

En los hombres las cuerdas vocales son más grandes, gruesas y pesadas (se nota por la prominencia de la manzana de Adán) que en las mujeres y, en general, los sonidos son más bajos en frecuencia, hasta por una octava. Las cuerdas o pliegues vocales son dos músculos parecidos a los labios, situados en la parte superior de la tráquea, con un grosor relativamente grande, de tal manera que las partes superior e inferior de las cuerdas no se mueven simultáneamente.

El aire al pasar a través de las cuerdas vocales produce pulsos de aire al abrirse y cerrarse periódicamente éstas debido al efecto Bernoulli⁵. Estos

⁵ El suizo D. Bernoulli (1738) estableció que: en un fluido ideal (sin compresibilidad y viscosidad) que fluye, un aumento en la velocidad se traduce en un decremento de la presión y a la inversa. La energía mecánica total (cinética, gravitacional, potencial por la altura o elevación, y de la presión) permanece constante (principio de conservación de la energía). Por ejemplo, cuando el aire fluye entre las cuerdas su velocidad es mayor, la

pulsos de aire ocurren a un ritmo determinado por la rapidez con que vibren las cuerdas: Más rápidamente en las notas agudas –por estar más tensas– y más lentamente en los tonos graves –por estar menos tensas–. Estos pulsos



de aire son el origen del sonido del habla o del canto, y funcionan de manera similar a la boquilla de un oboe, en que las cañas se cierran y abren periódicamente. Al proceso de convertir la presión del aire en vibraciones audibles o sonido se le llama *fonación*. La presión del aire de los pulmones controla la apertura de las cuerdas y el efecto Bernoulli su oclusión.

El término “cuerdas vocales” no es el más adecuado pues están lejos de ser cuerdas, deberían denominarse más bien “pliegues vocales” pero, por otro lado, los pliegues vocales se comportan de manera similar a una cuerda de instrumento musical, pues el tono emitido depende de la masa, la tensión y la longitud de los pliegues.

Conforme la parte superior de las cuerdas se abre (*abducción*), la parte inferior está en proceso de cerrarse (*aducción*), y en cuanto la parte superior se cierra empieza a subir otra vez la presión (a este proceso se le conoce como la *teoría aerodinámica mioelástica* de la fonación).

Cada ciclo de vibración permite que salga un “puff” de aire, y el tren de ciclos que ocurre en un segundo, ocurre a la frecuencia del sonido audible, una especie de “bunzzzz”. Las cuerdas vocales vibran de manera compleja, pero el “bunzzzz”, rico en

presión menor y las cuerdas se cierran, pero cuando se cierran deja de fluir y la presión aumenta hasta que este aumento abre las cuerdas, y así sucesivamente.

armónicos, es producto de la serie de sonidos como “*puffs*”⁶, [Figura 4.6](#). La altura del tono emitido está dada por la tensión de las cuerdas vocales; mientras más tensas estén, más agudo será el sonido emitido. Esto lo notamos, los que no tenemos habilidades para el canto, por el esfuerzo que tenemos que hacer al intentar cantar notas agudas y que estén afinadas.

Estas cuerdas –músculos de grosor variable a voluntad– se pueden simular muy burdamente con un globo inflado: si se sujeta al globo por la boca y se estira ésta, el aire saldrá y a su paso excitará los “labios” formados por la constricción; mientras más se estira, más se adelgazan y tensan los labios y más agudo será el sonido; si se afloja, el tono baja. Obviamente, esto tiene sus limitaciones, pues al estirla se alargan y para notas muy agudas se requiere acortarla. Este control es el que llevan a cabo los músculos intrínsecos, con las configuraciones musculares apropiadas. Durante la respiración están libres y abiertas para permitir libremente el paso del aire. Los tipos de fonación se producen por las variadas formas en que las cuerdas vocales se manipulan por los músculos de la laringe. Si se pudiera oír el sonido justo a la salida de las cuerdas vocales (sonido laríngeo), el único elemento que se percibiría en el sonido, un sonido como “*buuzz*”, es la entonación o melodía de la frase, es la voz en estado bruto y se modifica al pasar por las diferentes cavidades - *resonadores*⁷- arriba de las cuerdas vocales: faríngea, bucal, nasal y labial, para convertirse mediante la articulación y el manejo de la lengua, presionando, obstruccionando, y movimientos diversos, en la palabra hablada.

El espectro de frecuencias de los pulsos periódicos es un espectro armónico formado de muchas frecuencias, [Figura 4.7, inferior](#); en esta figura

⁶ Vale la pena recordar que una serie de pulsos de sonido cuando suceden uno tras otro a gran velocidad se traducen al oírlo en un tono continuo, rico en armónicos, es el principio de funcionamiento de las antiguas sirenas con un disco giratorio perforado, sobre un tubo del que sale aire a presión, este flujo se vuelve intermitente al pasar cada perforación enfrente de la apertura, a velocidades relativamente bajas y se oye entonces un “*puff*”. Al aumentar la velocidad de giro se empieza a oír un tono.

⁷La resonancia es una propiedad física de un objeto o cavidad. Todos los objetos físicos resuenan, es decir, vibran por la excitación debida a una fuerza externa aplicada al objeto, la cual puede ser producida por un golpe, un frotamiento, un soplo, etc. El sonido puede ser generado por la resonancia de un objeto, pero la resonancia no es el sonido. Un objeto tiene un patrón característico de resonancia esté o no produciendo sonido.

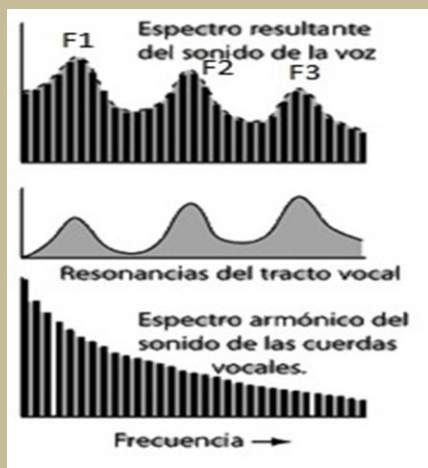


Figura 4.7. El funcionamiento del tracto vocal como un filtro, que actúa sobre las frecuencias que contiene inicialmente el zumbido de las cuerdas vocales, resaltando las formantes F1, F2, F3, dadas por la longitud y cavidades del tracto vocal. De abajo hacia arriba: El espectro original del “buzz” de las cuerdas vocales. En el centro, las resonancias del tracto vocal, con las formantes (los tres picos anchos que muestra, que son muy amortiguados). En la parte superior, el espectro del sonido resultante, en este caso la voz de una vocal. Hyperphysics.phy-astr.gsu.edu

corresponden a las rayas verticales, que son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental. El tracto vocal amplifica ciertas frecuencias, dejando otras más atenuadas. Se puede ver esto en términos visuales con los espectros correspondientes mostrados en la Fig. 4.7, *central*.

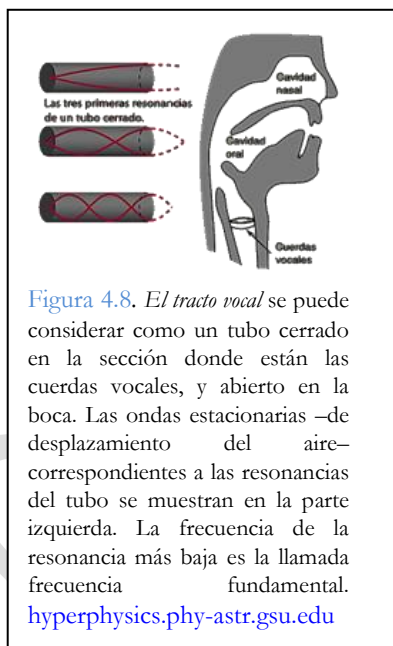
Esta es la voz en estado bruto y se modifica al pasar por las diferentes cavidades - *resonadores*⁸- arriba de las cuerdas vocales: faríngea, bucal, nasal y labial, para convertirse mediante la articulación y el manejo de la lengua, presionando, obstruccionando, y movimientos diversos, en la palabra hablada.

El espectro de frecuencias de los pulsos periódicos es un espectro armónico formado de muchas frecuencias, Fig. 4.7, *inferior*; en esta figura corresponden a las rayas verticales, que son múltiplos enteros de la frecuencia

⁸La resonancia es una propiedad física de un objeto o cavidad. Todos los objetos físicos resuenan, es decir, vibran por la excitación debida a una fuerza externa aplicada al objeto, la cual puede ser producida por un golpe, un frotamiento, un soplo, etc. El sonido puede ser generado por la resonancia de un objeto, pero la resonancia no es el sonido. Un objeto tiene un patrón característico de resonancia esté o no produciendo sonido.

fundamental. El tracto vocal amplifica ciertas frecuencias, dejando otras más atenuadas. Se puede ver esto en términos visuales con los espectros correspondientes mostrados en la Fig. 4.7, *central*. A las zonas -con las rayas verticales en forma de montañas- más altas, en el espectro resultante del sonido de la voz, se les llama formantes, marcadas por F1, F2, F3, Fig. 4.7, *superior*, pero puede haber otras.

En un sonido particular, las frecuencias formantes (la frecuencia justo en el pico de las montañas) y las frecuencias cercanas a ella, dependen del tamaño y forma del tracto vocal *en el momento* en que se genera el sonido. Aunque hay varias formantes en un tono dado, las tres formantes más bajas (entre 2000 Hz y 3,500 Hz) son las que más influyen en el sonido percibido. El concepto de formante varía según el área de investigación que las estudie, pero la más aceptada en el campo de la acústica es el ya mencionado (Benade, 1976).

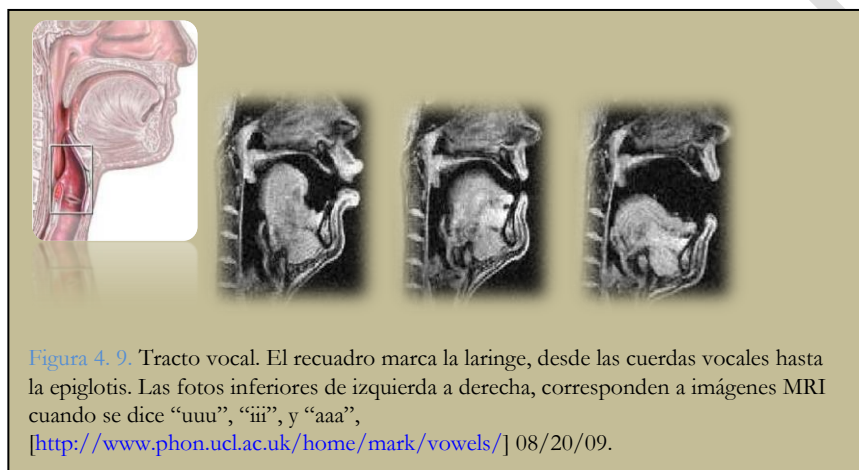


El tracto vocal está constituido por el ducto que va de las cuerdas vocales hasta los labios. Las llamadas cavidades supraglóticas -debajo de la glotis- son la faringe, la cavidad oral y la boca. La forma de este ducto y su sección transversal (lo que se vería si se cortara transversalmente) es variable en extremo, pues está controlada por la posición de la lengua, los labios, la apertura de la quijada, el paladar blando y la rigidez de la garganta.

Este canal mide aproximadamente entre 14 cm en las mujeres adultas y 17.5 cm en los hombres adultos. En términos acústicos se puede considerar a *grosso*

modo como un tubo cerrado por un extremo (donde están las cuerdas vocales o glotis). Si se considera en promedio una longitud de 15.5 cm, la acústica

predice⁹ que tendría resonancias a alrededor de 550 Hz, 1 650 Hz, 2 750 Hz (múltiplos enteros impares), etc.; sin importar cuál sea su forma, las frecuencias de las resonancias estarán cerca de estas frecuencias.



Como en general, la frecuencia de resonancia está muy cerca del máximo en la envolvente del espectro del sonido emitido por el tracto vocal, resulta que frecuentemente se usan resonancia y frecuencia de la formante como sinónimos, aunque ello no sea estrictamente correcto (Fant, 1960). Cada resonancia —o formante— está asociada a una onda estacionaria, que es un patrón estático de oscilaciones de desplazamientos del aire, cuya amplitud tiene su máximo (antinodo) en la zona de los labios, y su mínimo en la glotis, Figura 4.8. La formante más baja corresponde a un cuarto de longitud de onda del sonido emitido, lo que quiere decir que un cuarto de la longitud de onda del sonido en resonancia cabe exactamente en el tracto vocal.

Se puede observar que entonces el tracto vocal actúa en cierta forma como el tubo de un oboe, o de una trompeta —en donde los labios o la boquilla funcionan como las cuerdas vocales que se abren y se cierran periódicamente—

⁹ La frecuencia de resonancia más baja (llamada fundamental) o la frecuencia natural que tendría un tubo cuando se le sopla por un extremo —como se sopla en una botella para que suene— es aproximadamente igual a la *velocidad del sonido* ÷ *4 veces la longitud del tubo*. Para este caso: $340 / (4 \times 0,155) = 548,4 \text{ Hz} \approx 550 \text{ Hz}$. Los armónicos impares serían: $550 \times 3 = 1650 \text{ Hz}$, $550 \times 5 = 2750 \text{ Hz}$, etc.

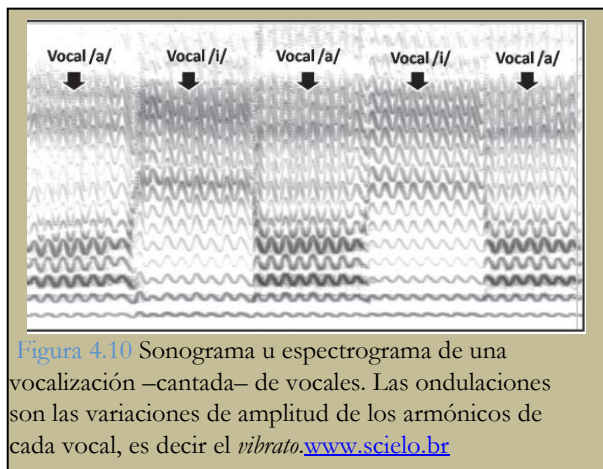


Figura 4.10 Sonograma u espectrograma de una vocalización –cantada– de vocales. Las ondulaciones son las variaciones de amplitud de los armónicos de cada vocal, es decir el *vibrato*. www.scielo.br



Ejemplos del registro de silbido, flauta o “Flageolet”, que se observa en algunas canciones de Minie Riperton o Mariah Carey.

que vibra en concordancia con las cuerdas y determina cuáles frecuencias serán radiadas más eficientemente al aire.

La laringe la faringe y la boca constituyen pues, el tracto vocal, que desde el punto de vista acústico es una cámara resonante como el tubo de una

trompeta o el cuerpo de una guitarra. La forma y la longitud de este resonador son variables; y la forma es controlada por los labios, la quijada y la lengua que dilatan o constriñen al tracto vocal en ciertas partes, o que al hacer protuberantes los labios o bajar o subir la laringe aumentan o disminuyen la longitud, Figura 4.9 del tracto vocal, (Fant, 1960). Las *formantes* o zonas de resonancia del tracto vocal varían con relación a sus frecuencias en función de la vocal que se pronuncia. Es decir, cada vocal tiene varias formantes características, en el sentido de que las frecuencias asociadas son similares para las mujeres y para los hombres para una vocal dada. Cada vocal posee formantes en zonas de frecuencia distintas.

Así, por ejemplo, la vocal “a” tiene una formante a alrededor de 570 Hz y una segunda formante a alrededor de 1 100 Hz; para los hombres son un poco mayores y para las mujeres un poco menores. Para la vocal “u”, las

formantes ocurren a alrededor de 340 y 910 Hz; para la “i” se presentan a alrededor de 290 y 2 340 Hz.

La calidad del tono cantado depende de varios factores, pero se pueden agrupar a *grosso modo* en tres de ellos:

- 1) el vibrato,
- 2) la acción de las cuerdas vocales, y
- 3) la configuración de los resonadores.

El *vibrato*¹⁰ le añade “vida” y “calidez” al tono de la mayoría de las voces, por lo que si éstas no poseen un vibrato se oyen “planas” y sin cuerpo o muy “de garganta”, [Figura 4.10](#). El hecho de que la frecuencia fundamental varíe alrededor de una frecuencia central —que es lo que hace el vibrato— produce un espectro de frecuencias más rico que si sólo hubiera una frecuencia fija; este espectro, variable en el tiempo, al subir y bajar el tono, produce un espectro amplio y cambiante que percibimos como calidez. <http://aune.lpl-aix.fr/lpl/personnel/scotto/scottopub.htm>

Sitio donde se puede observar un video sobre las vibraciones de las cuerdas vocales.



<https://www.youtube.com/watch?v=v9Wdf-RwLcs>

Además de las variaciones de la calidad del tono dado por las cuerdas y el vibrato, existe la variación casi infinita brindada por la flexibilidad y el control que se tiene con respecto al tamaño y la forma del tracto vocal, lo cual da lugar a otras variaciones —además de la frecuencia o el tono— en el timbre o color de la voz, que los grandes cantantes pueden controlar. Las dimensiones y particularidades específicas del tracto vocal, “moldean” el sonido y le dan el timbre característico que cada persona manifiesta al hablar o cantar; así, oímos vocales (como la “a” o “u”) o tonos (un “do” o un “mi”) con el timbre característico de la persona que habla o canta, sin que al emitirlos haya requerido ningún esfuerzo físico consciente. En la siguiente dirección se muestra un video de cómo vibran las cuerdas durante el canto de una mujer

¹⁰ En la voz humana, cuando se emplea bien, hay un efecto involuntario (que aumenta con la emoción del pasaje musical) llamado *vibrato*. Es una variación periódica, de alrededor de 6 a 7 veces por segundo y constante del tono que involucra la frecuencia, la amplitud y la forma de vibración. Es decir, estos tres atributos del tono recorren en el tiempo un ciclo de variación de seis a siete veces por segundo. Sin embargo, este vibrato cuando está bien controlado no lo percibimos notoriamente, sino que oímos el tono más “vivo” y “rico”. Esto, probablemente, se debe a que estas variaciones producen que se modifique el espectro del tono, aun cuando únicamente oigamos el tono central (Bartholomew, 1942).

http://www.voicedoctor.net/media/video/normal/female/female_singing.mp3: El hecho de que las “cuerdas vocales” sean las que determinan la frecuencia del tono, explica la voz de *falsetto* o *falsete*, que corresponde a una vibración del borde superior de las cuerdas vocales (Högset, J. S. C., 2001). Las cuerdas vocales se adelgazan en la zona central, y sólo los bordes de las cuerdas en la parte superior vibran, las cuerdas no están totalmente cerradas sino que existe una pequeña apertura por la cual sale un poco de la corriente de aire. Esto lo usaban los contratenores para cantar en un tono muy alto, antes de que las mujeres cantasen en los coros.

Actualmente se usa el falsete en diversas manifestaciones musicales en diferentes culturas o música folklórica y popular, el ejemplo más sobresaliente son los sones huastecos y jarochos y, sobre todo, en el huapango¹¹, de la zona Huasteca de México, uno de los géneros típicos o tradicionales más vivos del mundo, [Figura 4.11](#). El nombre *Huapango*, dice una versión, proviene de los *huastecas del Pango*-o río Pánuco-, o de *cuaubpanco*, sobre la tarima (donde se baila y zapatea al ritmo del son), y sus orígenes se remontan al siglo XVII. También se relaciona con la fiesta *fundango* donde participan jóvenes, adultos y niños, y también al *son* (compás ternario en ritmo de 6/8) que se interpreta con jarana o guitarra (huapanguera), que acompaña al violín, instrumento principal, acompañando al canto y a la poesía de los trovadores, rimas “tomadas al viento”, que muchas veces se expresan durante retos de improvisación, entre los músicos del mismo conjunto, entre dos troveros o de otro trovero más.

¹¹ Hay tres tipos: típico, nortño y con mariachi, en este último el falsete es muy largo, hubo cantantes populares famosos por su falsete y aun con un registro más alto llamado de flauta, por ejemplo, Miguel. Aceves Mejía.



Figura 4.11. Tipo de vegetación, los músicos, danzantes y trajes típicos de la región de las huastecas. lagazeta.org



Huapangos típicos de la huasteca, con el Trio Chicamole, en el Canal Once, con Cristina Pacheco.

https://www.youtube.com/watch?v=w_i8sPw0g8E



murmullo, algo así como la *chirimía* (un oboe primitivo)— y que alcanza hasta 2 500 Hz en las mujeres, producto de la turbulencia del aire en las orillas de las cuerdas vocales, que sólo dejan un pequeño hueco por donde pasa el aire, a

Otra característica esencial del huapango es el falsete: en un estribillo corto y agudo ya sea para ligar un verso con el siguiente o para adornar la ejecución del canto. Hay tres tipos: típico, norteno y con mariachi, en este último el falsete es muy largo. Existen aún hoy festivales en diferentes estados de la región huasteca de México, que se realizan periódicamente en donde se baila y toca el son huasteco y el huapango, como el de Amatlán-Naranjos en el estado de Veracruz, mostrado en la Figura. 4.11.

También se utiliza el falsete en el canto del Tirol en Austria, en la música “soul” y últimamente en el “heavy metal”. Conforme las cuerdas vocales vibran en el falsete, nunca se cierran totalmente como en el canto normal. Esto provoca que haya menos variación entre las presiones altas y bajas que en el canto normal, por lo que el sonido es más suave y pobre de timbre, con menos armónicos. Existe aún un registro agudo más alto que el falsete, llamado “Flageolet” o de silbido o flauta como los de los órganos de iglesia —un sonido suave y como de

esta forma de generar el sonido no se le considera como un modo de vibración de las cuerdas.

VOCES DEL PASADO

Estas enormes capacidades de la voz se reflejan en la gran variedad de tipos de canto que existe en las diferentes culturas del mundo, algunas mucho muy antiguas. Algunos cantos son muy especializados, como es el caso del canto operático, que es una de las manifestaciones más especializadas donde está presente toda la potencia y belleza de la voz humana. Tiene en Europa una larga historia y requiere de una técnica que toma largos años de aprendizaje; se puede decir que el arte del canto operático u operístico es una de las más complejas artes escénicas¹². Pero también existen otras técnicas –usadas en muchas culturas desde cientos de años atrás– en que funcionan individualmente o en conjuntos corales, en que un grupo de personas cantan diferentes tonos creando armonías complejas o, incluso, también cantos en que un solo individuo produce varios tonos al mismo tiempo.

Algunos de los más famosos en este sentido son los cantantes de la región de Tyva, en el sur de Siberia, una república autónoma de Rusia, en su frontera con Mongolia. También se canta de manera similar en otras regiones de Asia, como Turquía, Tíbet, Uzbekistán, Pakistán y Kazakstán. Este tipo de canto se ejecuta de tal manera, que se oye un bordón –un tono bajo en el mismo tono que se oye continuamente durante una pieza musical– y uno o dos armónicos de éste, y se conoce como canto armónico.

¹² La práctica y la enseñanza del canto operático, están llenas de controversias, pues los ideales musicales y tonales varían. Las técnicas parecen ser muchas. Aparentemente, mucha de esta diversidad de opiniones y prácticas surgen de los intentos de asociar la experiencia personal, las demandas culturales y los fines estéticos con las funciones instrumentales de la voz. Además de la técnica en sí, el interés de un cantante o profesor se enfoca en la musicalidad, el estilo y la interpretación, el desarrollo de su carrera y la preparación, la función vocal eficiente y, además, en la conservación de la salud del aparato vocal (Miller, 1996).



En este sitio se puede oír y observar a un grupo de ejecutantes del estilo de canto armónico de Tyva, Huun Huur Tu, grabado en California, USA. Este grupo se ha incorporado a la cultura musical de occidente y realizan fusiones de rock, jazz, clásico, etc.
<https://www.youtube.com/watch?v=i0djHJBAP3U>

Este canto se inspira, en última instancia, en el ambiente sonoro de esta región geográfica rusa. Una de las impresiones que más se tiene en esta región, según se dice, es el silencio y el sonido de los insectos, el correr del agua, el canto de los pájaros, el rumor del viento. Esta polifonía natural inspira, dicen Levin y Edgerton (Levin y Edgerton, 1999, p. 80), “una forma de música que se entremezcla con el murmullo de estos ambientes. Rodeada de montañas, lejos de rutas de comercio y avasalladoramente rural, Tyva es como una “Garganta de Olduvai”¹³, una memoria de un mundo proto-musical, donde los sonidos naturales y generados por el humano se mezclan”¹⁴. La música, en general, trata de imitar o representar sonidos de la naturaleza, con los instrumentos y con la voz; así, el *igil* es un instrumento como violín de dos cuerdas, hecho de pelo y tripa de caballo, que se emplea en gran parte para recrear la voz del caballo¹⁵. Un ejemplo de la manera en que este pueblo representa e interacciona con su ambiente sonoro es esta técnica de canto.

Un solo cantante produce al mismo tiempo dos tonos distintos simultáneamente, por ejemplo, un tono fundamental bajo, similar al producido por una gaita, y el otro, un tono similar al de una flauta formado por armónicos que resuenan y se oyen arriba del bordón —un sonido continuo de baja frecuencia—, y que pueden sonar como el

¹³ Zona de Tanzania, donde se ha encontrado la mayor cantidad de fósiles de *Homo habilis*, de hasta 1.8 millones de años de antigüedad.

¹⁴ Esto recuerda la descripción del ambiente sonoro en algunos poemas del poeta mexicano José Manuel Othón.

¹⁵ La música de Tyva, está ligada a la creencia de que los objetos y fenómenos naturales tienen alma o son habitadas por espíritus, y que la espiritualidad de montañas y ríos se manifiesta también por los sonidos que producen —viento y agua— (por ejemplo, los ecos llevan ya una componente espiritual, al rebotar con las piedras de la montaña) o por la interacción humana.



<http://serial5.ru/watch/nTDECtusAjk/the-bulgarian-national-radio-childrens-choir-the-mountain-has-overturned.html>

En este sitio se puede ver y oír al coro de niñas de La Radio Nacional de Bulgaria, y otros coros.

silbido de un pájaro, el correr de un riachuelo o el ritmo de la andadura de un caballo. En el lenguaje original se designa como “*kumi*”, palabra mongol para garganta, en inglés corresponde a “canto de garganta”, y también y quizás más correctamente, canto armónico. En el canto y lenguaje natural normales, lo que más se oye es la fundamental del tono y los armónicos que se perciben como parte del timbre, no separados. En el canto de Tyva (estilo llamado *Sygyt*), un armónico obtiene una amplitud tal que se distingue como un tono separado tipo flauta o gaita. Y se oye como etéreo o incorpóreo, por lo que los que lo oyen no saben si está resonando en la garganta del cantante, en el espacio alrededor, o en la mente del escucha.

Se sabe, sin embargo, que sí tienen realidad física en la garganta del cantante, aunque el mecanismo de generación no esté cabalmente explicado.

Sumado a lo anterior, a veces pueden cantar la fundamental en un tono extremadamente bajo, utilizando las llamadas cuerdas vocales falsas –que están como a un cm de las cuerdas vocales reales– y que también son capaces de cerrar el paso del aire. Este sonido de baja frecuencia se parece al que generan los monjes tibetanos y por eso se le llama “modo de canto”, casi siempre una octava debajo de la producida por las cuerdas vocales reales. Como las cuerdas vocales falsas están arriba, cuando se cierran y abren acortan el tubo vocal en un cm y las frecuencias de los armónicos suben en frecuencia. En general, en los cantos de este pueblo se utilizan escalas pentatónicas –de cinco tonos–. Como se observa, el proceso total es muy complicado, pero se puede tener una idea más completa viendo el artículo de Levin y Edgerton citado anteriormente. Hay hasta siete estilos de canto armónico conocidos (ver: <https://www.youtube.com/watch?v=P92LaLadnkM>).

En resumen, si el sonido gutural en un tono dado genera de manera natural la fundamental y muchos armónicos, se dice que es un tono complejo. Con la manipulación cuidadosa y sutil de las cavidades resonantes (boca, laringe

faringe) y la lengua, se “entona” o se filtra alguno de los armónicos de ese tono complejo. Este armónico filtrado es lo que oímos, en el sitio. https://www.youtube.com/watch?annotation_id=annotation_645939&feature=iv&src_vid=0M3YFK3sJ54&v=rg_HAPEhIAI, en que se puede observar y oír a una cantante de tyva.



Anna-Maria Hefele, intérprete alemana de piano, arpa, y otros instrumentos, se convirtió en una profesional de este tipo de canto (básicamente estilo Sygyt) y lo ha adaptado para tocar melodías clásicas y populares o folklóricas (a veces acompañada ella misma con el arpa o algún otro instrumento), con los armónicos y las fundamentales como acompañamiento y demuestra un control absoluto de esta técnica de canto, [Figura 4.12](https://www.youtube.com/watch?v=UHTF1-IhuC0). Se puede ver un video en el cual explica las diferentes técnicas que utiliza, en el sitio,

<https://www.youtube.com/watch?v=UHTF1-IhuC0>.



Figura 4.12 Anna Maria Hefele, ejecutante de canto armónico Sygyt.

Otro tipo de canto muy famoso es el de las mujeres de Bulgaria. En la música de Bulgaria los cantantes son predominantemente mujeres y los instrumentalistas predominantemente hombres. Varían por regiones etnográficas, básicamente siete, a través de Bulgaria, pero

con características comunes, las cuales se reúnen en dos cualidades vocales diferentes que les dan un timbre característico, el *teshka* (que significa pesado) y el *leka* (que significa ligero). El *teshka* es más sonoro –intenso–, y se emplea más en canciones lentas y tristes. El *leka* es más suave y lírico, más cercano al canto llamado de "registro de cabeza", y de timbre similar al del canto europeo occidental más conocido. En ambos estilos, la cantante entona la primera resonancia del tracto vocal muy cerca del segundo armónico de la voz para la mayoría de las vocales; lo anterior hace que la potencia de salida de este segundo armónico aumente considerablemente. Y esto contribuye al segundo armónico muy fuerte que es característico del timbre del estilo búlgaro (Henrich, *et al.*, 2007).

Existen otros tipos de cantos, quizás menos conocidos, como los de Georgia y de Japón (éste llamado *nagauta*). En Japón se analizaron cinco tipos de canto (*bel canto*, Nagauta de Japón, Kumei de Mongolia, y de Bulgaria y Georgia), mediante un estudio de sus componentes espectrales, con técnicas especializadas para poder observar cambios en tiempos ultracortos del orden

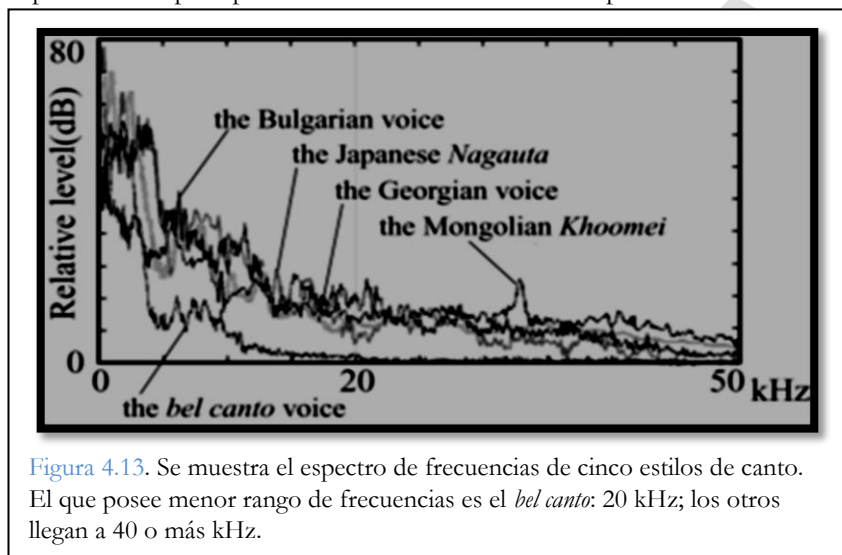


Figura 4.13. Se muestra el espectro de frecuencias de cinco estilos de canto. El que posee menor rango de frecuencias es el *bel canto*: 20 kHz; los otros llegan a 40 o más kHz.

de ms (Morimoto *et al.*, 2004). Uno de los resultados más interesantes fue que el análisis espectral demostró que el límite superior del espectro de frecuencias del *bel canto* está confinado a menos de 20 kHz, en tanto que todas las voces de los otros cantos tradicionales ¡exceden los 50 kHz!; también mostró que el *bel canto* muestra la fluctuación dentro de una sola nota —correspondiente al vibrato— mientras que los otros estilos muestran una fluctuación no periódica y compleja, Figura 4.13.

POR QUÉ LAS SOPRANOS SOBRESALEN SOBRE LA ORQUESTA

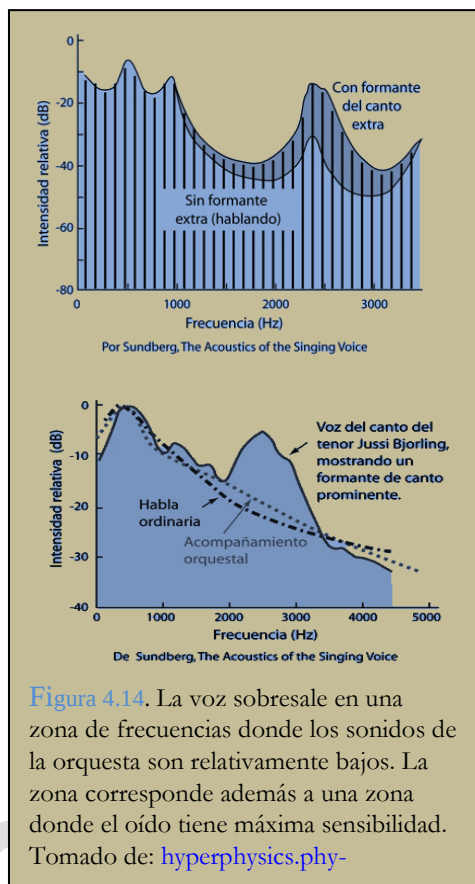


Figura 4.14. La voz sobresale en una zona de frecuencias donde los sonidos de la orquesta son relativamente bajos. La zona corresponde además a una zona donde el oído tiene máxima sensibilidad. Tomado de: [El primer estudio científico sobre la respuesta a esta interrogante \(Bartholomew, 1934\), estableció que en una buena voz masculina, hay una “*formante baja*” entre los 400 Hz y 600 Hz, originada por la resonancia de una laringe posterior grande y que el cantante trata de mantener cuando canta las vocales. En voces no tan buenas que suenan “engargantadas”, se ubica más arriba, a alrededor de 1 000 Hz a 1 200 Hz, debido a una garganta posterior más pequeña. La “colocación” de la voz se logra cuando al cantar se piensa que el tono está en la cabeza, fosas nasales cerca de los labios o en alguna posición frontal. Estas son, más que nada, ilusiones psicológicas que ayudan a ensanchar la garganta donde, por supuesto, tiene lugar la resonancia. La voz únicamente se produce en la laringe, y la](http://hyperphysics.phy-</p></div><div data-bbox=)

resonancia ocurre en el tracto vocal, desde inmediatamente arriba de las cuerdas vocales hasta los labios. El estudio mencionado también fue el primero que describió la llamada formante del canto o “*formante alta*”; estableció que las buenas voces masculinas muestran una gran cantidad de energía en una región localizada entre aproximadamente 2 400 y 3 200 ciclos, centrándose a alrededor de 2 800 ciclos, Figura 4.14. Muchas voces femeninas también tienen esa zona de resonancias, pero en una zona más alta de frecuencias. A esto lo denominó el “*ring*” ó “*shine*” (resplandor) de la voz o

la formante alta, y se presenta cuando la voz *se oye mejor*, y está bien “*colocada*” o “*impostada*”, pues tiene un tono fuerte, “lleno” o “pleno” y “redondo”. Además, cuando esto ocurre se canta sin mucho esfuerzo, pues de forma natural se utiliza la *resonancia* de una de las cavidades del tracto vocal. También estableció que mientras mejor sea la voz o más intenso el tono cantado, más prominente será esa formante, sin importar el tipo de voz, la vocal cantada o la frecuencia fundamental del tono.

Finalmente (Sundburg *et al.*, 1977), le dio prominencia al mecanismo de las formantes en un artículo muy conocido sobre la acústica del canto. Estos investigadores encontraron que los cantantes de ópera poseen un mecanismo que resulta en que la voz emitida tiene un espectro diferente al del lenguaje. La distribución de la energía (promediada en el tiempo) es muy similar para el lenguaje y la música orquestal, pero para la voz cantada esta distribución tiene otra zona donde se realzan las frecuencias. En esta zona, el sonido de la orquesta tiene un espectro de frecuencias que sube de 20 Hz hasta aproximadamente 500 Hz y de ahí empieza a descender. Pero la voz tiene esa prominencia que señaló Bartholomew, y que se ubica justamente en la zona donde el oído es más sensible (entre 2 400 y 3 500 Hz). Esto ayuda a que el cantante se oiga “por arriba” de la orquesta. Bartholomew, como se dijo, le llamó la *formante alta* y Sundberg la *formante del canto*, que es como se conoce actualmente.

La *formante del canto* se caracteriza pues, por el refuerzo de los armónicos entre 2 400 y 3 500 Hz, justo donde la sensibilidad del oído es máxima. Esta formante, debida al parecer a la resonancia de la parte más baja del tubo faríngeo —*tubo epilaríngeo*—, justo arriba de las cuerdas vocales, determina lo que se conoce como la proyección de la voz, que ocurre cuando la voz está bien “colocada” o “impostada” (del italiano *l'imposto*, *impostazione de la voce*). Esto permite dominar a la orquesta, en el sentido de que se hace oír “por arriba” de ella sin esfuerzo y también emitir sonidos relativamente leves (*piano*) y, aun así, ser escuchados por el público (lo cual incluso se presenta con algunos instrumentos, como la trompeta).



Figura 4.15. María Callas (1923-1977), Fue la *prima donna* —término cada vez más en desuso por sus connotaciones peyorativas— de su tiempo, reconocida y elogiada por el color especial de su voz y amplia gama, su presencia dramática y su musicalidad. Una de las habilidades de María Callas fue que logró cantar papeles de ópera tanto de mezzosoprano como de soprano ligera.

CALLAS Y PAVAROTTI. ¿QUÉ LOS HIZO TAN FAMOSOS

¿Cómo podía María Callas (1923-1977) cantar papeles para *mezzosoprano* y para *soprano* aguda?, era un tema que surgía constantemente en las discusiones en los círculos de entendidos en su época, se cuestionaba si era una *mezzo* capaz de agudos excepcionales o una soprano con extrema facilidad para los graves. Así pues, su tesitura era lo que se denomina: *soprano dramática coloratura*, situada entre estas dos tesituras. Según se dice, era una proeza el hecho de que tuviera una extensión hacia los agudos de una quinta —por ejemplo, do/sol—, si hubiera sido una mezzosoprano, o de una quinta hacia los graves si hubiera sido una soprano ligera.

Según di Carlo Scotto (Di Carlo Scotto, 2007), la Callas poseía una potencia excepcional que mostró desde su debut y con una fuerza muscular poco común, que se conjuntaron en ella para generar las enormes presiones indispensables para

producir las altas intensidades de que era capaz.

Para esto, el cantante adosa otro resonador, el resonador labial, formado por la proyección de los labios hacia adelante; la apertura de los labios en estas condiciones sólo puede ser en la dirección vertical. Por el contrario, para la voz clara de una soprano aguda es necesario acortar el resonador, hacerlo más pequeño, cantando con la laringe un poco más arriba de su posición de reposo y retrayendo los labios hacia atrás, es decir, por una retracción de las comisuras de los labios; en este caso, la apertura de los labios será horizontal. Estos tipos de emisión son acompañados de una serie de mímicas fisiológicas

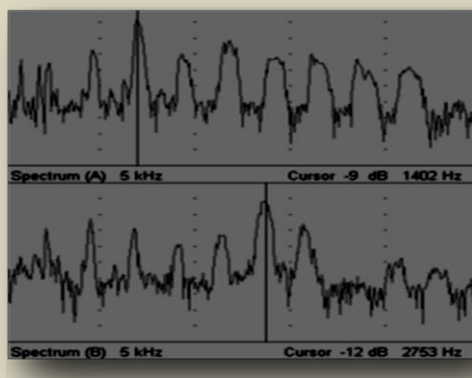


Figura 4.16 Espectro de potencia promedio de S₄-bemol nota final de "Celeste Aida", de varias grabaciones de L. Pavarotti (arriba) y Plácido Domingo (abajo). Cada punto en el eje vertical representa 10 decibeles. La frecuencia 0-5000Hz y nivel del armónico donde está el cursor, están dados por los números abajo de la gráfica.

Pavarotti produce el grueso de su sonido reforzando el tercer armónico, a 1400 Hz en la segunda formante de la vocal "o", esto lo logra deformando-elevando su frecuencia en cerca de 500 Hz- la segunda formante de la vocal¹⁶, ajustándola al tercer armónico. P. Domingo hace uso del 6to armónico en la formante del canto, a alrededor de 2800 Hz (la frecuencia fundamental es 466 Hz).

Schutte, H. K., Miller, D. G., & Duijnste, M. (2005). Resonance strategies revealed in recorded tenor high notes. *Folia phoniatrica et logopaedica*, 57(5-6), 292-307.

específicas para cada nota cantada, las cuales se pueden observar en los cantantes.

La Callas logró manejar con maestría la técnica de resonancia de la mezzosoprano y de la soprano lírica coloratura¹⁶, pudiendo pasar fácilmente de una voz grave sombría y pesada a una voz aguda más clara y ligera, con suavidad y continuidad excepcionales. Aunado a estas técnicas, la cantante utilizaba el efecto que tiene la mímica sobre la voz. Aunque es difícil cuantificar científicamente la psicología con relación al uso de la voz, se acepta que la emoción se libera a través de diferentes parámetros, tales como el tono de voz. Aún en una conversación telefónica, un

¹⁶ La mezzosoprano es la voz media en el canto operático en las mujeres, debajo de la soprano (que canta en el intervalo do₄-do₆), y arriba de la contralto. La soprano coloratura (Joan Sutherland, Edita Gruverova), tiene un rango mayor que la soprano (entre do₄ y fa₆) puede ser lírica (Anna Moffo, Lucia Popp) cuya voz es "ligera" o "sedosa" y puede cantar pasajes muy rápidos y altamente ornamentas, o puede ser dramática (Maria Callas, Birgitt Nilsson) en el rango de Si₃-do₆ y cuya voz es a veces un poco más sombría.

escucha no entrenado puede percibir cambios de ánimo revelados por variaciones de altura y ritmo en el lenguaje.

La mayor parte del tiempo estas variaciones se perciben a un nivel subconsciente; prácticamente cualquier persona puede detectar cuando un amigo o familiar no se siente bien o está en un estado de ánimo diferente, pues la voz refleja las tensiones de la garganta y sus diferentes expresiones musculares (a veces se dice la voz “se le cortó” o “se le quebró”). Cuando se siente una emoción, la mímica que la acompaña modifica el volumen y forma de la cavidad bucal y todo lo que se hable va a ser modificado por la emoción. Esta mímica se refleja en la configuración faríngeo-bucal y, en consecuencia, en las características acústicas del resonador, lo cual imprime signos en el sonido que el oyente decodifica, aún sin tener una imagen del cantante o teniendo una visión lejana del cantante, como podría suceder en un teatro al estar alejado del escenario o, por supuesto, en una grabación. Al observar a la Callas, u otras cantantes, en diferentes escenas de sus conciertos, [Figura 4.15](#), se percibe esa expresividad en el rostro, pues en prácticamente todas sus interpretaciones está presente una emotividad controlada¹⁷. María Callas aconsejaba en sus clases magistrales: “Antes de cantar una frase se debe preparar el rostro. Uno se concentra y prepara su rostro y sólo después se canta”.

Luciano Pavarotti (1935-2007) era una persona de talla extra grande, medía 1.90 m y pesaba 150 kg. Sin embargo, tenía una cavidad bucofaríngea muy pequeña, lo cual establece la poderosa intensidad de la emisión sonora que poseía; mientras más pequeña es la cavidad bucofaríngea más se amplifican los armónicos superiores (de frecuencia mayor) y más favorecen la claridad del timbre y la emisión de agudos; características que tenía el canto de Pavarotti, poseedor de un timbre característico, inmediatamente reconocible. Según di Carlo Scotto (Di Carlo S., 2008), el contraste entre la talla de sus

¹⁷The eternal Maria Callas” son una selección de filmaciones de apariciones en concierto o en escena (EMI Classics, 1 DVD). A pesar de lo antiguo de las grabaciones su voz se oye extraordinariamente bien. En YouTube <http://www.youtube.com/watch?v=nxBeqAfVaC0&feature=related>, se encuentran muchas grabaciones con muy mal sonido, casi todas, y pocos videos.

resonadores y la talla de sus fuelles (los pulmones) lo hacía un tenor híbrido, con cavidades de resonancia de un tenor lírico ligero (voz aguda y poco poderosa) y con la capacidad pulmonar de un tenor lírico-spinto, de voz más grave y amplia. Su capacidad pulmonar es lo que le permitía cantar como tenor lírico ligero, tenor lírico, y *lirico spinto*. Pavarotti se ganó el título de poseedor de los “do” altos; una característica que en ese caso debe tener un cantante, y Pavarotti lo tenía, ya que esas notas deben oírse, como sí se cantaran sin ningún esfuerzo y con potencia y belleza; para la audiencia, el riesgo, el esfuerzo y la posibilidad de que ocurra un error, latente todo el tiempo, es excitante; si no sucede, el público se congratula y el efecto es de mayor impacto.

Schutte, Miller & Duijnste (2005) se preguntan: ¿Se puede captar, con medidas objetivas acústicas (espectros, intensidades, etc.), la distintividad de las notas altas de Pavarotti, que lo diferencian de cualquier otro tenor?. Establecen una comparación, analizando los espectros de la nota final Si^b_4 , del aria *Celeste Aida*, de la ópera *Aida*, de Verdi, cantada por Pavarotti y por Plácido Domingo, el espectro es de una parte donde el sonido de la orquesta está desapareciendo, la vocal cantada es [o] ("sol"). Los dos cantantes tienen como estrategia reforzar un armónico que está cerca de alguna formante. Los armónicos son los picos en la gráfica, [Figura 4.16](#). Pavarotti produce el grueso de su sonido reforzando el tercer armónico, a 1 400 Hz en la segunda formante de la vocal “o”, esto lo logra deformando-elevándola en cerca de 500 Hz- la segunda formante de la vocal¹⁸, ajustándola al tercer armónico. P. Domingo hace uso del 6to armónico en la formante del canto, a alrededor de 2 800 Hz (la frecuencia fundamental es 466 Hz). De estos espectros también se ve la extensión y amplitud de los armónicos en el intervalo de 2 000 a 4 000 Hz en la formante del canto extendida de Pavarotti, los nueve armónicos tienen una forma claramente definida y están diferenciados y con una amplitud similar (dentro de 10 dB), mientras que en P. Domingo son más irregulares y de menor amplitud.

¹⁸ Las vocales están definidas por las frecuencias de sus dos primeras formantes, el efecto de reforzar el tercer armónico colocándolo en la segunda formante, es darle brillantez al sonido del tono de la vocal cantada.

Una de las habilidades de Pavarotti radicó en su capacidad de utilizar sus resonadores como en el caso de la Callas, asevera di Carlo Scotto (Di Carlo S., 2008). Su voz tenía un banda de frecuencias en la *formante del canto* muy grande, más aguda y más ancha de lo normal, de casi 2 000 Hz, que se extendía entre 2 050 y 4 100 Hz; en lugar de entre 2 000 y 3 000 Hz, con un ancho de aproximadamente 1 000 Hz, que es lo más común.

Parece ser que esto fue posible porque acoplaba su resonador bucal al espacio entre las cuerdas verdaderas y las falsas (llamados senos piriformes, o ventriculares), lo cual parece ser contribuía al timbre oscuro, que provocaba que la energía se concentrara en una banda ancha en la formante del canto. Los armónicos, menos intensos, daban a su voz una proyección más limitada pero con un timbre muy “luminoso”. Esto también explica, los graves y *mezzavoce*, con poco timbre, que son inherentes a las voces agudas y ligeras.

Después de estas discusiones sobre la emoción y la voz surge, a raíz de un estudio sobre la emoción y la voz cantada, una cuestión que puede ser controversial (Di Carlo N. S. & Guaitella, I, 2004), estos autores llegan a la conclusión de que las emociones expresadas durante el habla se identifican mejor que las expresadas durante el canto. Según esto, aunque las expresiones faciales juegan un papel importante, la voz cantada es un portador relativamente pobre de las emociones. Cuando se combinan expresión facial con la voz, las cosas mejoran para el lenguaje, pero menos para el canto, ya que las claves acústicas de la emoción son parcialmente destruidas y no proveen más información.

La expresión de emociones en el canto operístico, la identificación de emociones y su intensidad en el canto, parece que está influenciada por fenómenos ajenos relacionados con las producciones extremas que se producen durante el canto. La apertura bucal juega un papel en la evaluación de la intensidad emocional, pues se considera mayor cuanto mayor es la apertura de la boca (en el registro alto), que cuando está menos abierta o abierta ligeramente en el registro bajo. También influye en el reconocimiento de las emociones en los registros extremos (altos y bajos), el hecho de que la mayoría de la gente asocia inconscientemente alegría con las notas altas y tristeza con las notas o tonos bajos. Parece ser que las emociones se

reconocen mejor cuando los movimientos faciales son compatibles con la expresión emocional que se quiere dar.

CONTROL DE LA VOZ EN UN RECINTO

Un cantante en un recinto o sala de conciertos debe poder controlar lo que el público oye, lo cual no pueden hacer, en general, los cantantes con poca experiencia o debutantes; pero un cantante profesional ¿Qué mecanismo emplea para cantar igual en diferentes recintos con características acústicas diferentes? Di Carlo S. (Di Carlo, N. S., 1994) explica que los cantantes tienen un “arma secreta”: un conjunto de sensaciones internas muy bien aprendidas y controladas, que les permiten adecuar la voz, independientemente de las condiciones acústicas en que se encuentre.

Cuando se habla, la voz se controla únicamente a través de una retroalimentación auditiva, lo cual asegura la adaptación de las variaciones de altura e intensidad que constituyen la entonación de una frase. En el canto esto permite el control de la altura o afinación de los sonidos cantados. Sin embargo, el control de la emisión de la voz no es enteramente confiable, ya que se efectúa a la vez por vía aérea y por vía ósea.

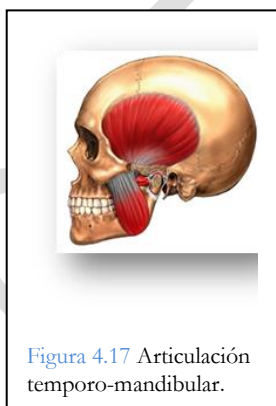


Figura 4.17 Articulación temporo-mandibular.

La onda sonora emitida por el cantante regresa a su oído (que los profesionales del canto llaman *el retorno*) después de ser modificada por el recinto, es decir, por las características acústicas de las paredes, la reverberación, el grado de difusión, etc. En este proceso, ciertos armónicos de la voz del cantante se refuerzan y otros se atenúan o desaparecen, lo que modifica el timbre de la voz aérea. Simultáneamente a la voz aérea (que viaja por el recinto de ida y regreso), el cantante oye la voz que viaja por conducción a través de varios caminos (mandíbula, huesecillos del oído, o por el oído interno), la llamada voz *solidiana*, las

vibraciones materiales del aparato fonatorio son transmitidas al nervio auditivo a través del oído medio (por el movimiento de los huesecillos del

oído medio, abajo de 800 Hz), el sonido es rico en frecuencias bajas (al viajar por los huesos, el sonido pierde frecuencias altas), [Figura 4.17](#).

Al cantar, el cantante percibe la voz modificada por el recinto, con sus alteraciones de timbre, y también la voz solidiana también modificada y rica en graves. Así, el timbre que percibe el cantante es diferente del sonido inicial emitido al recinto.

Si el cantante utilizara únicamente la retroalimentación aérea, podría cometer un error de cálculo al enfocarse en el timbre y tratar de corregir su emisión (aun cuando esté realmente bien) en función de lo que está oyendo, por lo cual puede resultar una voz con un timbre estridente o al contrario, oscuro¹⁹. Sin embargo, el cantante experimentado posee otros medios para controlar su voz, tal es el caso de la llamada *retroacción propioceptiva*, constituida por las sensaciones internas fonatorias²⁰. Éstas son esencialmente de naturaleza *palestética* (vibratoria) en el cráneo, cara y tórax, y *kinestésica* (que nos informa sobre la posición, tensión, y resistencia de nuestros músculos). Esas vibraciones las pueden localizar en el pecho o en la cabeza, llamándoles *resonancias*²¹, pues sienten que la cabeza o el pecho *resuenan*, producto de las

¹⁹ Un ejemplo que pone de Carlo Scotto: Supongamos que el cantante percibe lo que le regresa el recinto como oscuro; la conducción ósea le regresa de por sí un timbre oscuro (al no tener bajos), lo cual acentúa aún más la impresión. El cantante corrige la voz tratando de que sea más brillante o clara, escucha su voz clara y con el timbre correcto, creyendo que “encontró” su timbre, pero, para los oyentes será una voz estridente o “chillona”.

²⁰ Gibson (1968:75) establece una distinción entre dos funciones del sistema auditivo: 1) *exteroceptiva* —que detecta la dirección del evento sonoro, permitiendo orientarse hacia él, y la naturaleza del evento que permite identificarlo; 2) *proprioceptiva* —que registra los sonidos producidos por el individuo, especialmente al vocalizar. Oír la voz propia permite el control de patrones secuenciales de sonidos vocales, como en los cantos de los pájaros, y el monitoreo de expresiones sociales, como en el habla. La habilidad de hablar y no solo de hacer sonidos, se facilita por la habilidad de discernir la voz propia.

²¹ Mal llamadas resonancias pues no son tales. Constituyen simplemente la vibración del tórax y de la cabeza, producto de la transmisión de las vibraciones originales de las cuerdas vocales. Una *resonancia* de cualquier objeto es una frecuencia característica dada por las propiedades elásticas y materiales del objeto y su geometría. Cuando el objeto está en resonancia implica que

vibraciones en la laringe. Esta sensación de vibración es el origen de las expresiones *colocar la voz*, *voz de pecho*, *voz de cabeza*, *resonancias del pecho o de la cabeza*, utilizadas por los profesionales del canto. Estas sensaciones se pueden percibir fácilmente (Reznikoff, 2004): “si se pone la mano izquierda en el pecho y la mano derecha encima de la cabeza, y se dice o mejor aún, se canta con el mismo tono, alternativamente “aaa...” y “mmm...”: se siente la vibración que cambia alternativamente y va del pecho (“aaa”) a la cabeza (“mmm”) y de regreso al pecho. Si se canta “aaa”, “ooo”, “uuu”, y “mm” se sentirá que la vibración sube del pecho (“aaa”) a la garganta (“ooo”) a la parte baja de la cara y finalmente a la parte superior de la cabeza (“mmm”)”.

En función de la altura o frecuencia de la voz, las *resonancias del pecho o de la cabeza* se reparten a lo largo del eje medio antero-superior del cantante y se pueden extender del esternón al vértice de la cabeza o limitarse a la región nasolabial. Di Carlo Scotto midió las amplitudes de estas vibraciones mediante acelerómetros, durante el canto de diferentes intérpretes, y comprobó que las vibraciones de las notas se localizaban en los puntos exactos en donde las señalaban los cantantes. Las técnicas llamadas de *laringe baja* favorecen las vibraciones del pecho y la técnica de *laringe alta*, las vibraciones de la cabeza²². El control eficaz de la voz, independientemente de la acústica de la sala, depende así de la retroalimentación auditiva que controla la justeza de los tonos emitidos, y de la *retroacción propioceptiva* que asegura el control de la emisión, proporcionando al cantante puntos de referencia muy precisos para “colocar” su voz utilizando las *resonancias del pecho y de la cabeza* (di Carlo, N. S. 1994).

LOS CASTRATI

vibra muy fácilmente a cierta frecuencia (llamada *frecuencia de resonancia*), aún cuando la excitación sea muy baja y únicamente a esa frecuencia y quizás muchas otras (armónicas o no), pero discretas y separadas entre sí.

²²Se puede ver un video de una cantante de ópera que muestra como oscilan las cuerdas vocales mientras canta, y observar la cavidad arriba de la glotis hasta la epiglotis, en el sitio: <http://www.ncvs.org/ncvs/tutorials/voiceprod/movies/ringfrm.mov> se .

La práctica de la castración se originó según se sabe en tiempos antiguos²³ (en la India existen los Hijras o eunucos como comunidad de más de un millón de personas, pero no tienen relación con el canto en particular) y sobrevivió durante la Edad Media en Europa. Los castratos o *evirati* dominaron la ópera durante más de un siglo y su popularidad los hizo ser las primeras estrellas internacionales. A partir del siglo VII, por el dominio de la Iglesia Católica en todos los órdenes, a las mujeres se les tenía prohibido cantar e incluso hablar en las iglesias. Los fragmentos de canto agudos eran ejecutados (y aún lo son) por coros de niños y hombres –no casados– llamados *falsetistas*. La voz del falsete surge para sustituir a las voces infantiles –frágiles y cambiantes con la edad.

Por las malas condiciones económicas en Italia durante el siglo XVII aumentaron las órdenes religiosas, porque representaban un modo de vida seguro y cobijado para las clases bajas y medias. Esto motivó a su vez la proliferación de coros de iglesia y monásticos profesionales²⁴. Por supuesto esto motivó mayor demanda de cantantes y los padres de esa época veían mediante la castración, un camino para la carrera de sus hijos en la música de iglesia y una ayuda financiera para la familia. Aunque el desarrollo de la ópera ocurrió simultáneamente con el auge de los castrati, parece ser que no hay una causa o relación directa entre estos fenómenos. En los estados católicos la prohibición para las mujeres continuó en los escenarios y los castrati consiguieron empleo en las óperas cantando roles femeninos, lo cual motivó un auge de su popularidad debido en parte al estilo barroco que gustaba de los adornos y virtuosismo, a la ambigüedad sexual de los intérpretes y, por supuesto, por la voz que no podía ser replicada por las mujeres o por los no castrados. El público y los compositores los prefirieron por la altura que lograban en el canto, y por sus habilidades y su capacidad de ejecutar las

²³ Se sabe, por ejemplo, que en el Imperio Bizantino (en Constantinopla, la actual Estambul) en el 400 D.C., la Emperatriz Eudoxia tenía un coro de castrados. En Hagia Sofía, el coro era de castrados hasta la Primera Cruzada. Se cree que de este lugar la práctica pasó a España y que los llamados *falsetes* eran en realidad *castrati*. Una buena historia de los eunucos y castrados se encuentra en: <http://www.rotten.com/library/sex/castration/eunuch/>

²⁴ Patrick Barbier, *The World of the Castrati: the history of an extraordinary operatic phenomenon*, Margaret Crosland, trans. (London: Souvenir, 1996): 8-9.

florituras del barroco. La popularidad y el estrellato que alcanzaron algunos castrati aumentaron aún más la demanda, que se convirtió en una espiral que fue, según se dice, una obsesión nacional en toda Europa, pero sobre todo en Italia, con la excepción parece ser de Francia²⁵.

<https://youtu.be/KLjvfqnD0ws>



Figura 4.18
Alessandro
Moreschi; último
castrato de que
se tiene noticia y
única grabación
de un castrato.

Bajo la influencia de las secreciones hormonales de los testículos, en los hombres adultos las cuerdas vocales crecen alrededor del 67% en longitud (además de la masa de tejido) con respecto a un niño antes de la pubertad; en la mujer este aumento es de sólo 24%. Este aumento en la longitud es el responsable de la disminución en la altura de la voz durante la pubertad, por lo que a partir del siglo XVI la castración se llevó a cabo con la intención de preservar la voz del niño en la vida adulta. El tono, que es alto de manera natural en un niño, se acompañaba durante y después del crecimiento de las mismas cuerdas (atrofiadas con respecto al crecimiento), de la capacidad torácica mucho mayor de un adulto y resonadores más grandes. Esta combinación les daba una voz única, ni de niño, ni de mujer, ni de falsete (Sundberg *et al.*, 2007).

A los niños se les castraba entre los 7 y 9 años de edad y se les sometía a un largo entrenamiento de su voz. Durante los siglos XVII y XVIII se castró a más de 4 000 niños, sólo en Italia. Hubo grandes estrellas, la más famosa fue Farinelli (Carlo Broschi, 1705-1782), cuya voz abarcaba tres octavas; fue famoso entre otras cosas por su *mezza-divoce*, esa habilidad de empezar una nota pianísimo y lentamente subir la intensidad hasta un clímax y luego continuar descendiendo la intensidad hasta desaparecer. La película *Farinelli*

²⁵ En Francia, Lully desarrolló su propio estilo pues a los franceses les disgustaba todo lo relacionado con los castrati, valoraban los contrastes de los registros bajos y los altos y les gustaba el estilo en que todos los papeles eran ejecutados por voces altas. Cuando se representaban óperas extranjeras en París, los papeles tradicionalmente cantados por castrati los interpretaban mujeres sopranos, o se reescribían para voces de hombres.

reproduce, supuestamente, la voz de un castrato. En realidad fue simulada por medio de análisis, procesamiento y síntesis del sonido de dos cantantes: un contratenor y una soprano coloratura (Derek Lee Ragin y Ewa-Mallas Godlewska), para cubrir toda la tesitura y compensar las dificultades técnicas. Sus timbres se homogenizaron usando diversas técnicas, estimación de altura, síntesis aditiva, estimación de envolventes y otras técnicas complejas efectuadas mediante computadora (Depalle *et al.*, 1995).

Actualmente, los cantantes que a veces cantan los roles que antiguamente cantaban los castrati, aquellos en que la voz requerida era un poco más grave y menos dramática, son los *contratenores*²⁶ que son cantantes entrenados para cantar con *falsete* casi todo el tiempo. Un hombre normal, con respecto a las hormonas, con voz de *tenor* o *barítono*, puede mantenerse en la tesitura de una *contralto* cantando con falsete y no puede hacerlo, en general, con toda la potencia de la voz de pecho. Esto produce una voz que tiene, por supuesto, un timbre diferente al de un castrato, que no cantaba con falsete. El contratenor canta con los bordes de las cuerdas vocales vibrando y una contralto tiene la voz normal cuando cantan lo mismo. El contratenor tiene cuerdas vocales más largas y la contralto más cortas, estas variables físicas cambian el timbre del sonido durante el proceso del canto.

En realidad la voz de soprano es la que más se aproximaría al sonido de un castrato (que podía tener un rango entre soprano y mezzo-soprano) en las notas altas. Una grabación (aparentemente la única) de un castrati, Alessandro Moreschi se puede oír en el sitio indicado en la [Figura 4.18](#).

CANTO GRUPAL

Es agradable y benéfico cantar y aún más cantar acompañado de otros cantantes sólo por el gusto de cantar; integrar coros, como agrupaciones de varios cantantes hombres y mujeres o de exclusivamente hombres o mujeres, no siempre profesionales, que se reúnen para cantar juntos. Desafortunadamente, en México prácticamente no existe esta costumbre; si

²⁶ En el siglo XVI hubo en España, un movimiento que impulsó a los contratenores llamados *falsetti*, en la Capilla Sixtina; los *falsetti* españoles, eran los que normalmente cantaban los papeles de soprano o mezzosoprano.

acaso existe, es el canto ocasional que se da en algunas iglesias de diversas religiones. Los coros como agrupaciones que se reúnen periódicamente con un objetivo de formar un coro, si no profesional, de amateurs, con un catálogo de música seria o culta y/o popular mezclados y que se presentan en público, prácticamente son inexistentes.

La importancia del canto coral en relación a su aspecto social y psicológico, e incluso de salud, ha cobrado importancia al menos en los países que tradicionalmente han tenido la practica coral (muchas veces de origen religioso, pero no necesariamente), como en los países europeos, en particular en países como Inglaterra (*King's Singers*, *The Sixteen*), Francia, Alemania (*Coro de Niños de Tölz*) y los países nórdicos, sin olvidar a los mundialmente famosos *Niños Cantores de Viena*.



Video de un grupo de personas con Mal de Parkinson cantando en coro.

<http://atomurl.net/qrcode/?url=http%3A%2F%2Fvimeo.com%2F49612061>

Estudios recientes, casi todos cualitativos, sobre los beneficios del canto comunitario han mostrado que diversas muestras de cantantes reportan un espectro de beneficios sociales, psicológicos y de salud, asociados al canto. Estos beneficios se han detectado en estudios llevados a cabo, por ejemplo, en Canadá, en un coro pequeño de personas sin hogar -*homeless people*- (Bailey & Davidson, 2005) o en comunidades económicamente en desventaja²⁷. Estos estudios básicamente se han efectuado a través de entrevistas y respuestas a cuestionarios con respecto al efecto que el canto ha tenido en sus vidas. También existen estudios en que se encontró que los niveles de la inmunoglobulina A en la saliva²⁸, se incrementan después de cantar en los coros (Beck *et al.*, 2000); Kuhn, 2002). También se han llevado a cabo estudios en Inglaterra sobre el efecto del canto en adultos mayores, así como en la población en general, los cuales reportan

²⁷ En Israel se estudió el impacto que un grupo coral tenía en una cárcel de mujeres (Silber, 2005) y en Japón se exploró la experiencia del karaoke (Watanabe, 2005).

²⁸ La inmunoglobulina A (IgA) es la primera línea de defensa frente a una infección, mediante la inhibición de la adhesión bacteriana y viral a las células epiteliales y la neutralización de las toxinas bacterianas y víricas, tanto intra- como extracelulares.

mejoría en los niveles de ansiedad y depresión por el efecto de los coros en la salud, (Clift *et al.*, 2010).

Un estudio más amplio se realizó conjuntamente en Alemania, Australia, e Inglaterra, en el 2007, con el propósito de investigar a través de cuestionarios, los efectos del canto percibidos por parte de los participantes en coros (1 124 coristas de 21 coros, que cantan sobre todo música clásica y algunas canciones populares de esos países (Clift *et al.*, 2008). El estudio se realizó considerando la definición de salud de la Organización Mundial de la Salud (OMS): “un estado de completo bienestar físico, mental y social y no solamente de ausencia de enfermedad o incapacidad”, usando un instrumento de medición de la calidad de vida (WHOQOL Group, 1994). Sus resultados confirmaron lo ya establecido en otros estudios: Participar como cantante en organizaciones o grupos corales tiene efectos positivos en la calidad de vida y el bienestar de sus participantes; por supuesto, el público que los escucha también es partícipe del bienestar, aun cuando quizás en forma más efímera.

También resaltaron la importancia que representa involucrarse desde edades tempranas en el canto, sin menospreciar que los adultos, sin ningún antecedente o con poca experiencia previa en el canto, también puedan disfrutarlo y encontrarlo benéfico si tuvieran la oportunidad y el apoyo para participar en grupos corales de su comunidad, tal como se detectó entre muchas personas integrantes de los coros analizados. Una implicación de este estudio radica en la necesidad de más esfuerzos para facilitar la oportunidad para que los adultos se involucren en el canto, valorándolo a nivel personal y social por los beneficios potenciales para su bienestar y la salud.

El cantar o producir sonidos musicales con la voz también tiene el potencial de tratar anormalidades del lenguaje, porque directamente estimula la musculatura asociada con la respiración, fonación, articulación y resonancias. De hecho, se conoce que el canto, sobre todo coral, tiene efectos positivos importantes en el tratamiento de desórdenes neurológicos (Wan *et al.*, 2010) y neuronales (Evans *et al.*, 2012), tal es el caso de los enfermos del Mal de Parkinson, que al cantar, sobre todo en coro, súbitamente pierden el temblor característico y cantan casi como cualquier persona de edad avanzada. Otro estudio (Di Benedetto *et al.*, 2009) mostró que después de 13 sesiones de

canto coral, pacientes con el Mal de Parkinson, mostraron mejoría en la fonación y la lectura.

Todos estos datos señalan la relevancia que representaría la promoción de políticas culturales a todos los niveles para despertar en los niños, jóvenes y adultos, el gusto y la participación en actividades musicales, en particular en coros, así como la importancia de las asignaturas de música y/o canto en las escuelas. Hacer más participativas a las personas no sólo como escuchas sino como generadoras de música que podría brindar placer, bienestar y salud a la población de muchas comunidades de México y Latino América.

LOS SONIDOS EN EL CUERPO HUMANO

Los sonidos del cuerpo de nuestras madres son los primeros sonidos que oímos antes de nacer. Reznikoff (2005), menciona que nuestra conciencia más profunda está estructurada por el sonido y que está dada por los primeros niveles de conciencia adquiridos en la niñez temprana, incluso antes de nacer; así, se conoce que, con excepción de la vista, los medios de percepción del medio ambiente existen ya a los seis meses de edad (Herbinet & Busnet, 1991). El oído interno está formado por dos partes: el sistema vestibular y la cóclea. El sistema vestibular es el que provoca que la música tenga un impacto en el cuerpo (Gilmore & Maudale, 1984), pues controla el balance y los movimientos del cuerpo, incluyendo la integración de los movimientos que hacen el ritmo en la música. El oído aparece en la 3a. semana de gestación y empieza a ser funcional en la semana 16, siendo totalmente funcional en la semana 24. Entre las semanas 4 ½ y 6 de edad, los sistemas vestibular y coclear se diferencian; a las 7 ½ semanas, los osículos auditivos empiezan a crecer y a los 4 ½ meses el oído del bebé prenatal es adulto en forma y tamaño. Se conoce—por observaciones con ultrasonido—que el feto oye y responde a un pulso de sonido a las 16 semanas (Shahidullah & Hepper, 1992), es decir, aún antes de que



http://www.ted.com/talks/evelyn_glennie_shows_how_to_listen; en este video, Evelyn Glennie muestra que se puede oír no sólo con los oídos.

se complete el oído. Las estructuras cocleares parece ser funcionan en la 20a. semana y las sinapsis completas durante la semana 24 (Pujol *et al.*, 1991).

El vientre materno es oscuro y hay impresiones visuales pero no el sentido de la vista, tampoco existen el olfato y el sabor, limitados por el líquido amniótico y la placenta (sólo se perciben ciertos cambios en la sangre); el sentido del tacto está muy desarrollado y el bebé siente el sonido no sólo con las manos, sino con todo el cuerpo. También percibe el movimiento tanto de la madre como sus propios movimientos. Pero, sin duda, la percepción más desarrollada es la de los sonidos y vibraciones. El bebé percibe el mundo sonoro externo en que está inmersa la madre, pues el aislamiento dado por las paredes abdominales del vientre materno es relativamente leve (del orden de: - 20 dB, o sea de diez veces menor a la intensidad exterior, esto es lo que aísla más o menos una buena puerta común). En consecuencia, parece ser que el bebé prenatal construye su percepción inicial del espacio a través del sonido, oye los sonidos de la madre arriba o abajo (las resonancias de la voz en la cabeza o el pecho), y los sonidos del exterior provenientes de diferentes direcciones, atrás--adelante, incluyendo arriba--abajo. Se llega incluso a especular, si a raíz de esta consciencia temprana del espacio, el bebé prenatal se coloca de cabeza para el próximo gran evento en su vida: su nacimiento.

Se entiende que quizás no oiga como oímos nosotros por estar en un ambiente un tanto aislado, pero también porque los sonidos que nosotros oímos tienen significado cultural. Aun así, el bebé oye el mundo interior, tanto sus latidos del corazón como los ruidos de su mamá, aunque, por ser constantes durante el desarrollo de la conciencia, forman parte del ruido de fondo de su ambiente sonoro. Lo que varía más en este ambiente, es el sonido de la voz de su madre, las inflexiones de voz, ya sea ansiosa, alegre, o enojada, y según parece logra percibir esos cambios de inflexión y del contenido emocional que conllevan (Birnholtz & Benacerraf, 1983).

Así, el lenguaje y sus inflexiones las conoce el bebé prenatal más que nada a través del canto de la madre. De alguna manera ausculta su ambiente y asocia los sonidos con estados emocionales de su madre, lo que estructura sus estados de conciencia iniciales primarias y/o profundas. Para una persona que sufre la pérdida del lenguaje es más fácil recobrar el habla a través del canto. Es más primario cantar las palabras en una melodía conocida, que decirlas, ya

que el nivel del canto está más profundamente enraizado que el habla, y esto muestra que no sólo el sonido sino la música está a un nivel más profundo de conciencia. Al mismo tiempo, el lenguaje está entremezclado con la música porque los sonidos y el ritmo son las bases del lenguaje (Reznikoff, 2005). La conexión entre sonido-música, memoria y aprendizaje del lenguaje prenatal se ha comprobado en los bebés, en experimentos formales, observaciones de padres y reportes clínicos (Childs 1998).

En tiempos pasados, las mamás en casi todo el mundo solían cantar a sus bebés durante el embarazo, movidas por una necesidad profunda. Esta práctica ha disminuido en muchos lugares, quizás por la medicalización del proceso de gestación bajo el cuidado médico, de igual manera que durante muchos años se dejó de dar leche materna por prescripción médica. Y parece ser que ahora empieza a conocerse que esto es muy importante (al igual que la leche materna), pues el bebé oye a su mamá y estructura al mundo por medio de ella. Se puede afirmar, incluso, que las primeras lecciones de canto y lenguaje ocurren en el vientre de la madre. Como se dijo antes, el canto es anterior al lenguaje. Aparentemente la idea de que el aprendizaje del lenguaje ocurre antes de nacer es una idea que gradualmente ha ganado aceptación entre neurolingüistas y otros investigadores (May *et al.*, 2011).

Todo lo que es nuevo para el bebé lo conoce por y a través del sonido. El mundo por conocer visualmente, de alguna manera ya lo conoce a través del sonido. Estos niveles de conciencia profundos del sonido aparentemente estarán siempre presentes (en las aéreas del cerebro correspondientes) y permanecen aun cuando ciertas aéreas del cerebro se dañen por un accidente, enfermedad o la edad. Por ejemplo, Reznikoff (2005) habla de que una persona en coma que ha perdido funciones de niveles de conciencia exteriores, puede recobrarlos cuando oye un sonido vocal cantado en vivo, especialmente si es de una canción o melodía que el paciente oyó en su niñez. Así relata que: “Un caso típico es el de una vieja abuela que ya no habla. Está sentada, prostrada, olvidada en una esquina. Llega su nieta hacia ella y le empieza a cantar una canción que la abuela conocía cuando era niña o joven. Inmediatamente, la abuela cobra vida, canta con la nieta y momentáneamente recobra el soplo de la vida y quizás, incluso, puede hablar por breves momentos”. Esto, dice Reznikoff se ha observado desde tiempos antiguos. Para una persona que sufre la pérdida del lenguaje es más fácil recobrar el

habla a través del canto. Es más elemental cantar las palabras en una melodía conocida que decirlas, ya que el nivel del canto está más profundamente enraizado que el habla, y esto muestra que no sólo el sonido sino la música está a un nivel más profundo de conciencia. Al mismo tiempo, el lenguaje está entremezclado con la música porque los sonidos y el ritmo son las bases del lenguaje.

Estas aseveraciones son apoyadas por investigaciones, por ejemplo, de Polverini-Rey (1992) que indican que los bebés prenatales expuestos a canciones *in útero* fueron calmados por esos estímulos. Murooka *et al.*, (1976); DeCasper & Sigafos (1983); y Rossner & Doherty (1979), han descubierto que los recién nacidos se calman y son más autoregulados cuando son expuestos a sonidos intrauterinos. Los sonidos uterinos forman un fondo sobre el cual la voz de la madre aparece distinta y a la cual el bebé le da especial atención por ser diferente de su ambiente amniótico, estos sonidos son de importancia primordial, ya que establecen los primeros patrones de comunicación y de enlace. Podría ser que el efecto que tienen, en la gran mayoría de las personas, los sonidos del mar, de las olas, del viento y del agua, son probablemente, reminiscencias del medio fluido en que la vida comienza.

Tomatis (1969) sugiere que el latido del corazón maternal, la respiración y el gorgoreo intestinal, forman la fuente de nuestra atracción colectiva hacia el sonido del oleaje y que posiblemente tiene que ver con nuestro sentido del ritmo. Expresa un punto de vista un tanto diferente con respecto a lo que es el papel del oído en el ser humano; no lo considera solamente un órgano para la audición o para el equilibrio, sino como un generador de energía para el cerebro que da un cambio cortical que se distribuye en todo el cuerpo para tonificar y dar dinamismo al ser humano (Gilmor & Madale, 1984, p. 6). Dice también, el oído es la “Roma del cuerpo” porque casi todos los nervios craneales llevan a él y es, en consecuencia, considerado el sentido más primario. Asevera Tomatis que la piel es un oído diferenciado y que escuchamos con todo el cuerpo. Esto está de acuerdo con lo que dice una virtuosa famosa internacionalmente ejecutante de percusiones escocesa de música culta: Evelyn Glennie (1965-), quien es sorda desde temprana edad. y tuvo dificultades para entrar a estudiar percusiones en la Royal Academy of Music (Inglaterra), pues siendo sorda no era una candidata adecuada para estudiar música, finalmente fue aceptada y a partir de ese evento, puede



Figura 4.19. Imagen de bajo relieve en una pared del templo de Kom Ombo. Muchos instrumentos están etiquetados como de uso médico pero otros no se sabe su propósito. Se cree que el tubo en la parte inferior izquierda podría ser un estetoscopio (Nunn, J. Ancient Egyptian medicine. Norman: University of Oklahoma Press. P. 165.)

entrar a estudiar música cualquier persona con discapacidad de cualquier tipo en el Reino Unido. Normalmente en sus conciertos está descalza-- para sentir mejor las vibraciones, y asegura que se dedicó desde edad temprana a oír con todo su cuerpo. Afirma que su objetivo en la vida es enseñar a oír verdaderamente y esto ocurre con todo el cuerpo. Además de música clásica contemporánea, toca con músicos de diversos géneros musicales.

Los sonidos prenatales constituyen un importante componente del desarrollo temprano, porque dan los fundamentos para el desarrollo posterior del niño, y muchos de estos descubrimientos relacionados con el mundo sonoro-emocional del bebé en el vientre de la madre, han motivado que en los últimos años hayan proliferado técnicas que utilizan música de diferentes autores, ritmos de tambores, etc., usando sonidos directos (en el vientre) o indirectamente con sonido externo (Whitwell, 1993); <http://www.birthpsychology.com/lifebefore/sound1.html>).

EL SONIDO Y LA MEDICINA

El uso del sonido en la medicina, para oír los sonidos del cuerpo humano, tiene miles de años de antigüedad. Según se sabe, los más antiguos manuscritos son los papiros médicos del antiguo Egipto, en particular uno que data del siglo XVII A.C. sobre traumas y describe sistemáticamente como curar en 48 casos de heridas y fracturas (seis sobre lesiones en la columna vertebral). La egipcia fue una de las primeras civilizaciones que documentaron sistemáticamente la práctica de la medicina. El primer médico

fue el sacerdote Enhote, considerado por muchos como el verdadero padre de la medicina. Los papiros constituyen un sistema de enseñanza de la diagnosis y práctica de la medicina y, en particular, en dos de ellos²⁹ se refieren a signos audibles de las enfermedades en el interior del cuerpo. Mil años más tarde, Soranos de Éfeso identificó males uterinos por el sonido producido al presionar el abdomen. Los papiros también incluyen medios mecánicos para su tratamiento.

La pared del templo gemelo del templo de Kom Ombo (cerca de Asuán), a orillas del Nilo, dedicado a Zobek y Haroheris, en lo que fue el centro de la medicina en el antiguo Egipto, tiene relieves jeroglíficos que muestran varios instrumentos médicos y quirúrgicos, [Figura 4.19](#). Entre los griegos, Hipócrates, el llamado Padre de la Medicina, alrededor del año 350 A.C abogaba por la búsqueda de instrumentos filosóficos e instrumentales para mejorar la. Discutió el procedimiento de sacudir al paciente por los hombros (sucusión) y escuchar los sonidos dados por el pecho. También usó el método de poner la oreja directamente sobre el pecho para oír y lo encontró útil para distinguir entre acumulación de agua y pus en los pulmones. Un tal Caelus Aurelianus escuchaba el pecho de pacientes en el 200 D.C. para diagnosticar la bronquitis. Y Araetus de Cappadonis describió como timpánicos (como de tambor).los sonidos abdominales en enfermos de hidropesía

Durante la Edad Media hubo cierta práctica que continuó usando el sonido como auscultador. En el siglo XVI, el cirujano Ambroise Pare notó que si hay materia u otros humores en el tórax, se oye un ruido como de una botella semillena gorgoteando. William Harvey, en 1616, describió el movimiento del corazón como dos “clacks” de fuelles de bomba para elevar agua; con cada movimiento del corazón, cuando hay riego de una cantidad de sangre a las venas o arterias, que puede oírse como un pulso dentro del pecho. Hooke especulo en el 1700, que podría ser posible descubrir el movimiento de las partes internas de los cuerpos por el sonido que hacen. El médico Joseph L. Auenbrugger, en 1761, empezó a usar la percusión en un hospital en Viena

²⁹El Papiro de Edwin Smith (siglo XVII A. C), se le nombra así porque fue comprado por un anticuario llamado E. Smith, en 1862. Contiene el texto más antiguo sobre la descripción de observaciones racionales en la medicina.



Figura 4.20 Laennec con su estetoscopio.

aplicando la experiencia de su padre para determinar el nivel del vino en barriles; golpeaba con los dedos como se hace, por ejemplo, para “oír” el nivel del fluido en un tinaco o recipiente grande, y como lo hacen todavía los doctores, y describía los sonidos como

agudos, mudos o apagados.

El estetoscopio, que se convertiría en el símbolo del médico, durante muchos años, lo inventó René T.H. Laennec en 1816. Cuenta que recordó “la impresión aumentada del sonido cuando se canalizaba a través de ciertos cuerpos sólidos como cuando se raspa una varilla de madera y se aplica el oído al extremo”, (o como se oye si se pone un palillo chino o un vaso de paredes delgadas contra la pared, para oír, por ejemplo,... a los vecinos). Laennec enrolló una pieza de papel en una especie de cilindro y aplicó un extremo a la región del corazón y el otro extremo al oído, y se sorprendió y contentó de encontrar que percibía la acción del corazón de una manera mucho más clara y distinta de lo que jamás lo había oído con el oído aplicado al pecho, [Figura 4.20](#).

Le llamó el “cilindro”, pero después inventó el nombre estetoscopio por *stethos* (pecho) y *scope* (ver). Trabajaba en el hospital Necker en París, y publicó sus resultados, clásicos en la medicina, en el “*Tratado sobre enfermedades del pecho y la auscultación mediada*”. Otra versión dice que fue durante uno de sus paseos por la campaña francesa que Laennec se topó con dos niños que jugaban alrededor de un árbol caído. Uno de ellos golpeaba con una rama uno de los lados del tronco, mientras el otro oía los golpes desde el lado opuesto, pegando la oreja. Fascinado por el juego de los niños, llevó con un carpintero una rama y le pidió que elaborara con ella un cilindro de 30 cm de largo,



Figura 4.21
Esfigmomanómetro manual. Se muestra la bomba manual y la manguera conectada a la cámara de presión, el manómetro, en este caso, es de manecilla.

entonces lo probó en una de sus pacientes, y que así fue que tuvo lugar la primera auscultación utilizando un estetoscopio.

Durante el siglo XX la inspección por palpación, percusión y auscultación se convirtió en el método de diagnóstico estándar para el examen del paciente y todavía continúa siéndolo. El estetoscopio se convirtió en símbolo del médico ilustrado, porque permitió a los médicos oír los signos de las enfermedades respiratorias y circulatorias de los pacientes.

(Erick Rackow, <http://www.antiquemed.com/invention.html>).

Actualmente hay estetoscopios electrónicos que amplifican el sonido captado por un micrófono en la cavidad del estetoscopio, y con conectividad Bluetooth; pero como todo instrumento electrónico necesitan

pilas y las pilas se acaban en el momento menos esperado, por lo que el estetoscopio tradicional sigue siendo el más usado.

El baumanómetro o esfigmomanómetro (del griego *sfigmos*, pulso o latido del corazón y *manómetro*, medidor de tensión o presión) es un aparato para medir la presión sanguínea o sea la medición de la fuerza que ejerce el flujo de la sangre contra las paredes de las arterias. Fue introducido en 1881 por Samuel Karl Ritter von Basch y, en 1896 un médico italiano Scipione Riva-Rocci inventó una versión más simple, que en 1901 fue modernizada. Actualmente es uno de los instrumentos médicos más comunes y usados y los hay de mercurio, manuales, aneroides y electrónicos o digitales. Consta de un mecanismo, operado manualmente, que consiste de una bomba de inflado conectada con una manguera a una especie de bolsa inflable (cámara de presión) que se ajusta al antebrazo (a la altura del corazón) y que tiene una válvula (que el médico abre o cierra durante la medición), y un manómetro de manecilla de mercurio o digital que despliega el valor de la presión sanguínea, [Figura 4.21](#). Se miden los valores de presión *sistólica* y *diastólica* (la sistólica es la fase del ciclo del corazón en que la sangre es expulsada a la aorta, la diastólica la fase de reposo del corazón cuando se rellena de sangre), con cada latido la

presión aumenta al nivel sistólico y entre latidos baja al nivel diastólico. El aspecto más interesante de esta medición, desde el punto de vista de este libro, es la parte de determinación de esos valores de presión, ya que normalmente se utiliza el mencionado estetoscopio, para oír ciertos sonidos que la sangre o el corazón hacen en el ciclo de bombeo de la sangre. Los sonidos que se generan durante la medición son llamados de Korotkoff³⁰, médico ruso que los descubrió en 1905. Cuando se coloca el estetoscopio en el antebrazo sobre una arteria llamada braquial, no se oye nada; cuando se cierra una válvula tal que la presión del bolsa de aire es mayor que la arterial, se ocluye el paso de la sangre; cuando se libera lentamente la presión con la válvula, hay un punto en que las presiones (del manómetro y de la sangre) son iguales y entonces se oye el primer sonido de Korotkoff, como de golpeteo que gradualmente aumenta en intensidad durante--al menos-- dos ciclos; esta es la presión sistólica, el sonido se suaviza y al mismo tiempo cambia su carácter (y timbre), como si fuera una especie de silbido, se sigue abriendo la válvula y vuelve a aparecer el sonido original de golpeteo, después un soplo sordo y débil y justo en el punto en que finaliza y se deja de oír, se tiene la presión diastólica.

Algunos médicos dirán que el verdadero estetoscopio moderno es la llamada máquina de ultrasonido--en realidad una especie de cámara ultrasónica--usadas actualmente cada vez más para la diagnosis médica. Dos investigadores son los iniciadores del uso del ultrasonido en la medicina: Dussik en Austria quien publicó el primer artículo científico sobre el ultrasonido en la medicina basado en sus investigaciones sobre la transmisión del ultrasonido en el cerebro (Dussik, 1942). Después, en Escocia J. Donald desarrolló tecnología, práctica y aplicaciones del ultrasonido en los 50's. Las ondas ultrasónicas son enviadas por un transductor piezoeléctrico hacia los tejidos del cuerpo humano, en donde rebotan--de órganos y tejidos--lo que permite obtener por medio del procesamiento en computadora, de los ecos ultrasónicos, imágenes de lo que está, y como está, dentro del cuerpo humano o animal. Este procedimiento utiliza el tiempo de retardo del eco, o también el corrimiento en frecuencia--efecto Doppler--, para medir también la velocidad de movimiento de los órganos o estructuras; se usa para detectar tumores, analizar la estructura ósea,

³⁰ Los sonidos de Korotkoff son cinco: turbulencia y golpeteo claro (Sistólica), suave-silbante, nítido de turbulencia y golpes fuertes, soplo sordo y débil, y silencio (Diastólica).

analizar arterias o el movimiento de las válvulas cardíacas, flujo de la sangre, observar a un bebé no nacido y su estado de salud (o sexo), etc.

SONIDOS DE LA MEDICINA CLÍNICA

Los sonidos que producimos, imaginamos, o nos generan los doctores en sus auscultaciones, ya sean voces, murmullos, llantos, crepitaciones, sibilancias, hasta gritos y risa, son a veces producto de algún mal o enfermedad. Los sonidos se utilizan y son parte del diagnóstico clínico. R. A. Rivera hace un recorrido por los sonidos clínicos (Rivera, 2009), aquí se comentan algunos de ellos.

Una experiencia muy personal, que debe ser terrible, es la peculiar audición de *vozes* en la esquizofrenia. Otra alucinación (actualmente la causa más común) es la causada por drogas alucinógenas ilícitas que producen alucinaciones auditivas y visuales. Muy común es el zumbido de los oídos, el *acufeno* (ó *tinnitus*), que puede sonar también como un golpeteo, y puede ser debido a condiciones del oído o de zonas contiguas del cerebro o efectos secundarios de medicamentos (Aspirina en dosis altas, quinina y algunos antibióticos o diuréticos³¹). Por supuesto está el caso contrario, la *sordera* o ausencia del sonido que puede ser congénita o adquirida por causas diversas, desde infecciones o secuelas de meningitis, hasta consecuencia de exposición al ruido impulsivo excesivo como una explosión o ruido prolongado en fábricas, máquinas excavadoras, tractores, etc., así como música a altas intensidades, como el de los, iPods, teléfonos inteligentes, etc.

Daños o discapacidades funcionales del cerebro, debido a diversas causas, pueden dar lugar a sonidos y expresiones inusuales e interesantes. La *ecolalia*, algunas veces presente en la esquizofrenia, autismo y el síndrome de Tourette, se presenta cuando una persona repite el lenguaje de alguien más de una manera involuntaria y sin sentido, ya sea una palabra o frases completas; algunos de estos enfermos presentan *coprolalia* (tendencia patológica a exclamar palabras obscenas, maldiciones y groserías de todo tipo,

³¹Son comunes los casos de acufenos que duran unos minutos en gente normal después de haberse expuesto a ruidos intensos. Algunas causas: Cerumen en el canal auditivo, sinusitis, líquido en el oído, presión alta, diabetes, problemas de la tiroides, etc.

fuera de contexto, junto con tics y movimientos súbitos de la cabeza, y/o sonidos y ruidos cortos e intempestivos que se manifiestan por *gruñidos*, o sonidos parecidos a ladridos que emiten de manera involuntaria), ver por ejemplo: <http://www.youtube.com/watch?v=5SLsvhCqFSo&feature=fvw>).

Otro desorden es el *tartamudeo* que produce la repetición involuntaria de sonidos, sílabas, partes de palabras, pausas y prolongaciones durante el habla. Aparentemente se puede reducir o aliviar si se trata en edades tempranas.

Si bien la risa se considera en general beneficiosa para la salud, existen paradójicamente también problemas de salud (tal es el caso de tumores cerebrales, esclerosis múltiple, síndrome de Alzheimer y esquizofrenia), en que se presentan ataques inesperados de risa que caracteriza ciertas enfermedades del sistema nervioso central; una variante animal del mal de las vacas locas es el *Kuru* o enfermedad de la risa que ocurría fundamentalmente en nativos de Nueva Guinea, que habitualmente comían cerebro humano y que se caracteriza (entre otros síntomas) por ataques inesperados de risa³².

Otros sonidos involuntarios son el *bruxismo* (que consiste en apretar, rechinar o crujiir los dientes en forma involuntaria, excesiva e inconsciente, sobre todo los niños), causado por parásitos intestinales. Los sonidos de *ronquidos* cuando el paladar blando vibra al dormir. El *estornudo*, signo de irritación nasal. *Tos*, manifestación de irritación o infección en las vías respiratorias superiores. *Sibilancias* y *crepitaciones*, por infecciones de la laringe y tráquea o la epiglotis, la entrada a la laringe. Un ruido muy común y típico es el *hipo*, producido por contracciones espasmódicas que succionan aire involuntariamente. Infecciones en la laringe y cuerdas vocales pueden producir *ronquera* o *afonía* (ausencia completa de sonido audible de las cuerdas vocales).

En el tracto gastrointestinal se producen *eructos*, expulsión de aire tragado (que en algunos países es signo de satisfacción por la comida), *Borborigmos* es el ruido producido por la mezcla de aire y contenidos intestinales que se

³²Apareció en N. Guinea en los 1900, en los años cincuenta del siglo XX, había 8 000 enfermos y en los sesentas hubo más de mil muertos. Actualmente ya no hay *kuru*. Es una enfermedad causada por un *prion*, una partícula infecciosa que es invariamente fatal. En 1997 Prusiner recibió el premio Nobel por sus descubrimientos con respecto al prion.

produce cuando tenemos hambre. La expulsión de gas por el recto (*flatulencia*, *ventosidad*, *pedo*)³³ es tema de bromas, chistes, anécdotas e historias jocosas, incluso F. de Quevedo (1580-1645), escritor satírico, escribió un famoso poema (*Poema al pedo*) en el siglo XVI. Un caso interesante ocurrió en relación a este tema: fabricantes japoneses de equipo sanitario (en los 80's) observaron que muchos usuarios (sobre todo mujeres) desarrollaron el hábito de “jalarle” al “toilette”, para ocultar o enmascarar los sonidos propios de su uso, esto produjo un gasto tremendo de agua y dinero, lo cual condujo al diseño (aparte de los jets de agua para limpiarse, robots y demás) de un sistema que produce ruidos de una catarata (<http://www.engadget.com/2014/05/09/westerners-guide-to-japanese-toilets/>); un banco japonés que instaló este equipo en 1 600 sucursales ahorró 80 millones de Yens (7-8 millones de pesos). A la ausencia total de sonidos en los intestinos se le conoce como *íleos* y puede ser signo, cuando es prolongado, de oclusión intestinal.

En el sistema esquelético se presentan los ruidos de las articulaciones, *crepitas*, producidos involuntariamente por las rodillas, cuello, codos, pies, dedos, etc.³⁴. Es el sonido que se genera cuando se truenan los dedos, que algunas personas desarrollan como hábito, no está claro si duelen porque se los han “tronado”, o *crepitado*, en demasía o se los truenan para aliviar el dolor (en la osteoartritis). Por supuesto, el estetoscopio en sus diversos usos médicos, tiene un catálogo completo de sonidos característicos de condiciones clínicas, pero es de conocimiento restringido a los especialistas médicos.

Otro sonido es la *Pertussis* (tos ferina), un paroxismo de entre 5 y 15 tosidos espiratorios seguidos de una inspiración profunda, que causa un aullido sordo de inspiración, que aterra a las madres cuando ocurre en los niños. Otro sonido respiratorio es el del *asma*, causada por el aire al pasar por vías constreñidas que causan una tos, respiración estresada y *sibilación* que es

³³ En el Diccionario Médico de la Universidad de Salamanca: Flatulencia. Mezcla de gases que se expulsa por el ano con un sonido y olor característicos, está producida por bacterias y levaduras simbióticas que viven en el tracto gastrointestinal de los mamíferos, y por partículas aerosolizadas de sus excrementos.

³⁴Una teoría dice que este ruido *crepitus*, es producido por cavitación de gases (oxígeno) en el líquido sinovial de las articulaciones. Al tronar los dedos se deslizan entre sí las extremidades en las articulaciones y se generan burbujas que oímos como un “clack” al implosionar.

característica del asma. Esta *sibilación* también es producida por cuerpos extraños en el tracto respiratorio, por ejemplo, cuando se está comiendo y algo de la comida se pasa al tracto respiratorio.

EFFECTOS SONOROS

Se le denomina “efecto sonoro” o “efecto sónico” a la manifestación de un fenómeno que acompaña a un sonido (que a su vez está ligado a un objeto que lo produce en un medio dado)³⁵. El efecto está ligado, necesariamente, a la cultura y a la percepción individual de los escuchas. Un sonido dado puede dar lugar a uno o a varios efectos físicos o subjetivos que pueden ser simultáneos, ya que un sonido sin efectos (físicos o subjetivos o físicos y subjetivos) no existe.

Los efectos son transformaciones de un sonido en un medio dado, o percepciones subjetivas que se relacionan con un sonido oído, creado imaginariamente o recordado. Un investigador francés J. F. Augoyard, y su grupo de trabajo, realizaron una investigación interdisciplinaria (que incluyó entre otras áreas, musicología, composición electro-acústica, arquitectura, estudios urbanos, comunicación, física y psicología), en el Centre de recherche sur l'espace sonore et l'environnement urbain (CRESSON) en la Escuela Nacional de Arquitectura of Grenoble, Francia. Esta investigación de varios años de trabajo resultó en un catálogo de 80 efectos sónicos y/o auditivos (Augoyard, 2005). Estos efectos incluyen algunos muy conocidos como el eco, la reverberación, el filtrado etc., que ocurren en un espacio arquitectónico o urbano. También incluyen otros efectos, menos conocidos, que integran información sobre los espacios físicos objetivos en que ocurren los sonidos, con el contexto cultural y la experiencia auditiva individual. El objetivo final es rehabilitar o resaltar la experiencia acústica en general de los espacios urbanos de una manera integral con la información técnica acústica de especialistas. Estos efectos pueden ser de utilidad para estudiar los espacios

³⁵ La noción común de “efectos sonoros”, es que es un sonido creado artificialmente, o procesado a partir de una grabación por métodos digitales o analógicos, para resaltar apoyar acompañar, o enfatizar una animación, video, película o representación teatral o dancística, o artística en general.

urbanos más integralmente y no solamente con la metodología tradicional de medición de ruido urbano.

Por ejemplo, el efecto *Lombard*, es un efecto psicoacústico estudiado por primera vez por Etienne Lombard (Lombard, 1911) y se refiere a la tendencia que tiene alguien que habla a elevar su voz ante la presencia de ruido, que puede exacerbarse en un recinto muy reverberante. La explicación de Lombard fue que el escucha tiende a aumentar la intensidad de su voz para oírse el mismo y sentir que se puede comunicar adecuadamente con el escucha o los escuchas. Es un efecto que pocas personas pueden evitar para mantener el mismo nivel de voz, la mayoría aumentan el nivel hasta, dependiendo del nivel de ruido, que están gritando. Este efecto es el que ocurre cuando oímos a una persona hablando por teléfono en presencia de ruido. O cuando vemos a personas con audífonos -oyendo música- y que nos hablan casi gritando.

Otro efecto parecido al anterior es el efecto *cafetería*, quizás consecuencia del efecto *Lombard*. El *efecto cafetería* es extremadamente común, pero no muy conocido o bien diagnosticado. Cualquier café o restaurant ruidoso está sobrecogido por este efecto y los frustrados ocupantes no tienen ni pueden tener control sobre este efecto. En un espacio reverberante existe la tendencia a que el ruido retroalimente al ruido y así los grupos de personas en una mesa en una cafetería, tratan de hacerse entender por los otros estando inmersos en el ruido y también oírse ellos mismos; para hacerse entender y oírse suben el nivel de la voz, este proceso continua hasta que el ruido es casi inaguantable. Lamentablemente otro lugar donde este efecto puede tener efectos negativos a largo plazo es el aula de clase para niños de primaria o preescolar³⁶. En estos salones se debería tener la claridad más alta posible para el lenguaje. El nivel de sonido que se alcanza está determinado en última instancia por el salón, así

³⁶ Otro factor que interviene en la necesidad de que los salones de clase no sean muy reverberantes (lo que se suele denominar como un recinto “vivo”, es decir que el sonido se queda rebotando en el recinto o salón durante un tiempo largo, los tiempos en que se queda el sonido rebotando deben ser del orden de $T = 0.6-0.4$ s), es el llamado tiempo de integración del oído: el tiempo después del cual las reflexiones de las paredes tienen menos del 100% de utilidad en su contribución a la inteligibilidad del lenguaje. En otras palabras las reflexiones –que dan el tiempo de reverberación--ayudan a la inteligibilidad del lenguaje en los niños durante un tiempo menor (30% menor) que en los adultos.

si la reverberación es alta, el nivel de sonido será alto. Los lugares muy “vivos” exacerban el efecto y las consecuencias correspondientes (Lubman & Sutherland, 2002).

El efecto *cocktail*, es un efecto que se confunde con el efecto *cafetería* -sobre todo en Estados Unidos (Mac Lean, 1959)- ya que este efecto -social- es muy notable en las reuniones. Sin embargo, el efecto *cocktail* en realidad se refiere (Cherry, 1953) al efecto totalmente subjetivo y controlable, en que una persona enfoca su atención a una conversación para entenderla. Cuando la concentración logra “enfocar” la conversación, a pesar del nivel de ruido de fondo, el efecto es notable y puede uno tomar conciencia de lo que está oyendo: la conversación--entendiéndola claramente-- y como ruido de fondo un barullo de conversaciones ininteligibles y esto aun cuando la conversación no sea cercana al oyente (Whitlock & Dodd, 2006).

Otro mecanismo que opera en nosotros y el oído es el llamado efecto *de precedencia*. Este mecanismo lo usamos cuando estamos en un recinto o en el aire libre. Consiste en que localizamos una fuente sonora en función del sonido que nos llega primero. A las primeras ondas que nos llegan les damos preferencia o *precedencia* sobre cualquier otra onda que nos llegue después. El oído junta todo lo que sucede dentro de una milésima de segundo (ms) y le asigna a esto la precedencia en la localización. Es como si fuere una reja que se abre, deja entrar información sobre localización durante 1 ms y después se cierra. Este mecanismo lo usamos constantemente en un recinto. Cuando una fuente en un recinto emite sonido nos llega primero el sonido directo y es a este sonido al que le vamos a asignar la dirección de la fuente, le damos precedencia sobre las siguientes reflexiones y la reverberación subsecuente. Si no oímos el inicio del sonido o entramos a un recinto donde ya está una fuente emitiendo sonido es muy difícil localizar la fuente, pues no tuvimos la ventaja de haber oído las primeras ondas que aparecieron cuando se prendió la fuente, es decir no oímos el inicio (“onset” en inglés) del sonido.

Este efecto ocurre en lugares públicos como estaciones de autobuses, o iglesias. Particularmente en las iglesias, pues generalmente (al menos en México) tienen sistemas de sonido limitados a un micrófono, un amplificador y bocinas por todos lados. Se ve al sacerdote que habla pero el sonido sale de la bocina más cercana y los presentes oyen al sacerdote como si estuviera

pegado a la pared a cuatro metros de altura; hay una incongruencia entre lo que vemos y lo que oímos. En la estación de autobuses simplemente asignamos la voz a la bocina más cercana y prestamos atención a esta bocina (si es que se entiende, como generalmente no ocurre).

Otros efectos son totalmente subjetivos, como la *anamnesis* que sucede cuando un sonido despierta el recuerdo de algún evento en nuestra vida, lejano en el tiempo. Otro efecto, es la *anticipación*, en que el escucha oye o pre-oye lo que oír, o sea la señal esperada, aun cuando no se ha recibido físicamente ningún sonido. Esto puede suceder con un sonido no conocido y cuando hay una expectación de que se debe de oír algo correspondiente a un evento dado. Aparece cuando, por ejemplo, se ha oído mucho un disco y acaba una pista, se oye literalmente, el inicio de la pista siguiente tal cual si la pista ya estuviera sonando, aun cuando todavía no ha empezado.

La *fonomnesis*, efecto imaginado, se refiere a un sonido que es imaginado pero no escuchado en la realidad exterior. Es una actividad mental que involucra una escucha interna, ejemplos de ello serían sonidos ligados a una situación dada, no es necesariamente un recuerdo sino una situación vivida que genera una escucha interior y silenciosa. Puede ser una melodía recordada o la imaginación de esa melodía tocada en otro instrumento.

El efecto de *remanencia* es la continuación de un sonido que ya no se oye. Después de la extinción de la emisión y propagación el sonido da la impresión de que se “queda en el oído”. La *remanencia* no es ni una anamnesis ni *fonomnesis*, no involucra la memoria temprana o profunda, es como la traza, en el sentido de restos, de señales acústicas que decayeron. En música es la impresión que tenemos, de que un tono de fondo o clima sonoro o musical de referencia, persiste aunque ya no exista. Puede suceder cuando soñamos con algún sonido (y en este caso no hubo un sonido real sino imaginado o producido por la mente) y despertamos súbitamente y seguimos oyendo el sonido. Aun cuando el objeto y la causa ya no existen. Puede suceder causado por una pesadilla, en que se oye un sonido aterradorante y despertamos angustiados por la pesadilla y con el sonido todavía oyéndolo, a veces incluso con efectos añadidos, efectos como una reverberación, en este caso también imaginada ¿y realmente oída?

La utilización del concepto de efecto sonoro en estudios de ambientes sonoros es una manera más creativa de atacar el problema de los ambientes sonoros arquitectónicos o urbanos, a diferencia de la manera tradicional que sólo busca proteger a las personas de los sonidos.

REFERENCIAS

1. Augoyard, J. F., & Torgue, H. (Eds.). (2014). *Sonic experience: a guide to everyday sounds*. McGill-Queen's Press-MQUP.
2. Bailey, B.A., & Davidson, J.W. (2005) Effects of group singing and performance for marginalized and middle-class singers, *Psychology of Music*, **33**(3), 269-303.
3. Bartholomew, T. (1934). A physical definition of 'good voice quality' in the male voice, *J Acoust. Soc. Am.* **6**, 25-33.
4. Bartholomew, W. T. (1942). *J. Acoust Soc Amer.* **6**, 25-33.
5. Beck, R.J., Cesario, T.C., Yousefi, A. & Enamoto, H. (2000) Choral singing, performance perception, and immune system changes in salivary immunoglobulin A and cortisol, *Music Perception*, **18** (1), 87-106.
6. Benade, A. H. (1976). *Fundamentals of musical acoustics*, Oxford University Press, London.
7. Birnholz, J. C. & Benacerraf, B. B. (1983). The development of the human fetal hearing. *Science*, **222**, 516-18.
8. Cherry, E.C. (1953). Some experiments on the recognition of speech with one and two ears, *J. Acoust. Soc. Am.* **25**, 975-979.
9. Childs, M. R. (1998). Prenatal language learning. *Journal of Prenatal & Perinatal Psychology & Health*, **13**(2), 99.
10. Clift, S. et al., (2008) Choral singing, wellbeing and health: summary of findings from a cross-national survey, Sydney de Haan Research Centre for *Arts and Health*, *Sydney de Haan reports*: **6**, 2008. ISBN:978-1-899253-31-9.
11. Clift, S., & Hancox, G. (2010). The significance of choral singing for sustaining psychological wellbeing: findings from a survey of choristers in England, Australia and Germany. *Music Performance Research*, **3**.
12. DeCasper, A. & Sigafos (1983), The intrauterine heartbeat: A potent reinforcer for newborns. *Infant Behavior and Development*, **6**, 19-25.

13. Depalle, P., Garcia, G., & Rodet, X. (1995, October). The recreation of a castrato voice, Farinelli's voice. In *Applications of Signal Processing to Audio and Acoustics, 1995. IEEE ASSP Workshop on* (pp. 242-245). IEEE.
14. Di Benedetto, P., Cavazzon, M., Mondolo, F., Rugiu, G., Peratoner, A., & Biasutti, E. (2009). Voice and choral singing treatment: A new approach for speech and voice disorders in Parkinson's disease. *Eur J Phys Rehabil Med*, **45**(1), 13-19.
15. Di Carlo S. (2007) **Les voix de Maria Callas**, *La Lettre du Musicien* n° 347; http://afpc-evtafrance.evta-online.org/fileadmin/EVTA-Upload/A-RESSOURCES_SITE_AFPC/Articles_rubrique_MEDIATHEQUE/0-Articles_de_0_a_10/2_voix_de_callas__scotto.pdf
16. Di Carlo S. (2008). Luciano Pavarotti, le colosse à la voix solaire, *Pour la Science* n° 366.
17. Di Carlo, N. S. (1991), La voix chantée. *La Recherche*, XXIII, **235** : 1016-1025. ([Format PDF](#), 18 Mo).
18. Di Carlo, N. S. (2002). X-ray study of a professional soprano's postural strategy for increasing laryngeal mobility, *Folia Phoniatrica et Logopaedica*, **54**(4), 165-170. ([Document PDF](#), 3.6 Mo)
19. Di Carlo, N. S., & Guaitella, I. (2004). Facial expressions of emotion in speech and singing. *SEMIOTICA-LA HAYE THEN BERLIN*-, **149**, 37-56. ISSN (Online) 1613-3692, ISSN (Print) 0037-1998, DOI: [10.1515/semi.2004.036](https://doi.org/10.1515/semi.2004.036), January 2006
20. Dussik, K. (1942). Über die möglichkeit hoch frequente mechanischeschwingungen als diagnostisches hilfsmittel zuverwerten. *Zeitschrift für Neurologische Psychiatrie*, **174**:153.
21. Evans, C., Canavan, M., Foy, C., Langford, R., & Proctor, R. (2012). Can group singing provide effective speech therapy for people with Parkinson's disease?. *Arts & Health*, **4**(1), 83-95.
22. Fant, G. (1960). *Acoustic Theory of Speech Production*. Mouton & Co., The Hague, Netherlands.
23. Gibson, J. (1968). *The Senses Considered as Perceptual Systems*, London: George Allen
24. Gilmore, T. M. & Madaule, P. P. (1984). *The Tomatis Anthology* Toronto: The Listening Centre.

25. Henrich, N., Kiek, M., Smith, J., & Wolfe, J. (2007). Resonance strategies used in Bulgarian women's singing style: A pilot study. *Logopedics Phoniatrics Vocology*, **32** (4), 171-177.
26. Herbinet, C. & Busnet, M. C. (1991). *L'aube des Sens*, Paris.. Citado en: Reznikoff, 2005.
27. Kuhn, D. (2002). The effects of active and passive participation in musical activity on the immune system as measured by salivary immunoglobulin A (SigA), *Journal of Music Therapy*, **39** (1), 30-39.
28. Levin, T., & Edgerton, M. (1999). The throat-singers of Tuva. *Scientific American Edition*, **281**, 80-87.
29. Lombard, E. (1911), Le signe de l'élevation de la voix, *Ann., maladies Oreille, Larynx, Nez, Pharynx* **37**, 101-119, (traducido al inglés por T. Scelo (2003).)
30. Lubman, D. & Sutherland (2002), Role of soundscape in childrens learning, *Proceedings of First Pan American/Iberian Meeting on Acoustics*, Cancun, Mexico.
31. Mac Lean, W.R. (1959), On the acoustics of cocktail parties, *J. Acoust. Soc. Am.* **31**, 79-80.
32. May, L., Byers-Heinlein, K., Gervain, J., & Werker, J. F. (2011). Language and the newborn brain: does prenatal language experience shape the neonate neural response to speech?. *Frontiers in Psychology*, **2**, 222.
33. Miller, R. (1996). *On the art of singing*. Oxford University Press.
34. Miller, R. (2007). *Securing baritone, bass-baritone, and bass voices*, Oxford University Press, US. p 143.
35. Morimoto, M., Nishina, E., Yagi, R., Kawai, N., Nakamura, S., Honda, M. & Oohashi, T. (2004). Transcultural study on frequency and fluctuation structure of singing voices. *Proceedings of ICA 2004*, Mo5.C1.1,I-493.
36. Murooka H., Koie Y., & Suda N. (1976). Analyse des sons intra-uterins et leurs effets tranquillissants sur le nouveau. *Journal of. Gynecology and Obstetrics: Biologie de la Reproduction*, **5**, 367-376.
37. Polverini-Rey, R. (1992). *Intrauterine musical learning: The soothing effect on newborns of a lullaby learned prenatally* (Dissertation).
38. Power, M., Harper, A., Bullinger, M. (1999) & *The World Health Organization Quality of Life Group*.
39. Pujol, R., Lavigne-rebillard, M., & Uziel, A. (1991). Development of the human cochlea. *Acta Oto-Laryngologica*, **111**(sup482), 7-13.

40. Rivera R. A., (2009). The sounds of clinical medicine, *Translation Journal*, **13** (2), April.
<http://accurapid.com/journal>,<http://www.translationdirectory.com/articles/article2004.php>
41. Reznikoff, I. (2005). On primitive elements of musical meaning. *The Journal of Music and Meaning*, 3..
42. Rosner, B.S., & Doherty, N. E. (1979).The response of neonates to intra-uterine sounds. *Developmental Medicine and Child Neurology*, **21**, 723-729.
43. Schutte, H. K., Miller, D. G., & Duijnste, M. (2005). Resonance strategies revealed in recorded tenor high notes. *Folia phoniatricaeetlogopaedica*, **57** (5-6), 292-307.
44. Scotto di Carlo, N. (1994). Internal voice sensitivities in opera singers. *Folia phoniatricae et logopaedica*, **46**(2), 79-85.
45. Shahidullah, S. & Hepper, P. (1992). Hearing in the fetus: Prenatal detection of deafness. *Int. J. Prenatal and Perinatal Studies*, **4** (3 and 4), 235-240.
46. Silber, L. (2005) Bars behind bars: the impact of a women's prison choir on social harmony, *Music Education Research*, **7** (2), 251-271.
47. Sundberg, J. (1977). The acoustics of the singing voice. *Scientific American*, 82.
48. Sundberg, J., Trovén, M., & Richter, B. (2007). Sopranos with a singer's formant? Historical, Physiological, and Acoustical Aspects of Castrato Singing. *Kungliga Tekniska Högskolan*, **49**, 1-6.
49. The World Health Organization WHOQOL-100: tests of the universality of quality of life in 15 different cultural groups worldwide, *Health Psychology*, **18**(5), 495-505.
50. Tomatis, A. (1969). *El oído y el lenguaje*. Barcelona: Ediciones Martinez Roca, SA.
51. Torres, B. y Gimeno, F. (2008). *Anatomía de la voz*. Editorial Paidotribo.
52. Wan, C. Y., Rüber, T., Hohmann, A., & Schlaug, G. (2010). The therapeutic effects of singing in neurological disorders. *Music perception*, **27**(4), 287.
53. Watanabe, H. (2005) Changing adult learning in Japan: the shift from traditional singing to karaoke, *International Journal of Lifelong Education*, **24** (3), 257-267.

54. Whitlock J. & Dodd G. (2006), Acoustics-controlling the cafe effect...is the Lombard effect the key?, *Proceedings of Acoustics*, 20-22 November 2006, Christchurch, New Zealand.
55. Whitwell, D.(1993), *Music As A Language: A New Philosophy Of Music Education* Northridge, CA: Winds.
56. WHOQOL Group (1994), 'The development of the World Health Organization quality of life assessment instrument (the WHOQOL)', J. Orley and W. Kuyken (eds), *Quality of Life Assessment: International Perspectives*, Berlin: Springer.

CONFIDENCIAL

Capitulo V. Los Sonidos de la Tierra



LA GEOFONÓSFERA

Los sonidos de la Tierra son producidos en la atmósfera, en su superficie misma y en el mar. Son parte de los sonidos del paisaje sonoro y pueden ocurrir en cualquier parte de nuestro planeta, a cualquier hora, de día o de noche. Son sonidos que ocurren de manera natural, pero no son de origen biológico o antropológico, es decir, son manifestaciones sonoras de la actividad geológica o atmosférica, e incluye fuentes naturales de sonido, de origen meteorológico como el viento, la lluvia y los rayos; o bien, son de origen geofísico como por volcanes, avalanchas, maremotos, etc. Estos sonidos, o más bien sus fuentes, se agrupan en una palabra: “Geofonía”, que denomina y agrupa los sonidos de los diversos fenómenos naturales, tales como el viento, la lluvia, tormentas, rayos, temblores, erupciones volcánicas, etc. Muchos de estos sonidos fueron grabados como parte de un estudio realizado en 2001-2002, en el Parque Nacional Sequoia/King’s Canyon, en Estados Unidos. A la Geofonía, junto con la Biofonía, y la Antropofonía, se les considera los componentes del paisaje sonoro en términos del sonido (Krause, 2008). Estos sonidos por su origen podemos llamarlos geofónicos, biofónicos o antropofónicos.

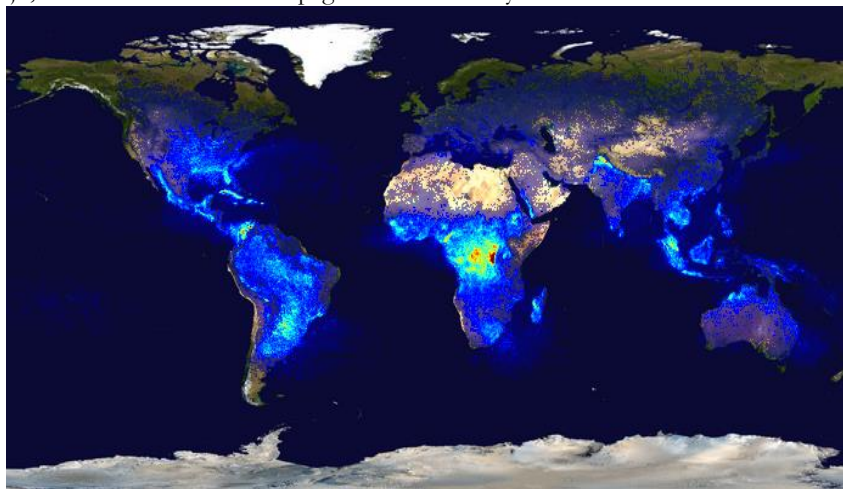
LOS RAYOS Y LOS TRUENOS

*[...] Se desgaja el espléndido follaje
del viejo tronco que al rajarse cruje;
el huracán golpea los peñones, su última racha entre las grietas zumba
y es su postrer rugido de coraje
el trueno que, alejándose, retumba
sobre el desierto y lóbrego paisaje [...]*¹

¹ Del poema Himno de los bosques, Manuel José Othón, Poemas Rústicos, Aguilar Vera y Comp., Editores. MDCCCII.

Los rayos son parte del majestuoso espectáculo de las tormentas, que en la mayoría de las personas causan admiración, pero también en algunos casos temor. En un bosque, en una noche de verano, durante una tormenta intensa, cuando se escucha la lluvia golpear en las hojas de los árboles y en la tierra, y al viento silbar y se ven los relámpagos enceguecedores, cuando los rayos están encima de uno, cuando se oye el clic, el chasquido, el latigazo y el trueno, pueden provocarnos casi terror. Las tormentas son, cuando se experimentan con todos los sentidos, uno de los fenómenos más poderosos de la naturaleza. ¿Qué es un rayo? Un rayo es una descarga gigante de corriente eléctrica, producida o causada por la generación de campos

Figura 5.1 Distribución global de rayos de Abril 1995-Febrero 2003, observaciones combinadas de la NASA, instrumentos OTD (4/95-3/00) y LIS (1/98-2/03). https://encrypted-tbn1.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQxBg_YWc756N9agyUINrCTD8svmggA9aHwwmeTORjW10PovhkRWg. Las zonas en azul claro, azul-verdoso, amarillo y rojo, tienen un ritmo de relámpagueo cada vez mayor.



eléctricos gigantes por la acumulación de carga eléctrica en las nubes, durante una tormenta, y la inducción de cargas contrarias en la Tierra, en la zona debajo de las nubes de tormenta. Viaja por el aire y produce una columna de plasma caliente de algunos centímetros de grosor y de unos 7 o más km de longitud. Un rayo descarga decenas de miles de amperes (hasta

mil millones de amperes) con temperaturas altísimas y ocurre cuando se genera un altísimo voltaje entre nube y Tierra, entre nube y nube, e incluso entre una nube y la ionósfera. Ocurren los rayos fundamentalmente sobre los continentes, como se puede observar en la [Figura 5.1](#).

Las descargas o rayos nube-Tierra son muy comunes, y se calcula que en cualquier instante caen en la Tierra alrededor de 100 rayos cada segundo. Ocurren más en verano que en invierno. La punta del rayo viaja a cerca de 220 000 km/h, y las temperaturas que se alcanzan en el rayo son de hasta más de 30 000 °C, cinco veces la temperatura del sol².

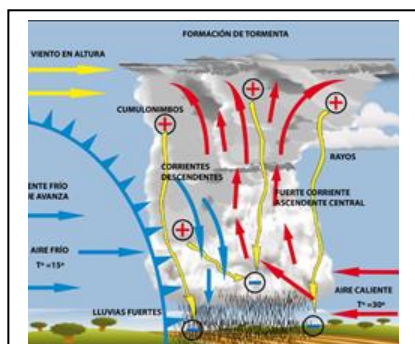


Figura 5.2 En una tormenta hay corrientes ascendentes y descendentes que generan cargas eléctricas en las nubes.<http://blogs.larioja.com/eltiempo/2016/06/05/noche-de-tormenta-formacion-de-las-tormentas-rayos/>

La radiación electromagnética generada por el rayo, incluyendo la luz, viaja a una velocidad de alrededor de 300 metros por microsegundo (μs) y llega, por ejemplo, a un observador situado a digamos, 3 400 m de distancia, en alrededor de 11 μs , ($3\,400\text{ m} \div 300\text{ m}/\mu\text{s} \approx 11\text{ }\mu\text{s}$), es decir, el intervalo de tiempo entre el relámpago y el trueno está dado por la distancia del observador al rayo, dividida entre la velocidad de la luz. En cambio, el trueno correspondiente viaja a la velocidad del sonido en el aire, es decir, a 340 metros por segundo (m/s), a una temperatura de 20°C y

² La tensión eléctrica o voltaje entre una nube y la superficie terrestre, justo antes de la descarga del rayo, se estima que puede tener un valor de entre 100 000 000 y 1 000 000 000 de volts! Durante las descargas producen efectos secundarios en las instalaciones eléctricas, que pueden dañar equipos electrónicos y líneas de conducción eléctrica. Por ello existe toda una metodología tecnológica para evitar los daños causados por los rayos.

llega entonces al observador, después de aproximadamente 10 s, un lapso de tiempo que es un millón de veces mayor que lo que tardó la luz del relámpago (que refleja el hecho de que las velocidades del sonido y de la luz difieren por un factor de aproximadamente 1 000 000). Este lapso de tiempo, entre relámpago y trueno, es pues de aproximadamente 3 segundos por kilómetro de distancia recorrida al punto más cercano al canal del rayo.

Los rayos pueden causar daños a equipos electrónicos y líneas de transmisión, además de incendios forestales, por miles de millones de pesos al año en el mundo (Gomes, *et al.*, 2006).

Los rayos son hijos de las tormentas, y estas ocurren, principalmente, en épocas de verano cuando hay mucha humedad en la atmósfera, cuando el sol calienta la tierra y esto a su vez calienta el aire en contacto con el suelo, este aire caliente al ser menos denso que el aire a más altitud, sube rápidamente, se forman columnas de aire caliente que suben por convección y estas grandes masas de aire caliente, al llegar a zonas más frías se condensan formando grandes nubes, las más grandes en la atmósfera, los *cúmulonimbos*; si hay algún frente frío que chocha con esta zona caliente, más aire húmedo es forzado hacia arriba y se puede formar una gran tormenta.



Figura 5.3 Se generan cargas eléctricas en la Tierra y también en la nube.
<http://www.lectrotech.co.za/lightn>

La generación de los rayos no es totalmente comprendida en su totalidad, pero está asociada a la aparición de la tormenta. La teoría más aceptada, de como ocurre la generación de cargas negativas y positivas en una nube, es más o menos la siguiente: durante una tormenta hay corrientes muy poderosas de aire, vientos que suben y que bajan, estando muy juntos. Los vientos ascendentes transportan gotas de agua muy pequeñas, microgotas, hasta las regiones de las nubes, de arriba de 3 000 metros hasta 8 000 metros de altura, en la zona media de las nubes *cúmulonimbos*, en donde las temperaturas son congelantes, del orden de -10 a -25 grados centígrados.

Las corrientes descendentes transportan granizo y hielo en pequeñas partículas (del orden de micras de

diámetro) de esas regiones congelantes, hacia la base de las nubes. Durante este transporte, de agua hacia arriba y hielo hacia abajo, las gotas y las partículas de hielo chocan entre sí, sobre todo en la parte central de la gran nube; cuando chocan liberan calor lo que hace que la superficie del granizo y hielo esté ligeramente más caliente que sus alrededores y se forma un granizo suave llamado “*Graupel*” (del alemán, granizo fino) , cuando éste choca con otras gotas y partículas de hielo, ocurre un fenómeno que es crítico, se “arrancan” electrones de las partículas que ascienden (que adquieren una carga positiva) y se quedan en el *Graupel*, éste queda suspendido en el centro de la nube o se acumula más en la base de la nube. Así, las nubes adquieren una carga negativa en la parte baja de la nube o en el centro, y un poco de carga positiva en la base inferior (debido a la precipitación y temperaturas más



Figura 5.4. Rayo nube-Tierra, se observa la ramificación a partir de una o varias zonas de la nube y un canal principal más intenso. <https://phys.org/news/2015-07-lightning.html>

cálidas), pero mucha carga positiva en la cima de la nube que, además por los vientos ascendentes se extienden horizontalmente hacia los bordes, formando el “yunque” del *cúmulonimbos*, Figura 5.2.

Y aunque las cargas negativas y positivas se atraen, el aire es un aislante muy bueno, de tal manera que se genera una diferencia de potencial gigantesca³. Las cargas se siguen acumulando durante la tormenta y se generan campos eléctricos tanto entre el centro de la

nube, en la base y la cresta, como entre la base de la nube y la Tierra, pues la carga negativa repele a los electrones de la tierra de tal manera que en la superficie de ésta se crea una zona de cargas positivas. Esta zona de cargas

³ La diferencia de potencial, o voltaje, necesario para que salte una chispa entre dos polos con cargas eléctricas contrarias en el aire (llamada fortaleza dieléctrica), es de 3 000 000 de V/m, es decir, para que salte una chispa entre dos polos, separados por 1 m de distancia, cargados eléctricamente, debe haber un voltaje de tres millones de volts entre ellos. Esto quiere decir, que para tener una chispa a una distancia de 1 cm se necesitan 30 000 volts, y para una distancia de 1 mm, 3000 volts, etc.

positivas, como una sombra eléctrica, va con ella conforme la tormenta se mueve. Conforme las cargas eléctricas positivas y negativas se continúan acumulando, las partes altas de postes, árboles y edificios se van cargando positivamente, [Figura 5.3](#).

Cuando el campo eléctrico es tan grande que el aire no aguanta la presión eléctrica (el voltaje), la carga negativa en forma de ramas se empieza a mover hacia la Tierra, y va haciendo caminos (canal de iones, que es conductivo eléctricamente) en zigzag de trayectoria impredecible, buscando el camino más corto a donde descargar, a esta rama se le llama “*líder*”. La rama que más pronto se acerca a la tierra, y a algunas decenas de metros de altura, encuentra con otra rama, mucho más corta en longitud, de la tierra hacia arriba, que sale de algún punto como un árbol, poste, animal, etc., y se le llama “*streamer*”, suceso que no se ve a simple vista y que sucede en varias centenas de milisegundos; cuando estas dos ramas se encuentran, se genera la llamada *descarga, de retorno*, el relámpago que ocurre en un tiempo de entre 10-20 μ s, creándose un canal de iones a altas temperaturas o plasma que permanece como camino abierto, por algunos cientos de milisegundos y esto permite que ocurran varias descargas sucesivas (que vemos como un parpadeo). Esta(s) descarga(s) es lo que oímos y vemos como un rayo nube-Tierra, [Figura 5.4](#).

En el sitio:



[Figura 5.5](#) Descarga nube-nube, <http://www.physics-and-radio-electronics.com/blog/lightning-lightning-works/>

http://www.lightningsafety.noaa.gov/science/science_slow_motion_flashes.htm se pueden observar videos, espectaculares, del proceso de generación del rayo desde la aparición de las primeras ramas de la nube y como una de ellas llega a encontrar a la de Tierra.

El 75% de las descargas ocurre entre nubes, o entre la misma nube, [Figura 5.5](#), el trueno en este caso es menos sonoro que el rayo que cae a tierra, el 20% es de la base de la nube a la

Tierra, y el 5% entre la cresta positiva de la nube y Tierra (descarga positiva)⁴.

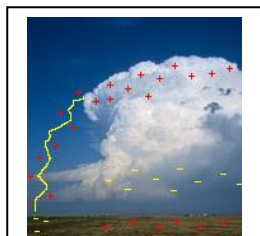


Figura 5.6 Rayo de descarga positiva del yunque de la nube a tierra.

Las descargas positivas, van de la parte más alta de la nube (llamada yunque) hacia Tierra, en dondequiera que haya una carga negativa en la Tierra (causada por la inducción de la parte positiva del yunque, que está desbordada del grueso de la nube), Fig. 5.6. Estas descargas son hasta 4 o 5 veces más poderosas que las negativas, duran 10 veces más tiempo, y caen hasta 20 km o más de distancia de la tormenta, producen grandes cantidades de energía electromagnética de muy baja frecuencia (VLF) y son responsables, se dice, de la mayoría de los

incendios en bosques y líneas eléctricas, y de las descargas anómalas hacia el espacio exterior (*sprites* , *elves*); ver, por ejemplo, el sitio <http://www.lightningsafety.noaa.gov/science/scienceintro.htm>

Los rayos .Tierra-nube o hacia arriba, se inician como en el caso de la descarga nube-Tierra, pero la línea de ramificación está invertida, es decir, de la Tierra hacia las nubes. Generalmente ocurren en estructuras altas o muy altas como rascacielos, torres de televisión o radio, etc. Aparentemente hay dos tipos ramificados o una sola rama o tronco que sube con varios



Figura 5.7 Rayo Tierra-nube, a partir de una torre de televisión. La descarga principal y las ramificaciones van, en este caso, hacia las nubes.

<https://www.flickr.com/photos/ollerbytes/9186799886>

⁴ El que la descarga sea negativa o positiva, tiene que ver con el sentido del flujo de electrones. La convención con respecto a la corriente eléctrica, es que es positiva si va de un polo positivo a un polo negativo, de ("+" a "-"), pero en realidad físicamente el flujo de electrones va en sentido contrario. En los rayos, se dice que la descarga es positiva cuando va de la parte positiva de la nube a una región, de la Tierra o de la nube, que tiene cargas negativas; es decir, el flujo de electrones va de la Tierra a la nube (de + a -). Y a la inversa, la descarga es negativa, cuando el rayo (el flujo de electrones) es de la base de la nube a Tierra (de - a +). Todo está de acuerdo, pues, con la convención común en electricidad.

relámpagos de descarga, [Figura 5.7](#). Se dice que estos rayos ocurren sólo en este tipo de estructuras, por lo que sería un fenómeno inducido por el hombre. Pero, en realidad, puede ocurrir en algún pico de una montaña que esté más elevado que sus alrededores. Como las estructuras y edificios de este tipo son cada vez más comunes en todos los países este tipo de rayos se ven con mucha más frecuencia que en épocas pasadas.

CÓMO SUENA UN TRUENO.

¿Porqué “truenan” los rayos? Los ruidos audibles (truenos) son ondas de choque, producidas por la expansión súbita de los gases de la atmósfera en la trayectoria (el “canal” de plasma, que tiene 2-7 cm de diámetro) de la descarga. La expansión se produce por el súbito calentamiento debido a la corriente eléctrica, de manera similar a lo que sucede cuando una corriente eléctrica circula por un cable. Si la corriente es demasiado grande para el grosor del cable y éste es demasiado delgado, la temperatura del cable aumenta tanto que éste se funde; éste es el caso cuando hay un corto circuito, que sabemos puede provocar un incendio. También se produce en el caso de los rayos, ruido infrasónico que no percibimos, asociado a la contracción del volumen de la nube al descargar las cargas eléctricas. El trueno es la emisión acústica, impulsiva y retumbante, asociada al relámpago. Las frecuencias de las ondas acústicas del trueno las oímos con tonos bajos y retumbantes, debido a que van de unos cuantos Hz (ciclos/segundo) a cientos de Hz, desde la parte media hasta el final del trueno. Sólo al principio del trueno, y cuando se está relativamente cerca --unos cientos de metros-- se oyen altas frecuencias y, en tal caso, hasta frecuencias de unos cuantos miles de Hertz.

Los sonidos de los truenos de rayos lejanos se describen por términos como (*palmada*), de entre 0.2 y 2 segundos de duración; repique (“*peal*” en inglés), que son sonidos de gran amplitud que cambian de frecuencia o amplitud; redoble (“*roll*”), sonidos con variaciones irregulares de amplitud moderada; y,

*retumbe*⁵, de baja frecuencia y larga duración (Rakov & Uman, 2003, p. 375). Los sonidos de rayos cercanos se describen, cuando el rayo cae a algunas centenas de metros --de 100 a 400 m--, como si una tela se *rasgara*, dura una fracción de segundo, y después este sonido se transformará en un sonido mucho más fuerte, como de un *cañonazo*. El origen del sonido de rasgado se atribuye a la descarga de un solo canal muy recto y de longitud igual a la distancia al observador. Cuando el rayo cae a menos de 100 m, se oye primero un *cli*, después un *latigazo*, y posteriormente un *retumbe* continuo. Las intensidades del sonido pueden ser, de hasta 110 dBre20μPa, o más, a 1 km de distancia.

Los rayos nube-Tierra se distinguen porque son, acústicamente, los más intensos, se forman las ramas que generan sonidos de *crujidos*, o varias ramificaciones hacia Tierra, también porque muy a menudo hay varios *flashazos* correspondientes a varias descargas una tras otra, de diferentes regiones de la nube que ocupan el canal principal de plasma, todas estas descargas ocurren en un tiempo muy corto, del orden de un segundo.



http://www.lightningsafety.noaa.gov/science/science_slow_m

Los rayos o descargas intranube son los menos intensos acústicamente, y también lumínicamente. Por un lado son menos intensos en la descarga y por el otro, están muy lejanos al escucha convencional en Tierra. El sonido es como un *crujido* relativamente suave, de algo que se desgarrar, a veces como si tuviera un aleteo o batimento con eco, como el sonido de un crujido entre dos paredes muy cercanas. Todos sabemos cómo suena un trueno y cuando oímos una grabación de un trueno, lo identificamos casi sin ninguna duda.

⁵ Estos términos los emplean los expertos en rayos para describir los sonidos del trueno, aunque se basan en descripciones subjetivas u onomatopéyicas, dan idea de los sonidos oídos por personas observadoras de rayos; cualquier persona interesada en el fenómeno puede observar y dar cuenta de estos sonidos u otros.

Pero hay muchos tipos de sonidos dentro de los truenos que son los sonidos del rayo y hay distintos tipos de rayos. Los sonidos que oímos dependen, además, de muchos factores, como la distancia a que cayó el rayo, la temperatura del aire, la cantidad de nubes y de humedad en la atmósfera, la cantidad de ramas que tiene el rayo y la distancia al observador de esas ramas; de si están atrás, arriba, al lado, o enfrente al observador (en el cielo), etc. Todo lo anterior se traduce en que varios observadores en puntos diferentes separados por centenas o miles de metros, no oyen el mismo trueno, cada quien tendrá su versión del trueno.

La mayoría de los rayos Nube-Tierra tienen muchas ramas que se extienden hacia afuera en varias direcciones en el espacio cuando un rayo, por ejemplo, cae a 3 km del observador puede ser que primero se oiga el sonido correspondiente a una rama que esté directamente arriba o atrás, etc.; así, si se oye un sonido (relativamente fuerte pero suave) como de *crujido* corresponde, con seguridad, a alguna rama cercana y es el primer sonido que oímos, y después oiríamos el sonido, de otras ramas cercanas, si las hubiera, luego el principal, el *estampido*, y probablemente continuaríamos oyendo *retumbos*, de partes lejanas horizontales del rayo, en el interior de las nubes con sonidos suaves, casi calmados y calmantes, y de otras ramas alejadas, *crujidos* más suaves como con eco, en dirección contraria a las iniciales.



Sonidos de rayos según el tipo de relámpago.

La duración del trueno, es decir, el tiempo que seguimos oyendo sonidos asociados a un sólo rayo, es una medida de la diferencia de distancias entre los puntos más cercanos y lejanos del canal de descarga del relámpago, que puede ocurrir hacia varios lados y entre las nubes, al igual que hacia la superficie de la Tierra o de ésta a la nube. Si contásemos el tiempo entre el relámpago y el trueno principal, y siguiéramos contando hasta que desaparece el sonido de un rayo, tendríamos idea de la extensión del rayo. Así, por ejemplo si contáramos 3 segundos hasta el inicio del sonido (un *crujido* relativamente suave), y 10 segundos hasta el trueno principal y hasta 20 segundos cuando se apagan los *retumbos* del sonido; podríamos inferir que hubo una rama arriba de nosotros, a (aproximadamente) 1 km de altura, que la parte más cercana estaba a 1 km, que el rayo principal cayó a tres km de nosotros y que el rayo se extendió cuando menos otros tres km más allá del rayo principal, o sea pudo haber

tenido una extensión de alrededor de 6 km, más allá de nosotros; la duración de un trueno usualmente varía de 10 a 40 s, pero puede durar más.

En el sitio <http://stormhighway.com/thunderc.php>, se pueden oír ruidos y sonidos de rayos específicos clasificados según el tipo de relámpago

Los rayos, con relativa frecuencia, son causa de heridos y muertos en la población, sobre todo rural; se ha calculado la cantidad de fatalidades entre 6 000 (Cardoso *et al.*, 2011) y 24 000 (Holle, 2016) en la población mundial, y en alrededor de ¡240 000 heridos por año! Más que los muertos por todos los huracanes y tornados juntos, en un año promedio, en el mundo. Esto sucede sobre todo en áreas rurales, en el trabajo de campo (en la India mueren alrededor de 2 500 personas al año), en juegos de fútbol y baseball, en acampados, etc. Y casi la mitad de ellos ocurren cuando las personas se “protegen”, contra las tormentas y los rayos, debajo de un árbol⁶



. En México hubo alrededor de 7 300 muertos entre 1979 y 2011, sobre todo en los estados con mayor población rural (Raga *et al.*, 2014). Este problema se podría reducir con relativas facilidad y rapidez y, a bajos costos, con un programa de educación sobre la seguridad contra los rayos, que fuera motivante, con información efectiva y que

⁶ Los rayos pueden caer hasta cerca de 20 km de distancia (los de descarga positiva suelen tener estas distancias) de donde ocurre la tormenta. En realidad ningún lugar al aire libre es seguro. Si se oyen los rayos y hay nubes negras en las cercanías, está uno en peligro, se debe buscar un lugar cerrado o un vehículo con techo (automóvil) y debería uno permanecer hasta 30 min después de haber oído el último trueno. No hablar por teléfono, o usar aparatos eléctricos (planchas, taladros, etc.) cuando caen los rayos, pues la mayoría de los heridos o muertos en recintos son por esta causa; en Estados Unidos, por ejemplo, son causados por las líneas telefónicas. Una persona al guarecerse bajo un árbol, aumenta la posibilidad de que le caiga un rayo (el árbol es alto, tiene agua y savia lo que lo hace una trayectoria de resistencia baja; si ha llovido mucho, el rayo circula por debajo de la corteza, lo que hace que ésta explote, si el árbol está enfermo o no ha llovido, puede circular por dentro y estallar.

abarcara todo el país (Roeder *et al.*, 2012)⁷. Se da información sobre los rayos en: Kithil, R., (2004): The Mechanism of Thunder. National Lightning Safety Institute, 2 pp. www.lightningsafety.com/nlsi_info/thunder2.html . Cuando un rayo cae en la Tierra o en un objeto cualquiera, la corriente eléctrica fluye sobre su superficie en un área alrededor del objeto. La corriente puede encontrar un animal o persona y correr por su cuerpo (ya que es una trayectoria de menor resistencia eléctrica) a través de los pies o patas, que forman un puente. Si ocurre en animales, la distancia entre las patas, es grande, y tienen más probabilidad de morir por la corriente que los recorre; en el humano depende de la separación de los pies sobre la Tierra.



Figura 5.8 Rayos en la región de Catatumbo, Maracaibo, Venezuela. http://www.boydom.com/wp-content/uploads/2012/12/CatatumboLightningBoydom.com_.jpg

Los truenos rara vez se oyen a más de 25 km de distancia del rayo, observación que se documentó desde 1738, aunque se han documentado casos de truenos que se oyeron a 100 km de distancia. En el mar la distancia es aún menor, de cerca de 8 km, lo cual se percibe en las costas, cuando en una playa

⁷ En relación a esto, se cree que el uso de pararrayos, en las casas o edificios evita la “caída” de un rayo. Esto no necesariamente es así, lo que hacen los pararrayos, es darle a la carga acumulada en la Tierra una punta muy aguda para que se descargue, muy lentamente, ionizando el aire a su alrededor, lentamente, y si aun así cae un rayo darle una trayectoria de mínima resistencia, de tal manera, que no circule por las líneas eléctricas, la estructura, líneas telefónicas o de agua o gas que hay en los edificios o casas. El pararrayos NO previene totalmente la caída de rayos, ni protege un área de la Tierra más allá de una pequeña zona a su alrededor.

se observa a la distancia una tormenta que está cerca del horizonte, a veces no se oyen los rayos, sólo se observa el relámpago. Como la velocidad del sonido es proporcional a la raíz cuadrada de la temperatura, y la temperatura de la atmósfera disminuye con la altura, el sonido se desvía hacia arriba (la parte de la onda de sonido que viaja cerca del mar le “gana” a la parte de la onda que viaja en las alturas más frías, curvándose así la onda completa hacia arriba). En el mar esta disminución de la temperatura es más marcada, y la desviación o deflexión hacia arriba provoca que las tormentas en el horizonte las oigamos como si fueran muy lejanas, muchas veces se ven los rayos sin oírlos. El número de rayos que caen al año en la Tierra es de más de 1 000 000 000.

Las regiones más activas eléctricamente en el mundo se encuentran en los alrededores del Lago de Maracaibo, en Venezuela, una región de lago y pantanos, de 300 000 hectáreas (3 000 km²), cercana al Río Catatumbo, [Figura 5.8](#). Al fenómeno que se presenta en el Lago de Maracaibo se le llama “Relámpago de Catatumbo” o “Faro del Maracaibo”, debido a que la luz constante que genera durante las noches, facilita la navegación en ríos y en el lago. Presenta la más alta actividad eléctrica del mundo, durante casi todo el año, usualmente con máxima actividad durante los meses de mayo a octubre, en que llegan a presentarse hasta más de 250 tormentas al año, y en que caen entre 15 a 60 rayos por minuto⁸.

Se observa más este fenómeno durante la noche, parece ser debido a una combinación de la topografía, los vientos imperantes (alisios del noreste) que acumulan humedad en las laderas de la Cordillera de Mérida, en el otro extremo del lago, y que facilita la formación de grandes cúmulonimbos, y el calor que forma tormentas constantes. Existe otra teoría que atribuye este

⁸ Existe un poema de Lope de Vega, “La Dragontea”, que data de 1597, en el cual se cuenta que la luz de los relámpagos previno el ataque del pirata Sir Francis Drake a Maracaibo, Venezuela.

fenómeno a un proceso químico, debido al gas metano acumulado en los pantanos y a la acción de los factores antes citados, y es atribuida a un mecanismo llamado piroeléctrico (Falcón *et al.*, 2000). Pero otros autores dicen que las concentraciones de metano no son tan altas y que hay regiones del mundo donde la concentración es mayor y no ocurre este fenómeno. El ritmo de relampagueo es de aproximadamente 250 relámpagos por km², por año (Albrecht *et al.*, 2009, 2011), lo que equivale a que caen, en ocasiones, hasta más de ¡1 00 000 de rayos o relámpagos al año! Esto se ha determinado con la ayuda de satélites de la Red Mundial de Localización de Rayos (WWLLN), en <http://wwlln.net/>⁹. Otra región de alta actividad se ubica en las cercanías de la frontera Colombia-Venezuela (Bürgesser *et al.*, 2012); y, una más en la República del Congo, cerca de la ciudad de Kifuka. México también algunas zonas de las más intensas en generación de rayos, en la zona del Pacífico (Nayarit, Jalisco, Colima, etc.) y en el Golfo de México en el sur de México (Veracruz, Tabasco, Campeche, Yucatán, etc.).

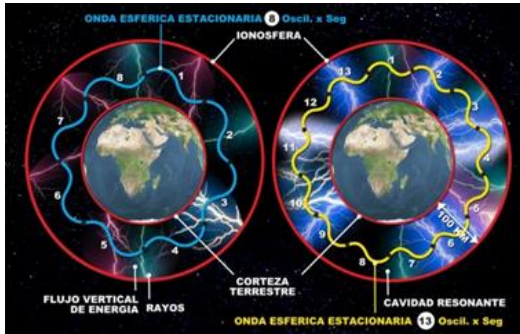
EFFECTOS EN LA IONOSFERA TRADUCIBLES A SONIDOS

La Ionósfera es la región de la atmósfera que es ionizada por la radiación solar y la radiación cósmica. Se ubica a una altitud de cerca de 90 km y se extiende hacia arriba hasta una altura de 500 km. Está compuesta de gas ionizado, es decir, de moléculas o átomos cargados eléctricamente, y alta densidad de electrones. En la ionósfera suceden muchos fenómenos eléctricos y magnéticos muy complicados, que dan lugar a ondas electromagnéticas de diversos tipos. La ionósfera y la superficie de la Tierra forman una especie de emparedado con aire, al cual se le llama "guía de ondas", por donde las señales de radio van rebotando en una especie de

⁹ La Red Mundial de Localización de Rayos (Worl Wide Lightning Location Network, WWLLN) tiene un conjunto de satélites y estaciones terrestres que monitorean la caída de rayos en toda la Tierra. En E.U. existe además la NLDN (Red nacional de detección de rayos). Estas redes detectan ondas electromagnéticas de muy baja frecuencia (VLF), de 3 a 30 kHz y entre 0.3 y 3 MHz.

Figura 5.9 La Ionósfera es una capa de iones que atrapa las ondas de radio, y constituye una capa reflejante para ellas. La capa en el dibujo no está a escala, pues 90 km es el 1.5% del diámetro de la Tierra. Tomada de:

virgiliotovar.wordpress.com .



zigzag entre la Tierra y la capa ionizada, **Figura 5.9**. Aunque la Ionósfera contiene sólo una pequeña fracción del material de la atmósfera-- menos del 1 %-- es muy importante por su efecto en el paso de las ondas de radio. Cuando la radiación solar (rayos X, ultravioleta, etc.) llega a los componentes químicos de la atmósfera: oxígeno, hidrógeno, etc., los electrones son

desprendidos de las moléculas y se produce el plasma ionosférico.

Toda guía de ondas tiene una frecuencia, llamada de corte, dada por su ancho, por lo que mientras más cerca está la frecuencia de la onda a la frecuencia de corte, la onda viaja más lentamente. La frecuencia de corte de la guía de onda de la Tierra es de cerca de 3 kHz (entre la superficie de la Tierra y la Ionósfera cabe media longitud de onda), las ondas con frecuencias arriba de esta frecuencia pueden viajar, las que tienen frecuencias menores no viajan. Como el espectro (contenido de frecuencias) de los rayos es de baja frecuencia, el efecto de guía de ondas sobre las bajas frecuencias se ve más resaltado. La ionización por el Sol hace que sea cambiante en altura e intensidad. Pero, en general, las señales a que dan origen son de baja frecuencia (las longitudes de onda ocupan una parte significativa de la Ionósfera, por ejemplo, a 2 kHz la longitud de onda de una onda electromagnética de baja frecuencia es de 150 km de largo).

Por otro lado, los rayos además de luz, sonido, calor y descargas eléctricas en líneas y aparatos electrónicos, generan un espectro amplio de ondas electromagnéticas; la energía radiada está en un rango de frecuencias de entre unos cuantos Hz hasta cientos de megahertz, pero la mayor parte de la energía está en la región de bajas y muy bajas frecuencias¹⁰. Estas ondas de baja frecuencia, tienen actualmente mucha importancia, son objeto de estudio en diferentes campos de la física, y dan prueba de la existencia de una región llamada Plasmósfera y de la Plasmapausa.

Si los humanos tuviéramos un receptor de radio en el cerebro y antenas en las orejas, oiríamos una serie de extraños sonidos como silbidos, y ruidos, producidos por los rayos, que causaron extrañeza en los inicios de la radio. En la actualidad a algunos de esos sonidos muy característicos se les conocen con diversos nombres, de los más comunes *silbidos*, *estáticas*, *tuiks*, etc. Como no tenemos aditamentos electrónicos en nuestra anatomía, estos sonidos se pueden oír con un receptor de radio apropiado (relativamente simple), que puede convertir esas ondas de radio, a ondas acústicas que oímos por medio de una bocina. A los receptores de radio que captan estas señales se les llama de muy baja frecuencia (VLF del inglés: Very Low Frequency receptors).

También resulta que hay señales electromagnéticas producidas por cambios en el campo magnético de la Tierra, por ejemplo, las llamadas tormentas geomagnéticas que ocurren por el acoplamiento de campo magnético de la Tierra con el campo magnético del viento solar, causado por las erupciones solares, explosiones con eyección de masa de la corona solar, etc.; estos fenómenos inducen corrientes eléctricas en la Magnetósfera de la Tierra, lo

¹⁰ Entre los años de 1920 y 1980, la única manera de oír “otros mundos” era a través de aparatos de radio de onda corta (longitud de onda de 10 a 80 m, y frecuencias de 3.5 a 30 MHz), de madera o bakelita (primer plástico o resina fenólica sintética, 1907), a la luz y calor de los “bulbos” (válvulas termiónicas). Se oía en tiempo real, información y sonidos de lugares distantes, otros idiomas, muchos ruidos y silbidos, con volumen (intensidad) aleatorio, iban y venían, era la voz de otros continentes.

que a su vez induce corrientes eléctricas en las antenas y líneas eléctricas de potencia, lo que provoca, a veces, daños en equipo electrónico, y apagones en grandes áreas urbanas. Estas tormentas geomagnéticas producen emisiones de baja frecuencia que reciben el nombre de *coros*. Las cuales traducidas a sonidos, suenan muy distintivamente como grillos o pájaros cantando y, en general, como sonidos de una zona tropical. En un espectrograma se ven como pequeños arcos que suben, con menos de un segundo de duración en general. Estas señales ocurren más frecuentemente en las primeras horas de la mañana.

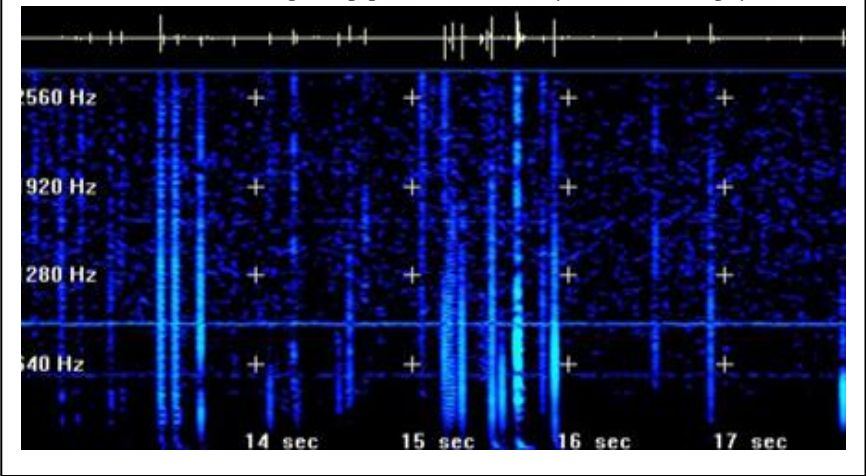
El problema de la “estática” causada por las tormentas, se conoció desde la invención del telégrafo, al percibirse en los equipos de telégrafo, sobre todo durante las tormentas atmosféricas y solares que bloqueaban las transmisiones, como en 1882, cuando se interrumpieron las señales de cable entre Cuba y México (Noviembre 17, New York Times 11/18, p. 1, 1882).

Las ondas electromagnéticas se usaron en la radio a partir de los primeros años del siglo XX; presentándose además de las señales deseadas, el problema de la recepción de perturbaciones electromagnéticas, que se traducían en ruido acústico en la recepción de las transmisiones de radio, los sonidos característicos suenan como *crackk, pop, psbh, etc.*, a los cuales se les denominó “estática” (*sferics* en inglés). Se le consideraba totalmente irritante y una molestia que debía eliminarse, para hacerlo hubo cientos de inventos y patentes. En general la perturbación estática suena como “carnitas”, [Figura 5.10](#), friéndose y como el craqueo de un fuego de leña

Dentro de los sonidos de la estática hay unos silbidos extraños, y que fueran producidos como consecuencia de los rayos, no fue obvio; de hecho su historia se remonta a 1917, cuando un ingeniero alemán (Barkhausen, 1919)) durante la Primera Guerra Mundial, monitoreando las señales de radio de los aliados, reportó la audición de una “especie de silbidos” que no podía explicar, pero que sonaban como lo hacían las bombas al caer. De hecho pasaron varios años de investigación para llegar a conocer su causa y origen.

Como el rango de frecuencias del silbido es del orden de las del sonido, el equipo usado era muy simple (una antena, un detector de cristal y audífonos), determinó que las señales provenían de la atmósfera (citado en Stenzel, 1999). Eckersley (1935) determinó que los silbidos ocurrían cerca de un segundo después de un rayo y especuló que eran ecos de una estática. La estática se produce simultáneamente al rayo y, en consecuencia, ocurre

Figura 5.10 Espectro dinámico de las “estáticas”, que se oyen como "carnitas" friéndose en aceite, o un *craqueleo*, *pop crack*, *usbhh* .etc. y más onomatopeyas.



durante un tiempo muy corto, se puede oír o detectar hasta distancias de miles de kilómetros pues queda atrapada entre la Tierra y la Ionósfera, aun si no hay tormentas cerca de donde uno está ubicado. Los rayos caen a la Tierra todo o casi todo el tiempo (hasta alrededor de 100 veces por segundo), de tal manera que las señales de radio producidas por los rayos están viajando todo el tiempo, alrededor de nuestro planeta; pero, la mejor hora para oírlos es al anochecer o al amanecer, igual que las señales de radio de onda corta.

Storey (1953) propuso que la perturbación electromagnética producida por un rayo se propagaba fuera de la atmósfera de la Tierra y en vez de encontrar un vacío se encontraba con una región de material ionosférico, la perturbación se transforma en un silbido porque, la ahora llamada

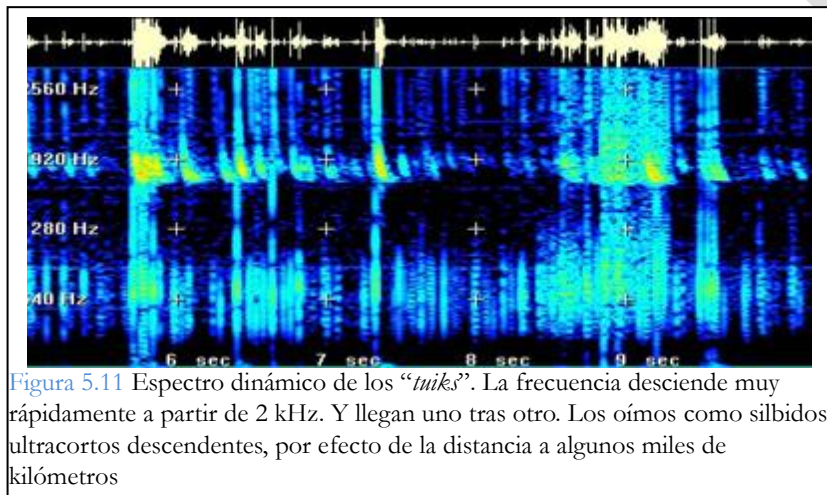
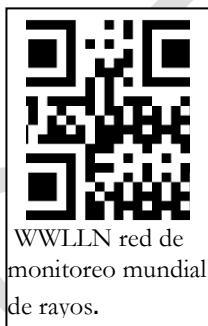


Figura 5.11 Espectro dinámico de los “tuiks”. La frecuencia descende muy rápidamente a partir de 2 kHz. Y llegan uno tras otro. Los oímos como silbidos ultracortos descendentes, por efecto de la distancia a algunos miles de kilómetros

Plasmósfera, tiene diferentes índices de refracción en función de la frecuencia, lo que determina que las frecuencias altas viajen más rápidamente que las frecuencias bajas (lo que a su vez, hace que las frecuencias altas lleguen primero a un observador - receptor de radio- dado).



Las ondas hacia la Ionósfera recorren muchos kilómetros y las frecuencias bajas de las ondas electromagnéticas al viajar más lentamente llegan más tarde a la Tierra, de ahí que el tono descienda en frecuencia y lo oímos como un silbido rápido y descendente, a partir de una frecuencia relativamente alta de varios kHz. Ahora se les llama, “tuiks” en general, a esos silbidos (*tuiks*, en inglés), [Figura 5.11](#)

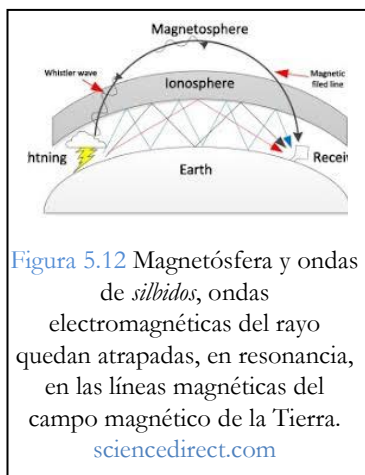


Figura 5.12 Magnetósfera y ondas de silbidos, ondas electromagnéticas del rayo quedan atrapadas, en resonancia, en las líneas magnéticas del campo magnético de la Tierra.

sciondiredit.com

A frecuencias muy bajas, la energía del rayo puede quedar atrapada entre la superficie de la Tierra y la Ionósfera, pero se acopla a través de esta última a la Magnetósfera, siguiendo las líneas del campo magnético terrestre. El campo magnético sirve de guía hasta 10 000 km o más de recorrido, pasan de un hemisferio a otro a lo largo de las líneas magnéticas del campo y se reflejan en la latitud opuesta correspondiente (llamadas áreas o puntos conjugados, del lado contrario de la Tierra) y pueden viajar de ida y vuelta varias veces, Figura 5.12.

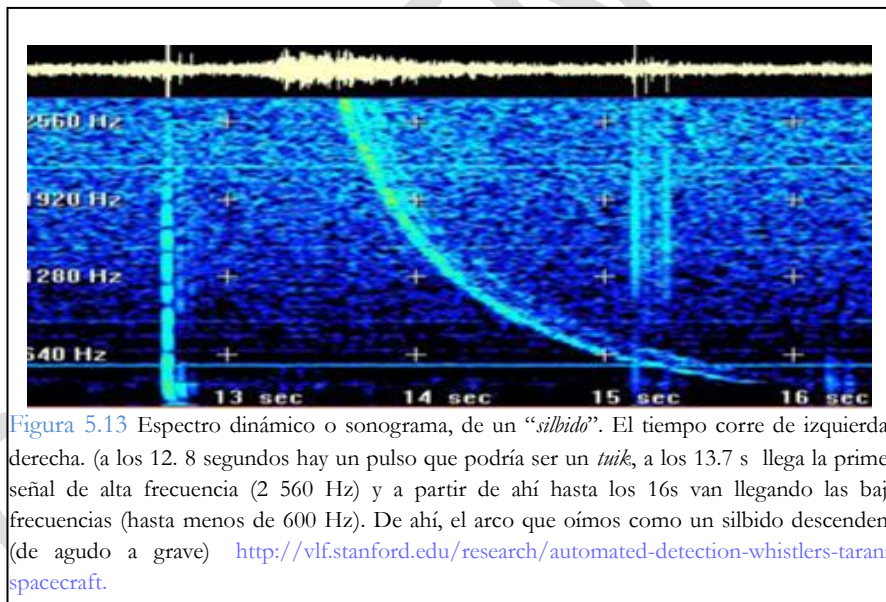


Figura 5.13 Espectro dinámico o sonograma, de un “silbido”. El tiempo corre de izquierda derecha. (a los 12. 8 segundos hay un pulso que podría ser un *tuik*, a los 13.7 s llega la primera señal de alta frecuencia (2 560 Hz) y a partir de ahí hasta los 16s van llegando las bajas frecuencias (hasta menos de 600 Hz). De ahí, el arco que oímos como un silbido descendente (de agudo a grave) <http://vlf.stanford.edu/research/automated-detection-whistlers-tarani-spacecraft>.

Dado que el camino recorrido es muy grande, de hasta 20 000 km, los efectos de la dispersión son muy grandes, el sonido es como un silbido largo descendente (que dura entre 2 y 3 segundos), o como de una bomba cayendo,

es el *silbido*. Un *silbido* empieza a alrededor de 10 kHz y desciende en hasta algunos cientos de Hz¹¹., en unos cuantos segundos, [Figura 5.13](#). Los *silbidos* se dispersan no por el efecto de una guía de onda, sino porque viajan grandes distancias a través de plasmas (Stenzel, 1999).¹².

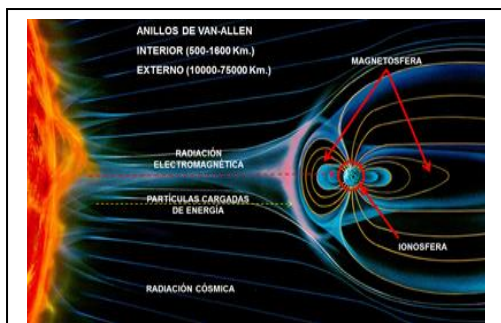


Figura 5.14 Los efectos de los rayos a través de los *Silbidos* pueden afectar hasta los cinturones de Van Allen.

<http://tertuliaspoeticas.blogspot.com/2017/09/tormentas-solares.html>

El estudio de los *silbidos* (acústicos), originaron un área de investigación sobre las ondas electromagnéticas que los generan. La onda electromagnética producida por un rayo y que genera un *silbido* es una onda que viaja dispersivamente en la ionósfera y en la magnetósfera (hay diversos tipos de silbidos), y estas ondas dieron la prueba de que existe una capa de plasma de baja energía

de origen ionosférico llamada ahora Plasmósfera y de su frontera (Plasmapausa); también pueden modificar en sus trayectorias la distribución de la energía de los electrones de alta energía en los cinturones de radiación de Van Allen (Green, 2006), [Figura 5.14](#).

¹¹ Durante el Año Geofísico Internacional se estableció una red de detectores de *silbidos* y se descubrió la Plasmapausa, la frontera de la Plasmósfera donde la densidad de electrones baja hasta 100 veces, y se estableció firmemente la teoría que explica el origen de los *silbidos*.

¹² El Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM, desde 2003, participa en la red mundial de detección de estas descargas eléctricas de baja frecuencia. Esta red cuenta con más de 50 estaciones a nivel mundial.

Hay otro tipo de descargas eléctricas que ocurren durante las llamadas tormentas troposféricas, la descarga va desde partes superiores de las nubes hacia el espacio y continúan hacia arriba hasta la Ionosfera. Se les llama eventos luminosos transitorios (TLE, Transient Luminous Events) y ocurren simultáneamente con rayos de descarga positiva hacia la Tierra. Se conocen como *sprites* (en inglés) y son descargas eléctricas de color rojo que se presentan con diversas formas y según la forma se les asignan diversos nombres, y se han observado ya miles desde su primera visión.

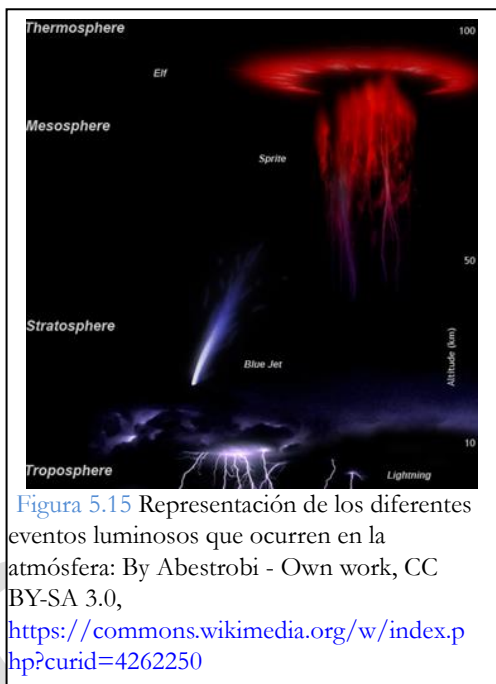


Figura 5.15 Representación de los diferentes eventos luminosos que ocurren en la atmósfera: By Abestrobi - Own work, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=4262250>

La Figura 5.15 muestra la forma general que estos eventos pueden tener, y la altura en Km que pueden alcanzar. La causa y los mecanismos que están detrás de la formación de estos fenómenos no se conocen a ciencia cierta.

En grabaciones de video de alta velocidad, se ha podido comprobar que tienen forma de bolas del tamaño de balones de fútbol. La existencia de este tipo de descarga se predijo desde 1920, pero apenas se observaron por primera vez en 1989. Otro tipo de descargas al espacio conocidas como jets

(azules y gigantes), que se extienden hasta la Ionósfera, y pueden llegar hasta más de ochenta kilómetros de altura, fueron observadas por primera vez en el 2001, y ocurren no necesariamente como consecuencia de un rayo que cae a la tierra. Desde entonces (al 2016), se han fotografiado solamente 10 de estos fenómenos (Williams, 2001; Boccippio *et al*, 1995).

En febrero de 2013 a las 03:20:00 UTC, se reportó el meteoro más grande desde el llamado evento de Tunguska, Rusia, de 1908. El evento se observó como un bólido viajando a través de la atmósfera, que explotó cerca de la ciudad de Chelyabinsk, Rusia. Se reportaron ondas sísmicas de Raleigh por el acoplamiento de la onda de choque de la explosión con la corteza terrestre hasta a 4 000 km del evento. Tenía 20 metros de diámetro y se empezó a desintegrar a partir de 45 km de altura, viajando a una velocidad de cerca de 20 km/ s. Explotó con una energía equivalente a 500 kilotones de TNT.



Videos:

<https://www.youtube.com/watch?v=mHyTOcfF99o>

Desde hace siglos, cuando ocurrían las llamadas “lluvias de estrellas”, algunas personas oían sonidos como de *siseos*, *zumbidos*, etc., simultáneos al paso de un meteorito. Uno de los primeros recuentos de este efecto data del año 817 en China. En ocasión de un bólido celeste (*fireball*, en inglés) que se observó en Inglaterra, en 1719, muchos testigos dijeron haber oído su paso con un *jísss*. Sin embargo, el famoso astrónomo E. Halley--quien predijo que el cometa que ahora lleva su nombre aparecería en 1705--desechó esas historias por ser producto de la fantasía, aduciendo, correctamente, que el meteoro había pasado a 60 millas de altura y la diferencia de tiempo entre el paso del meteoro y el sonido percibido por los observadores sería de cerca de 5 minutos, y no simultáneo y, por lo tanto, era imposible que se hubieran oído el sonido y observado el meteoro, simultáneamente.

Ésa fue la primera explicación escrita, de que se tiene noticia, entre lo que sería el sonido *normal* y el *anómalo*, aunque no explicó éste

último. Sin embargo, en 1783 un espectacular meteorito pasó sobre Escocia, y nuevamente hubo reportes de que mucha gente oyó sonidos durante el paso del bólido¹³. Hubo otros casos de sonidos reportados por el paso de meteoritos en las lluvias de estrellas durante muchos años.



A pesar de más de 300 años de su primera descripción, el fenómeno sonoro por el paso de meteoritos no tiene una explicación científica completa. Aunque hay una teoría más o menos aceptada, ninguna teoría puede explicar completamente como un meteorito puede generar los sonidos escuchados por muchas personas. Estos sonidos pueden ser agrupados en dos grupos: los sonidos *normales* y los *anómalos*, Figura 5.16. Un sonido normal sería el sonido producido por la onda de choque y el choque del meteorito contra la Tierra o cuando explota a cierta altura, o contra la Tierra; estas ondas viajan a la velocidad del sonido en el aire.

Por esto hay un *retardo* más o menos largo entre la observación visual del fenómeno de que se trate --paso, explosión o choque-- y el sonido oído (el caso más reciente es el del meteorito que cayó, Figura 5.17, en febrero de 2013 en Chelyabinsk, Rusia). Esto por supuesto depende de la distancia del

¹³ Debe recordarse que en estas épocas no se sabían las leyes de la electrostática, ni la existencia de ondas de radio.

observador al impacto o explosión. Y en última instancia es producto de las diferentes velocidades de viaje de la luz y del sonido, en números redondos cerca de un millón de veces más lento el sonido que la luz, al igual que en el caso de los rayos.

Los sonidos *anómalos* no tienen retardo y se ve la luz al mismo tiempo que se oyen los sonidos, asimismo, el carácter del sonido también es distinto durante el paso de un meteorito. Este fenómeno astronómico es uno de los más antiguos que no ha sido resuelto totalmente por la ciencia. En el sonido *anómalo o electrofónico*¹⁴, es que no hay retardo, el sonido y el evento son simultáneos. A mediados del siglo XX hubo intentos por resolver el dilema, pero no fue sino hasta 1980 que emergió una teoría física plausible.

Keay (1992) propuso que la cola de plasma del meteorito o del bólido podría generar emisiones de radio de Muy Baja Frecuencia o VLF, de entre 1 y 10 kHz. Si esto es así, entonces cuando un objeto de ciertas características —por ejemplo, objetos como armazones de lentes, espigas de pinos, etc. — esté cerca de un observador, se podrían oír sonidos debido a una transducción directa de energía. Aparentemente estos sonidos ocurren bajo ciertas condiciones de altura a la que pasa el meteorito, su velocidad, su tamaño y su brillantez. Esta teoría es la más aceptada como válida. Similarmente, ha habido reportes de que cuando las auroras boreales aparecen en el hemisferio norte, algunos observadores han oído sonidos similares.

¹⁴ El término “*sonido electrofónico*” se utilizó por primera vez para describir la sensación del sonido causado por el paso de una corriente eléctrica a través de la cabeza (Stevens, 1958), pero el primero en personalmente observar sonidos por este efecto fue A. Volta en 1800. En 1940 se usó el término *bólido electrofónico* para describir un meteoro acompañado por sonido anómalo (Dravert, 1940).



Figura 5.17 Meteorito de Chelyabinsk, tomado de slate.com, YouTube/ЕвгенийСлавенков.

.El primer estudio de estos sonidos (Romig & Lamar, 1963), concluyó que estos sonidos son muy probablemente similares a los llamados sonidos *brontofónicos*¹⁵ y los reportados para las Auroras boreale. Según estos autores, los sonidos se deben a descargas “*corona*”¹⁶ en conductores puntiagudos, incluyendo a algunas plantas.

La descarga *corona* es la que se observa en las esferas electrostáticas-- que se usan como adorno en tiendas desde los 90’s, y que cuando se prenden,

¹⁵ Los sonidos *brontofónicos* son los sonidos simultáneos o que preceden ligeramente al sonido del rayo cuando éste cae cerca de un observador. Hay otros sonidos, también poco estudiados, llamados sonidos “*aurora*” que son simultáneos con las auroras boreales.

¹⁶ El efecto “*corona*” en el aire, consiste en una descarga luminosa --color violeta claro, debido a la posterior neutralización de átomos de nitrógeno y oxígeno --debido a la ionización del aire que rodea a un conductor con un voltaje que excede al valor crítico de ruptura del aire.

emiten especie de rayos en miniatura entre el centro de la esfera y la esfera de

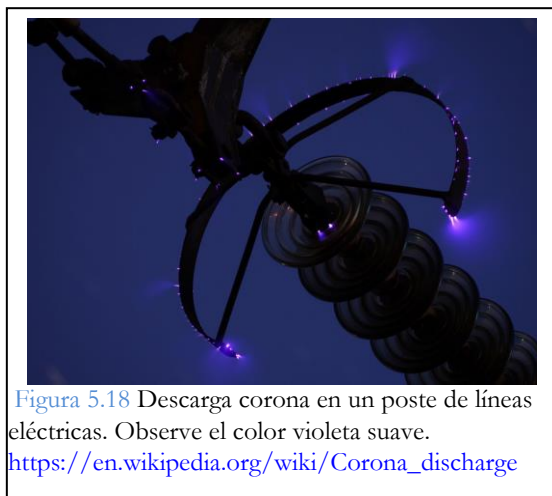


Figura 5.18 Descarga corona en un poste de líneas eléctricas. Observe el color violeta suave.

https://en.wikipedia.org/wiki/Corona_discharge

vidrio exterior con un color característico violeta claro, Figura 5.18. El sonido de esta descarga, vale la pena recordar, es similar al producido por la fritura de algún alimento. Keay (1992) estableció que la frecuencia de estas ondas electromagnéticas ocurre entre 30 Hz y 3 kHz, incluso hizo experimentos en

humanos y concluyó que estas ondas son capaces de hacer vibrar objetos comunes--de metal o dieléctricos--al entrar en resonancia y que producen, como consecuencia, ondas sonoras de la misma frecuencia. Es decir, funcionan como un transductor--convertidor--de ondas electromagnéticas a sonoras (Colin, 1993); esta teoría es la más aceptada como explicación de los sonidos anómalos.

Las primeras grabaciones de sonidos electrofónicos combinados con video y observaciones de VLF se efectuaron en 1998, --en un suceso de “lluvia de estrellas” llamado Las Leónidas que ocurre en noviembre de cada año. Este estudio mostró, sin embargo, que ninguna de estas teorías podía explicar totalmente estos datos (Zgrablic., *et al.*, 2002). El problema persiste y no está plenamente demostrado el origen de los sonidos electrofónicos; aunque actualmente se acepta, que el fenómeno de sonido anómalo sí es una realidad y no pura fantasía como manifestaba Halley.

Marco Polo narró en el siglo XIII, sus aventuras en sus viajes por Asia. En la narración de su travesía por el desierto de Gobi, en Mongolia (Polo, M., 1296), cuenta que se afirmaba como un hecho muy conocido, que esa región del desierto era el hogar de malos espíritus, que llevaban a los viajeros por medio de voces, que los llamaban y que los alejaban de su ruta, hacia su destrucción. También comentó que se decía: “... a veces, el aire se llena de sonidos de toda clase de instrumentos musicales, de tambores y del choque de armas.”



Figura 5.19 Dunas sonoras tipo *barjan* o *barkhan*.
Dunas de Altyn-Emel, Kazakstán. Tomada de:
en.wikipedia.org; <http://satkauskas.com/>.

Las dunas sonoras son dunas de arena que pueden producir un rumor estruendoso de baja frecuencia, que se puede oír, incluso, a varios kilómetros de distancia. Este sonido, casi un rugido a veces, puede parecer un gemido, truenos, eructos, tambores o hasta la propela de un avión. No todas las dunas producen sonidos, se conocen algunas pocas que sí (alrededor de 30) en

diversas regiones del mundo, por ejemplo, en Kelso (California) y en Sand Mountain (Nevada) en Estados Unidos, en Copiapó (Chile) y en Tarfaya (Marruecos). En el parque nacional [Gobi Gurvansaikhan National Park](#), se encuentran las llamadas Khongoryn Els o Duut Mankhan, probablemente las que describió Marco Polo.

El fenómeno sonoro sucede de manera espontánea, o puede ser inducido por una persona arrastrándose sobre la arena en la parte inclinada. El sonido siempre emana de dunas en forma de luna creciente, los cuernos de la luna creciente apuntan en la dirección del viento que las forma, [Figura 5.19](#).

Cuando la arena arrastrada por el viento se topa con una piedra o montículo se empieza a formar la duna con la forma característica. Conocidas como *barchanas*, tienen un ángulo de pendiente contra el viento de 32-35 grados, y en la dirección del viento de alrededor de 15 grados. El ángulo mayor es el máximo ángulo en que la arena se sostiene, pues si es superior empieza a resbalar—llamado ángulo de reposo de un cúmulo de arena— formando una avalancha.

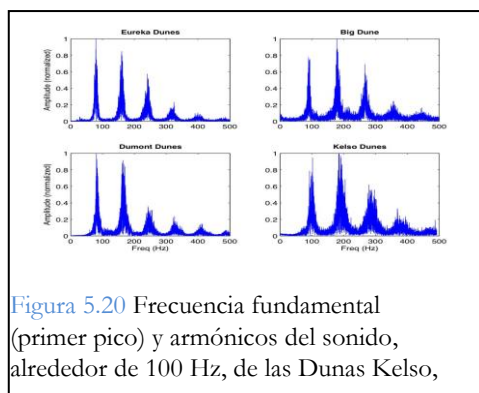


Figura 5.20 Frecuencia fundamental (primer pico) y armónicos del sonido, alrededor de 100 Hz, de las Dunas Kelso,

La intensidad del sonido puede llegar a 105 dB (similar, por ejemplo, al que puede existir en una discoteca). El sonido puede tener una cierta frecuencia inicial alta, pero rápidamente, en unos segundos, se produce una señal de frecuencia más baja, de alrededor de 50-300 Hz. La frecuencia particular a la que ocurre el sonido varía de duna a

duna, pero usualmente está entre los valores señalados. Por ejemplo, en las dunas Kelso, Figura 5.20, tiene usualmente una frecuencia de cerca de 100 Hz¹⁷.

Las condiciones requeridas para que se produzca el sonido son diversas: por ejemplo, los granos de la arena deben ser de tamaño medio (del orden de 200 μm o sea



<https://www.youtube.com/watch?v=4yFaMsUawi4>

¹⁷Este es un espectro de Fourier, que muestra las componentes de frecuencia, en el eje horizontal, contra la amplitud de esa componente, en el eje vertical. Se obtiene grabando el sonido y pasándolo por un analizador digital de Fourier, un aparato que calcula y despliega el espectro.

0.2 mm), más o menos uniformes, semi-redondeados con superficies lisas; y la arena superficial debe estar seca.

Actualmente hay al menos tres teorías en discusión para explicar el origen del sonido en estas dunas. La historia reciente de la investigación sobre arenas sonoras se inicia en el año 2001, aunque desde los años noventa del siglo pasado ya se reportaban estudios sobre las dunas sonoras.

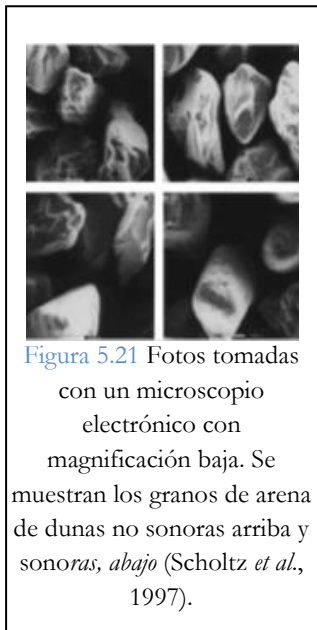
Andreotti (2004), sugirió que la cara de la duna actúa como la membrana de una bocina, amplificando las vibraciones de la superficie creadas por la avalancha. Aparentemente probó, que la capa que se desliza vibra como una Un grupo de jóvenes investigadores franceses visitaron Marruecos para estudiar la forma y movimiento de las dunas de arena (Douady, *et al.*, 2002). En YouTube se puede ver un buen video al respecto. Ellos encontraron que el sonido de las avalanchas producidas manualmente producía el mismo sonido que las naturales, lo que implicaba que el viento no tenía injerencia en esto. También concluyeron que la duna no resonaba como una cuerda o instrumento musical, ya que la frecuencia era la misma para diferentes tamaños de dunas, por lo que se enfocaron entonces al estudio del movimiento de los granos de arena, más que en las propiedades de la duna completa, [Figura 5.21](#).membrana (como bocina).



Sitio en que se puede ver un video de Douady:
<https://www.youtube.com/watch?v=4yFaMsUawi4>, en que se muestra como se genera el sonido en una duna

Aunque la arena es un material sólido granular, puede a veces fluir como un líquido, como cuando ocurre una avalancha. La avalancha ocurre porque el viento erosiona la parte trasera de la duna y se va acumulando arena en la cima, eventualmente la pendiente es tan grande, que ocurre un deslizamiento o avalancha, espontánea o inducida. Douady y Andreotti hipotetizaron, que los sonidos eran producidos, por la sincronización de los granos de arena al moverse deslizándose por las laderas de

la duna.



Durante el deslizamiento, aparecen patrones definidos conforme avanzan sobre la superficie de la duna, Figura 5.22.

Douady *et al.*, (2006), coinciden con Andreotti, en que la alta intensidad del sonido es causada por la superficie tan grande de la duna, y también en que la frecuencia depende del diámetro promedio de los granos de arena; pero difieren del mismo autor, en que la sincronización de los granos de arena resulta en una sola frecuencia (y armónicos). Andreotti estableció que los granos individuales chocan entre sí hasta 100 veces por segundo, creando así una retroalimentación que sincroniza a los granos, entonada a cierta frecuencia, y que el efecto es reproducible en el laboratorio, es decir, que no

se necesitaba una duna. Estas teorías tienen las mismas limitaciones ya que predicen, por ejemplo, que todas las dunas producen sonidos, no explican por qué a veces los sonidos siguen existiendo, aun cuando la avalancha cesó, etc., Ver, Poljšak, G. en: <http://wwwf1.ijs.si/~rudi/sola/SingingDunes.pdf>. Sus desavenencias y aventuras científicas se relatan en un artículo que incluso ganó un premio (el “mejor reportaje sobre un tema de las ciencias”, ABSW, Asociación Británica de Escritores de la Ciencia, 2007¹⁸).

¹⁸ <http://physicsworld.com/cws/article/print/26278> . Artículo de Mathew Chalmers, que expone la controversia y rencillas atrás de los intentos de explicar el misterio de las dunas cantoras y que da un ejemplo de cómo, en ocasiones, las relaciones interpersonales y las motivaciones personales para atacar un problema dado inciden en cómo se hace la ciencia. “Dentro de 10 o 15 años – cuando los investigadores hayan resuelto el misterio y



Figura 5.22 Deslizamiento en patrones de capas de arena en las dunas sonoras.
p014dg4w.jpg www.bbc.co.uk

Otra teoría de una investigadora en geofísica (Vriend et al, 2007) , basada en los resultados de mediciones con geófonos en duna reales, sugiere que la estructura de la duna con capas de diferente densidad debido al contenido de agua, genera canales o zonas de guía de ondas con armónicos (es decir, frecuencias múltiples

enteros de la frecuencia más baja), que provocan que haya ondas (sísmicas) de diferentes tipos que viajan por la duna. Las denominadas ondas “P” son las responsables del intenso rumor, (estas ondas son las que en los temblores viajan en el interior de la Tierra, no en su superficie), lo que explicaría porque el rumor persiste aun cuando no se ve nada en la superficie de la duna. Por el contrario, las ondas de Raleigh (ondas superficiales también generadas en los temblores, que viajan por la superficie de la Tierra), producen los sonidos descritos como “eructos” o del de una propela de avión. Esta investigadora estableció, que no hay correlación entre el diámetro de los granos y la frecuencia, (contradiendo la teoría de los dos investigadores anteriores. Sin embargo, en otro artículo de Andreotti (Andreotti *et al.*, 2008), se rebaten las conclusiones de Vriend y se expresa que no pueden existir las ondas “P ” en un medio granular como las dunas.

En resumen, parece que las investigaciones no coinciden en la parte teórica de la explicación, las teorías de Andreotti y Douady explican algunos aspectos del fenómeno, pero tienen sus deficiencias; la de Vriend y colaboradores, explica la complicada conjunción de las condiciones necesarias para que

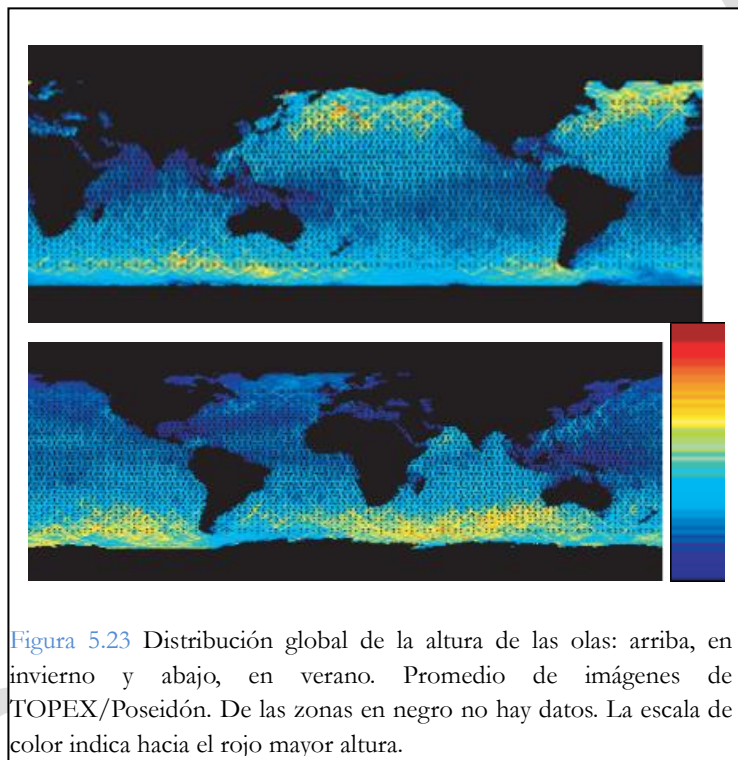
se hayan escrito capítulos en libros de texto- la física de las dunas cantoras será reescrita como el producto de una secuencia de pasos lógicos, habiendo sido todas las demás consideraciones, enterradas gradualmente como esqueletos en la arena”.

suenen. Mejores y más completas mediciones resolverán en el futuro esta interesante controversia científica.

EL PULSO DE LA TIERRA

En 1997 se descubrió que la Tierra posee oscilaciones libres, como una cuerda de guitarra que se estira y que al soltarla empieza a oscilar dando un tono característico, al igual que un balón, por ejemplo de basquetbol, cuando rebota en el piso, o una bola de boliche. A diferencia de las oscilaciones de una cuerda de guitarra cuyos periodos de oscilación duran del orden de milisegundos, los periodos de duración de una oscilación de la Tierra corresponden a vibraciones que tienen periodos de duración de entre 100 y 500 segundos, o sea, entre 1.66 y 8.33 minutos, lo cual equivale a un ritmo muy lento de alrededor entre 2 y 10 mHz (milésimas de Hz). Aparentemente las señales de la oscilación aparecen en todo sismómetro de banda ancha ubicado en lugares muy quietos. Estas vibraciones corresponden a los modos en que puede vibrar una esfera de materiales diversos (roca, magma). Estas señales tienen un nivel casi constante y se les ha denominado el “zumbido” de la Tierra, constituyendo una especie de temblor constante debido a ondas sísmicas que viajan constantemente por nuestro planeta. Estas oscilaciones son observadas, típicamente, con más claridad después de un temblor muy intenso, porque la Tierra oscila entonces con sus frecuencias de resonancia como una campana que ha sido tocada; serían similares a las oscilaciones de una bola de boliche (que es sólida), si se le diera un golpe y se dejara vibrar libremente.

Los latidos de la Tierra son producidos constantemente por las olas del mar. Las olas producidas en la superficie de los océanos por el clima de la Tierra, se pueden propagar por las profundidades de los océanos y producir a su vez ondas sísmicas medibles a lo largo y ancho de nuestro planeta; estas vibraciones ocurren todo el tiempo y persisten aun cuando no haya



temblores, así, este hecho apoya las teorías de la generación de ondas sísmicas por las olas de los océanos (Webb, 2007).

Tanimoto (2005) fue de los primeros investigadores que observaron y estudiaron este fenómeno en la época en que se desarrollaron los gravímetros superconductores -instrumentos que miden los cambios gravitacionales producidos por el movimiento de la Tierra-, lo suficientemente sensibles para detectar esas vibraciones de baja intensidad y larga duración.

Tanimoto recolectó los datos de estos instrumentos y después de varios años notó que las ondas sísmicas eran más fuertes en invierno (de diciembre a febrero) en el hemisferio norte, y de junio a agosto en el hemisferio sur, [Figura 5.23](#), justo cuando las tormentas en los mares del norte son más intensas y numerosas. Otros investigadores establecieron, usando redes de sismógrafos de Europa, Japón y California, que la mayoría de las excitaciones provienen del Océano Pacífico y del Mar del Norte, así como del océano alrededor de la Antártica (en el sur de Argentina y Chile). Las tormentas en estas zonas son famosas por su intensidad y constante permanencia durante los inviernos. De esto se concluye que existe una compleja interacción entre la atmósfera y los océanos y entre los océanos y la corteza terrestre, para generar el latido de la Tierra (Rhie & Romanowicz, 2004).

Este latido, proponen ellos, es generado por la interacción entre la atmósfera, los océanos y el suelo marino, probablemente a través de la conversión de la energía del viento en las tormentas a ondas de infragravedad oceánicas que interaccionan con la topografía del suelo marino.

Las “ondas de infragravedad” son una versión de frecuencia más baja de las ondas que llegan a las playas. Las ondas del mar son producidas por el viento y llegan a las playas en grupos de ondas de longitud corta; cuando estas ondas rompen, el nivel del mar permanece con una oscilación que dura de 50 a 100 segundos, del orden de 10 mHz; el nivel del mar es más bajo después que las grandes olas rompen, y es más alto después de que rompen las olas más pequeñas. La energía contenida en los océanos se convierte después en energía en ondas elásticas del suelo marino. La energía de la oscilación, contenida en última instancia en las grandes masas de agua en las oscilaciones--de baja frecuencia--rebota hacia el mar e interacciona con las olas entrantes, dando lugar a la aparición de los modos de vibración de la Tierra de muy baja frecuencia. También intervienen otros factores como, por ejemplo, la forma un tanto cóncava de la costa de los continentes que enfocarían las ondas de infragravedad hacia el fondo marino.

En resumen, estos mecanismos de excitación, bastante complicados, son los que generarían el llamado zumbido de la Tierra, que tiene un nivel de excitación equivalente al que produciría un temblor de magnitud 5.75 grados Richter; pero como se dijo, con una duración de la oscilación de varios minutos. Los modelos que tratan de explicarlo aún requieren de más mediciones para ser confirmados o rebatidos.

Existe otro “Hum” o murmullo de la Tierra, aparentemente es “misterioso” porque no ha sido resuelto en los casos en que se ha dicho que existe y no ha sido medido o estudiado apropiadamente; la gente lo ha reportado en varios lugares del mundo. Históricamente se ha mencionado más frecuentemente en el Reino Unido, desde los años 70’s. En Estados Unidos empezaron los reportes en 1990, sobre todo en Taos y en Kokomo (Begley & Meyer, 1993; Crenson, 1994). Parece ser que no es una forma de *tinnitus*¹⁹ y puede no ser un ruido acústico, y según algunos aparece también acompañado de náuseas, dolor de cabeza y dolor de oídos. La gran mayoría de los reportes son anecdóticos y una explicación probable es que algunas personas poseen la habilidad o capacidad de interpretar o percibir transmisiones de radio a ciertas frecuencias muy bajas, como sonido, lo que equivale a decir que sus oídos serían como antenas y receptores de radio. Según parece, algunas personas son capaces de oír ondas electromagnéticas de radio a ciertas frecuencias y a ciertas potencias. Algunas fuentes de estas ondas podrían ser los teléfonos celulares, radios de origen militar para comunicación con submarinos, etc. La realidad es que no existe una prueba contundente de que exista tal “Hum”, pero existen publicaciones que aseveran que existe la audición directa de ondas electromagnéticas (Elder & Chou, 2003).

¹⁹ El *tinnitus* es una sensación auditiva de un tono, con frecuencias de cientos de Hz hasta miles de Hz, que se experimenta cuando no hay un sonido externo. Algunos casos se asocian a sordera, pero no todos. Puede ocurrir a cualquier edad. Casi todas las personas han oído un zumbido o un tono cuando ha oído ruidos muy fuertes, padecen de fiebre o han consumido aspirina o algún otro medicamento. Puede durar segundos, días o ser permanente.

EL SONIDO DE LOS VOLCANES



Figura 5.24 Volcán Popocatepetl. Tomada de: “IMAGEN EN LA CIENCIA SERGIO DE REGULES”.

Los volcanes, [Figura 5.24](#), cuando están activos y/o antes de una erupción, producen sonidos de muchos tipos, desde explosiones, como de burbujas escapando, retumbes, silbidos, rugidos etc., y cuando hacen erupción pueden generar grandes catástrofes, y algunos de los ruidos más poderosos en la Tierra.



Figura 5.25. Dionisio Pulido, frente al volcán Parícutín que vio nacer en febrero de 1943, y que es el volcán más joven de América (al 2018). Parte del acta de nacimiento (del volcán), dice:...al Poniente o sea a su pueblo, observando con sorpresa que allá abajo en la Joyita se levantaban largas lenguas de fuego, con fuertes humaredas y estruendos nunca oídos, por lo que presa del pánico más terrible, huyó rumbo a Parícutín... <http://polaris.umich.mx/mich/volcan-paricutin/>

El nacimiento del volcán Parícutín en Michoacán, México, causó la desaparición de dos poblados Parícutín y Paragaricutiro, desapareciendo casi toda la fauna y flora de esa zona, además de 500 caballos y 4 500 cabezas de ganado.

En el acta de nacimiento del volcán Parícutín, el volcán más joven de América, que se realizó el 20 de febrero de 1943, están anotados los testimonios de la primera persona (Dionisio Pulido) que vio las fumarolas²⁰, y se da fe de que lo dicho es cierto, y el lugar exacto donde ocurrieron las fumarolas, temblores y *tremores*, por el nacimiento del volcán, Figura 5.25.

Una de las más famosas erupciones fue la del volcán de la isla de Krakatoa, en 1883, que mató a miles de personas, y afectó incluso islas cercanas. Las ondas sonoras fueron tan intensas que a distancias de 160

²⁰ ..hasta llegar a la falda del cerro oriental circunvecino; que allí como a las 17 horas, sintió un fuerte temblor y estruendos en la tierra a lo que no hizo mucho caso ya que con frecuencia se estaban efectuando cismos (sic) desde hacía más de ocho días, pero siguió escuchando fuertes ruidos subterráneos acompañados de temblores y que entonces todo aterrado volvió la vista al Poniente o sea a su pueblo, observando con sorpresa que allá abajo en la Joyita se levantaban largas lenguas de fuego, con fuertes humaredas y estruendos nunca oídos, por lo que presa del pánico más terrible, huyó rumbo a Parícutín

km del volcán, la gente sufrió dolor en los oídos y pérdida de la audición, hubo temblores anteriores a la erupción. Más aun, las ondas sonoras dieron la vuelta al mundo hasta 7 veces, como quedó registrado en estaciones que grababan la presión barométrica, antes de amortiguarse hasta no ser detectadas por los barómetros.

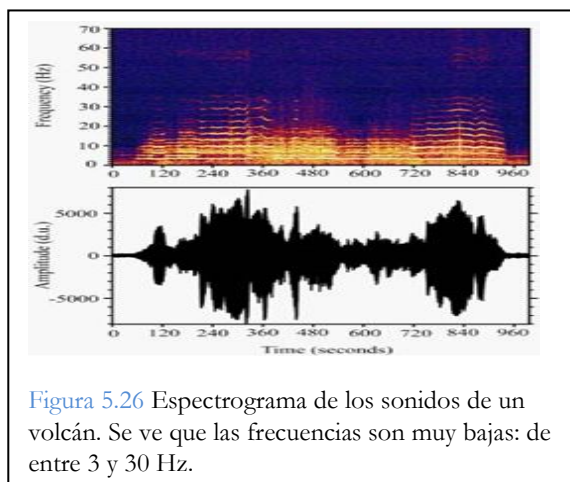
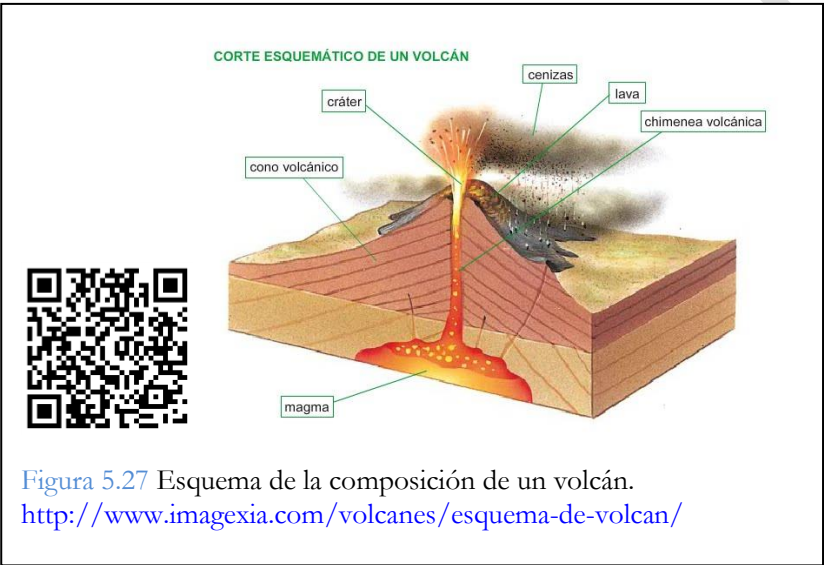


Figura 5.26 Espectrograma de los sonidos de un volcán. Se ve que las frecuencias son muy bajas: de entre 3 y 30 Hz.

Los sonidos y temblores (llamados temblores o terremotos volcano-tectónicos) de los procesos volcánicos en volcanes activos pueden ocurrir aunque no haya una erupción de lava, antes de una erupción, durante una erupción y aún después de la erupción, es decir, un volcán activo es una fuente activa de sonidos

de la Tierra. Antes de la erupción de un volcán surgen por la altísima presión del magma en grietas y canales, explosiones de burbujas y de cavidades y cuevas que se forman y que son resonantes; conforme el magma sube, la presión de los gases aumenta en las cavidades, que finalmente revientan y se expanden. Estos ruidos y oscilaciones de la tierra producidas en ambientes volcánicos se conocen como los *tremores* del volcán. Se le llama *tremor* a una oscilación que tiene una amplitud casi constante, en bandas de frecuencia estrechas de muy baja frecuencia (de menos de 10 Hz, es decir infrasonicos e inaudibles, aunque en términos geofísicos son llamados de alta frecuencia si tienen más de 5 o 6 Hz) durante tiempos relativamente largos de minutos a horas, Figura 5.26. Lo que se logra oír son los armónicos de ese infrasonido. Los volcanes, Figura 5.27, cuando empiezan a tener *tremores*, anuncian una posible erupción, el estallido del Monte Hellen en 1980, en el estado de

Washington, EUA, fue exitosamente predicho por los *tremores* anteriores a la erupción, al igual que el del Pinatubo, en Filipinas en 1991.



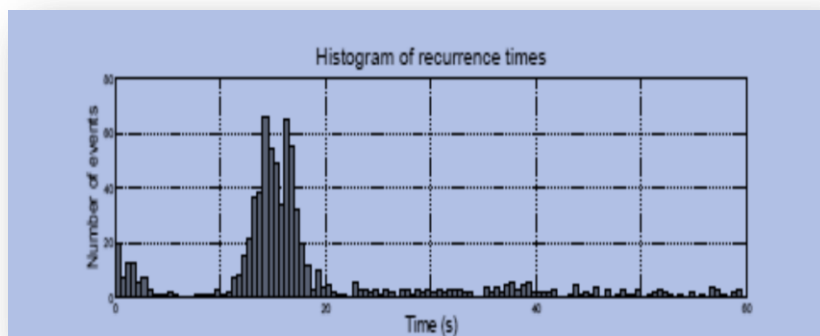
Muchas veces acompañan a los tremores explosiones, que junto con los tremores, caracterizan un proceso eruptivo y se traducen en un aumento súbito de la amplitud y de la frecuencia del temblor.



En varias partes del mundo existen efectos producidos por una combinación fortuita de rocas o fallas en las cordilleras y que dan por resultado cuevas, cavernas o cavidades, cerca del mar. En algunas de ellas el agua del mar no la llena completamente, es decir, no están totalmente sumergidas, y funcionan como si fueran cazuelas a medio llenar, como los silbatos de agua de las culturas prehispánicas. El cambio del nivel mar por la mareas, los vientos y las olas resultantes tapan periódicamente la entrada sin que se llene completamente, y entonces el aire queda atrapado en el interior y se comprime, y cuando llega un valle de la onda --la parte baja de la ola-- el aire escapa súbitamente, produciendo en el proceso un chorro de agua y gotas finas de agua --“spray”-- acompañados de un ruido sonoro intenso de baja frecuencia. Da lugar al llamado *geiser o cuerno marino* que produce bramidos o bufidos del mar. Existen varios sitios turísticos donde se observa este fenómeno: Halona en Hawái, Kiama en Australia, y "La Bufadora" en Ensenada, Baja California Sur, [Figura 5.28](#), en México.

“La Bufadora” se localiza en la Bahía del Papalote, en la parte sur y debajo de la Bahía de Todos los Santos. Un estudio (Fuentes, 2013) sobre la frecuencia y periodicidad de las erupciones de “La Bufadora”, mostró que el lapso de

Figura 5.29 Histograma del tiempo de recurrencia T , para un conjunto de observaciones de las erupciones de “La Bufadora”. Únicamente se muestra para $T < 60$ s (88% de los eventos). Tomado de <http://oceanografia.cicese.mx/oscar/pdf/VF2013a.pdf>



tiempo de recurrencia de las erupciones es de alrededor de 11-19 segundos, en el 60% de los casos observados. El histograma de la Figura 5.29, muestra que hay dos picos, uno a alrededor de 16 ± 1 s y otro a 14 ± 1 , e incluso otro conjunto menor, a alrededor de 0-4s, resultado probablemente de las reflexiones dentro del arrecife donde se encuentra la cueva.

En resumen, este investigador encontró que en las erupciones cuando el nivel del mar es alto (marea alta), las erupciones consisten de un jet de agua, son numerosas y ocurren usualmente en trenes largos de erupciones, bastante periódicas, con lapsos de inactividad de decenas de segundos a un par de minutos. Cuando el nivel del mar es bajo (marea baja), las erupciones consisten de una nube de spray, son escasas y ocurren en trenes aislados de unas cuantas erupciones, con inactividad durante algunos minutos. La mejor época para observar las erupciones es durante la marea alta en días de invierno, la menos favorable es durante la marea baja en el verano. No se

conoce algún estudio sobre los niveles de ruido de las erupciones o de la actividad acústica de "La Bufadora".

LUCES Y RELÁMPAGOS ASOCIADOS A TERREMOTOS

Los temblores de tierra o terremotos son una de las manifestaciones de la dinámica de la Tierra más temibles y que causan más daños. Son consecuencia de acomodamientos y choques entre las placas de la corteza terrestre (la Tierra está formada por un núcleo interno sólido, un núcleo externo líquido a altas temperaturas, el manto y la corteza terrestre), las cuales forman una especie de rompecabezas flotante, de piezas cambiantes en movimiento. Estos choques y acomodamientos dan lugar a las ondas sísmicas que son las manifestaciones más dramáticas y más intensamente estudiadas de los terremotos, y sus consecuencias en ocasiones catastróficas.

Asociadas a estas ondas sísmicas o terremotos se tienen dichos y anécdotas de fenómenos no sísmicos, que preceden o acompañan a grandes terremotos. Algunos de ellos han sido reportados por siglos, incluso milenios (373 a.c. en Grecia). La lista es larga y diversa: desde un abombamiento de la superficie de la Tierra, cambios en los niveles de los pozos, luces y relámpagos en crestas y cimas, más recientemente anomalías locales del campo magnético hasta por 0,5% , cambios de temperatura de hasta varios grados sobre áreas extensas -- como se ve en las imágenes satelitales-- emisiones electromagnéticas de baja frecuencia, cambios en la densidad del plasma de la Ionosfera, y hasta extraños comportamientos de algunos animales; en la provincia de Guangxi, en 1975, se ordenó la evacuación de la ciudad de Haicheng justo antes de un terremoto de magnitud 7.3 en la escala de Richter, por el comportamiento errático y estresado de serpientes! Según se dice, esto salvó las vidas de 100,00 personas (Craft, 2007). En años anteriores algunos fenómenos se convertían en anécdotas o mitos, pero con la aparición y ubicuidad de los teléfonos celulares, las luces y los relámpagos se han capturado en fotos y videos y se han convertido en testigos de que sí ocurren en la realidad y están asociados a los terremotos. Existen en la red, videos y fotos, por ejemplo, de relámpagos de diversos colores ocurridos durante el terremoto de magnitud

7.8 en la escala de Richter, ocurrido en Christchurch, Nueva Zelanda en 2011: (<http://www.abc.net.au/news/2016-11-14/new-zealand-earthquake-sky-flashes-green-and-blue/8022476>). El 7 de septiembre de 2017, ocurrió un sismo en la costa de Chiapas, México de magnitud 8.2, que dio lugar (además de mucha destrucción y más de 100 muertes en varios estados del país) a muchos avistamientos de luces en varios lugares de México²¹; en particular, en la Ciudad de México se vieron relámpagos en las montañas que rodean a la ciudad, Figura 5.30. Un video (<http://www.eluniversal.com.mx/ciencia-y-salud/ciencia/cual-es-la-verdad-sobre-las-luces-del-sismo>), muestra estas luces que guardan mucha similitud a lo reportado en el de Christchurch, tanto en colores como en duración y magnitud. Aunque en el caso del de la Ciudad de México es difícil o



Figura 5.30 Luces y destellos durante el temblor en la Ciudad de México, del 7 de septiembre de 2017.

eléctrica.

imposible decir si algunos de los relámpagos o luces observadas son debidos a causas desconocidas del terremoto, cortos circuitos o por explosiones de transformadores de corriente

²¹ El 19 de septiembre de 2017, hubo otro, que ocurrió cerca de las 13:15 horas, con epicentro en el estado de Morelos y más terrible aún, por sus consecuencias, con cerca de 360 muertes, la mayoría en la Ciudad de México, con muerte y destrucción en muchos municipios de Morelos, Puebla, Oaxaca, Estado de México y Chiapas.

No sólo no hay una teoría aceptada en la comunidad científica para explicar estos fenómenos, sino incluso algunos geólogos ni siquiera aceptan la posible correlación entre estos fenómenos (ver noticia del video). Esto explica por qué los informes sobre fenómenos no sísmicos antes del terremoto son considerados con sospecha en la comunidad científica.

Esta situación puede cambiar según Freund (Freund, 2000), autor de una teoría que explica la generación de electricidad, por el descubrimiento de que las rocas ígneas y metamórficas, que constituyen una porción importante de la corteza terrestre, contienen portadores de carga eléctrica, que se han ignorado en el pasado. En varios artículos científicos describe la naturaleza física y química de estos portadores de carga, cómo se introducen en minerales y rocas, y cómo se activan (Freund, 2003, Freund, *et al* 2006 y Freund, 2011).

Estos portadores de carga son electrones ausentes en la banda de valencia, de materiales sólidos, es decir, agujeros positivos. Bajo condiciones normales están inactivos, pero cuando "se despiertan", las rocas comienzan a brillar. Freund y colaboradores (2006) presentaron evidencia de que, una vez generados los orificios positivos, las corrientes se propagan a través de las rocas, generando emisiones electromagnéticas, potenciales de superficie positivos, descargas de corona, emisión de iones positivos y radiación infrarroja media. Estos fenómenos son expresiones del mismo proceso fundamental: el "despertar" de portadores de carga (agujero positivo) latentes, que convierten a las rocas, momentáneamente, en semiconductores de tipo *p* como los usados en los transistores.

Freund establece tres razones que pueden ser identificadas de por qué muchos investigadores en geofísica siguen siendo profundamente escépticos, con respecto a la mayoría de los fenómenos no sísmicos pre o concomitantes a los terremotos: (i) Los fenómenos reportados son tan variados, que es difícil creer que podrían estar correlacionados o causados por cualquiera de los procesos que tienen lugar en la corteza terrestre; ii) Aunque algunos terremotos producen fenómenos precursores no sísmicos reconocibles, otros de magnitud similar y entornos geológicos similares no los producen; (iii)

Parece que no hay procesos físicos que puedan explicar satisfactoriamente alguno de los fenómenos precursores o concomitantes más enigmáticos y, mucho menos, su conjunto completo.

Pero si la teoría es cierta, dice Freund (Freund, 2003): “cuando las nubes de cargas positivas llegan a la superficie de la Tierra, se desarrollan campos eléctricos muy grandes, localmente, en la interfaz Tierra-aire, como se ha señalado anteriormente. Los campos serán particularmente altos en los puntos convexos de la topografía tales como colinas, crestas y cumbres de una montaña. Como consecuencia de estos campos eléctricos, una fina capa de aire cercano al suelo se ionizará, causando un aumento instantáneo y dramático de la conductividad del aire. En puntos cóncavos cercanos, los campos eléctricos serán naturalmente más bajos. Por lo tanto, se desarrollan gradientes de campo eléctrico lateral que pueden iniciar descargas de corona similar a las observadas por Brady y compañeros de trabajo (Cress, *et al.* 1987), durante experimentos de laboratorio y similar a los destellos de luz observados durante experimentos de impacto a baja velocidad en muestras de rocas. En un artículo (Freund, 2000), Freund dijo: “Estos destellos provienen de los bordes de los cilindros de roca como se ha mencionado anteriormente, es decir, de lugares con pequeños radios de curvatura, donde las cargas positivas alcanzan las densidades más altas y se crean los campos eléctricos más altos que inician las descargas eléctricas”.

Cuando tales descargas de corona ocurren en la naturaleza, se pueden predecir varias consecuencias, tales como descargas eléctricas, emisiones electromagnéticas y relámpagos. La emisión de luz de las moléculas de aire ionizadas o electrónicamente excitadas durante las descargas de corona es la causa probable de los fenómenos luminosos, que han sido reportados como luces de terremoto. Tales luces de terremoto fueron fotografiadas por primera vez el 26 de septiembre de 1966, durante una sucesión de terremotos en Matsushiro, Japón, que comenzó a mediados de 1965 y produjo más de 60 000 terremotos con magnitudes de hasta 5.5 en la escala de Richter, durante un período de casi dos años. También en una serie de temblores, entre noviembre de 1988 y enero de 1989, se registraron más de 100 avistamientos

de luces de terremoto en Quebec, Canadá. Freund también da un recuento de otros fenómenos concomitantes a los terremotos que han sido reportados en la literatura del tema, tales como: emisiones electromagnéticas de alta frecuencia que acompañan a las descargas de corona y que son una causa plausible del ruido de alta frecuencia, es decir, “estática”, que los operadores de radio y los pilotos de aviones han notado durante años antes de grandes terremotos que afectaron áreas muy amplias, como el de 1960 en Chile y el terremoto del 'Viernes Santo' de 1964, en Alaska.

Otro fenómeno, más extraño aun, que ha sido reportado es el llamado “relámpago de bolas” o esferas relampagueantes. Los relámpagos son volúmenes flotantes de aire ionizado que se desprenden del suelo. Según los informes de testigos oculares, los pequeños relámpagos de bola han entrado en las habitaciones a través de las ventanas, a menudo sin dejar huellas o grietas en el cristal, o han entrado en las habitaciones a través de tomas telefónicas y tomas eléctricas y producen, mientras viajan a través del aire, un débil *sonido silbante*. Explotan después de unos segundos y dejan atrás un olor a ozono (Grigoriev *et al.*, 1992). También se dice que estas esferas de aire ionizado aparecen antes o durante grandes tormentas eléctricas, y antes o durante la actividad sísmica. En el caso de los terremotos, se dice que se desprenden del suelo cuando las nubes de los portadores de carga positiva llegan a la superficie de la Tierra, de manera similar a los campos medidos durante los períodos de intensa tormenta y actividad eléctrica (Derr & Persinger, 1986).

REFERENCIAS

1. Albrecht, R., Goodman, S. J., Petersen, W. A., Buechler, D. E., Bruning, E. C., Blakeslee, R. J., & Christian, H. J. (2011, August). The 13 years of TRMM Lightning Imaging Sensor: from individual flash characteristics to decadal tendencies. In *Proceedings of the XIV International Conference on Atmospheric Electricity* (pp. 08-12).

2. Albrecht, R., Goodman, S., Buechler, D., & Chronis, T. (2009). Tropical frequency and distribution of lightning based on 10 years of observations from space by the lightning imaging sensor (LIS). In *Conference on the meteorological applications of lightning data*.
3. Andreotti, B. (2004). The song of dunes as a wave-particle mode locking. *Physical Review Letters*, **93**(23), 238001.
4. Andreotti, B., Bonneau, L., & Clément, E. (2008). Comment on “Solving the mystery of booming sand dunes” by Nathalie M. Vriend et al. *Geophysical Research Letters*, **35**(8).
5. Barkhausen, H., Zwei reit Hilfe der neuen Verstärker entdeckte, Erscheinungen, *Phys. Z.* **20**, 401-403, 1919.
6. Begley, S., & Meyer, M. (1993). Do you hear what I hear? *Newsweek*, 121, 54.
7. Boccippio, D. J.; Williams, E. R.; Heckman, S. J.; Lyons, W. A.; Baker, I. T.; Boldi, R. (August 1995). Sprites, ELF Transients, and Positive Ground Strokes. *Science*, **269** (5227): 1088–1091.
8. Bürgesser, R. E., Nicora, M. G., & Avila, E. E. (2012). Characterization of the lightning activity of “Relámpago del Catatumbo”. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, **77**, 241-247.
9. Cardoso, I., Pinto Jr, O., Pinto, I. R. C. A., & Holle, R. (2011, August). A new approach to estimate the annual number of global lightning fatalities. In *14th International Conference on Atmospheric Electricity* (pp. 8-12)..
10. Colin, S. (1993). Progress in explaining the mysterious sounds produced by very large meteor fireballs. *Journal of Scientific Exploration*, **7**(4), 337-354..
11. Craft, L. (2007). Animal Kingdom: Let snakes do the predicting, ASEE Prism Vol. **16**, No. 7; A. Soc. For Eng. Education: <http://www.jstor.org/stable/24162572> Accessed: 10-09-2017 02:53 UTC.
12. Crenson, M. (1994). Taos Hum real, researchers say. *Dallas Morning News*, 9 August 9, p. A-8.

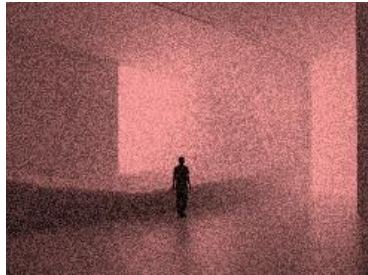
13. Cress, G. O., Brady, B. T., & Rowell, G. A. (1987). Sources of electromagnetic radiation from fracture of rock samples in the laboratory. *Geophysical Research Letters*, **14**(4), 331-334.
14. Derr, J. S., & Persinger, M. A. (1986). Luminous phenomena and earthquakes in southern Washington. *Cellular and Molecular Life Sciences*, **42**(9), 991-999.
15. Douady, S., Manning, A., Hersen, P., Elbelrhiti, H., Protiere, S., Daerr, A., & Kabbachi, B. (2006). Song of the dunes as a self-synchronized instrument. *Physical Review Letters*, **97**(1), 018002.
16. Dravert, P. L. (1940). Electrophonic bolides of Western Siberia. *Byull. Tsent. Kom. Po Meteoram, Kometam i Asteroïdam Astrosveta, Akad. Nauk SSSR*, **18**, 1-2.
17. Eckersley, T. L. (1935). Musical atmospherics, *Nature*, **13**, 104-105.
18. Elder, J. A., & Chou, C. K. (2003). Auditory response to pulsed radiofrequency energy. *Bioelectromagnetics*, **24**(S6), S162-S173.
19. Falcón, N., Pitter, W., Muñoz, A., Barros, T., Vilorio, A., & Nader, D. (2000). Modelo Electro atmosférico del Relámpago sobre el Río Catatumbo. *Sci. J. From Exp. Faculty of Sc. (Ciencia)*, **8**(2).
20. Freund, F. (2000). Time-resolved study of charge generation and propagation in igneous rocks. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, **105**(B5), 11001-11019.
21. Freund, F. (2011). Pre-earthquake signals: Underlying physical processes. *Journal of Asian Earth Sciences*, **41**(4), 383-400.
22. Freund, F. T. (2003). Rocks that crackle and sparkle and glow: strange pre-earthquake phenomena. *Journal of Scientific Exploration*, **17**(1), 37-71.
23. Freund, F. T., Takeuchi, A., & Lau, B. W. (2006). Electric currents streaming out of stressed igneous rocks—A step towards understanding pre-earthquake low frequency EM emissions. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, **31**(4), 389-396.

24. Fuentes, O. V. (2013). The activity of La Bufadora, a natural marine spout in northwestern Mexico. In *Fluid Dynamics in Physics, Engineering and Environmental Applications* (pp. 353-360). Springer: Berlin Heidelberg.
25. Garces, M., Fee, D. & Matoza, R. (2013). Volcano acoustics. *Modeling Volcanic Processes: The Physics and Mathematics of Volcanism*, Cambridge University Press, Cambridge, 359-383.
26. Gomes, C., Kithil, R., & Ahmed, M. (2006, September). Developing a lightning awareness program model for third world based on American-South Asian experience. In *Proc 28th Int Conf Light Prot* (Vol. 5).
27. Green, J. L. (2006). C. Grabbe (Editor), Plasma Physics Applied, Transworld Research Network. Chapter 4, Lightning Effects on Space Plasmas and Applications.
28. Grigorev, A. I., Grigoreva, I. D., & Shiryeva, S. O. (1992). Ball lightning penetration into closed rooms: 43 Eyewitness accounts. *Journal of Scient. C Exploration*, **6**, 261-279.
29. Holle, R. L. (2016, April). The number of documented global lightning fatalities. In *Preprints, 24th Int. Lightning Detection Conf. and Sixth Int. Lightning Meteorology Conf., San Diego, CA, Vaisala* (pp. 1-4).
30. Keay, C. S. (1992). Electrophonic sounds from large meteor fireballs. *Meteoritics & Planetary Science*, **27**(2), 144-148.
31. Krause, B. (2008). Anatomy of the soundscape: Evolving Perspectives. *Journal of the Audio Engineering Society*, **56**(1/2), 73-80.
32. Polo, M. (1296). The travels of Marco Polo the Venetian, Chapter XXXVI, p. 100-101. London JMDENT & Sons, P. Dutton & Co. New York, 1914.
33. Raga, G. B., de la Parra, M. G. & Kucienska, B. (2014). Deaths by lightning in Mexico (1979-2011): Threat or Vulnerability? *Weather, Climate, and Society*, (2014).

34. Rakov, V. A., & Uman, M. A. (2003). *Lightning: physics and effects*. Cambridge University Press. (687 pp.). ISBN 0-521-58327-6.
35. Rhie, J. & Romanowicz, B. (2004). Excitation of Earth's continuous free oscillations by atmosphere–ocean–seafloor coupling. *Nature*, 431(7008), 552-556.
36. Roeder, W. P., Holle, R. L., Cooper, M. A. & Hodanish, S. (2012). *Lessons learned in communicating lightning safety effectively*. International Lightning Meteorology Conference, 2012, 4-5 Apr., 20 pp.
37. Romig, M. F. & Lamar, D. L. (1963). Anomalous sounds and electromagnetic effects associated with fireball entry (No. RM-3724-ARPA). RAND CORP. SANTA MONICA, CA.
38. Stenzel, R. L. (1999). Whistler waves in space and laboratory plasmas. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, **104**(A7), 14379-14395.
39. Stevens, S. S. (1958). Contributed papers. Session A. May 14, 1957: Some similarities between hearing and seeing. *The Laryngoscope*, **68**(3), 508-527.
40. St-Laurent, F., Derr, J. S., & Freund, F. T. (2006). Earthquake lights and the stress-activation of positive hole charge carriers in rocks. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, **31**(4), 305-312.
41. Storey, L. R. O., (1953). An investigation of whistling atmospherics, *Phil. Trans. Roy. Soc.*, **246**, 113-141.
42. Tanimoto, T. (2005). The oceanic excitation hypothesis for the continuous oscillations of the Earth. *Geophysical Journal International*, **160**(1), 276-288.
43. Vriend, N. M., Hunt, M. L., Clayton, R. W., Brennen, C. E., Brantley, K. S., & Ruiz-Angulo, A. (2007). Solving the mystery of booming sand dunes. *Geophysical Research Letters*, **34**(16).
44. Webb, S. C. (2007). The Earth's 'hum' is driven by ocean waves over the continental shelves. *Nature*, **445**(7129), 754-756.

45. Williams, E. R. (November 2001) Sprites, elves, and glow discharge tubes, *Physics Today*, **54** (11): 41–47.
46. Zgrablić, G., Vinković, D., Gradečak, S., Kovačić, D., Biliškov, N., Grbac, N., & Garaj, S. (2002). Instrumental recording of electrophonic sounds from Leonid fireballs. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, **107**(A7).

Capítulo VI. El Sonido y el Espacio



“El espacio auditivo, no tiene un punto de foco favorecido. Es una esfera sin fronteras fijas, espacio hecho por la cosa misma, no espacio conteniendo a la cosa. No es espacio pictórico, encajonado, sino dinámico, siempre en flujo, creando sus propias dimensiones momento a momento. No tiene fronteras fijas; es indiferente al fondo; el ojo enfoca, apunta, abstrae, localizando cada objeto en el espacio físico, sobre un fondo; el oído, sin embargo, favorece el sonido de cualquier dirección. Oímos igualmente bien a la derecha o la izquierda, atrás o adelante, abajo o arriba. Si nos recostamos no hace diferencia, en cambio en el espacio visual todo el espectáculo se altera. Podemos apagar el campo visual simplemente cerrando nuestros ojos, pero siempre estamos predispuestos a responder al sonido”.

Marshall Mc Luhan¹

¹ Carpenter & Mc Luhan, 1960, p. 67)

EL SONIDO Y LA PALABRA

El sonido tiene y ha tenido a lo largo de millones de años, un lugar preponderante --por su ubicuidad-- en la naturaleza. Los organismos, incluyendo insectos, peces o pájaros, hasta los mamíferos, desarrollaron el sentido del oído, no sólo para su comunicación sino también para coleccionar información sobre el medio ambiente acústico que los rodea y aumentar sus posibilidades de sobrevivencia. Nos comunicamos, como muchos otros animales, por el sonido, por la voz, desde hace 50 000 años o más².

La oralidad, característica de la cultura basada en la voz, a través del lenguaje hablado -sin alfabeto ni escritura-, ha existido en la mayor parte de la historia humana y donde quiera que existan humanos existe un lenguaje, un lenguaje básicamente hablado y oído. En el siglo XIX, F. Saussure (1857-1913) y H. Sweet (1845-1912) establecieron que el lenguaje es primordialmente el habla oral, que está en la base de la comunicación, y que el habla está formada de palabras que, a su vez, están formadas no de letras sino de sonidos que son unidades funcionales, llamadas actualmente fonemas. De los miles de lenguajes que se han hablado en la historia humana, sólo alrededor de un centenar han tenido escritura en grado suficiente para producir o haber producido literatura, y de cerca de los 3 000 lenguajes que existen actualmente, sólo aproximadamente 80 tienen literatura (Edmonson, M., "Lore an introduction to the science of folklore and literature", 1971; citado en Ong, 1982).

²Las teorías más aceptadas establecen que el *Homo sapiens* evolucionó hasta tener un lenguaje hace alrededor de 50 000 años (Watkins, 2001).

Aún hoy, en el siglo XXI, encontramos en diversas culturas del mundo la oralidad de manera cotidiana. En México, a veces, se traduce en un problema de difícil solución pues muchos de los pueblos indígenas, todavía de tradición oral, están inmersos en un universo no oral; por lo anterior, algunas comunidades abandonan la lengua escrita, por carecer de valor en su vida social y económica dentro de sus comunidades; así mismo, también se presentan casos en que el español ha desplazado a las lenguas indígenas (Barriga Villanueva, 2001).

Al ser el lenguaje esencialmente oral, es intrínsecamente un fenómeno de comunicación acústica o sonora. W. J. Ong (1912-2003) estudió la oralidad y alfabetancia, y estableció algunas ideas muy interesantes sobre el papel del sonido en la vida, en el pensamiento y en el lenguaje humano. La voz es un sonido, pero no cualquier sonido, sino una invasión del medio o atmósfera que rodea a un individuo, de su interioridad y, en el caso del ser humano, de su propia autoconciencia.

Esta exteriorización del interior de un individuo es debida, según este autor, a una característica del sonido que actúa más directamente que cualquier otro sentido: poder revelar el interior de un objeto. Por ejemplo, la vista carece de esta capacidad, los objetos los vemos por la reflexión de la luz de las superficies de los objetos, y así “el ojo no percibe un interior estrictamente, como interior: dentro de un recinto, las paredes que percibe son todavía superficies, afueras, exteriores”. La audición, el oído, por el contrario, puede revelar o registrar las estructuras interiores de lo que lo produce “un violín lleno de concreto no suena como un violín. Un saxofón suena diferente de una flauta...”,... “y sobre todo, la voz humana viene del interior del organismo humano que da las resonancias de la voz” (Ibíd., p. 69). En realidad, las características de la voz sí están dadas por las cuerdas vocales, la respiración y las cavidades bucofaríngeas y sus resonancias, y el sonido radiado por la boca humana está influenciado a su vez por las emociones y sentimientos del que habla. La vista tiende a aislar, el sonido a agregar e incorporar. La vista sitúa al observador fuera de lo observado, mientras que el sonido envuelve al escucha. Para ver un paisaje o una escena visual cualquiera hay que mover los ojos de un lado a otro y cada vez es una escena diferente,

cuando se escucha se oye todo el sonido que viene de todos lados al mismo tiempo, no cambia mucho voltear la cabeza a uno u otro lado, el escucha está en el centro del mundo auditivo que lo envuelve, y lo fija como centro o núcleo de la sensación, está en el oír, y con la vista no hay manera de sumergirse igualmente en lo visto (Ibíd. , p. 70).

Aunque parece ser que en la antigüedad griega algunos estudiosos leían en silencio (Gavrilov, 1997), con el paso del tiempo esta práctica se fue olvidando y para el siglo V la lectura silenciosa era rara³, esto es un tema controversial pues algunos estudiosos sostienen que no se conocía la lectura en silencio. Sea lo que fuere, parece que hasta hace poco se ha redescubierto el carácter oral y sónico del lenguaje, así, el multicitado Ong expresa: *“en un sentido profundo el lenguaje, el sonido articulado, es fundamental. No sólo la comunicación, sino el pensamiento mismo se relaciona de una manera muy especial al sonido. Todos hemos oído que una imagen vale más que mil palabras. Sin embargo, si esto es cierto, ¿por qué tiene que haber un dicho? Porque una imagen vale mil palabras sólo bajo condiciones muy especiales, que incluyen comúnmente un contexto de palabras en que la imagen existe. Dondequiera que los humanos existen o han existido tienen o han tenido un lenguaje que existe como lo hablado y lo oído en el mundo del sonido”*.

«Cuando oímos “dame ese libro”, la palabra “libro” se reconoce como una colocación familiar de sonidos; en terminología psicológica, obtenemos una “imagen acústica” que la experiencia nos permite identificar, y que cuando se pronuncia, involucra además, la altura del sonido, el énfasis y la entonación» (H.J. Chaytor en: Carpenter & Mc Luhan, 1960, p. 117). En algunas lenguas —llamadas tonales —el tono de la palabra tiene significados diferentes según la

3 En la Grecia Antigua, la palabra escrita tenía el objetivo de ser leída en voz alta, y esto continuó casi hasta el Renacimiento; se pone como evidencia un pasaje muy conocido (VI 3) en *Las confesiones*, de Agustín. En 1968, B. Knox propuso al respecto que se sabía leer en silencio, pero porque se valoraban las sonoridades del lenguaje, la gente usualmente leía en voz alta, especialmente obras literarias. En algunas obras de Eurípides (*Hipólito*) y Aristófanes (*Los caballeros*), se tienen pasajes en que los personajes representan acciones que implican lectura en silencio.

entonación usada por el hablante (tales como el chino, algunas lenguas mexicanas como la *otomangue*, que a su vez comprende varias, la más conocida la *chinanteca* o *tša köñvi* en los estados de Oaxaca, Guerrero y Veracruz (Wichmann, 2007), sin embargo, Chaytor indica que todas las lenguas son en última instancia tonales pues, una misma frase dicha con entonaciones diferentes significa cosas diferentes.

Pone de ejemplo un saludo muy común, “Buenos días”, que puede significar varias cosas, dependiendo de a quien saludamos o quien nos saluda. También puede ocurrir que la puntuación, en un texto escrito, exprese cosas o sentidos diferentes al leerse y traducirse a sonidos en la lectura silenciosa o en voz alta, según la colocación de un punto o una coma; en este caso, el cambio de sentido ocurre por los espacios de silencio que ocurren en lugares diferentes del discurso.

Cuando alguien dice una palabra de algo estático, por ejemplo “roca”, la palabra hablada se traduce generalmente en una imagen acústica, y después en una imagen visual de una roca, de la forma, color, que sea, grande o pequeña, según cada quien, y si el escucha no sabe leer ni escribir hasta ahí llegaría el proceso de representación mental. Sin embargo, si el escucha sabe leer y escribir bien, esta imagen acústica se traduce en una imagen mental de la palabra escrita “roca”; a veces, la imagen mental de la palabra es casi simultánea a la del objeto nombrado, sobre todo cuando la imagen del objeto o cosa señalada es parte de la experiencia diaria desde que nacimos, así por ejemplo, al oír la palabra “sol”, algunas personas ven una imagen del sol (cada quien con su imagen específica del sol) casi simultáneamente a la palabra “sol”. Si por el contrario, la palabra nombra algo no concreto como “viento”, la imagen de la palabra, se puede traducir en la imagen auditiva del sonido del viento, es decir, nos imaginamos un sonido que identificamos como característica del evento atmosférico que denominamos “viento”. Ong (1982) expresa que más que la escritura manuscrita, la imprenta hizo de las palabras objetos que se acomodan en un espacio -la hoja- y le dio a la palabra y al texto un sentido de finalidad (el libro como reservorio de palabras en un texto) y que esto influyó fuertemente en cómo nos comunicamos y cómo vemos al mundo; cómo lo interpretamos y cómo lo construimos. Esta influencia, en

última instancia, relegó y puso en segundo término al sonido de la palabra hablada y, por extensión, al sonido en la comunicación. Como consecuencia de lo anterior, se ha afirmado que se ha desvalorizado a la audición⁴. En todo caso esto sería cierto, más o menos, según el ensayista o estudioso que lo trate para los humanos, pero ciertamente en los demás seres vivos en la naturaleza no hay escritura ni imprenta, aunque en algunos casos podría (pájaros, delfines, ballenas, elefantes y quizás otros animales) haber palabras en el lenguaje de comunicación. Además, se sabe que hay movimientos o actitudes que se comunican entre los miembros de la misma especie.

Se afirma pues, que no se puede oír o pensar en una palabra sin ver imaginariamente la palabra escrita. La transformación de la palabra oral a escrita la encadenó al campo visual para siempre, a pesar de que el lenguaje ya escrito está basado en las palabras orales (Ong, *ibid.*). Por eso se dice, que es casi imposible para una persona alfabetizada recobrar el sentido de lo que una palabra es para una persona puramente oral. En una sociedad puramente oral, la memoria es su sostén y emplea la rima, la repetición, la melodía, cierta estructura, etc. del lenguaje, para recordar su historia y los hechos importantes o trascendentes para esa sociedad. Por lo mismo, la tradición oral -o la oralidad- genera sentido de pertenencia a un grupo, pues se recuerda lo más sentido o lo que más impresionó al grupo (Riesman, 1960, en: Carpenter & Mc Luhan, 1960, p. 110).

En el curso de la historia de la civilización sonidos van y sonidos vienen, algunos sonidos son nuevos, otros comunes por acciones de la vida, pero que en algún momento son preponderantes respecto a otros. Sonidos ausentes, desaparecidos, irrecuperables muchos, o presentes en zonas remotas y aisladas, que fueron en alguna época comunes y que nuestros padres o abuelos oían. Sonidos que daban el carácter de un pueblo o villa, como los

4W. J. Ong (1982), dice que una profunda reorganización de la cultura tuvo lugar como consecuencia del invento de la imprenta. Lo que había sido predominantemente una cultura aural, donde la comunicación y el aprendizaje ocurría por la voz y la audición, se transformó en una cultura donde se le dio prioridad a la vista y a la lectura.

sonidos de las campanas, de los transportes a caballo, de las noticias que se daban en las plazas principales de los pueblos, quizás el sonido de la punta de una pluma al escribir sobre el papel, o sonidos de aparatos; en el siglo antepasado el telégrafo y la máquina de escribir (en los siglos del despegue de las máquinas), presentes todavía hace algunos lustros, y nuevas máquinas y aparatos que aceleradamente aparecen y desaparecen. Había una esfera sonora en la cual los habitantes de un pueblo, ciudad o región, habitaban y por la cual se comunicaban. Cómo son ahora estas esferas sonoras son temas de estudio y reflexión.

En los inicios del tercer milenio ha ocurrido que una nueva esfera sonora, sobre todo en ambientes urbanos, nos envuelve con otras modalidades, con otras palabras, y simultáneamente con nuevos sonidos. En esta esfera sonora hay además de los sonidos naturales, cacofonía de sonidos hechos por el hombre: del transporte motorizado, de aparatos electrodomésticos (licuadoras, aspiradoras, teléfonos celulares, radios y televisiones, etc.) en nuestra vida cotidiana. Sonidos -casi siempre en altas intensidades y aún descontrolados- en anuncios, inauguraciones, conmemoraciones, espectáculos, en los espacios de monumentos y ruinas arqueológicas, en supermercados, jardines y parques y, por supuesto, en el cine y televisión, mensajes de teléfonos inteligentes, por las computadoras y cuantos aparatos más.

La importancia que el sonido tiene actualmente en estos medios electrónicos es casi de igual peso que el de la imagen y aún más en la televisión digital. Los espectáculos tienen que tener elementos de imagen pero necesariamente también de sonido, pensemos en los espectáculos de luz y sonido ubicuos en los espacios arqueológicos, planetarios, y ahora de moda las proyecciones digitales de imágenes en movimiento en los teatros, plazas y, por supuesto, también en la danza, aunque en este caso el sonido es parte integral de ella. La actual fiebre de aparatos permite oír música, audiolibros, noticias, etc., individualmente, en donde sea y a cualquier hora en un espacio interior: directamente en nuestros oídos por medio de audífonos. En la actualidad, el sonido por su facilidad creciente de generación, manipulación, transformación y control mediante las computadoras y otros medios electrónicos, ha

provocado tal fascinación que ha llegado a ser parte de nuestra relación o, en algunos casos de aislamiento, con nuestro entorno.

Ong también discutió brevemente el surgimiento de una segunda edad de la oralidad a través de los medios electrónicos, que depende en última instancia para su existencia y funcionamiento, de la escritura y la imprenta: teléfono, radio, televisión y que, como antes, esto daría un sentido de pertenencia a un grupo; esta aseveración (Ibíd., pp. 132), todo esto tiene actualmente aún más validez que hace 30 años cuando escribió su libro. El surgimiento y aparición de la Internet y aparatos como el iPod, iPad, teléfonos inteligentes, audiolibros, y últimamente (a partir de los 90's, y con toda una historia de diferentes redes) las llamadas "redes sociales", Facebook, Twitter, etc., ha dado lugar a grupos diferenciados de pertenencia. La ubicuidad de estos aparatos y redes permite como nunca antes ver, y sobre todo, de importancia con respecto a lo que se está discutiendo, *oír* casi en tiempo real los sucesos del mundo, la inmediatez del hecho real con el sonido tanto de la palabra como del producido por las acciones en la escena real, es todavía más dramático, pues nos involucra fuertemente; así el mundo fue testigo, casi de inmediato, del tsunami en Indonesia en 2008, del asteroide en Rusia en 2013, de los terremotos en México en 2017; la imagen y el sonido de escenas a través de las redes y teléfonos inteligentes, inundaron al mundo y lo continuarán haciendo cada vez con más sofisticación. Al mismo tiempo que esta pertenencia a grupos de redes, el individuo está cada vez más aislado, y transita por el mundo sin conciencia de lo que sucede a su alrededor, en su ambiente o por donde transite, viviendo en su espacio interior a través de comunicación directa a los oídos que lo mantiene aislado del mundo con música, noticias, comunicación telefónica, mensajes y más mensajes.

EL SONIDO Y EL ESPACIO QUE HABITA

Nuestra experiencia del espacio está influenciada por las funciones del espacio, por las asociaciones culturales, por su historia particular, por nuestro pasado, por la memoria y por la imaginación. La manera en que un espacio nos mueve depende fuertemente de nuestra percepción aural de ese espacio, de las impresiones que además de las visuales entran en la concepción y

aprehensión de ese espacio. Percibimos como nos afecta el espacio y nuestra presencia física en él, por los ruidos de nuestros pasos, por la resonancia o falta de resonancia de nuestra voz o respiración, en última instancia por nuestra proyección en ese espacio, aún a oscuras y sin iluminación.

Es posible poner límites físicos al espacio, pero por su naturaleza el espacio es intangible y no tiene límites. El espacio se disuelve en la oscuridad y se evapora en el infinito... todo lo demás es relativo a esto. El espacio es intangible, sin embargo, puede ser percibido.” (S. Giedion, en Carpenter & Mc Luhan, 1960, p. 72).

Se percibe por la vista, por el tacto, por la conciencia de individualidad, de que somos y estamos separados de los “otros”, que existen como nosotros pero a distancia dentro del espacio. Pero el espacio también puede ser percibido por nuestros oídos a través del sonido.

El sonido forma parte de nuestra experiencia diaria -aunque muy frecuentemente no estamos conscientes de ello- en los espacios que habitamos o experimentamos cuando estamos en nuestro hogar, en un teatro, al deambular en un parque, al andar en una calle. Normalmente se habla de "radiación" y se piensa en rayos X, radioactividad, etc., como algo a menudo dañino o letal, pero el sonido también es una radiación, en este caso de ondas mecánicas que viajan en el aire (y en el agua), a la cual estamos expuestos constantemente, como la radiación solar, y térmica de objetos, como a la luz -que percibimos- y a las ondas de radio o de televisión, que no percibimos. Interaccionamos con el sonido más que con ninguna otra radiación, pues funcionamos como emisores de radiación sonora y como receptores de ella; pero nuestro cuerpo también es emisor por el sólo hecho de vivir- pensemos en la respiración, tronido de rodillas, tos y estornudos, sonidos al tragar, etc.-. Nuestro cuerpo puede percibir sonidos, fuertes y graves a través de la piel, pero fundamentalmente los percibimos por el oído, como oyentes. Desde que nacemos, el sonido forma parte integral de nuestra existencia -por vivir, al hablar, cantar, gritar o gemir- y ha dominado nuestra comunicación por miles de años.

El primer espacio que habitamos es el vientre materno, y el primer sentido que desarrollamos como bebés, es el auditivo; pues se sabe que a los seis

meses un bebé ya oye en el seno materno, pues su nervio auditivo es el primero en funcionar (Birnholtz & Benacerraf, 1983).

De los demás sentidos, el más desarrollado a esa edad es el tacto, pues el bebé (y no el “producto”) siente su entorno no sólo con sus manos sino con todo su cuerpo, de hecho parece que oye con todo su cuerpo a través del tacto. La conciencia inicial del espacio ocurre en el seno materno, el niño oye los sonidos de la madre en la parte alta o baja de su cuerpo, y esto parece le ayuda a posicionarse correctamente para el momento de su nacimiento. Se sabe que las madres que cantan antes de que nazca el bebé tienen un porcentaje más alto de éxito en este aspecto. La conciencia del espacio también está dada por el movimiento entre el bebé y la madre. La relación de la conciencia del espacio con la percepción del sonido también está apoyada por el hecho de que los niños que nacen con sordera tienen dificultad en entender el espacio o relaciones espaciales (Reznikoff, 2005).

Dentro de los eventos del mundo, están preponderantemente los *sonidos*, siempre producidos por algo, pero los oímos aislados, independientemente de la causa que los produce. R. Scruton (1999), un controvertido filósofo inglés, al hablar sobre los sonidos expresó: "Tienen una existencia propia una vez creados, aunque los asociemos o tratemos de asociarlos a su causa y hablamos de que oímos un coche, así como hablamos de verlo... Al oír, en consecuencia, se nos presenta algo que la visión no puede ofrecernos: el evento puro, en que no participan sustancias individuales, y que en consecuencia *se vuelve* el objeto individual de nuestro pensamiento y atención. En la música, los sonidos que oímos son los eventos sonoros puros en que no participan objetos, sino los sonidos mismos son los objetos de nuestra atención. Los sonidos, al ser eventos que nacen en un lugar del espacio, toman tiempo y son ordenados en el tiempo, los podemos diseccionar y analizar sólo en el tiempo, las principales relaciones entre las partes ocurren en el tiempo. Aunque los podemos localizar en el espacio, aquí, cerca, allá, lejos, cuando nos concentramos en *el sonido* sólo existe en el tiempo, y el espacio toma un lugar secundario”.

Esta última aseveración “el espacio toma un lugar secundario” es un poco categórica, ya que ese sonido fue creado en un espacio dado, nació, se propagó y provocó su percepción por nuestro oído. Es decir, lo percibimos, pero transformado en mayor o menor grado, por la huella del espacio.

La evolución nos convirtió, como a muchos otros animales, en productores de radiación sonora, por la voz o sonidos del cuerpo, que se esparce por el espacio en que estamos inmersos. Somos también receptores de esta radiación, utilizando el sentido del oído y, en algunos casos, la piel y el tacto como en el caso de las frecuencias muy bajas, o en el caso de frecuencias muy altas, como lo utilizan algunos invidentes para escrutar nuestro entorno.

El sonido siempre surge de algo dinámico, de eventos que son vibraciones mecánicas producidas por diferentes causas, en un mundo que no es estático. Estos eventos pueden ser producidos por el hombre o producidos por la naturaleza en sus múltiples manifestaciones. Tomamos conciencia de una tormenta lejana por los truenos que oímos, de que nos acercamos a una cascada por su estruendo, de un niño con hambre que no vemos por su llanto, de un posible peligro que no percibimos por gritos o gemidos provenientes de algún lugar. Igualmente, percibimos el estado de ánimo, por su tono de voz, de personas cercanas emocionalmente a nosotros, y a veces no cercanas, como en el caso de una buena actuación --en un rol de cine o teatro --y también en animales por sus ladridos, aullidos o cantos, estresados o jubilosos. Es decir, nuestro entorno -seres humanos, animales, árboles, objetos-- nos emite o radia su existencia por medio del sonido y también --en el caso de los animales y seres humanos-- su estado emocional. Tomamos conciencia de su existencia cuando lo oímos, “*el sonido transporta el mundo externo a nuestra conciencia*” (Blessner & Salter, 2007). De hecho, expresiones como “*su voz radiaba alegría*” o “*su voz denotaba tristeza*”, nos hacen conscientes de un estado interno, emocional, que quizás no se quería externar pero que la voz, a pesar del hablante, traicionó.

A su vez, en este acto de conciencia podemos transportarnos al origen, causa o ente, que produce el sonido, ya sea por tratar de localizarlo en el espacio o ubicarlo en un determinado ambiente acústico, que hace que lo oigamos como lo oímos. Si oímos un conjunto callejero de música queremos ubicarlo en el espacio, queremos saber cómo es, y nos imaginamos quién o quienes la



Figura 6.1. Cartel de "Cat People", película de horror producida en 1942.

producen. Si no tenemos ninguna idea de qué o quién produce el sonido, si el sonido no es ubicado en su origen, nos puede producir ansiedad, el no reconocerlo nos puede producir más que eso. Es casi imposible oír un evento sonoro sin tratar de buscar qué o quién lo produce y de dónde viene. Estas particularidades se utilizan con especial énfasis en la literatura de ficción policiaca -- Auguste Dupin, Sherlock Holmes, Maigret, etc.-- y en los filmes de suspenso, muchos de ellos basados en esta literatura.

La ansiedad producida por el retardo entre un sonido y su localización como amenaza para alguno de los personajes de la cinta --y su posterior reconocimiento por medio de la imagen que nos muestra quién o qué produjo el sonido--, se suele

utilizar con efectividad en las cintas de suspenso. Los sonidos sin fuentes localizadas⁵, crean y dirigen la expectación, que puede ser muy poderosa

⁵R. Altman (1985) argumenta en contra de la noción de que el sonido refuerza a la imagen como único papel del sonido en el cine: "la imagen rara vez pregunta ¿qué sonido hizo eso?, pero un sonido siempre pregunta ¿de dónde vengo?, ¿cuál es la fuente de ese sonido? Lejos de ser redundante, el sonido tiene una cualidad enigmática que le confiere a la imagen la cualidad de una respuesta, y... cierto sentido de finalidad. En la experiencia cinematográfica hay un proceso -que podemos llamar la hermenéutica del sonido- por el cual el sonido pregunta ¿dónde? Y la imagen responde ¡aquí!". Cita, como ejemplo, una escena famosa donde la protagonista es perseguida (sólo se oyen los sonidos de pasos) en una noche oscura, que ocurre al principio de la película Cat People, 1942, RKO Pictures, en la

cuando está bien lograda. Pero más aún, las películas de terror (Figura 6.1) contienen en la banda sonora, elementos sonoros que los directores manejan para inducir estados emocionales.

Según un estudio (Blumstein *et al.*, 2010), en el que se analizaron films considerados muy apreciados o buenos, de suspenso o terror, se comprobó la hipótesis de que los humanos utilizan una respuesta que es muy común en los vertebrados, y que consiste en que producen vocalizaciones que, desde el punto de vista de la física o acústica, son llamadas no-lineales, cuando están bajo estrés agudo, incluyendo gritos de temor o terror, cuando son atacados por depredadores o en peleas entre individuos de su especie. El aspecto no lineal se refiere a que las vocalizaciones que contienen no-linealidades suenan duras, rasposas, bastante impredecibles y caóticas. Y esto es producto de que dichas vocalizaciones se producen cuando los sistemas de producción del sonido, las cuerdas vocales y la laringe y lengua son sobre-excitados o sobre-soplados (por el aire de los pulmones) en situaciones estresantes, angustiantes o peligrosas⁶.

Otros sonidos pueden actualmente ser sometidos, por medios tecnológicos, a distorsiones no-lineales, por lo que la variedad de sonidos estresantes es mucho mayor. Un hecho interesante, además del citado, es que la presencia del tipo de imagen puede alterar o suprimir la respuesta a esos sonidos. Los hacedores de cine, directores e ingenieros de audio, manipulan los sonidos para crear análogos no-lineales, que tocan miedos ancestrales instintivos muy

cual se utiliza este efecto (por supuesto, hay muchos otros ejemplos en el cine moderno que el lector seguramente recuerda).

⁶ Un sistema acústico es no-lineal cuando la salida no es proporcional a la señal de entrada. Algunos son lineales dentro de ciertos parámetros y no-lineales fuera de ellos. Muchos animales incluyendo a los humanos, producen vocalizaciones no-lineales que incluyen: ruido y caos determinista, subarmónicos y cambios abruptos de intensidad y frecuencia (Fitch *et al.*, 2002).

profundos en nuestra conciencia, para manipular nuestras respuestas emocionales.

Por otro lado, el sonido puede conectar o asociar, pero también puede aislar. Los cada vez más ubicuos teléfonos inteligentes, tabletas, etc., provocan que el escucha además de estar propenso o destinado a la sordera real (ligera o aguda si los usa durante períodos prolongados, por los elevados niveles de intensidad con que se oyen), también se convierta en un sordo, pues se aísla del sonido externo, se aparta del mundo, es sordo al mundo por elección, y últimamente ciego por elección, con los mensajes de texto (que producen cada vez más accidentes por no oír y ver los alrededores cuando se camina o maneja); los niveles de sonido muy altos no permiten la relación a través de los otros sentidos con el mundo, pues los sentidos y el razonamiento se "embotan". El aislamiento también puede producirse por la extrema cercanía a la fuente sonora, ya que todos los demás sonidos se dejan de oír, o bien, porque los niveles del ruido ambiente son muy altos, lo que provoca que se concentre la mente en nuestros pensamientos o preocupaciones aunque sin realmente lograrlo.

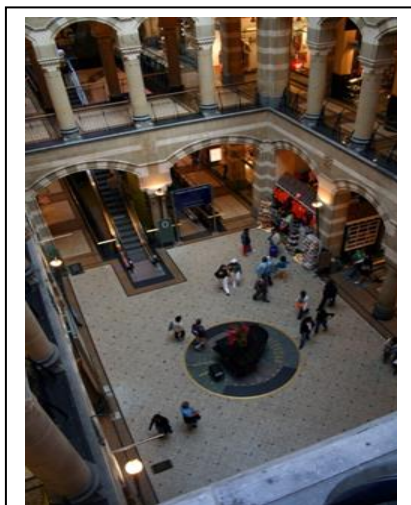
El sonido sirve también como ayuda para trasladarse en un espacio dado, entender los objetos, las formas, las distancias y volúmenes, sirve para entender al espacio. Despierta memorias -sonoras y visuales- recónditas en nuestro pasado, cercano o lejano; nos hace soñar, pensar, construir mundos.

EL SONIDO Y LA IMAGINACIÓN

Por supuesto existe una gran variedad de efectos sonoros, algunos son elementales y medibles producto de las fuentes sonoras o del medio de propagación y del ambiente. Pero otros son subjetivos y/o psicomotores, causados por una acción o un esquema de interacción entre sensación y motricidad; hay efectos semánticos producidos por la falta de correspondencia entre el referente físico y un significado particular. Los efectos físicos son tratados por la acústica física o aplicada como: la *reverberación* de recintos o habitaciones "vivas" o "apagadas"; el *filtrado* de un sonido, al pasar por una puerta, ventana o pared, a un espacio interior: por

ejemplo, en un espacio urbano ruidoso nos asomamos a la ventana o balcón y oímos una mezcla de sonidos ininteligibles y en el centro de la habitación oímos diferenciados sonidos que en la ventana o balcón no oíamos.

Pero el acto de oír está también ineludiblemente ligado al acto de imaginar, pues está relacionado con nuestro espacio interior, [Figura 6.2](#). Por medio de la imaginación, por causas objetivas -reales- o por su pura acción, se crean o producen efectos sonoros, algunos voluntarios y otros involuntarios.



[Figura 6.2](#). Al ver este espacio podríamos hacer un ejercicio de imaginación al tratar de imaginar su acústica: espacio cerrado de gran volumen, amplio con algo de gente caminando, seguramente voces, tacones, música, un piano en el piso inferior.

Podemos imaginar que generamos un sonido impulsivo como un aplauso y que lo oímos en un baño, después en un salón de clases, en una gran iglesia, en la calle, en un bosque o en la playa. Usamos para esto el acervo de recuerdos de nuestro pasado y si hemos estado en una playa podremos “oír” interiormente el aplauso en la playa; si hemos estado en un salón o en una iglesia, podremos diferenciar imaginariamente entre el volumen y duración que tendría en esa habitación y en la iglesia.

El sonido de una guitarra es diferente en una sala de conciertos que en la playa y un susurro suena diferente en un bosque que en un baño. Este es un caso del efecto subjetivo o mental de *fonomnesis*, un sonido imaginado, no oído realmente en el medio ambiente. Este efecto es utilizado por algunos compositores al componer

música, en ellos hay una audición interna de sonidos de diversos instrumentos o sonidos transformados mentalmente, como en el caso en que

imaginamos un sonido en diferentes espacios. Es un efecto voluntario en la mayoría de las ocasiones, pero a veces cuando una situación sonora estimula una evocación se puede disparar una *anamnesis*; para entender este efecto consideremos lo siguiente, es fácil darse cuenta que dependiendo de en dónde está el sonido, lo oímos diferente y ello nos evoca experiencias diferentes. Es decir, la fuente está en algún lugar y el que oye también y ese lugar tiene atributos acústicos o sónicos que influyen y cambian las propiedades del sonido y de la región en que la transmisión ocurre; estos atributos sónicos quedan grabados algunas veces en la memoria y tiempo después (incluso muchos, muchos, años después), al oír un determinado sonido en algún lugar, escuchamos también en algún lugar de nuestra memoria la conciencia de un recuerdo, de algo que oímos aisladamente o asociado a alguna experiencia, buena o mala, pero generalmente intensa, una evocación en que un sonido o contexto sónico revive una situación o atmósfera sonora del pasado.

Es un efecto de reminiscencia en que una situación del pasado vuelve a la conciencia provocada por una señal o evento sonoro. Es involuntario y revive una situación o una atmósfera del pasado. A veces es un efecto que puede abarcar mucho tiempo, casi una vida, o un tiempo muy corto (por ejemplo, una canción que evoca un recuerdo de la niñez) y mientras más lejano en el tiempo pasado, más fuerte puede ser la emoción que despierta en el escucha.

Un ejemplo sería una canción, que nos podría revivir un suceso pasado cuando éramos niños, el sonido de un artefacto, etc.; este efecto es totalmente subjetivo, para un oyente dado, podría ser el color o timbre del sonido (por ejemplo, proveniente de un tocadiscos antiguo con sonido distorsionado), pero para otro podría ser la voz del cantante, más que la melodía misma. Este efecto no está basado en el sonido en sí o en un significado, sino que es dado por el escucha mismo en función de una experiencia particular.

Otro efecto subjetivo en que participa la imaginación, es el llamado *efecto anticipación* que puede ocurrir cuando alguien espera un sonido conocido y realmente lo “pre-oye”, es decir, realmente lo oye aún antes de que ocurra o aunque no ocurra. A diferencia de la *anamnesis* que es involuntaria, la *anticipación* puede ocurrir cuando se espera oírlo, y se “oye” aunque no sea

emitido realmente; un ejemplo ocurre cuando oímos el mismo disco de música muchas veces, por ejemplo, en un coche, y cuando termina una canción o pieza musical, literalmente oímos el inicio, un segundo o quizás menos -antes de que empiece-, de la siguiente pieza musical. Cuando se espera con ansiedad y con demasiada expectación un sonido, se acaba oyéndolo en una situación dada. Puede pasar, por ejemplo, cuando se espera el paso de un tren o un avión, y cualquier tremor o ligero sonido con cierto parecido, nos anuncian el inicio del sonido y literalmente empezamos a oírlo. Cuando se escucha música, oímos la terminación de la pieza musical antes de que acabe, al esperar la conclusión de los acordes o notas finales. El lector podrá pensar en otros tipos de ejemplos, que le hayan sucedido en su vida. En el caso particular de la música ocurre en las llamadas *cadencias* -notas con cierto ritmo que nos señalan el final de una canción-, por ejemplo, cuando una pieza termina (el clásico: ¡tan tan!), o en pasos intermedios de la pieza. Ocurre también cuando los músicos practican mucho una determinada pieza y anticipan mentalmente y oyen la sección o pasaje que tocarán a continuación.

Nuestra experiencia del espacio está influenciada por muchas otras cosas, como las funciones del espacio, las asociaciones culturales o su historia particular y, como dijimos, por nuestra memoria e imaginación. La manera en que percibimos el espacio depende fuertemente de nuestra percepción aural de ese espacio, es decir, de las impresiones que además de las visuales entran en la concepción y aprehensión de ese espacio. Podemos incluso estar a oscuras en una habitación y percibir nuestra propia presencia física en ella, ya sea a través de los ruidos de nuestros pasos, de nuestra voz o de nuestra respiración, en última instancia, de nuestra proyección sónica en ese espacio.

Se puede decir que un espacio resuena tanto acústicamente como con nuestra *memorabilia* o nuestra imaginación. Bachelard en 1958, en su libro “La poétique de l’espace” (Bachelard, 1994) -estudio de cómo experimentamos los espacios que nos albergan, la casa donde nacimos, es decir, los espacios íntimos- ofrece un panorama de lo que es el espacio, un intento de describir el impacto que el espacio, en particular, los espacios que habitamos, en que nos recogemos,

meditamos o soñamos a largo de la vida, tiene en nuestra imaginación⁷, y describe como la imaginación humana y la memoria están fuertemente ligadas y moldeadas por nuestro entorno físico. Utiliza en este ensayo filosófico, términos que se usan en la acústica de espacios limitados -recintos- como *reverberación* de la imagen poética, *resonancia* con nuestro ser, *repercusión* sentimental, recuerdos de nuestro pasado... “... *el espacio contiene al tiempo comprimido. Para eso es el espacio*”⁸. Analiza cómo la memoria no graba el paso del tiempo, pues no recordamos hechos continuados en el tiempo si acaso imágenes y sólo en el espacio, y cómo eran estos espacios ¿iluminados, ¿silenciosos? ¿Cómo se lograba el silencio en espacios de retiro del hogar, del campo, etc.?

¿El espacio en términos del sonido? Una de las primeras o quizás la primera definición del concepto de espacio acústico fue dada por McLuhan (Carpenter & McLuhan, 1960, p. 67) y aparece en la parte inicial de este capítulo⁹.

7En este libro, p.8, G. Bachelard habla del topoanálisis -estudio psicológico y sistemático de los espacios de nuestras vidas-, con respecto a que a veces consideramos que nos conocemos a nosotros mismos en el tiempo, cuando en realidad lo que conocemos son una serie de fijaciones -imágenes- en el espacio en donde hubo una estabilidad del ser "un ser que no se quiere disolver, y que aún en el pasado, cuando busca cosas del pasado, quiere que el tiempo suspenda su vuelo. En sus incontables alveolos el espacio contiene al tiempo comprimido, para eso es el espacio".

⁸ Dice G. Bachelard que, por su novedad, una imagen poética pone en movimiento todo el mecanismo lingüístico, “.. a través de esta reverberación dentro de nosotros. Después de la reverberación original, experimentamos resonancias, repercusiones sentimentales, recuerdos de nuestro pasado...”. Introducción (ibíd.)

⁹Para McLuhan (1960) el espacio es un concepto central en sus teorías de los medios. El concepto de espacio acústico lo pone en contraposición al de espacio visual, pero no elimina lo visual. El espacio acústico se refiere a que las estructuras y suposiciones espaciales que este espacio define, en la “era eléctrica”, son impuestas en la cultura por los medios tales como teléfono, radio, televisión, y actualmente la Internet (e-mail, blogs, twitter, Facebook, etc.).

Ciertamente esta definición o concepto del espacio tiene sus limitaciones, por ejemplo, en la realidad de nuestra existencia ese espacio sería una semiesfera, pues todo sucede en la superficie de la Tierra y, en consecuencia, debido a los obstáculos que existen (árboles, edificios, montañas, etc.), el sonido se difracta y refleja en diferentes obstáculos, de una manera aleatoria o errática y tiene después de poco tiempo diferentes direcciones, intensidades y espectros. Sin embargo, es una imagen poética que podría describir un espacio acústico hipotético más que ideal. Al final toda descripción del espacio acústico tiene que caer casi forzosamente -por limitaciones del lenguaje- en descripciones visuales y metáforas espaciales.

El espacio aural, el espacio articulado y denotado por el sonido, el espacio que conscientemente percibimos por el oído y que de alguna manera habitamos, aunque sea momentáneamente, es un concepto dinámico, cambiante y contingente. Siempre estamos en el centro de ese espacio oyendo con el oído, a diferencia del espacio visual en donde estamos siempre en la orilla viendo “hacia adentro” de ese espacio (Ihde, 2007). Con el espacio aural o acústico no hay un vacío que hay que llenar, sino un espacio creado por el sonido en sus relaciones con él mismo, conforme se desarrollan en el tiempo. Las fuentes sonoras y la acústica espacial interaccionan entre sí de una manera recíproca. Aun cuando los eventos sónicos son producidos por una vibración ya sea de un impacto, frotamiento o un soplo y ubican el sonido en donde se produce, oímos el sonido original modificado por el espacio y los objetos que en él se encuentran, conforme se propaga de su punto de origen a nuestros oídos. En la acústica espacial, se puede decir que es ella misma audible y así oímos la vacuidad de una casa, la grandeza y profundidad de una cueva, la cercanía de un techo muy bajo o la lejanía de uno muy alto.

Las fuentes sonoras -usando una palabra similar a la empleada para la visión- “isonizan” a los objetos en un espacio, así podemos oír de una manera un tanto vaga las propiedades audibles del espacio y de la misma manera podemos “oír” a objetos pasivos, por ejemplo, podemos oír una pared si caminamos hacia ella haciendo un sonido “shshsh” o con un pequeño silbido en un lugar determinado, aún con cierto ruido ambiental y con los ojos cerrados, al caminar hasta estar a 15 ó 20 cm de ella. “Oímos” la pared

porque aunque ella no es una fuente de sonido, oímos las reflexiones del “shshsh” provenientes de la pared; las paredes también cambian el contenido de frecuencias o “contenido espectral” del sonido original y actúan como una especie de filtro acústico, podemos así diferenciar, con mucha práctica, el tipo de pared, el obstáculo. Esto algunos lo podemos comprobar, la primera vez que lo intentamos y casi todos podemos hacerlo con un poco de práctica (Blessner & Salter, 2007).

El espacio aural, en contraste con el espacio visual al que se le dan ciertas cualidades de contenedor, es un concepto dinámico, orgánico y contingente. "Con el espacio aural o acústico no hay un vacío que hay que llenar sino un espacio creado por el sonido en sus relaciones con el mismo, conforme se desarrollan en el tiempo. Las fuentes sonoras y la acústica espacial interactúan entre sí de una manera recíproca." (Gow, 2001). Aun cuando los eventos sónicos son producidos por una vibración, producto ya sea de un impacto, frotamiento, o un flujo de aire (soplido) y ubican el sonido en donde se produce, oímos el sonido original modificado por el espacio y los objetos que en él se encuentran, conforme se propaga de su punto de origen a nuestros oídos. La "visión" acústica la desarrollan profundamente algunas personas ciegas utilizando otras formas o modos de percepción, y es mucho más que la sola percepción de la distancia, especialmente el tacto y la audición que se tornan en su vida más intensas e importantes. Una descripción de como la lluvia logra tender un puente entre la audición y la visión está descrito en un pasaje de un libro de John Hull (Hull, 1990, p. 29), profesor de la Universidad de Birmingham, Inglaterra, que siendo ya adulto se quedó ciego; es una descripción de un momento de meditación y observación fenomenológica, sobre como los sonidos, producidos por la lluvia, le hacen captar la escena total en sus alrededores:

Esta noche, como a las nueve, estaba listo para dejar la casa. Abrí la puerta del frente, y la lluvia caía. Estuve ahí por varios minutos, perdido en la belleza del momento. La lluvia tiene el efecto de sacar los contornos de todo; extiende una frazada colorida sobre cosas previamente invisibles; en vez de un mundo intermitente y por lo tanto fragmentado, el constante caer de la lluvia crea una continuidad de la experiencia acústica. Oigo la lluvia golpetear en el techo arriba de mí, escurrir por las paredes a mi izquierda, a mi derecha, chapoteando del tubo de descarga a nivel del suelo a mi izquierda, y más allá hacia la izquierda hay un pedazo más ligero conforme la lluvia cae casi

inaudiblemente sobre un arbusto frondoso. A la derecha, tamborea con un sonido más profundo, estacionario, sobre el césped. Puedo, incluso, delinear el contorno del césped, que sube hacia la derecha en una pequeña cuesta. El sonido de la lluvia es diferente y moldea la curvatura para mí. Más lejos, a la derecha, oigo a la lluvia golpear contra la palizada que divide mi propiedad de la del vecino. Al frente, los contornos del camino y los escalones son marcados, hasta el portal. Aquí la lluvia cae sobre el concreto, aquí la lluvia está cayendo chapoteando sobre los pequeños charcos que ya pronto se han formado. Aquí y allá hay pequeñas y suaves cascadas que escurren de escalón en escalón. El sonido en el andador es diferente del sonido de la lluvia redoblando sobre el pasto a la derecha, y este a su vez es diferente del pesado, enraizado, empapado, saturado, que cae sobre el gran arbusto a mi izquierda. Más allá, a lo lejos, los sonidos son menos detallados. Puedo oír la lluvia caer sobre el camino y el sisear de los coches que pasan, hacia arriba y hacia abajo. Puedo oír el borbotar del agua corriendo en el borde del camino. La escena es más diferenciada de lo que he logrado describir porque dondequiera hay pequeñas grietas en los patrones, obstrucciones, proyecciones, donde alguna pequeña interrupción o diferencia de textura o un eco, da un detalle o dimensión adicional a la escena. Sobre toda la escena, como la luz cayendo sobre un paisaje, está el suave fondo del murmullo continuo de la lluvia.... yo sé que estas cosas están ahí, pero las sé de memoria... La lluvia presenta la totalidad de una situación al mismo tiempo, no solo recordada, no anticipadamente, sino aquí y ahora. La lluvia da un sentido de perspectiva y de la relación actual de una parte del mundo con otra.¹⁰



www.worldaccessfortheblind.org

Hay un sitio, en la Internet, administrado por un invidente, en donde se describen cómo se desarrollan estas habilidades usando un concepto similar al que utilizan los murciélagos -un haz de sonido que rebota en los objetos a su alrededor-, generando un chasquido con la lengua o un generador de chasquidos electrónico. Las personas aprenden a trasladarse por lugares comunes usando la ecolocalización, Daniel Kish es una de las personas más conocida que practica la ecolocalización, tanto que fundó una asociación para los ciegos que enseña a ecolocalizar:

www.worldaccessfortheblind.org .

¹⁰Traducción por el autor de este libro.

En un artículo (Rojas *et al.*, 2009), se muestra científicamente que los humanos pueden desarrollar la ecolocalización, similarmente al sistema que los murciélagos y delfines usan para explorar sus alrededores. Produciendo un *clic palatal*, es decir, un chasquido con la lengua (el más efectivo, dicen estos autores, es el generado poniendo la lengua atrás de los dientes superiores y jalando la lengua súbitamente para atrás, no hacia abajo) las personas pueden aprender rápidamente a identificar los objetos a su alrededor sin verlos¹¹.

De igual manera es posible, para la mayoría de las personas, identificar los objetos que producen determinados sonidos o combinación de ellos. Un ejemplo que pone de manifiesto esta capacidad, es el juego de niños en que en una caja se guarda algún objeto de determinada forma, seleccionado de entre un conjunto de objetos conocidos por el niño, se cierra y se sacude haciendo sonar al objeto contra las paredes de la caja que lo contiene. El objetivo es identificar que objeto está guardado en el interior. En poco tiempo el niño -o el observador adulto- se da cuenta que es posible identificar la forma de los objetos por medio del sonido, por ejemplo, una canica esférica contra una llave de puerta o una moneda; se discierne la forma por lo oído, por el sonido que emite. La conciencia espacial auditiva, al oír objetos pasivos y geometrías espaciales, es compartida por otras especies de mamíferos y la utilización del espacio y el sonido por muchísimas especies de animales.

La información primaria de los animales y el hombre, es sobre el tipo de fuentes sonoras y particularmente de las señales que están fuera del rango de visión o de detección de los otros sentidos. Esto aunque es muy importante para la sobrevivencia, estaría limitado si el organismo no supiera donde está

¹¹Para aprender a emitir los chasquidos, y como recibir e interpretar los rebotes, desarrollaron protocolos. El primer paso es reconocer el propio chasquido -cada persona tiene su chasquido particular-, y después, aprender a reconocer los rebotes según la geometría de los objetos. El tiempo de aprendizaje varía pero en cuatro semanas ya se puede discriminar entre pavimento y árboles. Daniel Kish es la única persona ciega que ha sido certificada para ser guía de ciegos (otro famoso ecolocalizador fue Ben Underwood, quien murió en el 2009).

localizada la fuente (depredador), la localización es lo más importante. Debe saber no sólo que *está* sino *dónde está* para poder escapar más eficientemente (Popper y Fay, 2005). En el hombre, la conciencia espacial adquirida usando el oído tiene el mismo objetivo, pero además ahora es utilizada para ubicarnos y experimentar los espacios construidos, los espacios en que nacemos, crecemos, habitamos, trabajamos, soñamos, gozamos, sufrimos, envejecemos y quizás, en los que morimos.

EL SONIDO Y EL ESPACIO DE LAS CAVERNAS

Las investigaciones sobre el arte de las cavernas, apoyan la noción de que la experimentación con el espacio y su uso tiene antecedentes prehistóricos (American Institute of Physics, 2008). Parece ser que los hombres que vivieron en el paleolítico, hace 10 000 a 40 000 años, pasaban mucho tiempo en las cuevas, a menudo viviendo en ellas. Seguramente las exploraban y quizás usaban su voz para orientarse a través de los rebotes y reverberancias del sonido. El hecho es que dejaron pinturas que nos muestran animales de muchos tipos:

bisontes, Ibex, mamuts, [Figura 6.3](#). El arte de las cavernas, teorizan algunos investigadores apoyados por estudios recientes, está ligado a la acústica de las cavernas de una manera deliberada más que por accidente. Especialistas en acústica (Reznikoff & Dauvois, 1988), al estudiar más de 20 cuevas en donde hay pinturas, gran parte de ellas de animales, encontraron que la mayoría de las pinturas están en zonas de las cuevas en donde la voz y los instrumentos musicales resuenan más, es decir, hay una correlación entre los puntos de máxima resonancia y la ubicación de las pinturas. La evidencia parece indicar que la música y la voz fueron parte importante de la experiencia de nuestros



Figura 6.3; Sitio donde se puede ver un documento sobre las cuevas. <http://www.liceus.com/cgi-bin/aco/ar/02/01203.asp>



Figura 6.4. La gruta de Pech - Merle en el sur de Francia. Las manchas rojas aparentemente señalan un lugar donde se oye una fuerte resonancia.<http://www.quercy.net/pechmerle/english/introduction.html>

ancestros en las cuevas y, por inferencia, si esto sucedía, la voz y la música estarían ligadas a ritos alrededor de los animales.

Las pinturas eran muy probablemente parte de rituales en que se cantaba y se tocaban instrumentos, pues se han encontrado flautas y silbatos de hueso en las cuevas. Lo que no se sabía era si la música y las pinturas pudieran estar

vinculadas. Sospechando una posible relación entre la acústica de las cuevas y las pinturas, los investigadores citados exploraron acústicamente varias cuevas. Usando la voz como fuente sonora de pruebas, se localizaron los puntos o zonas de máxima resonancia en mapas de las cuevas. Resultó que la gran mayoría de las pinturas (alrededor del 90% de ellas, dependiendo de la cueva) se localizaba en los puntos de máxima resonancia; y los investigadores se hacen la pregunta ¿por qué escogieron puntos de máxima resonancia para las pinturas? Una respuesta plausible es que lo hicieron, muy probablemente, para hacer rituales relacionados con las pinturas.

Los sonidos ahí creados son reminiscentes del mugido de los bisontes, es decir, este posicionamiento de las pinturas fue deliberado, más que un accidente.

Según Waller (1993), un pionero de la acústica arqueológica y quien sugirió que el arte paleolítico fue influenciado por la acústica de las cuevas, es poco probable que los humanos de las cavernas, con la sofisticación que es necesaria para producir las figuras e imágenes complejas de las cuevas, no poseyeran una conciencia aural para utilizar y explotar la acústica de las

cuevas. Las imágenes de toros, bisontes y venados se encuentran en cámaras con fuertes ecos y reverberaciones, es decir, cuya acústica crea sonidos percusivos sucesivos similares a la estampida; por el contrario, las cámaras más silenciosas contienen imágenes de felinos (que son silenciosos y furtivos por naturaleza). Otro aspecto interesante es que los puntos en donde el efecto resonante es mayor están señalados con puntos rojos pintados por los habitantes originales de la cuevas (Figura 6. 4).

LA ARQUITECTURA AURAL

La arqueología acústica da cuenta de casos a través de la historia en que ciertos lugares o sitios arqueológicos, además de las cuevas, tienen propiedades acústicas inusuales casi todas relacionadas con templos o lugares de adoración, en Grecia, por ejemplo, en algunos templos tenían una acústica e iluminación en que la voz de los sacerdotes parecía venir de otro mundo (Vassilantonopoulos & Mourjopoulos, 2001). A través de la historia de la arquitectura se han construido espacios o edificios que ocasionalmente tienen propiedades o características sonoras que llaman la atención. Un caso sobresaliente sería el de la cultura Maya¹², pues aunque no hay evidencia escrita o en estelas sobre sus edificios, parece ser que tenían consciencia de la arquitectura aural aplicada a sus edificios con propósitos sociales y religiosos (Van Kirk, 2002). Sin embargo, todos los espacios antiguos o modernos, como templos, calles, casas, oficinas, estadios, etc., tienen una característica aural que le asignamos a un espacio en función del ambiente sonoro producto de todos los sonidos generados y reflejados por objetos y paredes y sumados en última instancia en nuestros oídos. Este ambiente sonoro producto de la arquitectura produce en nosotros, aunque no estemos conscientes de ello, una

¹² El caso más conocido es, por ejemplo, el de las canchas de juego de pelota rodeadas de paredes verticales además de las gradas, en donde un murmullo en un extremo se puede oír en el otro extremo con una facilidad asombrosa; pero existen otros efectos acústicos como el de la escalera de la pirámide de Kukulcán, en que el reflejo de un sonido impulsivo (como una palmada), parece el canto de un quetzal, o de que se puede oír y tener una conversación entre tres pirámides cuando se está en la parte superior de ellas.

respuesta emocional y decimos, por ejemplo, que un recinto es frío o cálido, estresante o calmante, o algún otro adjetivo, que manifiesta, en última instancia, que también *experimentamos*, o *vivimos* un espacio por la huella arquitectónica que imprime en el sonido, por su ambiente aural.

Tomando conceptos que ya venían permeando el campo de la acústica ambiental, de la ecología y del paisaje sonoro (Schafer, 1977), Blesser & Salter (2007) abordaron el papel del sonido en la arquitectura de una manera integral. Si la arquitectura se adapta a los sentidos humanos de la vista, el tacto y, en especial el oído, se pueden crear poderosos efectos en quienes habitan el espacio. Consideraron el papel que el sonido juega, en relación a los usuarios o habitantes de un espacio, sobre todo en los tiempos modernos. Resaltaron el hecho de que el sonido ayuda a un habitante, casual o permanente, de ese espacio, a aprehenderlo con una respuesta emocional y de comportamiento, a través de la forma de los objetos en ese espacio, las distancias entre sus fronteras y de sus volúmenes, es decir, a través de la huella del espacio.

Este es el origen del concepto de *arquitectura aural*, y consiste actualmente, en manipular el diseño de un espacio arquitectónico para que a través del sonido se logre: “... ese aspecto de los espacios reales o virtuales que producen una respuesta emocional, comportamental, y visceral en sus habitantes.”, un espacio que puede producir sentimientos “de intimidad, ansiedad, aislamiento, conectividad, calidez, y también un sentido místico de espiritualidad” (Blesser & Salter, *Ibíd*). Basta pensar y recordar los efectos que ciertos espacios nos producen o han producido en ciertas ocasiones, como los de una catedral, una sala de conciertos, las calles estrechas entre altos edificios en las grandes ciudades, una caverna, etc. Estos recuerdos nos llevan a pensar que casi siempre las impresiones son perdurables, y nos brindan cierta paz emocional o paz interior, esto se traduciría en que el sonido tiene un papel intensificador de la memoria. La experiencia aural de un medio, de una construcción, de un hábitat, es críticamente importante para el bienestar social y emocional de sus habitantes (Ulrich *et al.*, 1991).

El espacio acústico no tiene fronteras definidas, ya que existe en relación al emisor pero también en relación al escucha, lo entrecruzan el *horizonte acústico* y

la arena acústica. El horizonte acústico es la distancia límite a la cual un escucha puede percibir eventos sónicos, es la verdadera frontera de nuestro entorno personal; el área que cubre ese horizonte acústico es la arena acústica donde el evento sónico ocurre, pero desde el punto de vista del emisor o la fuente sonora. Se puede decir que una circunferencia define al horizonte acústico y un círculo la arena acústica (Blessner y Salter, *ibíd.*).

Muy frecuentemente, el sonido es el elemento esencial de experiencias de unión en un espacio dado, esa unión la establece el espacio acústico, recordemos el canto en ritos religiosos, conciertos de cualquier tipo, o alguna reunión en que se canta o se dice poesía. Es decir, el sonido es un medio mediante el cual nos conectamos a los eventos que ocurren en el ambiente. Por el contrario, cuando este espacio está invadido por el ruido, por ejemplo, se encoge el rango de conexión social y no se puede establecer una relación emocional entre el individuo y el medio ambiente o con otras personas. Algunos arquitectos y científicos hablan de la espacialidad al describir la experiencia de oír el espacio por medio de la audición o escucha, de hecho, esos autores distinguen al menos cinco tipos de espacialidad: navegacional, social, simbólica, estética y musical.

La *espacialidad navegacional* se refiere a cómo utilizar la habilidad de sentir el espacio auralmente para desplazarse por él, navegar entre objetos y geometrías. Esta habilidad la tienen muy desarrollada las personas invidentes y es conocida la que posee Daniel Kish, mencionado anteriormente.

La *espacialidad social* expone cómo el espacio influencia las interacciones sociales entre las personas. Toda fuente tiene una arena acústica, el entorno a su alrededor hasta donde llega el sonido audiblemente. O, en otras palabras, el espacio en donde se escucha la fuente. Cuando esta arena coincide con la distancia social, la comunicación e intercambio de experiencias óptimas, varían según las circunstancias y ponen el ejemplo de que para unos amantes ésta puede ser de unos centímetros, en tanto que para una cantante puede consistir de decenas de metros.

La *espacialidad simbólica* se refiere a que los espacios pueden tener un carácter simbólico de aquello que se realiza, o se asocia, con ese espacio, por ejemplo,

la vastedad de una catedral genera una reverberación envolvente que se asocia con simbolismo religioso, la acústica de un bosque se asocia con la naturaleza, etc.

La *espacialidad estética* hace referencia a la acústica en puntos o regiones del espacio, localizados en donde hay variedad de sensaciones programadas con un objetivo o por accidente. Por ejemplo, las que existen en las ruinas mayas de Chichen Itzá, la rotonda del espacio escultórico en la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional Autónoma de México, en la ya citada *gruta de Pech - Merle*, etc.

La *espacialidad musical* se presenta en espacios en que se ejecuta música y ocurre en dos dimensiones: el esparcimiento o extensión temporal y el esparcimiento espacial. El temporal se refiere a que las notas musicales se extienden en el tiempo, es decir, su estructura temporal se modifica, por ejemplo, si una guitarra toca tres notas seguidas en un espacio reverberante, los tonos se extienden cada uno en el tiempo y se oyen en un momento dado como un acorde extendido en el tiempo; la espacial ocurre al producir el sonido un

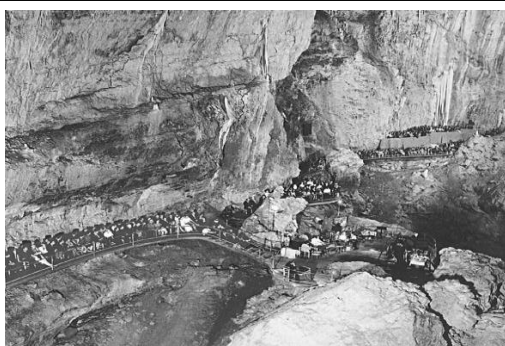


Figura 6.5. Concierto de Stockhausen "Stimmung" en la Cueva Jeita cerca de Beirut. La iluminación es artificial. Algunos escuchas estaban a 80 m de los músicos (Archives of Stockhausen Foundation for Music).

ambiente envolvente muy reverberante y el escucha oye un espacio extendido más grande al verse sumergido en un océano de sonido. Está inmerso en un mar de sonido, las fuentes no se localizan y esto crea en el oyente ansiedad, excitación y un estado de conciencia alterado. Es como un estimulante de la conciencia.

Durante una serie de conciertos del compositor alemán Stockhausen, en las cavernas de Jeina en Beirut, Líbano, en 1969,

quienes estuvieron en esos conciertos describieron la experiencia como mística y con la sensación de estar en un mar etéreo de sonido, [Figura 6.5](#).

Esta interacción del sonido y el espacio, la espacialidad en sus diferentes manifestaciones, provoca en los oyentes de un espacio dado, sentimientos, emociones y comportamientos diversos; según los autores iniciadores de este concepto, al elegir o diseñar un espacio, en función de las sensaciones sónicas que nos provoca, se está actuando como un arquitecto aural.

Hay, según los arquitectos, métodos sofisticados para diseñar paisaje y jardines, pero no cuando se considera el sonido. Generalmente lo que ocurre es que el sonido simplemente no se considera. Y justamente, un parque o paisaje especialmente diseñado debería considerar al sonido, ya que un parque es -debería de ser- un lugar de solaz, meditación, tranquilidad y esparcimiento. El sonido en una locación no ocurre necesariamente por azar y cuando la gente escucha y reacciona al sonido, responde a sus alrededores. El diseño, materiales y contenido podrían, si se considera el sonido, invitar a actividades asociadas con la vida y el movimiento. Los sonidos como se ha visto, dicen mucho del paisaje, de los jardines y de los espacios. Los sonidos son mensajeros y pueden moldear el comportamiento de las personas. Considerando los detalles más simples (basta pensar en la altura y textura de las paredes, así como distancia entre ellas; textura de pisos y pavimentos; tierra y cantidad de vegetación, la altura y especie de los árboles y su densidad, uso del agua y sus flujos o movimientos; el viento y su utilización), se observa que todo esto podría formar parte de la planeación en la arquitectura del paisaje, pues estos detalles afectan el ambiente acústico de cualquier lugar.

Estos factores sonoros son importantes para definir y establecer una congruencia y coherencia entre lo visto y lo oído. El éxito de un espacio sonoro o ambiente acústico se corresponde con el cumplimiento de los objetivos deseados y planeados para un espacio o lugar. Se dice que la arquitectura del paisaje tiene el objetivo de crear soluciones de funcionalidad y estética relacionadas al espacio (Swaffield, 2002). La arquitectura aural, aplicada al diseño, considera el sonido como elemento esencial y como parte importante del todo del problema del paisaje diseñado. Granö, geógrafo

finlandés (Antrop, 2013), hace muchos años estudió los paisajes, enfocándose en varias experiencias sensoriales, en especial, la auditiva; consideró que las experiencias acústicas constituyen un importante componente y sugirió analizarlas con respecto a la distancia a la cual se experimentan. La consideración específica del sonido no sólo para parques o jardines sino en toda locación donde haya actividades en zonas urbanas: la atmósfera de una ciudad o la campiña está fundamentalmente determinada por el espacio acústico. Esto significa que la concepción de lo que un paisaje es no puede estar restringido a lo que uno ve y la planeación de la ciudad no puede contentarse con el control y abatimiento de ruido, sino que debe prestar atención al carácter o “atmósfera”—como siente el ser humano dicho ambiente-- incluyendo la acústica, de plazas, zonas pedestres, de ciudades enteras (Bohme, 2000).

Hay arquitectos que promueven el uso del sonido de una manera más creativa en la arquitectura, piensan en el uso del sonido como un elemento esencial y participativo de su quehacer. Se puede uno imaginar cómo se podría usar el sonido a través de la manipulación de tiempos de reverberación, absorción, volúmenes, distancias, acoplamientos entre distintos volúmenes, etc., para



Figura 6.6 Estructura temporal en el espacio, representada por el volumen y forma del espacio, y la interacción del usuario, el caminante.

crear ambientes sonoros o sónicos diversos en una misma construcción. Se podría pensar en usar el sonido como se usa la luz para crear ambientes espaciales [Figura 6.6](#). Por ejemplo, un pasadizo que tuviera diversos materiales absorbentes, cúpulas (donde el sonido “rebotara” creando lo que se conoce como “flutter” o “aleteo”) o espacios para que reverberara el sonido, de tal manera que al caminar por ese corredor, se tuvieran diferentes ambientes acústicos, ya sea sordo, reverberante, entonado a una frecuencia particular que al caminar

resonara con una frecuencia dada, etc., como en la figura anterior. Existen en la Ciudad de México espacios que, por casualidad, tienen alguna de estas características, como por ejemplo, el patio interior del Museo-Biblioteca Isidro Fabela (Casa del Risco), ubicado en San Ángel. Al caminar por los pasillos de uno de los patios, pasa uno por debajo de algunas cúpulas pequeñas, en donde se oye una reverberación localizada cada vez que se pasa por debajo de ellas. La sensación es de un espacio acústico cambiante muy envolvente y espacial.

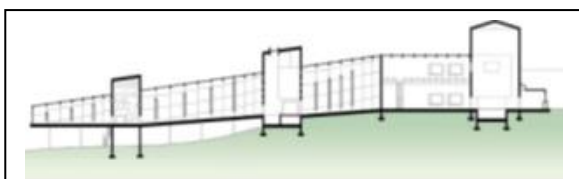


Figura 6.7 Proyecto arquitectónico de percepciones aurales, un pasillo que une tres volúmenes con características acústicas diferentes.

Un ejemplo, de un proyecto encaminado de alguna manera sobre estas líneas, cuyo objetivo fue “explorar las implicaciones psicológicas y fisiológicas de diseñar un espacio alrededor de percepciones aurales para

crear un medio ambiente sónico armónico” (Wismer, 2004), consiste en el diseño de una escuela de música en Indianápolis, Indiana. Como se muestra en la [Figura 6.7](#), consta de tres volúmenes conectados por pasillos. Todo el diseño tiene el propósito de envolver al caminante en diferentes sensaciones acústicas. Los volúmenes manejan por medio de los materiales utilizados, diferentes tiempos de reverberación al mismo tiempo que se maneja la luz natural. Igualmente, los pasillos tienen además resonadores en forma de tubos que resuenan a diferentes frecuencias dadas por la longitud de los tubos.

Los tres volúmenes que se observan en la [Fig. 6.8](#), son tres espacios con características acústicas diferentes. El primero de derecha a izquierda tiene una reverberación alta y sus paredes están cubiertas de láminas de cobre y acero inoxidable, y el piso es de concreto, tiene a la vez mucha luz natural. El segundo “nodo acústico” es más pequeño con tiempo de reverberación más corto (con algunas paredes con material absorbente) y está un poco menos iluminado. Los pasillos son espacios con menos reverberación que unen estos

volúmenes y con tubos de diferentes longitudes que resuenan con los pasos de la gente a diferentes frecuencias. El tercer volumen es todavía más chico, con un tiempo de reverberación muy pequeño, cubierto de cuñas, y otros materiales absorbentes y la luz es mínima.



Figura 6.8 Los tres volúmenes de características acústicas diferentes. Arriba izquierda y derecha, tiempos de reverberación largo y menos largo; abajo izquierda, tiempo de reverberación mucho más bajo, es un espacio no tan vivo. Abajo derecha, pasillo que une los espacios (Wisner, 2004).

EL SONIDO Y LOS ESPACIOS URBANOS

« Los talleres se cierran, es día de huelga, nadie trabaja; la extraña fiesta llama a todos los ciudadanos a la plaza pública donde desde el amanecer levantan kioscos y se disputan los mejores puestos. A las 10 a.m., el gentío es inmenso: plaza pública, calles, posadas y

establecimientos inmediatos, todo repleto, todo invadido por el oleaje de una muchedumbre variada y caprichosa, que se apiña y se disipa, que avanza y retrocede. Jinetes, amazonas, banderas tricolores, organillos de música, ramos de flores, cestas de frutas, etc., etc.

Que ruido! Que torbellino! Que maremagnum! Oyese plaza como el rumor de caudaloso río...

Ni cuando el centenario del libertador, la fiesta secular, viose tan repleta y bulliciosa la plaza de Mérida...

Y esta fiesta es frecuente. Es periódica,

Es semanal,

Es el gran meeting del estómago

Es el día del mercado!

Nuestro clásico lunes.”¹³

En el campo y la ciudad, en las minas y estaciones de trenes, vías de ferrocarril, o en las fábricas, la industrialización apareció con un creciente ruido de construcción, de martilleo, de chirridos de metal, bramidos, algareo, cascabeleos y alaridos de la máquina, pitidos, aullidos, chisporroteos, remacheo, batido, lamineo, martilleo, del acero, y golpeteo de las ruedas de los carros de caballos. La esfera sonora había cambiado para siempre.

La era de la revolución de la máquina trajo mecanismos movidos inicialmente por el vapor y después por motores de combustión interna, asociados esencialmente al automóvil. Estos motores producen ruido por funcionar con explosiones de aire y combustible en sus cilindros. Las máquinas se multiplicaron y las fábricas para construirlas poblaron las ciudades. Edificios, carreteras, presas para hidroeléctricas, transporte de carga, todo esto trajo el llamado progreso y su asociación a la máquina. Para muchas personas el ruido fue sinónimo de progreso. Sin embargo, para otras personas fue una pérdida de lo que en eras anteriores se consideraba como una identidad orgánica entre

¹³ Julio Sánchez (Sánchez, 2002) cita un artículo sobre la Mérida venezolana del siglo XIX, «El Gran Día», El Lápiz. 30 septiembre, 1885. N° 8, en que se plantea reconstruir el comportamiento social en dicho siglo.

la fuente -o causa del sonido- y el sonido mismo¹⁴, entre lo visual y lo auditivo, entre la imagen y el sonido, entre voz y cuerpo, entre canto y espíritu.

A fines del siglo XIX, las fuentes de ruido y sonido eran muchas y variadas. Sin embargo, en algunas ciudades de América Latina el ruido de automóviles y máquinas todavía no se hacía presente, o no alcanzaba a ser general por el escaso número de automóviles y el poco desarrollo industrial. J. Sánchez (2002) relata una escena, sacada de un periódico en la ciudad de Mérida, Venezuela, de un día de mercado en la plaza Simón Bolívar, en donde se describe una escena que bien podría haber sucedido en alguna otra plaza en América Latina. Al leerlo, al inicio de este apartado, nos podemos imaginar el ambiente sónico, la algarabía, el barullo y el movimiento constante.

La manera en que interpretaban muchos de esos sonidos de la vida diaria, es diferente de cómo se interpretarían en la actualidad cuando tratamos de huir del ruido y los sonidos, pero la diferencia es más profunda, estos sonidos formaban parte de un sistema de relaciones que tenían que ver con información, ubicación en el espacio y el tiempo, y de sentido de comunidad auditiva. Este ambiente sonoro es todavía típico de algunos días de mercado en muchas ciudades y pueblos de América Latina. Los sonidos se interpretan de manera diferente, pero son íconos sonoros de mucha antigüedad, plenos de sentido y reminiscencias; podemos aventurarnos a decir que sin importar su locación geográfica, son muy similares en muchos lugares del mundo, son universales.

Aunque algunos ruidos del campo o preindustriales, en las ciudades, en días de mercado o cualquier otro día, no fueron (o son, todavía en muchos pueblos alejados de las zonas urbanas) agradables al oído, tienen la peculiaridad de que podían ser atribuidos a un origen, a una fuente de sonido:

¹⁴.M. Alter y L. Koepnick, 2004, reúnen un conjunto de estudios sobre el sonido y la modernidad en Alemania, y argumentan que la modernidad en el arte y literatura es una lucha por restablecer esta unidad entre sonido e imagen.

eran identificables. Una herramienta de mano -un hacha, un martillo, quizás incluso un sólo auto o camión que reconocemos cuando llega a la casa en el campo o sembradío- eran y siguen siendo a pesar de todo predecibles e identificables y, en consecuencia, plenos de significado.

El ruido urbano en las ciudades o metrópolis nacientes generó una multiplicidad de ruidos, una saturación del sentido del oído, que de alguna manera separaron las percepciones aurales de las visuales. En la ciudad, sucede a menudo que no se pueden identificar las causas --las fuentes del sonido--, ya que permanecen ocultas por sus edificios y calles entramadas o retorcidas. El ruido cacofónico que viaja hacia todos lados, y que constituye un mar de ruido en el que estamos inmersos, une lugares disímiles y eventos lejanos debidos a causas invisibles. Se disminuye el espacio --la arena acústica- y aumenta la tensión y la ansiedad. Los sonidos de causa desconocida nos producen tensión y ansiedad: “el sonido siempre lleva consigo la tensión de lo desconocido hasta que es anclado por la vista” (Altman, 1985)¹⁵. Cuando identificamos la causa hay alivio y una vuelta al equilibrio, nos podrá seguir molestando por su tipo o intensidad, pero ha sido identificado y con ello la tensión de lo desconocido ha sido superada.

El medio ambiente sonoro, cuando es ruidoso y cacofónico en ciertas zonas de una ciudad, o cerca de avenidas muy transitadas, en fábricas, acerías, etc., se nos presenta como una confrontación por la sobrecarga de estímulos auditivos. Cuando se mezcla con la reproducción del sonido --surgida después de la invención del radio, televisión, grabadoras, alta fidelidad etc.-- y la posterior evolución a los sistemas digitales actuales, la percepción de los eventos sonoros se ve totalmente desarticulada por la ruptura de la unión del espacio-- en donde ocurrió-- y del tiempo --cuando ocurrió--, haciendo que

¹⁵ Este es un ensayo sobre la imagen y el sonido en el cine, pero la discusión sobre la diferencia entre sonido e imagen es interesante y es aplicable a las causas de tensión en el ruido urbano.

todo ocurra simultáneamente, encogiendo el espacio y el tiempo ¹⁶. La reproducción sonora descontextualiza a menudo el evento al reproducirse -- siempre infiel al evento original-- mediante una grabación en otro tiempo y en otro espacio: un ejemplo, el sonido ambiental que oímos en todo supermercado o almacén.

También encontramos constantemente, en muchos países y en muchas ciudades de México, vendedores que anuncian sus productos con bocinas o altoparlantes compitiendo entre sí, y con el ruido del tránsito de vehículos, o tratando de llegar al oído de personas a cientos de metros de distancia e invisibles para el anunciante. El problema del ruido ambiente es un problema de la modernidad, casi ubicuo en todo el mundo y exacerbado en países en desarrollo que expresa, entre otras cosas, la fragmentación, la atomización y la separación de las percepciones, las emociones y las sensaciones.

Por último, nos podemos preguntar ¿es contaminación todo ruido? No necesariamente, hay que considerar que no todos los ruidos son iguales y que no los percibimos igual en circunstancias diferentes, aun cuando sean físicamente iguales. No sólo eso, algunos ruidos son apreciados y valorados: el viento, las olas de mar, los truenos y el ruido del agua (hasta ciertos límites). Prevalció hasta hace muy pocos años, por parte de la comunidad de científicos e ingenieros que estudian y aplican las propiedades del sonido y del ruido, el punto de vista de que la intensidad o volumen del sonido y su distribución en el tiempo, era la variable más importante y casi la única para considerar el problema del ruido. Esto provocó que se asociara ansiedad o estrés a ruido de cualquier forma o nivel, y sordera y estrés, a sonidos intensos, y se considerara, en general, que el ruido es únicamente contaminación ambiental.

¹⁶ Un pasmoso ejemplo de esta cacofonía, en que se ve entremezclado el ruido del tráfico vehicular, claxons, gritos de vendedores, bocinas a todo volumen de tiendas pequeñas y grandes, cantantes, manifestaciones, agentes de tránsito y sus silbatos, música en restaurantes, etc., es el ambiente sonoro en el centro de muchas ciudades en México, en particular el centro de la CdMx, en donde el ruido está fuera de control.

EL CAMBIANTE RUIDO

Aunque es cierto que una intensidad muy alta es dañina y causa molestia y ansiedad, esto se puede controlar ya que es lo que se ha hecho tradicionalmente en las investigaciones y aplicaciones del control de ruido y normas (en países donde se aplican). Sin embargo, hay ciertas condiciones en que aunque el nivel de sonido o ruido sea relativamente alto, la percepción que tenemos de ese ruido no nos molesta o causa ansiedad. Al contrario, nos puede provocar calma y bienestar, recordemos por ejemplo el sonido de un río, el ulular del viento en los árboles, las olas del mar rompiendo en una playa o un acantilado, o el ruido de los grillos o cigarras en el campo¹⁷. También por supuesto hay casos de ruido provocado, por ejemplo, en un bar o una fiesta, donde aceptamos los niveles altos de conversación o música, o el ruido en un mercado, como parte del contexto en que ocurre; o los ruidos en una ciudad, siempre y cuando los podamos identificar y contextualizar. Cuando los contextualizamos los integramos al ambiente general y forman parte de un todo integral cultural, social y acústico, formando lo que se denomina una *identidad sónica* o *firma sonora* del lugar (Amphoux, 1993).

Esta disposición a ver la sociedad y la cultura reflejadas en el ambiente sonoro o acústico está ejemplificada en el siguiente fragmento de una historiadora norteamericana, Annie Marges, que impartía clases de inglés en Pachuca, Hidalgo:

“Me entrenaron para ser historiadora, involucrarme en discusiones de “lugar” y “espacio” en sus contextos culturales e históricos. Y ahora estoy finalmente viviendo en el

¹⁷Los niveles de sonido en dBA que alcanzan estos eventos pueden ser muy altos, por ejemplo, en el campo el tenaz canto de la comunidad de cigarras (es decir, casi una especie de ruido de fondo constante) en lugares calientes, silvestres, lejos del hombre, llega a alcanzar más de 80-85 dBA (como ocurre cerca de Mascota, Jalisco, en abril-octubre). También en una playa con poco viento el nivel alcanza, cuando pequeñas olas rompen en la orilla, entre 70-80 dBA, cerca de la orilla – hasta alrededor de 10 m. Niveles medidos por el autor de este libro.

“lugar” que he estudiado por tanto tiempo. Y lo que he encontrado es que, aunque puedo vivir en este “lugar” el “espacio” me ha habitado a mí.

Retorné al México que he amado durante toda mi vida. Y es aquí en Pachuca, Hidalgo, que absorbo como una esponja todo lo que veo, oigo, toco, huelo y saboreo.

Quizás la manera más profunda en que siento mi alma habitada es a través de la constante melodía de sonidos que le dan aquí la pista sonora a la vida diaria. Silbatos cantando, cornetas tocando...cláxones claxoneando..., voces anunciando el arribo de sus mercancías, el rítmico golpeteo de pelotas de fútbol en las rodillas, pies, hombros, concreto. Y aunque el encuentro de esos sonidos no es necesariamente extraño a mis oídos del Norte de la frontera, la particular orquestación es diferente a cualquier cosa que haya experimentado antes.

Despertar en Sábado en la mañana y el concierto se inicia. Introducción: el silbato de vara del globero, creciendo hasta un mezzopiano conforme dobla la esquina, enfrente de mi apartamento, y las caras gigantes de Tigger, Pooh y Mikey Mouse flotan por mi ventana. Se le une después el silbato constante del afilador de cuchillos en su bicicleta, pianísimo, añadiendo otra dimensión, si no armonía, al interludio. Uniéndose al coro, cada mañana – y después presentando un solo cada noche – está el hombre de los tamales (tamalero) cuya voz anuncia su llegada mucho antes de que llegue a las banquetas alrededor del parque enfrente de la ventana de mi sala. Grita: “TAMAAAAAAAAA-LEEEEEEEEEEEEEES”, una y otra vez, conforme jala su carrito por nuestras calles. Después empieza la sección de cornetas. El camión del gas es primero, mezzoforte, y conforme su canción recorre y se va por la vecindad a través del parque, las cornetas del camión del agua empiezan en el otro extremo. Se ejecuta el “finale”, quizás apropiadamente, por el basurero, anunciando la llegada del camión de basura con su aguda campana, sonando mezzoforte su constante mensaje (tres veces por semana).

Cuando la música cesa, la sección de percusión aparece en los cuerpos de jóvenes y jovencitas jugando con la pelota por la calle, hacia la cancha de basquetbol en el parque. El ritmo del sonido del duro cuero golpeando el pavimento llama a otros a jugar.

Y cada sábado es lo mismo. Tengo boleto gratis al concierto en Constitución, mi vecindad, que está llena de ejecutantes de la calle. Es a través de este performance

semanal que estoy conectada a este lugar, y a través del ritual que está conectado a mí. Reacciono a sus ritmos, sigo la coreografía cultural, y me he convertido en un danzante en este escenario. Su música ha penetrado mi conciencia y ahí permanecerá cuando me haya ido, no guardadas como las fotografías que he tomado, sino en mi despertar, en mis oídos, conforme note su ausencia.”¹⁸

Podemos coincidir o no con esta percepción quizás un tanto positiva —dirán algunos— vista a los ojos de un extranjero inmerso con asombro y alegría en la cultura ajena, pero nos permite ver, por otro lado, que la subjetividad juega un papel importante en la percepción de un ambiente sonoro. Este enfoque —que en el escrito casi suena espontáneo —es el reverso de la imagen de un pueblo ruidoso y muestra la conciencia de una escucha cualitativa y sin prejuicios, nos muestra en esencia la identidad sónica de este pueblo, la firma del barrio donde vivió. Como dice el mismo Amphoux; “un pueblo tiene que ser visto, un pueblo tiene que ser oído” (Amphoux, 1993).

El sonido es parte del mundo y en nuestra vida diaria aparece de mil formas, si aceptamos que hay contextos y lugares en que los ruidos son parte integral del ambiente. El sonido de un barrio, colonia, o ciudad cuando es producto de las condiciones naturales —no forzadas por otros intereses ya sea comerciales o de otra índole— de la vida de sus habitantes, contiene información que expresa una identidad sonora y que incluso ciertos tipos de ruido son aceptados y valorados como parte del ambiente por una porción de la población.

Si a las escenas descritas por los pasajes anteriores las consideráramos sólo como paisajes de ruido contaminante, perderíamos de vista el contexto, la cultura y la sociedad retratada y reflejada en los sonidos —en este caso recreados en la imaginación— de la escena. Si los consideramos como un retrato integral que juega con los recuerdos y la imaginación, se transforma en un acercamiento más vívido de un día de mercado, o un sábado en la mañana

¹⁸Tomado de *Soundscape*, What the travelling ear hears, Vol. 3, No. 1, July 2002. Trad. del autor de este libro.

en Pachuca, que refleja que fue vivido o experimentado positivamente, y en que nos sentimos parte de ese bullicio y de la interacción humana entre los protagonistas de esa escena. Lo que se considera entonces, en este nuevo enfoque hacia el ruido, es la parte subjetiva, emotiva, de participación, de una comunidad en un evento o serie de eventos, en que todo forma parte integral de un ambiente sonoro y visual. Esta parte subjetiva y de comunidad con otros seres --no sólo el hombre-- es el objeto de estudio, entre otros, de la ecología acústica.

ECOLOGÍA Y ACÚSTICA

La disciplina, unión de la ecología, la acústica y otras disciplinas que estudia el medio ambiente sonoro y su relación con el hombre y los seres vivos es la Ecología Acústica. Se originó en Canadá, con el “*World Soundscape Project*” de R. Murray Schafer, a finales de los 1960’s, en la Universidad Simon Fraser, en Vancouver. Él buscó textos históricos y literarios que describieran los ruidos naturales del campo y urbanos, para desarrollar una historia de la contaminación por ruido y se hizo importantes preguntas sobre la naturaleza y el futuro del ruido, desde la perspectiva de la física, la arquitectura, la estética y las leyes. El trabajo de este compositor con estudiantes graduados llevó al Proyecto del Paisaje Sonoro de Vancouver, un mapa de Vancouver en términos de sus propiedades acústicas y los sonidos ambientales. Estas ideas fueron reunidas en su libro *The Soundscape: Our Sonic Environment and the tuning of the world* (1977). En 1993 se fundó el World Forum for Acoustic Ecology en un congreso que reunió a físicos, compositores, músicos, musicólogos, psicólogos, educadores, arquitectos, urbanistas, ingenieros de grabación y hasta escultores. Este foro fomentó la literatura e investigación sobre la conservación de paisajes sonoros tradicionales naturales y culturales, a través de legislaciones sobre control de ruido, y “zonas de silencio” en algunas ciudades. Fomentó la educación de la audición y escucha de los ambientes sonoros de manera consciente.

Existe cierta controversia, en el sentido de que algunos consideran el paisaje acústico urbano como un paisaje que tiene su derecho a existir y ser documentado y estudiado, mientras que otros consideran que documentarlo

es el primer paso para cambiar sus condiciones y hacerlo menos intrusivo. Aunque las actividades y consideraciones teóricas desde este punto de vista ha sido iniciadas fundamentalmente por compositores, ingenieros de grabación, educadores y comunicadores, existe un campo potencial de desarrollo cuando se integren practicantes de otras disciplinas, como ciencias de la salud, ingeniería acústica, leyes, arquitectura y urbanismo, entre otras.

Hasta mediados de los ochentas del siglo XX, los estudios para acercarse al sonido fueron dedicados a las estructuras musicales o lingüísticas (análisis de sonidos musicales, síntesis, o fonología y fonética) y a la objetivación del sonido y el ruido a través de medidas, y la relación con el hombre por medio de la psicofísica o psicoacústica en condiciones de laboratorio y con sonidos controlados --que rara vez ocurren en la realidad diaria-. Aunque esto fue --y es-- fructífero por la cantidad de explicaciones sobre cómo oímos ciertos sonidos o cómo funciona, por ejemplo, la localización de un sonido, o cómo separamos e integramos diversos sonidos, o por qué oímos como oímos algunos sonidos, la relación del sonido con el escucha desde el punto de vista subjetivo no había sido estudiada o considerada plenamente hasta en fechas recientes. El medio ambiente sonoro es considerado, cada vez más, tomando en cuenta al escucha y se tiende a analizar el problema en toda su complejidad, aun cuando las técnicas y metodologías que se utilizan no están todavía uniformizadas y hay diferentes enfoques.

Schafer (1994) introdujo, entre otros, el concepto de paisaje sonoro como una composición (en el sentido musical) interactiva, en que los escuchas también participan como hacedores de sonido, este punto de vista pone al individuo en el centro del problema pues actúa como escucha y como generador del ambiente. También puso énfasis en la relación dinámica entre un medio ambiente sónico y la comunidad que lo produce, es decir, en el aspecto social de muchos individuos que generan el ambiente, sobre todo en una sociedad urbanizada y mediatizada. Para Schafer, “es un hecho que el organismo humano se ve cada vez más separado de su medio natural, conforme cada nueva herramienta o sistema tecnológico entra en la comunidad humana” (*Ibid*, p.82).

Para Schafer, el problema del ambiente, cada vez más sobrepoblado de sonidos, se puede resolver considerando, “un programa de estudio positivo. ¿Qué sonidos queremos preservar, apoyar, multiplicar? Cuando sepamos esto, los sonidos aburridos o destructivos serán lo suficientemente conspicuos que sabremos por qué tenemos que eliminarlos” (Ibíd, p. 4). También enfatiza este autor, que es necesaria una nueva educación y “se deben diseñar nuevos métodos de educar al público sobre la importancia del sonido ambiental. La pregunta final será: ¿es el paisaje sonoro del mundo una composición indeterminada sobre la cual no tenemos control, o somos nosotros sus compositores y ejecutantes, responsables de darle forma y belleza?” (Ibíd, p 5)¹⁹.

Barry Truax (Truax, 1984), quien perteneció al grupo de Schafer, amplió este modelo, estableció sus bases en estudios de comunicación y propuso un acercamiento contextual en que el sonido se vuelve un enlace entre un escucha y su medio. El paisaje sonoro es así, un sistema complejo de sonidos y señales que son interpretadas por escuchas activos. Otro modelo, el más usado en la práctica del control de ruido, llamado “objetivo”, es de transferencia de energía entre la fuente y el receptor, y también se utiliza en la psicoacústica y otras disciplinas. En este modelo “objetivo”, se trata el

¹⁹Una de las metodologías que se utilizó en el proyecto World Sound Project, fueron los “soundwalks” (sonocaminata) y los “listening walks” (caminata de escucha, o, una caminata auditiva. Esta es un paseo concentrándose en lo que se escucha al caminar (Ibíd, p 212). Una “sonocaminata” es una exploración de un paisaje sonoro de cierta área usando una guía o un mapa (Ibíd, p. 213), diseñado para elevar el estado de conciencia del participante con respecto a los componentes sónicos del ambiente. Actualmente estos términos se usan indistintamente. Otra herramienta para la toma de conciencia del sonido en el ambiente es el diario sónico, en el cual se registran los pensamientos sobre las experiencias sonoras del día. Con respecto a estos métodos dice. “no requieren equipo caro y no esconden hechos acústicos simples con imágenes o estadísticas que al ser silenciosas, no constituyen información acústica”, es decir, son fáciles de compilar, y al dirigir la atención a un sentido a menudo ignorado, pueden ser experiencias educativas útiles para todos.

problema del sonido a través de la descripción de cómo se genera, cómo viaja a través de un medio, y cómo llega finalmente al receptor (en la fuente, en la transmisión y en el receptor).

Este modelo considera a la comunicación acústica como un sistema dentro del cual la información se crea y se intercambia. Ya que la información se produce en el escucha, es decir, es una actividad cognitiva, se coloca a la audición en el centro del problema y no en algún lugar del proceso de transferencia de información. El sonido es un mediador, un mensajero entre el medio y el escucha. La dirección de transferencia es en los dos sentidos, no sólo en la dirección de la fuente-medio-escucha. Por ejemplo, una determinada situación se puede cambiar alterando al medio físicamente pero, también, cambiando la manera de percibir el medio, o los hábitos de percepción, o en un dado caso, los instrumentos con que se capta un evento sonoro dado.

Dado que en este modelo se le da importancia al contexto en que ocurre un evento sonoro, la información que conlleva depende tanto de la naturaleza del sonido como del contexto, por ejemplo, una grabación de un concierto o canción y su reproducción en un supermercado. En particular, este modelo da un enfoque fresco al impacto de la tecnología y sus problemas en el contexto moderno. Comenta que la teoría tradicional de ingeniería de audio se supone neutral y juzga el éxito de la transmisión del sonido por su fidelidad al original pero ignora la responsabilidad de contenido y la diferencia que hay entre el sonido original en su contexto (fuente original) y su reproducción fuera-de-contexto. (Truax, *Ibíd.*). La comunicación acústica, continúa Truax, toma nota de esta artificialidad en la situación y observa las nuevas relaciones; a menudo orientadas al consumismo, como en el ejemplo de música ambiental.

Actualmente hay cada vez más interés en usar muchos de los conceptos de estos modelos de los eventos sonoros, para la planeación y manejo ambiental sonoro en espacios abiertos, ya sea parques, plazas, patios, lobbies, etc. El control de ruido tradicional trata solamente con el ruido ambiental, sus niveles y su control, sonidos que molestan, distraen, enferman o interfieren con las actividades de las personas, y lo que busca es minimizar los efectos negativos

por la exposición al ruido, ya sea por su duración o por su intensidad. En contraste, la planeación ambiental sonora se enfoca a los ambientes sonoros que la gente prefiere, es decir, a los aspectos positivos y al manejo de variables para resaltar esos ambientes o aspectos de ellos en relación al sonido. Es decir, los criterios de control de ruido tradicionales no tienen mucha relevancia en este diseño, lo que se requiere son criterios acústicos y definir ambientes acústicos preferidos e implantarlos y, colateralmente, controlar otros factores para exaltar esos ambientes (Brown & Muhar, 2004).

El concepto de ambiente sonoro y su subsecuente utilización en la planeación ambiental sonora, ha sido ya tan aceptado que se ha incorporado a diversas normas así, por ejemplo, el concepto de “soundscape” se definió como: *El medio ambiente acústico como es percibido y entendido por la gente en contexto*, definición que se adoptó en la norma ISO 12913-1:2014 (Axelsson, 2011).

Otro enfoque consiste en considerar el aspecto subjetivo del escucha y el medio ambiente sonoro, a través de los llamados *efectos sónicos o sonoros*. Estos son eventos sonoros (un sonido en determinado contexto físico un conjunto de condiciones que rodean a esos eventos y su modo de aparición), oídos e interpretados por una persona y ligados a una causa circunstancial y que ocurren a veces totalmente de manera independiente a la propagación; totalmente subjetivos --como los efectos ligados a la memoria, como la *amnesia*--, pero que generalmente dependen del contexto espacial y se aplican, en este caso, a medios ambientes urbanos o naturales (Augoyard & Torgue, 2014). Son, en general, *procesos* sonoros que afectan al sonido y su interpretación por un escucha.

El objetivo de este enfoque se concentra en el efecto del sonido en los escuchas --en el contexto de espacios urbanos y arquitectónicos--, y establece hasta más de sesenta efectos (de los cuales dieciséis son los más conocidos como: *reverberación, eco, resonancia*, etc.). Los métodos utilizados por los enfoques anteriores, para el estudio de un determinado medio ambiente sonoro, son variados e incluyen: la selección de lugares específicos en exteriores e interiores (basadas en entrevistas iniciales) y la generación de mapas mentales sónicos a través de preguntas a usuarios acerca del espacio en

cuestión (por ejemplo, puede ser una avenida, un parque, un café, o el espacio de varios cafés, etc.); se pueden hacer entrevistas sobre qué opinan los habitantes del lugar con respecto a las percepciones y conocimiento que tienen del medio ambiente sonoro²⁰ (Boullosa & Alvarado). La información reunida se interpreta y sintetiza, fundamentalmente con criterios cualitativos, de manera que se enfatizan las cualidades sónicas propias de cada locación, esto constituye la identidad sónica que es única y caracteriza el ambiente de una zona o de toda una ciudad (Raimbault & Dubois, 2005).



Figura

6.9 Sonidos naturales en un bosque. Los parques son parte importante de la ecología de una ciudad y más aún, del planeta. Ver la nota al pie de página 289.

[:https://www.youtube.com/watch?v=OdIJ2x3nxzQ](https://www.youtube.com/watch?v=OdIJ2x3nxzQ)

Los modelos mencionados anteriormente son aplicables a muchas áreas de la acústica. Por ejemplo, para establecer el sonido como parte integral de la arquitectura de paisaje (Chiesura 2004), se han utilizado para estudios de ruido

²⁰ Estas entrevistas iniciales guían la selección de los lugares específicos. Se pueden hacer grabaciones del sonido en estos lugares y medición de niveles de ruido. Las grabaciones (sonoclips) se pueden presentar a varios escuchas locales o foráneos. Estos escuchas pueden ser especializados en varios aspectos o dimensiones de la ciudad: lo sónico (acústicos, personas ciegas, músicos...), lo espacial (arquitectos, planeadores, historiadores, o estudiantes de estas disciplinas). Al final de estos análisis se tienen fichas, en dónde se asientan, interpretaciones sónicas o identidad sónica de un lugar, etc.

en Madrid (Lopez Barrio & Carles, 1995), en Vancouver, Canadá y en ciudades suizas (Amphoux, 1993).

Como se infiere, el proceso de caracterizar un ambiente o paisaje sonoro desde la subjetividad de la población es complejo, pero los resultados parecen ser interesantes y dan una nueva visión del papel del sonido o, incluso, de ruidos moderados en múltiples actividades del ser humano. Se resume mucho de lo anterior, estableciendo y reconociendo que la ecología acústica es una disciplina híbrida, ya que es una ciencia natural (física, acústica), es una ciencia social (cuestiona los efectos del ruido, música, y silencio, en las comunidades) y tiene un aspecto humanista, pues tiene significancia en cuestiones de estética, derechos humanos, bienestar comunitario y experiencias culturales (Epstein, 2003).

La humanidad es parte del ecosistema global y las ciudades son parte de un sistema global de ecosistemas (aunque sistemas enfermos o inmaduros por los problemas que muchas de ellas tienen por el uso ineficiente de energía y agua). Pero, dentro de las ciudades existen ecosistemas que interactúan con sus habitantes. Estos ecosistemas ayudan al bienestar de los habitantes de las ciudades, a su salud y contribuyen a mejorar la calidad del aire y reducir el ruido, [Figura 6.9](#). Cuáles son tamaño y forma óptimos y función con respecto al bienestar humano y la biodiversidad, es objeto aún de poca investigación, la información es escasa pues hay pocos estudios (Bolund & Hunhammar, 1999).

Sin embargo, un número creciente de investigaciones indican que el contacto de la gente con la naturaleza influencia su salud y bienestar psicológico, ya sea directamente o por procesos indirectos. La cercanía de un parque verde promueve las caminatas y el ejercicio, lo que de manera indirecta afecta positivamente a la salud de los residentes de determinada zona. Estos estudios muestran las relaciones que hay entre las áreas verdes (estructura verde) y la salud en áreas urbanas (Gidlöf-Gunnarsson & Öhrström 2007), así como la importancia de que haya parques cerca de la casas de sus habitantes. También

se ha documentado²¹ el hecho de que personas aquejadas de enfermedades relacionadas con el estrés, se alivian o tienden a su recuperación más rápida si asisten a parques o áreas verdes de manera continua (Ulrich *et al.*, 1991). Estos beneficios no son muy conocidos, pero además de ello, los parques y áreas verdes proveen espacios para el esparcimiento y tienen beneficios para la ecología de una ciudad (Maller *et al.*, 2006). Se ha establecido en base a estudios de larga duración en Suecia, que las principales características que debería tener un parque son (Sigsdotter & Grahn, 2002):

Debería ser lugar de paz y silencio con sonidos de agua, viento, pájaros e insectos. Un lugar silvestre. Un lugar de fascinación por la naturaleza silvestre, las plantas parecen crecidas de manera natural. Sin basura, sin gente molesta. Un lugar con muchas especies de plantas y animales. Un espacio que parece, cuando se entra a él, "otro mundo". Un lugar de placer, de imaginación, un lugar seguro donde se pueda uno relajar, que los niños jueguen libremente y experimenten. Un lugar de reunión para festividad y placer. Cultura: un lugar histórico que ofrezca fascinación por el paso del tiempo <https://www.youtube.com/watch>
Sonidos de la naturaleza.



Algunas características son muy similares, pero si un parque tuviera, en general, al menos alguna de estas características sería más apreciado.

Por la vegetación que sostienen, los parques son un factor esencial en la regulación del clima²², además los árboles filtran el aire²³. Un parque reduce la contaminación al filtrar el 85% de aire, una calle con árboles puede filtrar el 70% del aire (Mc Pherson, 1992). Las

²¹University of Sheffield (2007, May 17). There's Much More To A Walk In The Park. ScienceDaily. Retrieved June 8, 2009, from <http://www.sciencedaily.com/releases/2007/05/070516095212.htm>

²²University of Manchester (2007, May 14). Build Parks To Climate Proof Our Cities. SCIENCEDAILY. <http://www.sciencedaily.com/releases/2007/05/070514101534.htm>

²³ Se sabe que la vegetación filtra el aire reduciendo la contaminación y partículas de aire, fundamentalmente. Y que la capacidad de filtración depende del área de hojas total y es

zonas urbanas afectan el clima de manera notable, se sabe que la temperatura es casi un grado centígrado más alta que en sus alrededores, formando islas de calor. La radiación solar se reduce en 20% y la velocidad del viento hasta 15 a 20%. Los parques y ecosistemas similares (árboles en las calles, jardines en edificios, techos y fachadas con áreas verdes) ayudan a reducir este efecto. Por ejemplo, un árbol puede aportar hasta 450 l de agua al día por transpiración (Bolund y Huhammar, 1999).

¿Y el ruido? Los parques, por si fuera poco todo lo anterior, ayudan a reducir el ruido aunque sea levemente, de hecho no sólo los parques, sino los árboles en las avenidas, ayudan a reducir el ruido. La reducción del ruido en exteriores depende de varios factores físicos, por ejemplo, de la distancia a la fuente: si se dobla la distancia el ruido se reduce en 3 dBA. Otro factor es el tipo de suelo, un pasto en lugar de concreto reduce otros 3 dBA. La vegetación reduce el ruido pero, cómo y por cuánto, no está muy claro, debido a la complejidad del problema, no es un objeto sujeto a fácil experimentación. Algunos dicen que arbustos densos de 5 m de ancho pueden reducir el ruido hasta 2 dBA y una plantación de por lo menos 50 m reduce hasta 3-6 dBA (Fang, 2003), [Figura 6.10](#). Pero otros dicen, que un cinturón de vegetación de hasta 100 m de ancho no reduce más que 1-2 dBA.

Un problema que no ha sido reportado o estudiado es la influencia que podría tener la vegetación en las calles en zonas de muchos edificios, donde la reverberación causada por el encajonamiento es alta. Si en la ciudad se manejaran estos factores simultáneamente, se podría controlar de una manera creativa el ruido. Por otro lado, el ruido del viento a través de los árboles²⁴ es

más grande para los árboles que para arbustos y mayor para las coníferas que para árboles de hoja caduca.

²⁴El ruido blanco es un tipo de ruido que contiene aleatoriamente en el tiempo sonidos de todas las frecuencias, es el tipo de ruido que se oye en una televisión cuando no hay señal de un canal. El espectro de frecuencias promediado en el tiempo aparece como una raya horizontal que cubre todas las frecuencias (en una gráfica de amplitud vs. frecuencia).

una especie de ruido blanco modulado en el tiempo aleatoriamente, que es calmante (si no es muy fuerte) y uno de los ruidos naturales preferidos por el ser humano²⁵; tiene un efecto que se menciona muy poco en la literatura y que constituye un elemento de enmascaramiento natural para los sonidos de la ciudad, que aunado a su efecto tranquilizador es un recurso que debería aplicarse más en el diseño de espacios urbanos. Lo que se puede inferir de todo esto es que si las ciudades tuvieran más pasto, más vegetación y parques, probablemente se bajarían perceptiblemente los niveles de ruido²⁶ y se enmascararían muchos ruidos.

En un estudio realizado en Puebla, México, sobre los niveles de ruido en 21 lugares urbanos verdes, considerando el dosel arbóreo o la superficie de cobertura de los árboles, se concluye: “...el modelo de regresión lineal obtenido sugiere que los niveles de ruido podrían ser significativamente abatidos si se consideraran combinaciones específicas de tamaños de parques y la superficie de cobertura de los árboles” (González-Oreja *et al.*, 2010).

²⁵Schafer (1994) da una estadística sobre las preferencias o aceptación de los sonidos y ruidos naturales y no naturales, el viento es uno de los que casi tienen cero rechazos como ruido.

²⁶En Suecia se puso como objetivo que los niveles máximos en exteriores sea de 55 dBA. A mediados de los 1990, 20% de la población de Estocolmo estaba sometida a niveles arriba de 55 dBA. Y había 630 km de calles con niveles de 60 dBA o más. En la Ciudad de México no hay estudios que nos digan los niveles actuales y porcentajes de población sometidos al ruido o a qué niveles.



Figura 6.10 Los árboles en las calles y parques contribuyen a la salud de los habitantes de una ciudad. Los sonidos naturales son esenciales.

https://archive.org/details/Sounds_of_Nature_Collection

Aunado a todo lo anterior, se han realizado estudios recientes en que se señala que aunque el impacto del hombre en la naturaleza ha sido muy negativo en la biodiversidad, sobre todo a partir de la revolución industrial²⁷, hay signos de que a pesar de todo, hay muchas especies que se han adaptado rápidamente a los ambiente urbanos, aun en aquellos densamente poblados. Y señalan que sitios con microsistemas ecológicos como los parques industriales, con árboles y agua, etc. (debido a sus grandes extensiones y silencio en la noche), si sus características se aprovechan y se promueven haciéndolas más amigables a la naturaleza, constituyen nichos de crecimiento de especies adaptadas al ambiente urbano (EMBO Reports, 2007).

Diversos estudios sobre normas de regulación del ruido han mostrado que la mayoría de ellas son insuficientes, ya que se orientan a medir los niveles ponderados de ruido máximo y de las intensidades, sin considerar como el humano experimenta el ruido” (Raimbault y Dubois, 2005). Estos autores consideran un hecho que ha sido señalado por múltiples investigadores: que el parámetro más usado, el nivel de ruido en dBA, no puede ser usado para

²⁷La Unión de Conservación Mundial (World Conservation Union, Suiza), reportaba en el 2006: más de 5000 especies de vertebrados, más 2000 de invertebrados y más de 8000 de plantas, en peligro de extinción.

medir la molestia de un ruido²⁸; mediciones de un sólo parámetro no nos dan la cualidad de un sonido y menos aún el efecto de la experiencia de un ser humano sometido a ese ruido²⁹. Cuando se considera a todas las fuentes de ruido para legislarlas, medirlas y evaluarlas, se necesita un acercamiento que considere el problema del confort urbano para evaluar el impacto del ruido y sus efectos en los habitantes de las áreas urbanas. Para esto es necesario que se consideren los aspectos subjetivos, en correlación con parámetros acústicos medidos y considerar los aspectos tanto positivos como negativos del ruido, no solamente los negativos.

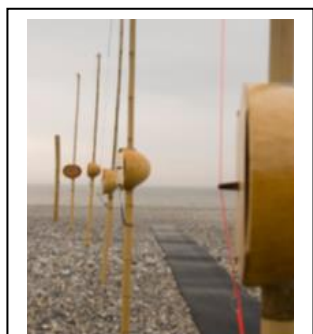


Figura 6.11. Monocorde éolico en una playa de Francia.

<http://w1.neuronnexion.fr/~dferment/orgue.htm>;
07/09/10

LA ESCULTURA SONORA

La *escultura sonora* está relacionada con el *arte sonoro* pero se limita, generalmente, a objetos materiales que suenan por efectos naturales (o artificiales con transductores mecánico-acústicos acoplados). Son generalmente objetos esculturales en el sentido de que son en sí mismas esculturas admiradas por su presencia, su manejo del volumen y materiales, pero también o en primer lugar, por los sonidos generados por la acción de agentes naturales o artificiales, generalmente el viento o la luz, [Figura 6.11](#).

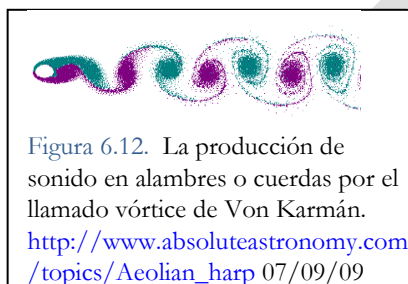
Un ejemplo de estas esculturas sonoras, son las

²⁸ Debido fundamentalmente a la diferencia de espectros, un sonido puede tener un nivel dado, pero una constitución espectral y desarrollo en el tiempo, totalmente diferente a otro sonido con el mismo nivel.

²⁹ Normalmente se usa el nivel dBA en términos del $L(A)_{eq}$, el nivel de energía equivalente a un nivel de presión sonora promedio durante un periodo de tiempo dado. Es el sonido que tiene un nivel constante, equivalente al promedio del sonido medido (en dBA).

esculturas que incorporan un *arpa eólica* (del dios griego Aeolus), que siempre tienen un conjunto de alambres de igual o diferente grosor, entonados a la misma frecuencia o a diferentes frecuencias o tonos. El sonido es causado por un vórtice periódico, que se genera en la parte trasera del alambre que recibe el viento. Este vórtice produce cambios periódicos de densidad y de presión, que se traducen en la emisión de sonido a la frecuencia del vórtice. El silbido de algunas antenas en los automóviles, es causado por el viento (originado por la velocidad relativa entre la antena y el aire, debido al movimiento del auto) cuando circula y entra en operación este efecto, [Figura 6.12](#).

El sonido que emiten es aleatorio, pues lo producen el viento o ráfagas de viento. Puede ser muy bajo, casi un zumbido apenas audible o casi un rugido y muy agudo.



La frecuencia del sonido, que emite la cuerda en el viento, está determinada por el grosor de la cuerda y la velocidad del viento. Sin embargo, si la velocidad del viento es tal que la frecuencia coincide con alguno de los tonos naturales de la cuerda (como en una guitarra en que los tonos dependen de la afinación), ese tono particular se reforzará. Algunas arpas

eólicas ([Figura 6.13](#)) se fabrican con las cuerdas entonadas al unísono; otras tienen diferentes tonos³⁰. Algunos sonidos de un arpa eólica se pueden escuchar en http://www.mohicanwindharps.com/harp_sound.mp3

³⁰La frecuencia del tono emitido por una cuerda está dada por: $f \approx 0.185 v/d$, donde v es la velocidad del viento y d el diámetro de la cuerda. En general, la frecuencia es independiente de la longitud de la cuerda y del material, pero si la velocidad del viento es tal que la frecuencia coincide con una de las resonancias o modos de vibración de la cuerda, ésta *resonará* aumentando la amplitud del sonido. Si la velocidad varía pueden excitarse diferentes cuerdas.



Figura 6.13. Arpa eólica. Diseño de Hudson
<http://www.soundscapesinternational.com/gallery.php/6/09>

En el litoral croata de la península de Zadar³¹, se oyen los vientos de mar adentro traducidos por un órgano marino en acordes musicales de cuatro notas³². El Órgano Marino (Morske orgulje) es una atracción turística local e internacional. Es un instrumento tocado por las olas del mar. Su diseño fue orientado a tocar sonidos agradables y armoniosos y reflejar de alguna manera la tradición musical de esa zona de Croacia, Figura 6.14.

La distribución de energía³³ de las olas del mar, es buena parte del tiempo aleatoria, es decir, no hay un orden, aunque por períodos cortos se llega a observar que llegan periódicamente. Sin embargo, refleja, aunque no fielmente, la distribución de vientos en zonas del mar en la región. Los sonidos del instrumento son pues, un reflejo de los vientos mar adentro y de la costa.

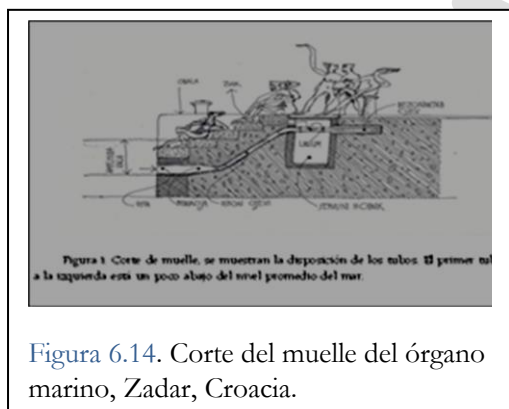
Esta aleatoriedad puede generar extremos en cualquiera de las características musicales ya sea la intensidad, la dinámica, clúster de tonos, melodías, ataques tonales, y sobresoplado. Se controlaron y moderaron estas posibilidades musical y acústicamente.

³¹ Península de Croacia, se puede ver en Google Maps, y se puede ver incluso este órgano marino, con un acercamiento.

³²La tradición musical de esa región está muy enraizada en el canto a cuatro voces masculino, con melodías y acordes en una escala mayor diatónica.

³³La energía almacenada en las olas del mar es un tema actual de investigación por su aplicación a la generación de energía renovable. Se trata de aprovechar la energía gravitacional almacenada en las olas, por ejemplo, si ellas mueven un sistema que por medio de palancas gire un generador eléctrico. Aquí se aprovecha la energía para generar sonido musical gratis.

Musicalmente se hizo restringiendo los tonos a dos octavas y agrupándolos en grupos de cuatro tonos. Tiene 70 m de largo con secciones de 10 m de largo. Tiene bajo el concreto una especie de muelle con escaleras que bajan hacia el agua, treinta cinco tubos, tubos de órgano cerrados por un extremo por un pistón de afinación, y con un *labium* por donde sale el aire de la boca. Cuando las olas del mar llegan al instrumento (el muelle), el nivel del mar sube, entra por los tubos de conexión y comprime el aire, sigue un tubo continuo de menor diámetro que se eleva oblicuamente y se conecta a los tubos de órgano propiamente dichos. La corriente de aire generada por esta compresión pasa por el labio del tubo de órgano (igual a cualquier tubo de órgano de aire de iglesia) y genera el tono musical.



Este sonido, junto con los de los otros tubos contiguos genera el acorde musical. Los tonos están en las octavas bajas de 65 a 250 Hz. Están alternados a lo largo de los 70 m una secuencia de acordes armónicamente relacionados: sol-do6-sol-do6-sol-do6-sol. Esta combinación de tonos suena agradable al oído, aun cuando las 7 secciones suenan simultáneamente. El sonido del

órgano se genera bajo tierra y se desarrolla en una catacumba. La intensidad del sonido se controló haciendo que emanara al medio ambiente a través de una serie de canales estrechos, que terminan en unas aperturas en el plano vertical donde empiezan las escaleras, se muestra en la [Figura 6.15](#).

El sonido es peculiar y un tanto misterioso. Se puede oír una grabación del sonido de este órgano en el sitio: <https://www.youtube.com/watch?v=n86pF-wQKrw>: La altura de las olas es lo que da las variaciones de presión, lo que controla a su vez la intensidad del sonido de los tubos de órgano. Como los tubos de órgano están en un



Figura 6.15. Se puede oír una grabación del sonido de este órgano marítimo: <http://www.oddmusic.com/gallery/om24550.html>. Recibió el European Prize for Urban Public Space (2006).

corredor a lo largo del paseo de 70 m de largo, funciona como una guía de ondas más que como una cámara reverberante.

Para cuidar que el nivel de sonido no sea molesto para los habitantes de la zona se estima que por efectos de la distancia, el nivel en las zonas habitacionales no excede 35 dBA. Esta obra, junto con el muelle para cruceros por el Mar Adriático fue terminada en mayo del 2005, y se convirtió rápidamente en uno de los atractivos de toda la zona de la costa de Croacia. Existen otros instrumentos accionados por las olas del mar en Escocia, Reino Unido que es más bien una escultura sonora y en San Francisco, Cal., en un pequeño parque, Figura 6.16.



Figura 6.16: Este parque es un buen ejemplo de arte ambiental. Está en el lado este del Área Nacional de Recreación del Golden Bridge en una pequeñísima península. El mejor momento para oír la escultura sonora es con marea alta.

REFERENCIAS

1. Alter, N. M. & Koepnick, L. (2004). Introduction: Sound Matters. *Sound Matters: Essays on the Acoustics of Modern German Culture*, 1-29.
2. Altman, R. (1985), 'The Evolution of Sound Technology'. In: Weis, E. and Belton, J. (Eds.). *Film Sound: Theory and Practice*, New York: Columbia University Press.
3. American Institute of Physics (2008, July 5). Music Went With Cave Art In Prehistoric Caves. *Science Daily*. Retrieved April 14, 2009, from <http://www.sciencedaily.com/releases/2008/07/080704130439.htm>
4. Amphoux A., (1993). Sound signatures, configurations and effects, *Arch. & Comport.* / *Arch & Behaviour* , 9(3A), 387-395.
5. Antrop, M. (2013). A brief history of landscape research. *The Routledge Companion to Landscape Studies*. Routledge, London, 12-22.
6. Augoyard, J. F., & Torgue, H. (Eds.). (2014). *Sonic experience: a guide to everyday sounds*. McGill-Queen's Press-MQUP.

7. Axelsson, Ö. (2011). The ISO 12913 series on soundscape. In *Forum Acusticum 2011*. European Acoustics Association (EAA).
8. Bachelard, G. (1994). *The poetics of space*, Beacon paperback 1969, Beacon Press, Boston, Mass., Traducción de *La poétique de l'espace*, 1958.
9. Barriga Villanueva, R. (2001). Oralidad y escritura: una encrucijada para las lenguas indígenas. *Caravelle* (1988-), 611-621., C.M.H.L.B. Caravelle, no.76-77, p. 611-621, Toulouse, Fr.
10. Birnholz, J. C. & Benacerraf, B. B. (1983). The development of the human fetal hearing. *Science*, **222**, 516-18.
11. Blesser B. & Salter L.-R. (2007). *Spaces Speak, Are you listening? Experiencing Aural Architecture*, The MIT Press, Cambridge Massachusetts.
12. Blumstein, D. T., Davitian, R., & Kaye, P. D. (2010). Do film soundtracks contain nonlinear analogues to influence emotion?. *Biology Letters*, **6**(6), 751-754.
13. Böhme, G. (2000). Acoustic atmospheres: a contribution to the study of ecological aesthetics. *Soundscape: The Journal of Acoustic Ecology*, **1**(1), 14-18.
14. Bolund P. & Hunhammar S. (1999). Ecosystems services in urban areas, *Ecological Economics*, **29**, 293-301.
15. Boulosa, R.R. & Alvarado-Zamorano, C. (2011). On the sound environment of the city of Puerto Vallarta, Jalisco, Mexico. *Journal of Applied Research and Technology* **9**(12): 430-441.
16. Brown, L. & Muhar, A. (2004). An approach to the acoustic design of outdoor space. *Journal of Environmental Planning and Management*, **47**(6), 827–842.
17. Carpenter, E. & Mc Luhan, M. (Eds.). 1960. *Exploration in Communication. An Anthology*. Beacon Press: Boston.
18. Chiesura, A. (2004). The role of urban parks for the sustainable city. *Landscape and urban planning*, **68**(1), 129-138.
19. EMBO Reports (2007), **8**(4), European Molecular Biology Organization.
20. Epstein M. J. (2003). Growing an interdisciplinary hybrid: the case of acoustic ecology, *History of Intellectual Culture*, **3**(1).
21. Fitch, W. T., Neubauer, J. & Herzel, H. (2002). Calls out of chaos: the adaptive significance of nonlinear phenomena in mammalian vocal production. *Anim. Behav.* **63**, 407-418.

22. Gavrilov, A. K. (1997). Techniques of reading in classical antiquity. *The Classical Quarterly (New Series)*, **47**(01), 56-73.
23. Gidlöf-Gunnarsson, A. & Öhrström, E. (2007). Noise and well-being in urban residential environments: The potential role of perceived availability to nearby green areas. *Landscape and Urban Planning*, **83**(2), 115-126.
24. Giedion, (1960). Space conception in Prehistoric Art. In: Carpenter, E. & Mc Luhan, M. (Eds.). 1960. Exploration in Communication. An Anthology. Beacon Press: Boston.
25. González-Oreja, J. A., Bonche-Regidor, C. & de la Fuente-Díaz-Ordaz, A. A. (2010). Far from the noisy world? Modelling the relationships between park size, tree cover and noise levels in urban green spaces of the City of Puebla, Mexico. *Interciencia*, **35**(7), 486-492.
26. Gow A. G. (2001). Spatial metaphor in the work of Marshall Mc Luhan, *Canadian Journal of Communication*, **26**(4)).
27. Hull J. M. (1990), *Touching the rock, an experience of blindness*, Vintage Books, a Division of Random House Inc., New York.
28. Ihde, D. (2007). *Listening and voice: Phenomenologies of sound*. SUNY Press.
29. Lopez Barrio, I., & Carles, J. (1995). Acoustic dimensions of inhabited areas: Quality criteria. *The Soundscape Newsletter*, **10**, 6-8.
30. Maller, C., Townsend, M., Pryor, A., Brown, P. & St Leger, L. (2006). Healthy nature healthy people: Contact with nature as an upstream health promotion intervention for populations. *Health Promotion International*, **21**(1), 45-54.
31. McPherson, E. G. (1992). Accounting for benefits and costs of urban greenspace. *Landscape and Urban Planning*, **22**(1), 41-51.
32. Ong, W. J. (1982). *Orality and Literacy: The Technologizing of the Word*, Routledge, London.
33. Popper, A. N. & Fay, R. (2005), *Sound source localization*, Publicado por Birkhäuser, , ISBN 038724185X, 9780387241852, 329 Pp.
34. Raimbault, M. & Dubois, D. (2005). Urban soundscapes: Experiences and knowledge. *Cities*, **22**(5), 339-350.
35. Reznikoff, I. (2005), *Journal of Music and Meaning*, Winter, UIUC Physics 199POM/498POM
36. Reznikoff, I. & Dauvois, M. (1988). La dimension sonore des grottes ornées. *Bulletin de la Société Préhistorique Française*, **85**(8), 238-246.

37. Rojas, J. A., Hermosilla, J. A., Montero, R. S., & Espí, P. L. L. (2009). Physical analysis of several organic signals for human echolocation: oral vacuum pulses. *Acta acustica united with acustica*, **95**(2), 325-330.
38. Sánchez, J. (2002). La Mérida del Siglo XIX como Estructura Urbana en la Aproximación al Comportamiento Social. *Rev. Venezolana de Soc. y Ant.* (online). **12**(35), 636-645. Disponible en la World Wide Web: <http://www2.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-30692002000300010&lng=es&nrm=iso>. ISSN 0798-3069.
39. Schafer M. (1994). *The Soundscape: Our Sonic Environment and the tuning of the world*, Destiny Books, Rochester, Vermont,
40. Scruton R. (1999). *The aesthetics of music*, Oxford University Press, ISBN 978-0-19-816727, 530p.
41. Waller, S. (1993). Sound and rock art. *Nature*, **363**(6429):501.
42. Stigsdotter, U. & Grahn, P. (2002). What makes a garden a healing garden. *Journal of therapeutic Horticulture*, **13**(2), 60-69.
43. Swaffield, S. (2002). Social change and the profession of landscape architecture in the twenty-first century. *Landscape journal*, **21**(1), 183-189.
44. Truax, B. (1984). Acoustic Communication. Ablex Publishing Corporation
45. Ulrich, R. S., Simons, R. F., Losito, B. D., Fiorito, E., Miles, M. A., & Zelson, M. (1991). Stress recovery during exposure to natural and urban environments. *Journal of environmental psychology*, **11**(3), 201-230.
46. Van Kirk, W. (2002). The accidental (acoustical) tourist. *The Journal of the Acoustical Society of America*, **112**(5), 2284-2284.
47. Vassilantonopoulos, S. L. & Mourjopoulos, J. M. (2001). Virtual acoustic reconstruction of ritual and public spaces of ancient Greece. *Acta Acustica united with Acustica*, **87**(5), 604-609.
48. Villanueva R. Barriga , (2001), Oralidad y escritura: una encrucijada para las lenguas indígenas, C.M.H.L.B. Caravelle, no.76-77, p. 611-621, Toulouse
49. Waller, S. J. (1993). Sound and rock art. *Nature*, **363**(6429), 501-501.
50. Watkins, T. (2001). *Signs without Words: The Prehistory of Writing*, Paper read at BANEA in London, Saturday 15 December.
51. Wichmann, S. (2007). Un panorama de las lenguas indígenas de México. In: Bob de Jonge (ed.): *Las lenguas de México*. México en Movimiento, **11**:

- 111-140. Actas del XI Día de mexicanistas de Holanda, 11 de noviembre de 2005. Groningen: Groningen University.
52. Wismer, L. R. (2004). *Musical architecture: layers of sound & space*. Architectural design thesis, Ball University.