

Perdido en el laberinto y regreso de la odisea

José Antonio Rosell Antón

Pitágoras (siglo VI a.C.) utilizaba la música y el sonido para la sanación (1); Aristóteles, en unas breves observaciones sobre el sonido, realizó una suposición bastante acertada sobre la naturaleza de su generación y transmisión

¿Porque este título?

En recuerdo del mensaje de Platón a los espectadores o amigos del mirar, el doctor Sillero en su Atalaya Médica III se considera un espectador, un «amigo del mirar»; y aprovechando la sutileza, en nuestro caso, diría que, además, desearía ser actor,

Iniciemos nuestro reportaje conociendo el significado de onda sonora. Se define como la perturbación que se lleva a cabo a través de un gas, líquido o sólido (en el vacío no existe), y viaja alejándose de la fuente que la genera con una velocidad definida dependiendo del medio que está recorriendo. Es una onda de naturaleza longitudinal ondulatoria (no transversal, como las olas de agua), que ejerce efectos de presión y rarefacción, y avanza en línea recta en un medio de densidad uniforme, pero, igual que la luz, el sonido también está sometido a la refracción (desviación de las ondas de su trayectoria original) y a la reflexión (como el eco).

Al transmitirse por el aire cada partícula en movimiento moviliza a su vecina, ésta a la siguiente y así sucesivamente, vibrando todas en la misma dirección de propagación hasta llegar a su posición de reposo.

protagonista entusiasta, sobre todo porque abrigó la esperanza de sentir y vivir el experimento en primera persona.

Tal vez sea un tanto petulante por mi parte imaginar el título, laberinto, haciendo un símil con aquellos lugares históricamente conoci-

(1) «Medicina musical». En su escuela de Crotona enseñaba los secretos de la transmutación psíquica y la sanación por medio del sonido y la música. Consideraba el sonido como elemento esencial del universo: «Cada cuerpo celestial, de hecho cada átomo, produce un sonido particular debido a su movimiento, su ritmo o vibración. Todos estos sonidos o vibraciones componen una armonía universal, en la que cada elemento, sin perder su propia función y carácter, contribuye a la totalidad.»

Palabras clave: Odisea en el laberinto

Fecha de recepción: Marzo 2008

Seminario Médico

Año 2008. Volumen 60, N.º 1. Págs. 43-69

dos (catacumbas de gárgolas múltiples), ocupados medrosamente por los antiguos cristianos en la Roma de principios de nuestra Era; ni con aquellos idealizados, dramáticos e inmortalizados en el escenario cretense de la civilización minoica (2000-1500 a.C).

No obstante, interpreto que, el estilo del tema adquiere una forma un tanto artificiosa; y podría dar la impresión de una alegoría anecdótica,

incluso en algún momento aparentar cierto «tinte» vanidoso; nada más lejos de ser original.

Ningún sonido puede repetirse de forma exacta.

Bajo el punto de vista que nos ocupa, el sonido que alcanza al órgano de la audición (2), comprende varios pasos:

—captación y procesamiento mecánico de las ondas sonoras

—conversión de la señal mecano-acústica en impulsos nerviosos

—procesamiento neural de la información codificada de esos impulsos: señales que se transforman en sensaciones (3).

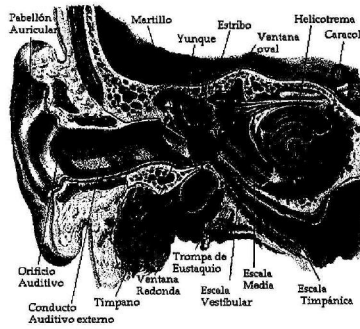
Por tanto, la onda sónica que llega al tímpano, provoca la vibración del martillo, de éste al yunque para terminar en el estribo, quien «golpea» a la perilinfa del vestíbulo y de aquí al caracol donde se encuentra el Órgano de Corti: verdadero transductor de las ondas mecánicas que las cambia en pulsos nerviosos, para, finalmente, viajar al cerebro produciendo la sensación auditiva (4). No se pretende mostrar la física de la onda sonora, ni las ecuaciones que muestran la amplitud de la presión, intensidades, reflexiones de la onda, la absorción por las paredes o impedancias acústicas, pues sería prolijo y saldría de nuestra intención divulgativa.

Pretendo ser un cauto Teseo, a quien ayudó su futura esposa Ariadna (hija de Minos), vencedor de minotauro (fruto de Pasifae, esposa de Minos —hijo de Zeus y Europa— con el gran toro blanco. Amor en el que intervino, en cierto modo como inductor Poseidón, aunque Dédalo fue quien ayudó a la reina a ser poseída por el animal), que logró salir del Laberinto mediante el ardid de Ariadna —un ovillo de hilo, facilitado por Dédalo, cuyo extremo ató a la entrada del laberinto para no perderse al salir—; luego abandonaría a su

(2) La cóclea del adulto tiene una longitud de unos 34 mm, más o menos, y aproximadamente unas dieciséis mil células sensoriales. La membrana basilar aumenta progresivamente desde la base al ápex (100 y 500 milimicras).

(3) La velocidad del sonido en el aire es de aproximadamente 344 m/s a 20° C de temperatura, lo que equivale a unos 1.200 Km. /h (1.238,4 Km. /h, para ser precisos). Es decir que necesita unos 3 s para recorrer 1 Km. (Como posible referencia recordemos que la velocidad de la luz es de 300.000 Km. /s.) Y la velocidad de propagación del sonido en el agua es: 1.440 m/s y de 5.000 m/s en el acero.

(4) Somos capaces de oír entre las frecuencias 20 Hertzios (Hz) y 25.000 Hertzios. Si la frecuencia es mayor el sonido se define como ultrasonido, si es menor de 16 Hz se denominará infrasonido.



«Como sonido es necesario designar el choque que, por el aire, por el cerebro y la sangre, se propaga de los oídos al alma»

Platón

enamorada colaboradora tras hundir los barcos cretenses.

Simplemente se busca la narración de forma coloquial e ingenua de un evento inherente al individuo, cuya función no siempre se conoce con exactitud; es decir se plantea la facultad del órgano auditivo bajo un aspecto, llamémosle de «ficción», en el que el protagonista narrador del suceso es el autor del tema; se hace la salvedad de que se sustenta en un razonamiento real y fisiológico.



Knossos. Ruinas laberínticas.

Un intrépido antecedente habría que buscarlo en Isaac Asimov en su «Viaje alucinante». Nuestro «viaje» no es una odisea, una epopeya novelada, en la que puedan intervenir «malos y buenos», pues la idea de la trama es sólo exponer el punto de vista de un apasionado de la anatomía.



Los sentidos (Boilly).

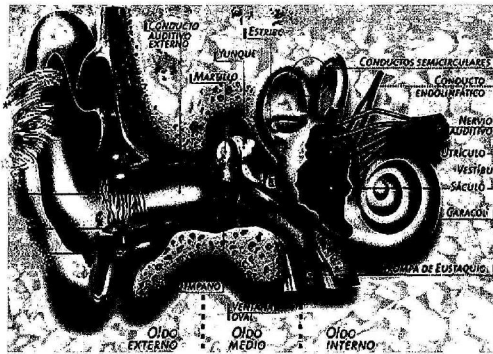
Las citas sostienen una orientación más técnica para quien así lo desee, permitiéndole conocer más en profundidad la elaborada y compleja «aventura» del delicado proceso auditivo.

Odisea en el laberinto.

Primera etapa

*«En el comienzo, Dios creo el cielo y la tierra»,
con la voz, pensando en voz alta.*

Estrictamente soy una partícula, un corpúsculo minúsculo, una de esas motas que se suelen ver a través de



El oído

un rayo de sol detrás de los cristales. Como una de ellas, y a través del impulso de una ondina, me transporté a un lugar recóndito, ignoto y complejo al tiempo que maravilloso, un lugar espectacular; eso sí, pasando por vicisitudes difíciles, pues, a priori, ignoraba cual sería el final y en mi ánimo había bastantes dudas temerosas.

Pues bien, comencemos. Diría que plácidamente me encontraba a merced del viento cuando una sonoridad, un sonido formidable, apareció bruscamente como un torbellino rozando unas estructuras rígidas y resistentes (pabellón auricular), la ráfaga me arrastró caprichosamente a una oquedad un tanto peculiar (5). Parecía una cueva alargada con un cambio de rasante que estrechaba su parte media, luego

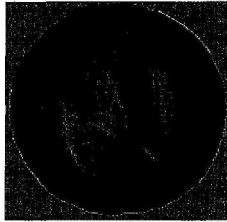
caía ligeramente al final de la estancia, donde había una enorme pared flexible (tímpano) (6) que vibraba de forma irregular; su apariencia era como un tambor cubierto por un tapiz con cordones de trama algo rojiza (red vascular), que iban desde el centro al margen circular (ánulus), un anillo que destacaba como una estructura de aspecto terso y tenso.

Por la insistencia de la onda (estaba girando) suponía que disponía de poco tiempo, pero el suficiente para cerciorarme que en la parte más alta de esta pared, había una zona, un sector o triángulo con dos lados curvos (membrana flácida), cuyo centro parecía aferrarse a una pequeña prominencia (7), y su techo se adhería al terso margen circular. Daba la impresión de ser

(5) Conducto auditivo externo: poco más de 2 cm.

(6) El tímpano tiene una superficie de 85 mm², pero la zona que vibra se calcula que es de 55 mm². La relación de superficie entre tímpano y estribo es de $55/3,2 = 17/1$. La presión que hace la platina sobre la perilinfa es 22 (17/1,3) veces mayor que la ejercida sobre la membrana timpánica.

(7) Apófisis corta del martillo y ligamentos tímpanomaleolares anterior y posterior, que forman la bolsa de Prussak).

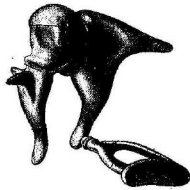


Apófisis corta.

una zona menos flexible, algo hundida y más frágil, así que aproveché el momento y me adentré a su través pasando a una imponente cavidad (caja timpánica del oído medio). Parecía tener paredes, techo y suelo, aunque irregulares.



Caja del tímpano.



Cadena osicular.

Una vez aquí, de pronto, debido a otro chasquido, sentí la urgente necesidad de asirme a la protuberancia que había visto antes y empujaba la membrana hacia el exterior (apófisis corta). Cerca, un poco más alta, había otrarama casi perpendicular a ella que salía próxima al cuello del huesecillo (apófisis anterior del martillo), luego se continuaba con una prolongación ligamentosa que llegaba hasta una hendidura (cisura de Gasser).

Pero el ciclón me obligaba a caer hacia la gran cavidad, por lo que veía esencial cogermela a la apófisis. Desde este lugar (apófisis), observé el espectáculo que se me presentaba, a pesar del movimiento incesante que me obligaba a buscar abrigo en otra parte, y escalé hasta alcanzar una especie de bola ósea (cabeza del martillo), que golpeaba insistentemente sobre una cavidad articular que correspondía a otro hueso (sinartrosis del yunque); cada sacudida era acorde en ambos huesos (8).

La bola del hueso (9) se situaba en la parte más alta de la cavidad, por su cuello cruzaba un largo tendón en ángulo recto (cuerda del tímpano), parecía un cordel de tender ropa. El cuello se prolongaba hacia abajo con una fuerte rama (apófisis larga) que se confundía con un ligamento y adquiría una forma de espátula (umbo).

El segundo hueso, llamémosle yunque, articulado con el anterior, tenía una forma irregular con un extremo grueso triangular (rama horizontal) que

(8) En los movimientos de la cadena osicular se conocen tres ejes de rotación: tímpano-martillo-yunque; yunque-estribo y estribo-ventana vestibular.

(9) Cabeza del martillo: 22-24 mg - yunque: 25 mg - estribo: 2mg.

parecía un contrapeso de su cabeza, y una rama más estrecha que se retorció hasta un pequeño anillo (apófisis lenticular).

No cesaban los ecos y vibraciones con movimientos bruscos y reflejos que me hacían desequilibrar (contracción de la cadena ósea) (10). Me recordaba la contracción que se produce en los ojos cuando hay un destello fuerte de luz y obliga a los párpados e iris a cerrarse. Ese movimiento de vaivén, esa vibración, parecía contraer a estas piezas como un si fuese un mecanismo de feria; una de las sacudidas fue tan violenta, que me obligó a deslizarme pasivamente por la prolongación ósea, algo retorcida, blanquecina y escurridiza (rama larga del yunque), hasta un hueso que parecía el pedal de una caballería (estribo). Descendí por uno de los dos arcos (el posterior, más robusto y curvado) que descansaban sobre una superficie ovalada algo rugosa (platina) (11).

La pequeña cabeza del estribo se articulaba con el yunque a través del diminuto disco (apófisis lenticular).

Cada vez que se desplazaban las cabezas de los huesecillos hacia fuera, el pequeño hueso de forma de estribo, se hundía en una cavidad ovalada (ventana oval) haciéndome cambiar de sentido: lo hacía a expensas de un ligamento (ligamento anular) que se contraía una y otra vez (12).

El corto tiempo que estuve en esta zona permitió darme cuenta de lo que había a mí alrededor: cimbras, huecos, bordes, cavidades, tirantas, etc., pero sobre todo reparé, con gran esfuerzo, en una zona que no veía su profundidad, estaba sobre mi cubierta (tegmen tímpani) que se dirigía hacia atrás; sospechaba que podría tratarse de una caverna de grandes dimensiones (additus ad antrum y antro).

Fijé la vista hacia delante y un poco abajo, y distinguí un fondo algo reducido y estrecho donde había una especie de cerco que bordeaba una cavidad oscura (13), comprendí que se trataba de la entrada a la caja de la Trompa de Eustaquio (36 mm. de longitud). Su abertura dejaba ver unas paredes circulares de aspecto aterciopelado am-

(10) Cuando se aplican sonidos de gran intensidad (> 90 dB) al tímpano, los músculos tensores del tímpano y del estribo se contraen de forma automática, de esta manera modifica la característica de transmisión del oído medio; pero al mismo tiempo disminuye la cuantía de energía que llega al oído interno. Este «control de ganancia» se denomina reflejo timpánico o auditivo (no es instantáneo, tarda de 40 a 160 ms. en producirse), que protege a las células receptoras del oído interno frente a la sobrecarga que pueda llegarles.

(11) La distancia entre platina y apófisis lenticular es de 4,5 mm...; su superficie de 3,2 m²: 3 x 1,5 mm, más gruesa por detrás.

(12) Los ligamentos de la cabeza y cuerda, yunque y estribo son inervados unos por el facial otro por el trigémino. Tendón del estribo: 8 mm de longitud pero dos en la caja. Tensor del tímpano: 20 mm de largo en total, siendo de 2,5 mm en la caja.

(13) La Trompa de Eustaquio tiene dos porciones: interna o cartilaginosa que mide 24 mm de longitud y la externa y ósea que mide 12 mm. Se abre activamente por la acción de los músculos elevadores y tensores del paladar durante la deglución, la masticación y el bostezo; y facilita aire desde la nasofaringe equiparando las presiones entre la caja y en el conducto auditivo externo.

barino; a su través se oía cierto movimiento aéreo procedente de estancias alejadas (rinofaringe), y otro más confuso, como un murmullo, parecía una vibración pulsátil, probablemente se transmitían los movimientos rítmicos de fluidos (zona caroticoyugular) que había bajo el hueso.

Cerca del lugar, un poco más arriba, había una estancia algo hundida y redonda (ventana redonda), en su fondo se reconocía una especie de barrera de consistencia fibrosa e irregular (tímpano secundario); sutilmente se la veía abombar y deprimirse coincidiendo con los movimientos del pequeño hueso (juego de ventanas). Por encima se descubría una especie de colina (promontorio: correspondiente a la espira basal del caracol) que terminaba en el lugar donde me encontraba (platina), una especie de hornacina oval que parecía una ventana «tapiada»; Sin embargo, notaba perfectamente cómo se movía al estar suspendida en ese particular ligamento (ligamento anular), que cuando se activaba provocaba un intenso vaivén, sobre todo en su porción posterior. Daba la impresión que seguía el movimiento de un eje virtual más próximo en el tercio posterior. Por encima de mí cruzaba una conducción ósea longitudinal (conducto del nervio facial: Falopio)

Antes de partir, en un último vistazo, ahora mirando hacia afuera, contemplaba otro aspecto de la cavidad; quería memorizar aquello. La cavidad

tenía la apariencia de una gruta semejante a las que había conocido en Almuñecar o Drach; el ambiente que me rodeaba y disfrutaba, ofrecía una luz tenue que procedía del exterior a través de la membrana por donde penetré, proyectando unas sombras que alargaban las siluetas de los huesecillos sobre el fondo; veía el enorme hueso (martillo) cruzado de arriba abajo y de derecha a al centro del tambor donde mantenía su gran sujeción. Más cerca de mí estaba la larga y robusta rama ósea (yunque) que alcanzaba al que yo aprisionaba entre mis brazos (estribo).

Sobre las cabezas de ambos (martillo y yunque) distinguía unas tirantas (ligamentos: externo, anterior, posterior, axial del martillo y posterior y superior del yunque); más al interior una especie de pico óseo (pico de cuchara), por donde salía un pequeño músculo (músculo del martillo), y más abajo, siempre mirando hacia fuera, podía ver una especie de pirámide musculosa, anclada entre el marco del tambor y la pared que tenía a mi derecha. La pirámide se alargaba en una poderosa fibra que alcanzaba la cabeza de «mi hueso» (tendón del estribo) (14).

Comprendí la función del músculo tensor del tímpano que tira del mango del martillo hacia adentro, mientras que el músculo del estribo lo hacía al contrario; eran fuerzas que se oponían entre sí brindando gran rigidez a todo el sistema de huesecillos (15). (La ca-

(14) Tegmen, que se corresponde con la fosa craneal media, y donde los ligamentos de fijan al martillo y cuerpo del yunque.

(15) Las ondas sonoras, al chocar con la membrana timpánica, en parte son reflejadas de nuevo hacia el conducto y en parte son transmitidas por la membrana. De estas últimas, algunas cruzan

dena está anclada en sus extremos por medio de la membrana timpánica y el ligamento anular, pero también, por los ligamentos que la suspenden).

Entretenido viendo moverse la cadena, hubo un instante que me pareció oír un suave siseo acompañado de una ligera brisa que procedía de estancias bajas, como si viniese de la Trompa Eustaquio, entendí que se debería a la apertura de la entrada de la trompa durante alguna deglución, tal vez por necesitar aire la caja.

Una red rojiza cubría toda la estancia: huesecillos, músculos y tendones (16), parecía un bello tapiz sonrosado y limpio con cierto aspecto pulsátil. El espectáculo era magnífico, quería recordarlo como un elaborado ingenio de perfectas estructuras que parecían mecanismos de relojería.

Sentí que formaba parte de un proceso de incalculable valor, e interpreté que iniciaba una andadura en el interior del órgano del oído, una peculiar experiencia que me daba la oportunidad

de explicar en primera persona el cometido de la función auditiva. Se me ofrecía una casual proeza, una gozosa aventura que quedaría imborrable en mi recuerdo.

Segunda etapa Cambio insólito de medio

¿Que sucedió después? Aún no logro explicármelo, recuerdo que permanecía próximo al arco posterior del huesecillo (crura posterior), cuando vi estirarse y hundirse el ligamento que circundaba la ventana, sin pensarlo, aproveché el instante para atravesarlo. De esa manera me precipité en una cavidad (17) que contenía un agitado líquido (perilinfia) que envolvía todas las estructuras; me permitía nadar más o menos bien ya que me desplazaba en distintas direcciones. Bañadas por el líquido se veían unas membranas casi transparentes (laberinto membranoso) (18), en cuyo interior se distinguían sumergidas unas piezas que parecían

la caja timpánica y alcanzan la ventana redonda (vía aerotimpánica); mientras que otras penetran por la ventana oval siguiendo la cadena de huesecillos.

La transmisión de las ondas sonoras desde un medio gaseoso (aire) a un medio líquido se resuelve con una enorme pérdida de energía sonora (99,9% = 30 decibeles), y para recuperar esta enorme pérdida de energía, el oído medio actúa como un mecanismo transformador mediante 2 artificios mecánicos que son:

a) Sistema de palancas. Por medio de la articulación del mango del martillo con el yunque.

b) Relación hidráulica. Relación entre la enorme superficie de la membrana timpánica y la pequeña superficie de la ventana oval: 14 a 1, permite recuperar 23 decibeles. Así, la acción transformadora del Oído Medio recobra 25 a 27 decibeles.

(16) La arteria auricular acompaña a la cuerda del tímpano procedente de la arteria timpánica anterior, y otra hacia el estribo: rama de la estilomastoidea.

(17) Vestíbulo del oído interno, una cavidad más o menos ovoidea.

El vestíbulo es la región media del oído interno con un extremo hacia el caracol y otro a los canales semicirculares. Contiene unas estructuras: el sáculo (vuelto hacia el caracol) y el utrículo (vuelto hacia los canales semicirculares).

(18) Conducto del saco endolinfático. Conductos que unen el sáculo y utrículo. Ductus reuniens que une el sáculo al inicio del canal coclear.

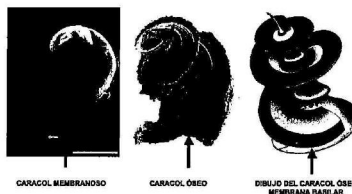
blandas, y me permitía diferenciar unas estructuras globulosas unidas por unos canalículos (utrículo y sáculo), asentadas sobre sus fositas en posiciones casi opuestas (horizontal y vertical). En su interior estaban los escaños de apariencia blanda dejando escapar por abajo una serie de terminaciones (fibras nerviosas), y por arriba unas vellosidades que contactaban con un tejido flácido, que soportaba gran cantidad de elementos sólidos de aspecto pétreo (otolitos). Me imaginaba una cisterna o recipiente con agua, en cuyo interior hubiese unas botellas transparentes con líquido comunicadas entre sí. Es decir recipientes independientes inmersos en líquido (perilinfia el externo y endolinfa el interno) el uno en el otro.



Vestíbulo de oído interno.

El conjunto ocupaba un espacio que casi no tocaba el tramado óseo, tenía una separación parecida a las que existe en las cámaras de aislamiento de las casas, pero en lugar de tejido aislante sólido, el espacio estaba ocupado por líquido que le permitía un bamboleo. Me sentí como una brizna, una partícula agitada en un vaso de agua, no

obstante logré situarme en medio de la cavidad. Casi a la misma distancia de mis ojos, pude ver a mi izquierda una serie de huecos, creo que cuatro, en cuyo interior se distinguían una especie de cúpulas mechoneadas y gelatinosas de movimientos gráciles y suaves, cada una de ellas mantenía posturas distintas (ampollas y cúpulas de los conductos semicirculares). A duras penas, casi adivinaba, distinguí un delgado orificio que se perdía fuera del habitáculo (acueducto coclear) (19) y otro que se desviaba hacia mi izquierda (conducto del saco endolinfático). Al fondo, de forma casi imperceptible, divisaba unas fositas alguna de ellas con perforaciones.



El Caracol

Averigüé que aquí se diferenciaban los órganos del equilibrio y de la audición.

A la derecha había un hueco con aspecto oscuro, por cuya orilla salía y entraba un fluido que parecía mantener circulación, pues surgía la misma cantidad de líquido que entraba.

Decidí aventurarme por esta escala de la derecha (creo que la única dispuesta), parecía elíptica (rampa vestibular). Desde un principio noté un oleaje que me trasladaba alrededor de un eje (20)

(19) El canal coclear tiene unos 30 mm de longitud.

(20) Modiolo o columela de Brescht. En su interior está el túnel de Rosenthal.



Caracol membranoso. Caracol óseo. Corte de las tres rampas. Corte del caracol.

y me llevaba hacia arriba, donde, a medida que ascendía, la rampa se hacía más estrecha.

No salía de mi asombro; en la cumbre de la rampa, había una especie de poro (Helicotrema) por el que pasé girando velozmente a otra zona (rampa timpánica) que, al contrario de la anterior, se iba ampliando al tiempo que notaba cierta aceleración en el zarandeo, tanto que, después de girar varias veces, al llegar al final creí que iba a estrellarme contra una pared, en cuyo centro se distinguía un armazón

de aspecto circular y elástico (tímpano secundario de la ventana redonda), donde reboté una y otra vez al compás del oleaje; y gusté cierto sabor salino (perilinf: Na).

Creía que había vivido un tsunami que me alejaba y empotraba contra la pared membranosa redondeada; después hubo cierta tranquilidad y me dio la ocasión de estudiar cuanto veía. Sobre mí se reconocía casi horizontal, una estructura (membrana basilar) que mostraba cierta consistencia y gozaba de movimientos ondulantes. Podía adivinarse, más que verse a su través, una serie de descargas eléctricas que se dirigían hacia la izquierda y otros destellos más tenues hacia la derecha.

Pensé que aquí acabaría la acción de la onda mecánica, pero aún no sabía cual era el poder del oído interno. La experiencia no podía quedar aquí, tenía que existir algo esencial que me aclarase lo que buscaba; así que aprovechando, diríamos la «resaca» marina, nadé hacia arriba, hacia la rampa anterior (vestibular) atravesando de nuevo ese poro tan particular, y regresé al lugar desde donde había partido (vestíbulo). Mi idea era conocer cuanto ocurría por encima de la membrana eléctrica que había divisado.

No fue sencillo, una vez en la gran cavidad, decidí atravesar la estructura membranosa envolvente que cubría una de las estructuras, lo hice y caí en el interior de la formación que tenía aspecto de saco (sáculo). En un instante empezaron a mezclarse los líquidos (interno endolinfa y externo perilinfa), pero no se cómo, se cerró la minúscula perforación.

También nadando, ahora en un líquido menos salino (endolinfa), me dirigí hacia la entrada de una rampa por un estrecho conducto (ductus reuniens). De pronto todo me pareció imprevisible: me adentraba en un largo túnel (rampa coclear o media: 30 mm de longitud), de aspecto diferente a las anteriores. Bajo mis pies se distinguía parte de la membrana que iba buscando (membrana basilar), que aumentaba en ancho a medida que ascendía.

Situado más o menos en el centro de la rampa, por encima distinguí otra membrana (membrana de Reissner) (21) a cuyo través se veía deslizar un fluido (perilinfina). Observaba que ambas membranas se movían al mismo tiempo, con una discreta diferencia en la ondulación, obligándome a un balanceo durante el desplazamiento. La cavidad era como una especie de mina de techo inclinado que descendía hacia la izquierda (porción interna) y se anclaba a un murete (limbo y ligamentos espirales), mientras que por el otro extremo se adhería a una formación fibrosa que terminaba en una

zona que parecían trozos de granada pelada, es decir como un empedrado o panelado, con zonas rojas y poliédricas (estría vascular). La profundidad de la rampa no alcanzaba a distinguirla.

La membrana que había bajo mis pies (m. basilar), terminaba en una especie de ligamento fuerte, que al principio de la escala era de trabado más grueso y rígido (22), pero luego adelgazarse mostrando un aspecto más frágil y flexible.

Era extraordinario y sorprendente aquel ascenso rampante; pero con frecuencia veía deslizarse una enorme cubierta (membrana tectoria) (23) que cubría unas empalizadas celulares. Su aspecto era el de una larga alfombra que se adhería en uno de sus extremos dejando libre el otro. Con ese movimiento ondulante parecía moverse todo; veía friccionar su parte inferior sobre unas fibras (flagelos) o penachos (uno más largo que los demás: quinocilio), que salían entre una especie de gelatina de la parte superior de la barra de columnas adosadas. La verdad es que me recordaba el movimiento de las aletas de un pez-manta

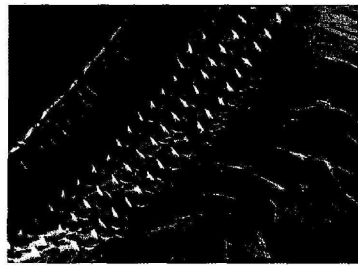
(21) La membrana de Reissner es muy delgada por la que los líquidos entre las escalas vestibular y media puede considerarse con una dinámica semejante; así las oscilaciones en la perilinfina vestibular se transmiten a la endolinfa y de esta a la membrana basilar, y a su vez provoca oscilaciones en el fluido de la escala timpánica.

(22) La capacidad de su resonancia es mayor al final de la escala.

(23) La membrana tectoria es una estructura acelular de composición glicoprotéica, variable en extensión. Actúa únicamente como una masa, produciendo una fuerza de desplazamiento horizontal sobre los cilios. Es más estrecha en la base y el doble en el ápex. Una de sus paredes anclada en el limbo espiral y la otra porción libre cubre las células ciliadas. En su cara basal se anclan los estereocilios de las c.c.e. formando una V o W. Es el lugar donde se provocan desplazamientos de los cilios de estas células. Parece ser que un reservorio de potasio.

La membrana basilar tiene un tabique interno que se une a un tejido duro (modiolo o columela de Breschet) en cuyo interior se encuentra el túnel de Rosenthal, que aloja el ganglio espiral. Está horadada por orificios para las dendritas de las neuronas I y II; y también otros que desde el túnel van a la base donde están los axones neuronales. Todo ello forma el nervio coclear.

Hubo momentos en que parecía que iba a ser englobado por alguna célula que sinuosamente se aproximaba, entendí que podría ser alguna célula endotelial errante sin cometido preciso, o algún producto de decadencia de la trama de las paredes, pues se adivinaba, más que verse, un cierta actividad metabólica (pared de la estría vascular) (24). Toda la cavidad (rampa media), como vemos, tenía un corte triangular de lados desiguales.



Células ciliadas del Órgano de Corti

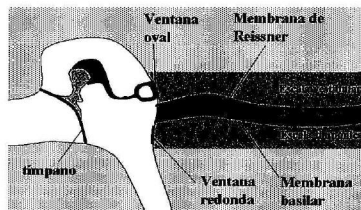
Plantado en la porción más interna de la membrana, había una especie de baluarte donde se veía una pared fulgurante a mi izquierda (células ciliadas) y el muro enmarañado por circuitos rojos pulsátiles a mi derecha (estria vascular). Comprendí que a mi izquierda estaba el Órgano de Corti (25).

Me sentí intrigado y quise conocer lo que escondía en su interior. Para ello, y con dificultad y gran temeridad, bajo esa membrana hostigante que me causaba un respeto tormentoso, como una tenue sombra, logré incorporarme a la cabecera de las estructuras que tenía a mi izquierda (CCE), pero siempre vigilando la membrana. Entre los filamentos, que parecía formar un bosque de fibrillas, llamémosle flagelos, caminé más a la izquierda.

Estaba absorto observando, cuando de vez en cuando veía desplazarse los filamentos (roce de la membrana tectoria sobre los cílios de las células). Me recordaba el movimiento que experi-

(24) La estría vascular, es el único epitelio vascularizado del organismo. Está constituida por un engrosamiento de la pared lateral relacionado con la presencia de numerosos vasos y será fundamental en la producción de endolinfa. Actúa como una batería, manteniendo un potencial continuo en la endolinfa de la escala media, y posibilita el mecanismo de transducción. La endolinfa contiene una alta concentración de potasio mediante una bomba $\text{Na}^+ - \text{K}^+$ ATPasa que produce una salida neta de K^+ a la escala media. El alto consumo de energía requiere una adecuada disponibilidad de sustratos energéticos—siendo la glucosa el principal—nutrientes esenciales y oxígeno, así como la posibilidad de remover los desechos metabólicos y el anhídrido carbónico que se van produciendo. No debe olvidarse además, que los continuos procesos de transducción generan cambios metabólicos constantes que deben ser rápidamente corregidos.

(25) Órgano de Corti formado por un epitelio ciliado, unos elementos de sostén y la membrana tectoria. Alberga 15.000 células interdigitadas de forma organizada. Hay unas células de soporte, células de Deiters (4-5 hileras), que sustentan a las células ciliadas. Las de Hensen se sitúan por fuera de las de Deiters, son de mayor altura, globulosas, llegando a contactar con la membrana tectoria y su base está en la membrana basilar. En el surco espiral externo aparecen las células de Claudius y de Boettcher, sin olvidar la membrana tectoria y las fibras nerviosas. Los pilares son alargados dispuestos en dos filas (pilar interno y externo); unidos en su parte superior (ápex) y estrecha donde se anclan los microtúbulos que forman el citoesqueleto celular (responsable de la consistencia de las células): Entre sus cuerpos hay un espacio triangular relleno de cortilina (Túnel de Corti). La base celular se ensancha conectando con la membrana basilar.



Cadena y movimiento de la M. Basilar.

mentan las cerdas de un cepillo cuando las desplazamos con la palma de la mano en un sentido y otro; o cuando el viento bate un campo de trigo.

Desde este lugar, bajo mis pies percibí cierta claridad que parecía proceder de una encubierta fisura que salía de una cavidad pequeña alargada, más ancha en su porción alta (espacio de Nuel). Seguí adelante, había dejado algo atrás ese «bosque» denso, y de pronto divisé una zona libre de filamentos, pero con un suelo enredado donde se distinguía una especie de pequeña grieta, que dejaba ver cierta luminosidad; no perdí el tiempo, allí que fui e irrumpí en ella. Se trataba de una concavidad de conformación triangular (Túnel de Corti) limitada por unas paredes de columnas fibrosas y nervudas que parecían redes tupidas de tela desaco; dejaban ver una especie de empedrado de abultados sillares a la izquierda (CCI) y un delgado adoquinado a la derecha (CCE); como el de los antiguos refugios con un trazado helicoidal; o bien, imaginemos un vagón

de metro larguísimo, cuyo final no se viera por las curvas y en su interior se distribuyese los asientos: a mi izquierda, una fila de asientos reservados para personas obesas y a mi derecha, tres filas para personas más delgadas; todas enarbolando con una mano unas varas flexibles que atravesaran una delgada cubierta y contactaran con el techo, en la otra mano una linterna, de tal modo que parecía verse más luz en la derecha pero más calor en la izquierda.

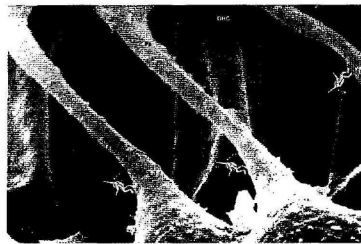
Mi curiosidad hizo que me asomara entre las fibras de la pared de la derecha y distinguí unas células (células ciliadas externas) que se apoyaban en otras de soporte (Deiters), que a su vez lo hacían sobre la membrana (m. basilar).

El túnel lo cruzaban multitud de fibras. Pues bien, por la cúpula por donde había descendido, ambas columnas terminaban casi en ángulo agudo, era como una hendidura formada por la proximidad de la parte alta de las paredes (26).



Túnel de Corti y espacio de Nuel
Células ciliadas internas y externas.

(26) Las células ciliadas internas, próximas al modiolo, son las verdaderas células sensoriales, pues transforman la energía mecánica en energía eléctrica (son más de 3500 -100/mm). Dispuestas en una hilera sobre la membrana basilar, globulosas o piriformes con una porción más estrecha superior (polo apical), donde se localiza la placa glicoprotéica cuticular con filamentos contráctiles; placa donde se implantan los estereocilios rígidos. En su base están las sinapsis de las fibras aferentes de tipo I del nervio coclear. Cada c.c.i. contacta con 10-20 fibras y por tanto con 10-20 neuronas tipo I.



Células Ciliadas

Bajo mis pies percibía una sensación particular: un suelo móvil que se parecía a los suelos acristalados y fulgentes de aquellas salas de fiestas. Es decir, me daba la impresión que estaba en un canal rodeado de fibras reflectantes cargadas de electricidad. Entre ambas paredes había cierta diferencia, no sólo morfológica, sino que se distinguía mayor actividad eléctrica en la porción externa, mientras que en la interna se desprendía más bo-

chorno, como si hubiera más energía térmica.

Tercera etapa Central eléctrica (27) (28)

En la región donde me encontraba (Túnel de Corti) disfrutaba de cierta calma, un ambiente más tranquilo permitía cierta estabilidad, la posibilidad de estudiar el ambiente y determinar el significado de lo que sucedía, intentaba comprender cuanto se lograba en el siempre intrigante y sorprendente Órgano de Corti.

Sobrenadaba en su interior (túnel) donde el líquido (cortilina semejante a la perilinfa rica en sodio) que parecía bastante fluido, diferente al que bañaba por fuera toda la cavidad media y consideraba más denso (endolinfa rica en potasio)

Las células ciliadas externas participan en los fenómenos de micromecánica coclear; se encargan de modular la intensidad del sonido que llega al receptor auditivo. Tienen un marcado poder contráctil. Su localización es lateral respecto al Órgano de Corti. De forma cilíndrica, se sitúan entre la lámina tectoria y las células de Deiters que, desde su base, las fijan a la membrana basilar. En el polo apical se encuentra la placa cuticular con los estereocilios dispuestos en 3 hileras distribuidos en forma de V o de W, unidos con los de la misma hilera o hileras contiguas por filamentos proteicos. Su número es de 13,400. Los cilios más largos de las c.c.e. están implantados en la cara inferior de la lámina tectoria. En las zonas laterales hay unas cisternas laminares que se involucran en los mecanismos de contracción rápida de las c.c.e.

(27) Cuando una onda sonora atraviesa el oído medio y pasa a través de la ventana oval intervienen dos sucesos: A) Un movimiento de pistón del estribo que determina el desplazamiento de los líquidos del oído interno y, además, desplazará a la ventana redonda hacia el oído medio. B) Se trata de una onda mecánica que desplaza a la membrana basilar (en la cual está el Órgano de Corti), pero con diferente fase de vibración respecto a la membrana tectoria. Esta diferente forma de vibración de las dos membranas, provoca un cizallamiento de los cilios de la célula ciliada (c.c.), y dará lugar a un estímulo mecánico que comprende un efecto sensorial hacia el cerebro.

(28) El receptor auditivo comprende:

- Mecánica del receptor: Analiza los movimientos de los líquidos y de las membranas
- Micromecánica coclear: Analiza las funciones del Órgano de Corti y de la membrana tectoria
- Transducción mecano-eléctrica: Describe la transformación de un fenómeno físico, el movimiento de la membrana basilar, en eléctrico, el potencial de acción compuesto que se produce a nivel de las CCI y de las fibras aferentes tipo I

No todo era fácil de comprender, e insistía en conocer el proceso. Decidí arribar a la parte superior de una de las células rechonchas poligonales (CCI), y lo conseguí. Tuve que atravesar el tejido más o menos fibroso que anclaba la cabeza celular (m. reticular), y volví a encontrarme inmerso en el bosque de formidables filamentos (estereocilios),—parecía una pavesa en ese campo de trigo—.

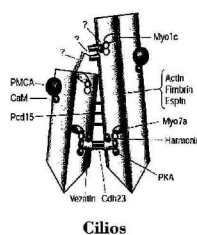
Desde ese punto, vi los filamentos de la pared, que consideraba como externos (c.c.e.), conectar sus penachos directamente con esa especie de alfombra (m. tectoria), mientras que los del interior o interno (c.c.i.), los de la célula donde yo estaba, se acoplaban a la misma membrana a través de un denso gel, es decir no directamente. Salían enhiestos atravesando su lecho blando (placa cuticular) hasta alcanzar la bóveda del lugar (m. tectoria). Su número era grande y no todos de la misma altura.

Precisando sobre el aspecto de los filamentos, distinguí en su interior unos fenómenos fisicoquímicos automáticos que parecía atravesarlos de arriba abajo; además, entre sus hileras, había unas pequeñas uniones (top links) que aferraban unos filamentos a otros, los más largos tiraban en sentido de los más pequeños, otras veces se movían en dirección contraria.

En su porción lateral unos poros (gating Springs: dos en cada estereocilio y cientos en cada célula) se abrían y cerraban cuando se agitaban tanto en un sentido como en otro.

Al ver estos movimientos de apertura y cierre,—no podía perder la oportunidad que se me brindaba —; aproveché

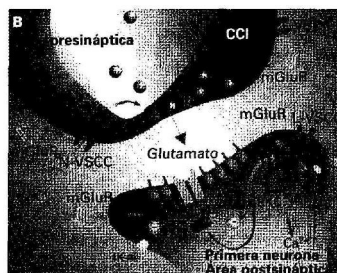
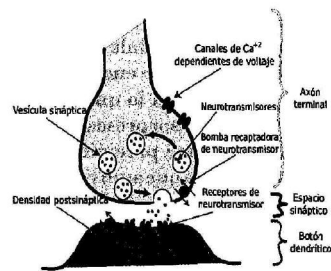
la apertura de uno de estos poros para introducirme en la célula junto a una estructura cargada de energía (ión de potasio). Desconocía lo que iba a encontrar, esperaba sorpresas, y así fue: rápidamente se me precipitó al interior celular. Sabía que aquí radicaba la función esencial de la célula (potencial



Cilios

de acción), todo parecía organizado y coordinado: una serie de estructuras le daba la vida. Comprobé cómo en el polo inferior de la célula, tras abrir una serie de esclusas vesicales, se producía la liberación de una sustancia (neurotransmisor), que enseguida entendí era esencial para la reacción en cadena que emitía el flujo.

Hasta ese momento no me expliqué, al menos no lo tenía claro, que cuando los cilios, o filamentos de las células se flexionan, se desencadena un potencial bioeléctrico en la célula que se transmite de arriba abajo, hacia su base, donde se encaran (sinapsis) células y terminaciones nerviosas (dendritas). Descubrí como conclusión, que cuando los cilios cortos (estereocilios) se desplazan hacia el cilio mayor (quinocilio) disminuye la resistencia, y cuando ocurre al revés, si lo cilios se desplazan alejándose del cilio mayor, la resistencia aumenta en



Sinapsis.

la membrana (29). Es decir, la dirección de los movimientos ciliares induce una diferencia de potencial que genera una corriente eléctrica, todo ello bajo

el cuidado y control de un mediador (neurotransmisor-glutamato).

Simultáneamente advertía que las células más alejadas (CCE) se contraían. Me parecía entender que la contracción era consecuencia de los movimientos que, de forma acorde, efectuaban las membranas que limitaban el complejo Órgano de Corti (m. basilar y m. tectoria). Era evidente que estas sacudidas estimulaban tanto la célula (CCI) en la que me hallaba como en las más externas (CCE: contracciones rápidas > acoplamiento del movimiento de las mismas). En la base podían percibirse sacudidas centelleantes, parecidas a las que recordaba de los arcos voltaicos de los estudios de física; o cuando en nuestra infancia rascábamos la piedra de pederal haciendo saltar chispas.

Desde el «serio laboratorio» necesitaba vivir esa «conversión» energética, quería conocer el intercambio bioeléctrico. Y en este sentido, dentro de lo que podría entenderse como calma, pude recordar lo que interpretaba como transducción (30) (capacidad

(29) A nivel de las células ciliadas externas existe un escaso desarrollo del sistema aferente; los contactos sinápticos parecen escasos en comparación con los existentes a nivel de las células ciliadas internas; en contraste, el aporte eferente a estas células ciliadas está especialmente desarrollado. Todos estos datos apuntan hacia un posible papel efector, más que receptor, por parte de las células ciliadas externas.

Las contracciones rápidas se mantienen durante pocos microsegundos, son de escasa amplitud, aproximadamente un 4% de la longitud total de la célula. Se producen elongaciones y acortamientos de las células ciliadas que aproximan o separan la membrana tectoria y la membrana basilar. Las contracciones lentas, de milisegundos de duración y de gran amplitud, ya que pueden llegar a contraerse hasta el 90% de su longitud normal.

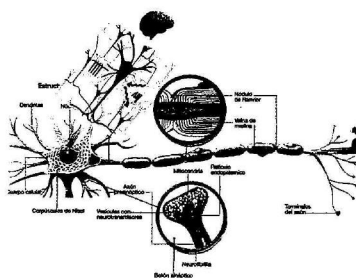
La capacidad contráctil de las células ciliadas externas tiene una gran importancia al estar implicada en las interacciones mecánicas entre la membrana basilar y la membrana tectoria; esto facilita la transferencia del estímulo hacia las células ciliadas internas (contracciones rápidas) o las bloquea (contracciones lentas).

(30) TRANSDUCCIÓN EN LAS CELULAS CILIADAS:

las células ciliadas del órgano de Corti incluyen el proceso de transducción sensorio-neural (o mecano-eléctrica), que ocurrirá cuando los estereocilios son desplazados lateralmente por los

de convertir un tipo de energía mecánica en otra bioeléctrica) (31). Daba la impresión que estaba viviendo el resultado, el cambio, que se produce tras la caída de una cascada de agua sobre un sistema de turbinas de una central, que transforma un elemento mecánico (agua) en energía eléctrica. Era un prodigio explicable físicamente, aunque parecía, permítaseme, un milagro de la biología. En nuestro caso, la energía obtenida se emitía a través de miles de cables transparentes que se dirigían a la zona más interna, donde confluían formando una especie de maroma de

fibras en un envoltorio único (inicio del nervio coclear).



Conducción eléctrica desde la célula ciliada a través de la neurona.

movimientos radiales de la membrana tectoria sobre la membrana reticular. La membrana tectoria se desplaza cuando la onda sonora llega a la platina del estribo y con su vibración provoca una onda de presión, que acabará por desplazar a la membrana basilar; con los movimientos de la membrana basilar se desplazan las estructuras que descansan sobre ella (las células de Deiters y las células ciliadas externas e internas).

Los fenómenos eléctricos dentro de la célula ciliada ocurren en un período de tiempo breve, lo que hace pensar que los canales se abrirían directamente por estímulo mecánico (canales mecanosensitivos). Estos canales parecen estar situados al final de los estereocilios.

El poro de los canales mecanosensitivos funcionaría como una puerta de muelle, que se abriría cuando los estereocilios son desplazados en la dirección apropiada. Los estereocilios más largos tiran de los más cortos y permiten la entrada a través de sus canales de K^+ , preferentemente, y de Ca^{2+} , que se hallan en la endolinfa a una alta concentración, produciéndose una despolarización-activación celular; cuando el desplazamiento es en sentido contrario, lo que supone el cierre de los canales, lugar a una hiperpolarización celular.

Las vesículas presinápticas se fusionan con la membrana celular para luego abrirse liberando el neurotransmisor (glutamato y sus diferentes tipos: NMDA, AMPA, KAINATO) en el espacio sináptico.

La composición de los líquidos que bañan las células ciliadas tiene importancia para conocer el intercambio iónico que ocurre en las células ciliadas en el fenómeno de transducción.

La cara basal y las laterales de las células ciliadas están bañadas por perilinfa (rica en Na^+ , 140-150 meq/l), mientras que el polo apical y los estereocilios están bañados por la endolinfa (rica en K^+ 110-145 meq/l). El potencial de reposo de las células ciliadas externas es de -70 mV, mientras que el de las células ciliadas internas es de -45 mV; por otra parte, el potencial endococlear es de $+80$ mV, y este sería mantenido gracias al aporte de K^+ que hacen las células de la estría vascular a la endolinfa. En la pared lateral de estas células existe una bomba Na^+/K^+ ATPasa, que atraparía K^+ de los vasos y lo metería en la célula y de esta pasaría a la endolinfa.

(31) Los cilios de las c.c.e. se doblan hacia un lado u otro según el movimiento de la membrana basilar. Sin embargo las c.c.i., aunque sus cilios no conectan directamente con la membrana tectoria, los desplazamiento de líquidos y su alta viscosidad, hacen que dichos cilios se doblen también en la misma dirección.

Cuarta etapa

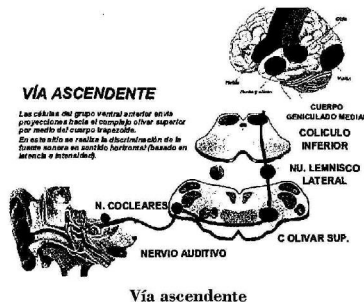
La odisea no había concluido, aún tenía que investigar a donde llegaba el impulso eléctrico que se había generado. Mi intrepidez presentía que iba a encontrar algunos contratiempos, al menos eso suponía; así es que asumí los riesgos que pudiera tener tal osadía, tenía que ser protagonista de los sucesos que se derivaran de un proceso tan delicado, pues trataba de cabalgar sobre una descarga eléctrica.

Como hemos visto la base de la célula elegida tenía conexión con varias fibras (8-10 dendritas), algunas parecían venir de más lejos añadiéndose como una especie de botón a las fibras que salían.

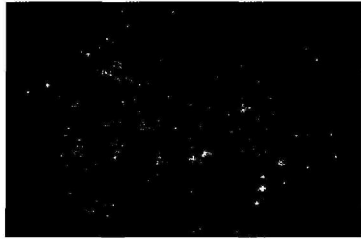
Dispuse la aventura y busqué la vía que emergía del complejo sistema de transducción sináptico (células ciliadas internas, síntesis bioelectroquímica, con la unión de célula y fibra nerviosa). Sorprendentemente conseguí zafarme del turbulento «laboratorio» y escapé de la gran «tormenta» sobre una fibrilla de «alta tensión» (dendrita), hasta un enorme y retorcido «nudo» (ganglio espiral), que me llevaría hasta la frontera cribada (habénula perforata); las hebras nerviosas (axón) atravesaban los pequeños orificios hasta llegar a un auténtico cordón (nervio coclear).

No había percatado la diferencia que había entre unas fibras y otras: mientras unas, la mayoría, tenían una envoltura que parecía de papel blanquecino, como el papel vegetal (mielina), y nudos que la interrumpían, otras carecían de él y dejaban ver su contenido (amielínicas).

Pues bien, una vez que logré cabalgar por la fibra, cuya energía circulaba con una celeridad de vértigo, instalada en una especie de autopista con «rotondas» y plazoletas (núcleos) en las que hacían descanso, se conectaban o intercambiaban unas fibras nerviosas con otras, incluso pasaban al lado opuesto (parecía un ferrocarril de alta velocidad con centelleantes y fugaces luces de las ventanillas, que se detenía escasamente en algunos recordos); rodeamos unas veces y cruzamos otras los cercados donde había gran actividad eléctrica (complejo olivar superior). Era un enorme circuito indescifrable, como si estuviera introducido en una computadora con relés o microchips dotados de una impresionante autonomía y control específico, que me trasladaban velozmente al final previsto.



Como se puede entender, el viaje no carecía de experiencias fantásticas y extraordinarias. En cada estación salían productos (neurotransmisores) que aceleraban el proceso. Y estaba seguro que sería imposible detallar cuanto acaecía, era un hecho sorprendente difícil de comunicar.



Sinapsis

Finalmente logré llegar a un lugar especial. Me recordaba aquellos comentarios que frecuentemente había oído a personas, que dicen haber estado en una especie de túnel cuando se vieron próximos a la muerte; un final don-

de se distinguía una imponente luz. Parecía una enorme red de circuitos espléndidos inmersos en un ambiente deslumbrador, radiante y con un halo fantástico, extraordinario, sin embargo me emocionó comprobar la simpleza con que conseguía llegar el estímulo ordenadamente a su última etapa. Daba la impresión de un emporio tranquilo donde todo parecía fácil; a su alrededor una serie de compartimentos concretos y estables, suponía que corresponderían a territorios de otros tipos de estímulos. Entendí que estaba en la corteza cerebral (32) (33) (34) (35)

(32) Las fibras aferentes están conectadas mayormente con las células ciliadas internas, estas son los verdaderos «sensores» del oído. El papel de las células ciliadas externas, operan como «músculos», es decir, como elementos móviles que pueden modificar las oscilaciones en la membrana basilar. Consta de seis neuronas:

1.^a. Su cuerpo se encuentra en el ganglio espiral o de Corti. Su prolongación nace en la base de las ciliadas, sobre todo de las internas, y llega a hacer sinapsis con las neuronas de los núcleos cocleares del bulbo.

2.^a. El cuerpo celular se encuentra en los núcleos bulboprotuberanciales dorsal (vía inconsciente) y ventral (vía consciente) auditivos.

3.^a Algunas células emiten sus prolongaciones a través de la cinta de Reil a los colículos inferiores, otras pueden hacer estación en el complejo olivar superior. Desde aquí pueden conectar con otros núcleos pertenecientes a nervios responsables de reflejos provocados por los estímulos acústicos (reflejo cocleoalpebral) Este complejo desempeña un gran papel en la localización de las fuentes sonoras. De aquí parte información hacia núcleos motores del V y VII y músculos del cuello.

4.^a Las neuronas de los colículos inferiores se conectan con los cuerpos geniculados mediales ipsi y contralateralmente.

Es un verdadero centro de integración. Es multisensorial. Recibe aferencias vestibulares, somatosensitivas y visuales.

5.^a. Desde el cuerpo geniculado medial se conectan, a través del lemnisco lateral, con la corteza cerebral.

6.^a. Son neuronas de la corteza cerebral. La corteza cerebral auditiva se encuentra en el fondo de la Cisura de Silvio: Áreas de Hesch del lóbulo temporal.

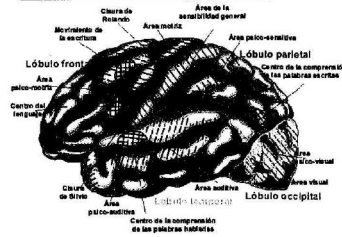
En realidad 1/3 constituyen una vía directa y 2/3 indirecta, o mejor, contralateral.

(33) Vía descendente nace en la corteza cerebral y posee tres tramos:

Primer nivel. La corteza cerebral y se proyecta topográficamente al geniculado medial y al colículo inferior. La que se dirige al geniculado medial procede fundamentalmente de la capa VI cortical, en tanto que la que se envía al colículo procede solo de la capa V.

El segundo nivel arranca del colículo inferior y a través del lemnisco lateral alcanza los núcleos periolivares ipsilaterales y los núcleos cocleares contralaterales.

Centros nerviosos del cerebro



No es mi intención detallar los distintos núcleos, estancias, decusaciones, sinapsis, vías ascendentes, descendentes de la vía acústica, etc. Me limitaré a seguir un comentario simple y comprensible como se viene haciendo.

**Quinta etapa
Regreso a casa**

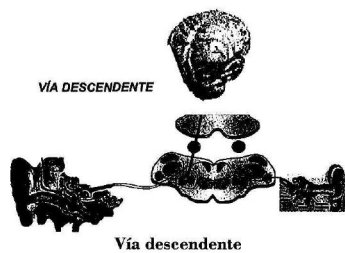
Tocaba el regreso, para ello, desde ese centro deslumbrador (corteza auditiva), decidí volver por unos cordones (vía eferente) que sorteaban otra serie de estaciones, desde donde veía la rápida circulación que se dirigía hacia arriba. En una de las estaciones hubo un momento en que sentí dudas, tenía que seleccionar alguno de los caminos o nuevos centros de intercambio (había varias posibilidades) que me llevaran al lugar de donde partí, pero algunos se alejaban hacia una zona apartada de la vía por donde ascendí.

El tercer nivel extiende la respuesta central hasta el propio receptor coclear a través del denominado haz olivococlear, que emerge junto al nervio vestibular y se une al coclear en la misma base del modiollo mediante la anastomosis de Oort. Las fibras de este haz tienen un doble origen: Unas, de carácter mielínico, se originan en las grandes neuronas de la porción medial del núcleo periolivar, se conoce a éstos axones como haz olivococlear medial, que cruzan la mayoría la línea media; el otro componente del haz lo constituyen los axones amielínicos y forma en el haz olivococlear lateral, que es fundamentalmente ipsilateral o «directo». Las fibras olivococleares caminan muy dorsales en el segmento protuberancial, en el mismo suelo del cuarto ventrículo, rodeando dorsalmente al cuerpo restiforme.

En la cóclea, cada una de las fibras procedentes del núcleo periolivar medial hacen contacto sináptico con un gran número de células ciliadas externas en un área relativamente extensa del órgano de Corti. Los axones procedentes del haz olivococlear lateral, sus sinapsis, son la prolongación periférica de las neuronas del ganglio espiral, en un punto inmediatamente proximal a su contacto con las células ciliadas internas. Uno de estos axones contacta solo 2-3 prolongaciones periféricas. Es importante anotar que las fibras eferentes hacen sinapsis directamente sobre el cuerpo de las CCE (sinapsis axo-somática) en tanto que en las CCI, la sinapsis eferente se realiza sobre las neuronas aferentes en el botón postsináptico (sinapsis axo-dendrítica). Esto tiene un importante significado funcional ya que implica que la interacción y los procesos involucrados son completamente diferentes para unas y otras. De hecho, la actividad eferente produce en las CCE una inhibición presináptica que modifica la liberación de neurotransmisor, independientemente del efecto que la activación de las eferentes ejerce sobre el mecanismo contráctil de las CCE. En contraste, la actividad eferente modifica el potencial eléctrico de las neuronas aferentes que inervan las CCI, produciendo cambios complejos, aún no completamente dilucidados, en el patrón de descarga de estas neuronas.

Hoy se sabe que las células ciliadas externas tienen propiedades contráctiles y pueden modificar activamente las propiedades mecánicas del órgano de Corti. Y por ello, se cree, que la inervación de esta célula tiene un claro carácter eferente, o «motor», como se ha comentado.

(34) El hemisferio izquierdo es el dominante para descifrar el habla y otras señales que cambian rápidamente, mientras que el hemisferio derecho es el dominante en el proceso de tonos y agudos. Las señales del oído izquierdo van al hemisferio derecho y viceversa.



Tal vez la curiosidad me decidió por la vía que conducía a la zona opuesta. Sabía que era una temeridad, sobre todo por la ignorancia de lo imprevisto, no obstante dispuse el viaje de regreso por el camino que aparentaba ser un tanto enigmático: ordenación contralateral (36) (37).

Después de hacer la serie de ligeras paradas, y tras pasar una estación importante (geniculado medial y colículo inferior), conseguí llegar a otra estación (núcleos periolivares ipsila-

terales y cocleares contralaterales) por una vía espectacular, hecho que me fascinó.

Recorrí el gran trecho sobre unas fibras, que formaban o se integraban en un cordón semejante al que salí (también tenía envoltura y la perdían al atravesar de nuevo la serie de agujeros: habénula perforata). Atravesando el túnel alcancé la base de una delgada célula (CCE), que se contraía fácilmente; estaba en el caracol contralateral; por tanto se trataba del Órgano de Corti del oído opuesto. Aquí se informó de la extraordinaria experiencia acústica. Había concluido una aventura.

Pensé en el cambio que había sufrido la estela de la ondina, aquella en la que cabalgué en un principio, que luego se hizo inmaterial, como luz, y más tarde se forjaría como icono. Una imagen

La diferencia entre lenguaje y música comienza en el propio oído y continúa en el cerebro.

La región cerebral que regula la actividad del oído está más desarrollada en los músicos profesionales que en las demás personas, si bien no significa que sean más inteligentes.

(35) El oído izquierdo es mejor para captar los sonidos del habla (área de Broca), mientras que el derecho es más sensible a los sonidos de la música y las canciones; regula el pensamiento concreto y sintético.

(36) La corteza auditiva tiene una organización tonotópica, donde la parte basal de la célula está representada en la porción medial, en tanto que la parte apical de la cóclea se presenta en la porción lateral de la corteza auditiva. Las frecuencias más agudas se localizan medialmente. Discrimina los sonidos en todas sus cualidades. Y permite descomponer sonidos complejos como los del lenguaje o la música.

(37) El lóbulo temporal es una estructura más compleja que los anteriores lóbulos. Se pueden diferenciar varias zonas corticales o auditivas:

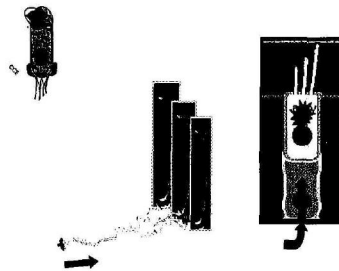
A) Área auditiva primaria.- Se corresponde con las áreas 40 y 41 de Brodman y está situada en el giro de Heschl, situado en el labio inferior de la Cisura de Silvio.

Recibe información bilateral, aunque su lesión va a provocar mayor dificultad de reconocer los sonidos en el oído contralateral.

B) Área de asociación auditiva.- Se corresponde con el área 22 de Brodman y parece que su función está relacionada con la interpretación de los sonidos.

C) Área de Wernicke.- Parte del área de Wernicke, correspondiente a la región más posterior de la primera circunvolución temporal. Está conectada con el área de Broca y recibe información del lóbulo occipital y zona auditiva temporal. De forma que permite entender el lenguaje escrito y hablado.

metamorfoseada que permitía explicar directamente el tránsito biomecánico hasta hacerse sensación acústica. Podía dar fe de la transformación de una onda mecánica en un impulso eléctrico, y el elaborado desenlace de la sensación auditiva en la materia gris; es decir, no sólo conocí la información del estímulo acústico, sino la réplica de la sensación una vez analizada a nivel central hasta el órgano de recepción, el órgano transductor: el Órgano de Corti. Por fin había completado la imponente hazaña.



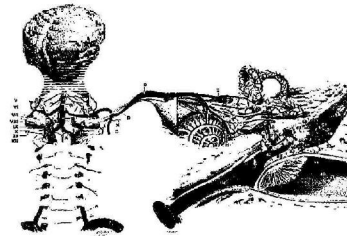
64

**Etapas final
(anexo imprevisto de ficción)**

¿Y ahora qué? Me preguntaba, había entrado y tenía que salir de aquel lugar, de aquel laberinto, quería ser un Teseo, tenía que comunicar mi aventura: para ello necesitaba realizar otros ingenios. De esta manera crucé las puertas de la historia fisiológica para adentrarme en la leyenda, en la ficción, forma de hacer posible un final conveniente.

Busqué el modo de escapar de la compleja zona, tenía que atravesar la membrana eléctrica (m. Basilar), que

no fue fácil; para ello hube de deslizarme hasta encontrar la vaina de un vasito arterial (vaso espiral), —que me parecía detectar bajo la membrana—. No sabía si era el camino correcto o bien debería dirigirme a la zona más externa, donde se divisaban bastantes vasos (estría vascular).



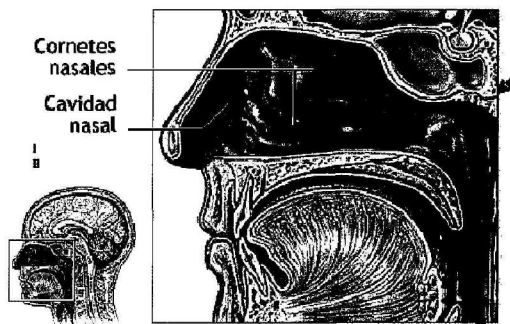
Descenso de la respuesta al Órgano de Corti



Llegada a la célula ciliada externa



Salida a caja



Salida a la rinofaringe y fosa nasal.



Salida del Órgano de Corti a la caja.

Tenía una sola idea, llegar al lugar donde viví aquellos problemas de seguridad por los rebotes sufridos (r. timpánica), cerca de la ventana cubierta de esa especie de banda fibrosa (ventana redonda); así lo hice, lo conseguí, no se cómo, el caso es que estaba en esa rampa inferior

Ya próximo al final hubo un momento que oí, aunque alejado, un ruido que hizo disponerme, intuía lo que se acercaba; efectivamente, empecé a notar

gran agitación en el líquido, al mismo tiempo se incrementaba el murmullo que cada vez era más estruendoso, era alboroto semejante al que se percibe en un desagüe de tejado al pasar briosamente el agua. Entendía que otra vez me iba a arrastrar la marejada que provenía de la rampa superior (vestibular); sin embargo desconocía que esta avenida perturbadora me serviría de ayuda, pues estando próximo a la ventana, al ver que se hundía por el ímpetu de la onda líquida, aproveché el instante y obligué cuanto pude; logrando levantar una especie de pliegue de su marco; en un instante salí a la gran cavidad aérea.

Ahora podía respirar tranquilo, aunque fuese lugar de remolinos, pero al menos era bien conocido; estaba en la caja timpánica

Una vez aquí, contemplando de nuevo la cavidad, recordé el conducto que había divisado al principio de la odisea mientras detallaba la caja: se trataba de la trompa de Eustaquio (38); y resolví un nuevo lance: salir por aquel lugar.

(38) Trompa de Eustaquio: 45 mm. longitud - 1/3 óseo, y 2/3 condromembranosa.

En esta ocasión no fue difícil, casi por gravedad y ayudado por una serie de vellosidades que batían hacia el exterior de la zona, me deslicé por su conducto, que al principio era un poco horizontal y luego se dejaba caer suavemente (cambio que coincidía con un ligero estrechamiento del canal, creo que cuando terminaba el subsuelo óseo), desembocando en una enorme cavidad con paredes rígidas.

Para salir tuve que emplear cierto vigor para librarme de unas estructuras blandas, carnosas (estructuras de Guerlach) que cerraban la cavidad en ese extremo (me recordaba las puertas giratorias de algunos hoteles que dejan pasar a la persona cerrando tras sí): estaba en la rinofaringe.

Con pericia alcancé un anillo fibroso y duro, más o menos redondo (coana) a través del cual percibía cierta luminosidad que procedía de la fosa nasal, adentrándome en ese lugar desigual, pues uno de sus lados era más o menos recto (tabique) y ciertas prominencias alargadas en suelo, el otro presentaba una serie de turbinas dilatadas y largas, unas más que otras (cornetes), bajo ellas surcos profundos que no lograba identificar su profundidad (meatos).

En un momento determinado se oyó un ruido violento, imponente, tal vez debido al estímulo que yo había proporcionado al rozar sobre la mucosa retranasal, lo cual podría haber provocado un reflejo. El sonido impulsivo ascendía desde el fondo, entendí que trataría de arrollarme, sabía de lo que se trataba, y lo esperé; era un enérgico empujón de aire (estornudo) que con furia me precipitó al exterior, no sin

antes haber sido zarandeado por una serie de vellosidades que, aunque lubricadas, frenaban en cierto modo la brusca emisión aérea.

Comentario último.

El final lo resumiría en dos aspectos: –primero, cómo incide la onda en el medio líquido, su transducción y la respuesta acústica

–segundo, la forma aleatoria e imaginativa añadida para poder salir al exterior.

¡Había logrado llegar felizmente!

Gráficamente diría: que imaginemos que don... melómano, se interesa por la voz del Farinelli. Se sabe que Farinelli tenía una bella voz infantil – ¿Cuál es el motivo? Para ello colocaría el oído derecho orientado hacia el interlocutor: me esta hablando

Sabemos que fue un personaje del siglo XVIII, magnífico soprano que hizo las delicias de Felipe V, el deprimido, y de su hijo Fernando VI, hundido por la muerte de Bárbara de Braganza, con el que no tuvo éxito. –Sabemos de su bella voz en un cuerpo de adulto; que gustaba competir con el trompetista de la orquesta, y le ganaba. Su fonación duraba más de un minuto.

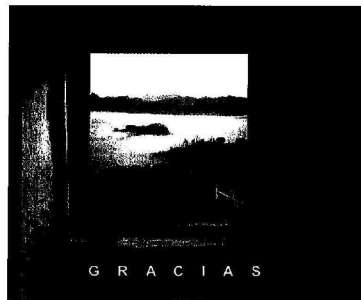
Al tener ciertas dudas, la pregunta la trasladaría a alguien experto en endocrinología, el Dr... Para ello ha de pasar por el control, una especie de centralita (considerado como núcleo coclear u otro del tronco), que lo enviaría al especialista.

El Dr..., analizaría la pregunta verbal, en su hemisferio izquierdo, y nos daría la respuesta:

Los castrados antes de la pubertad sufren un deterioro en el desarrollo de los caracteres sexuales secundarios, no hay nuda de voz, la laringe es infantil, sin embargo el tórax y la estatura son de adulto, lo cual provoca una potencia de voz grandiosa.

La respuesta haría estación en la centralita (núcleos), y de aquí al receptor.

Si en lugar de voz fuese la música de Farinelli (música que nunca escribió), pondría el oído izquierdo para que fuese analizada en el hemisferio derecho



Nota: Las supuestas hendiduras descritas para forzar las entradas en caja, oído medio, rampas y Órgano de Corti, como las salidas a través de la

membrana basilar y ventana redonda, son simples y precisos artificios para justificar las animaciones ficticias del personaje a su entrada y salida.

*«No ver separa al hombre de las cosas
no oír separa al hombre de otras personas»*

Kant

Epicrisis. Sinopsis

En el oído interno, la cóclea, con su forma de caracol, vibra ante un sonido complejo por resonancia en diversas partes de su espiral, mandando por separado al cerebro diversos impulsos nerviosos, como si se tratase de una combinación numérica que identifica a un determinado teléfono (39).

El alto grado de energía requiere una adecuada disponibilidad de glucosa y oxígeno, al tiempo que ha de haber capacidad de deshacerse de los desechos metabólicos y del anhídrido carbónico, hecho que justifica el alto grado de vascularización de la cóclea. No se debe olvidar el valor del sistema vegetativo noradrenérgico, que actúa como un potencial modulador del flujo sanguíneo a través de receptores beta-adrenérgicos

Para interpretar el mensaje auditivo, hemos de saber que se realiza de

(39) El poder transductor de sonido a estímulos eléctricos que tiene la cóclea fue descubierto por primera vez en 1930 por Wever y Bray y bautizado como «corrientes microfónicas, por analogía con el recién inventado micrófono. Observaron estos autores que si colocaban electrodos unidos a un teléfono, sobre el nervio acústico de un gato descerebrado, se oían por dicho autoparlante las palabras o sonidos que llegaban al oído del gato, mientras este órgano mantenía la irrigación sanguínea y la oxigenación celular. Estas corrientes podían ser registradas por el oscilógrafo de rayos catódicos, después de una amplificación adecuada o bien ser retransformadas en sonido. Se las podía recoger colocando los electrodos en varios puntos de la cabeza: en las meninges, en el nervio acústico, en la cóclea y en la ventana redonda.

manera progresiva en las diferentes estaciones, desde el análisis más simple a nivel de la cóclea y núcleos cocleares (intensidad, duración y frecuencia) pasando por la localización espacial de la fuente sonora, que se realiza en el complejo olivar superior y en los tubérculos cuadrigéminos inferiores (debido a las conexiones ipsi y contralaterales, se realiza un análisis de las diferencias temporales y de la intensidad, permitiendo situar el sonido con relación a la cabeza) y finalmente el cuerpo geniculado medial y corteza cerebral que se encargan de los análisis más complejos, la interpretación, la comparación y la integración sensorio-motora para responder a este estímulo auditivo (Gil Loyzaga y Pujol 1999)

Los neurotransmisores más representativos son el Glutamato (fibras aferentes) y la acetilcolina (fibras eferentes); sin omitir el papel fundamental del ATP referente a la variación de las concentraciones del calcio en las células ciliadas.

En los centros «inferiores» del cerebro se recibe, procesa e intercambia información proveniente de ambos oídos, útil para determinar la localización de las fuentes del sonido;

mientras que en los centros «superiores» de la corteza existen estructuras más especializadas que responden a estímulos más complejos. La información transmitida por el nervio auditivo provoca una «sensación» auditiva

La comprensión que se tiene acerca de lo que ocurre en las estructuras cerebrales es muy limitada, especialmente en lo relativo a los centros «superiores» del cerebro, teniendo la necesidad de recurrir a la psicoacústica de los fenómenos inteligibles y de las sensaciones. Es decir no todos los fenómenos de percepción auditivos, están relacionados directamente con un fenómeno físico.

Desde hace algún tiempo se sabe que puede detectarse un sonido de baja intensidad producido por el propio oído durante y después de un estímulo sonoro (Eco de Kemp). Es el resultado de una respuesta de la cóclea que almacena un aporte adicional de energía que se añade a la energía que proviene del sonido estimulante. (40) (41)

«El universo que conocemos no es más que un conglomerado de energía vibrando a diferentes velocidades y diferentes frecuencias. Y lo que aparentemente juzgamos como sólido es,

(40) POTENCIALES AUDITIVOS.

A modo de recuerdo, hemos de decir que los potenciales auditivos son fenómenos eléctricos de la cóclea y del nervio auditivo que nos permiten, mediante su registro y medición, el análisis del funcionamiento del aparato auditivo tanto en su porción periférica como central; de los potenciales auditivos existen unos en reposo (el potencial endococlear) y otros evocados como respuesta a un estímulo acústico, (el potencial microfónico coclear (MC), el potencial de sumaación (PS), el potencial de acción compuesto (PAC), y el potencial evocado auditivo del tronco cerebral (PEATC o BERA)).

(41) Recientemente se ha realizado implantes no cocleares sino directamente en le tronco cerebral

en realidad, una ilusión..... Incluso la distancia entre el núcleo y los electrones que componen los átomos de cualquier objeto es, proporcionalmente, enorme. Es decir, que están compuestos sobre todo de «vacío»

o Akash, como dicen los hindúes, la energía esencial presente en todo el universo»

José Antonio Rosell Antón, Otorrinolaringólogo
