

La música y la paradoja sin resolver de Pitágoras
La construcción de violines y el mundo del sonido armónico



Uno de los famosos violines Stradivarius. (Palacio Real, Madrid)

por Caroline Hartmann

"Una belleza de sonido que no conoce fronteras", es como alguna vez describiera un luthier (fabricante de violines) el tono de los antiguos violines italianos (y tiroleses). Y, de hecho, estos antiguos violines encarnan un concepto de construcción instrumental que culminó en las grandes obras maestras de Antonio Stradivarius, las cuales pueden llenar las salas de concierto sin esfuerzo alguno, y resaltar por encima de toda la orquesta. Su riqueza de tonos va de un *fortissimo maestoso*, al triste lamento de un *andante molto grave*, hasta la explosión de alegría de un *scherzo prestissimo*. El único instrumento que puede comparársele, es la voz cantante humana educada. Y así, todos estos tonos provienen de una pequeña caja de madera de unos 35 o 37 cm de largo en el caso del violín, de 42 cm para el de la viola, y de 74 a 78 cm para el del violonchelo.

Cuando examinas más de cerca estas obras maestras artesanales, puedes reconocer que esta clase de instrumentos es un triunfo, tanto de la acústica, como de la física. Hay muchos mitos alrededor de estos "instrumentos fabulosos". ¿Acaso los luthiers de la antigüedad eran iniciados en algún secreto de la física de la acústica que hoy se desconoce? ¿Existe alguna clase de madera secreta, o arte de barnizar, que marque la diferencia en el sonido? O, ¿existe algún otro tipo de secreto, relacionado con la forma de cortar la madera, que fue cuidadosamente protegido y que se perdió tras la muerte de Stradivarius?



El secreto de los violines Stradivarius murió junto con su creador

Hoy día todavía hay muchas preguntas sin respuesta sobre la construcción de la familia del violín (el violín, la viola y el violoncelo, que comparten el mismo principio subyacente de construcción), sobre todo tras la muerte de Stradivarius, cuando el gran arte de crear tales obras maravillosas cayó cada vez más en el olvido, surgiendo así las más increíbles especulaciones y las más enconadas disputas. Sin embargo, la mayoría de estas polémicas desatienden la cuestión fundamental. El Renacimiento, la época que atestiguó el nacimiento de esta familia de instrumentos, fue una era de muchos descubrimientos, no sólo en la música y en la construcción de instrumentos, sino también en la pintura, las artes plásticas, la arquitectura, y la construcción de máquinas. El artista y científico más importante y polifacético de ese entonces era, sin lugar a dudas, Leonardo da Vinci.

La situación en el mundo de la música, y en especial en lo que atañe a los instrumentos musicales de la época que llamamos el Renacimiento Dorado, nos brinda ciertos elementos de sustancia para asumir que la construcción del violín fue un invento. La idea de construir semejante instrumento debió haber nacido de los nuevos descubrimientos del Renacimiento; sobre todo de las investigaciones de Leonardo da Vinci sobre la tonalidad y el sonido.

Sin embargo, los pitagóricos ya conocían la paradoja de que el hombre reconoce sólo unos pocos intervalos como armónicos, y esos intervalos, que escucha como armónicos, se crean en un instrumento de cuerdas colocando los dedos a diferentes espacios entre ellos en cada uno de los diferentes tonos. Aquí, seguiremos esta idea un poco más allá.



Un luthier en plena tarea de fabricar un violín

La paradoja sin resolver de Pitágoras

Todos los instrumentos creados por el hombre usan lo que ha sabido por miles de años: que cuando las cuerdas se tensan sobre un espacio hueco, pueden crearse sonidos o tonos más o menos bellos. En la India se construyó un instrumento como este alrededor del año 3000 a.C. luego, Pitágoras (por el 500 a.C.) descubrió que era posible expresar la relación entre dos tonos —llamados intervalos— mediante números racionales.

Pitágoras inventó un instrumento de una sola cuerda, un monocordio, que los pitagóricos usaban para realizar demostraciones y como instrumento musical. Hoy se usa para demostrar los intervalos simples.



Monocordio. (Museo Nacional Germánico de Nuremberg)

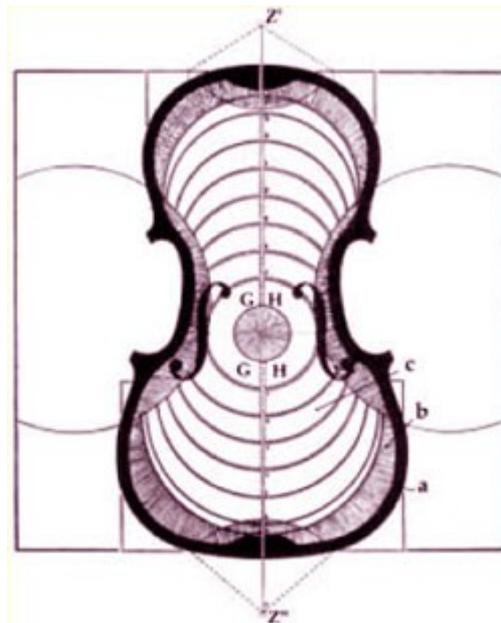
Por ejemplo, si presionas la cuerda en una tercera parte de su longitud, y la haces vibrar, el tono resultante será el intervalo de una quinta arriba del tono de la misma cuerda al vibrar libremente. La importancia de su invento era que el hombre reconoce, o experimenta, como bellos, sólo algunos intervalos específicos. Los pitagóricos llamaron a estos intervalos *synphon*, y son los siguientes:

- octava (proporción 1:2);
- quinta (proporción 2:3);
- cuarta (proporción 3:4); y
- tercera (proporción 4:5).

Además, también tenemos la proporción 5:6, que es la tercera menor.

Los pitagóricos tenían una lira de 8 cuerdas y una *kithara*. Todos los instrumentos de cuerdas, hasta principios del siglo 16 —esto es, hasta la invención de la familia del violín—, tenían las siguientes características, que limitaban de forma significativa la calidad de su sonido y no dejaban mucho espacio para expresar la variedad de colores tonales de la escala musical.

1) El diapasón de estos instrumentos se dividía en pequeñas barras, llamadas trastes, que hoy día conocemos gracias a la guitarra. El temple lo determinaban de antemano estos trastes, de modo que para tocar "limpio" en todas las claves a menudo debían hacerse algunos arreglos. Dependiendo del tipo de instrumento, se escogía cierto temple que permitía tocar el mayor número de claves. Un aspecto de esto es que la distancia de un traste al otro siempre es diferente, por lo que, naturalmente, había muchos temples diferentes. Cuando se llegaba al límite del temple de cada instrumento, tenía que volverse a afinar, lo que era la práctica generalizada. A la discrepancia entre el sonido de las notas tocadas en los trastes y su debida afinación, en tanto el músico se movía por las diferentes claves, a veces se le describe como el problema de la *coma pitagórica*.



La paradoja de la coma pitagórica es una de las razones por las que nunca se han igualado los instrumentos de cuerdas creados hace 300 años, por el fabricante de violines de Cremona, Italia, Antonio Stradivarius.

2) En cuanto al sonido, las cámaras de resonancia de esos instrumentos en su mayoría eran bastante planas o, como en el caso de los violines, laúdes o muchas violas, arqueadas conforme ciertas formas geométricas específicas (un cilindro), o con formas tomadas de la naturaleza. Esto, para empezar, le puso un límite a la capacidad de brindar un acompañamiento "real", o a la par de la calidad de la voz educada en el *bel canto*. Es más, el puente del instrumento no es curvo, de forma que el arco no puede evitar tocar todas las cuerdas a la vez, lo que significa que sólo podían tocarse acordes. Este tipo de limitación puede reconocerse con facilidad en la pintura del ángel de Fray Angélico.



Ángel pintado por Fray Angélico, con violín y arco

La nueva familia de instrumentos del violín, la viola y el chelo fue revolucionaria a estos respectos. Las curvas abovedadas características de estos instrumentos han permanecido sin cambio hasta la actualidad, mostrando las mismas proporciones hasta el mínimo detalle. A diferencia de casi todos los demás inventos del hombre, esta forma ha prevalecido sin cambios por 550 años.

Es más, la paradoja de los colores en la escala tonal se resuelve con ingenio: simplemente eliminaron los trastes, de modo que el propio ejecutante puede determinar la afinación, y cómo tocarla. Aparte de la voz humana, no hay instrumento que permita esto. ¡Que avance tan revolucionario en la música! Los instrumentistas finalmente podían "cantar" con su instrumento, como hoy sabemos, al escuchar a los grandes virtuosos del violín, la viola o el chelo. Estas dos circunstancias también prueban que no hay forma en que la familia del violín pudiera haberse desarrollado a partir de algún otro instrumento.

El luthier Max Möckel, quien trabajó a fines del siglo 19 en San Petesburgo y Berlín, no descansó hasta haber investigado el verdadero origen de la belleza arquitectónica y sonora del violín. Su idea era investigar si, a la luz del conocimiento del Renacimiento, pudiera ser posible descubrir qué papel habían desempeñado Leonardo da Vinci, Luca Pacioli y Alberto Durero en la revolución de la construcción de instrumentos. Así que empezó a buscar en las obras de esos grandes artistas pistas que apoyaran sus hipótesis, y llegó a la siguiente conclusión:

¿De veras existe un secreto italiano? Sí y no. Si pensamos en esto como alguna especie de receta, escondida en alguna parte en un viejo baúl, entonces no. . . Debemos trasladarnos a la época en que se inventó el violín, y a las ideas con las que los viejos maestros crearon sus obras. . . Las mentes más importantes, por nombrar dos de ellas, Leonardo da Vinci y su amigo Luca Pacioli, se habían interesado poco antes, en su trabajo de tantas facetas, en los problemas matemáticos, y cuando vieron el triángulo y el pentágono, no los vieron meramente como simples figuras geométricas, sino que vieron en el pentágono, por ejemplo, el ojo secreto de Dios, una imagen sensible viviente, con su número infinito de relaciones, para todo lo que es apropiado.

Con esta hipótesis como punto de partida, Möckel desarrolló un procedimiento para construir el violín, la viola y el chelo, cuyo modelo era lo que Luca Pacioli llamó la *divina proporción* (en la divina proporción, la división de una línea o una figura geométrica es tal, que la dimensión más

pequeña es a la mayor, como la mayor es al todo). Desde entonces, construyó muchos instrumentos excelentes con este método.

El orden en la naturaleza



Möckel desarrolló un procedimiento para construir el violín, la viola y el chelo, cuyo modelo era lo que Luca Pacioli llamó la divina proporción (en la divina proporción, la división de una línea o una figura geométrica es tal, que la dimensión más pequeña es a la mayor, como la mayor es al todo)

Como todo en la naturaleza, la belleza proviene de un orden interno. El famoso artista italiano Leon Battista Alberti, a quien Alberto Durero estudió a profundidad, dijo una vez:

La belleza es una concordancia ordenada específica entre las partes, que consiste en el hecho de que no puedes agregar nada, ni quitar nada, ni cambiar nada, sin que se vuelva menos satisfactorio.

Leonardo y su amigo Pacioli también sabían que, en los procesos de crecimiento autosimilar, seguido encuentras la proporción que Luca Pacioli llamó "divina" (también llamada sección áurea). Ellos también reconocieron que no sólo se trataba de un bello principio de las construcciones matemáticas, sino del principio de la vida. Con todo, la cuestión decisiva es: ¿cuál es el poder que crea esta proporción cuando ocurre el crecimiento? El luthier Möckel desarrolló un método para adoptar esta misma proporción como el principio fundamental en la construcción de instrumentos.

Nicolás de Cusa, el científico-filósofo que estuvo en contacto con los grandes pensadores de su época, aportó una idea revolucionaria y decisiva a este respecto en el debate científico: la idea de que todas las líneas curvas, como los círculos, los arcos y demás, pueden expresarse mediante líneas rectas. Al hacer esto, creó la base para que fuera posible construir y representar curvas matemática y geoméricamente. Cusa sabía lo que esto significaba para el desarrollo futuro de la música. Como escribió:

Además, debido a lo anterior, se establece lo siguiente: tal como cada línea recta puede ser el lado de un triángulo, un cuadrado, un pentágono y así de manera sucesiva, así, uno puede encontrar un número incontable de líneas curvas que son como una línea recta dada. Por tanto, uno también puede encontrar ángulos que actúan como una línea recta dada; esto es, como el lado y la diagonal en un cuadrado, o el radio y la circunferencia de un círculo, y así en todos los planos, que se comportan como las líneas rectas dadas.

De ahí que es posible arribar a más conclusiones, que hasta ahora no sólo estaban ocultas para la geometría, sino que también eran desconocidas para la música y los instrumentos musicales; de modo que para aquél que haga lo mejor por entenderlo, habrá de descubrirse con toda su claridad lo que era absolutamente susceptible de conocerse en la geometría, pero que en realidad no se conocía. [Nicolás de Cusa, *Mathematische Schriften*]

Leonardo da Vinci, quien como pintor estudió con la mayor meticulosidad la naturaleza y al hombre, sí estaba familiarizado con estas nuevas ideas. Pero él no sólo era pintor, sino, ante todo, un investigador de la naturaleza, un ingeniero, arquitecto, escultor, músico y mucho más. Pero sobre todo estaba interesado en el ordenamiento inherente de la naturaleza. Siguiendo el ejemplo de Leonardo, el luthier Max Möckel transportó lo que el Renacimiento aprendió sobre la construcción geométrica del cuerpo humano, a la construcción del violín. La distancia entre el pulgar y el dedo índice de la mano izquierda le sirvió como patrón (*mensur*) y punto de partida. Esta distancia es el *mensur* del instrumento a construir; es decir, la distancia desde el puente hasta el borde de la caja de resonancia. La siguiente construcción geométrica de Möckel se basaba en dos pentágonos verticales adyacentes, dentro de los cuales colgaba un cuadrado que flotaba libremente. De ahí, desarrolló tres pequeños triángulos rectángulos que forman la base para construir todos los demás detalles.

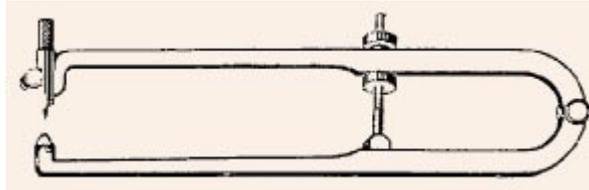


El mensur es la distancia que hay entre el puente y el extremo superior del cuerpo del violín.

Además, en todos los instrumentos de la familia del violín observamos una curvatura múltiple, que no ha cambiado en 550 años. Una curvatura como ésta se reconoce desde fuera en la forma en que se arquea la tapa y la espalda del instrumento. La otra parte sólo es visible para el luthier, y consiste en la curvatura del espesor de la madera. Es decir, la madera es más gruesa cerca del puente que en los lados, donde va adelgazándose. Y en las costillas existe una tira angosta de madera que no varía en su espesor.

La importancia extraordinaria de la curvatura de la madera puede verificarse fácilmente mediante un experimento con copas de vino. Si tomas una copa de vino que va reduciendo su grosor hacia el borde, y la haces sonar, crearás un sonido bello, poderoso y prolongado; pero si por el contrario, haces sonar una copa cuyo grosor no varía, sólo obtendrás un "ruido" desagradable.

Después de años de investigar muchos violines italianos antiguos, Möckel confirmó, una y otra vez, la proporción de la curvatura arqueada hasta el último detalle, para derivar de ahí la idea de su construcción. Para esto usó un método descubierto por uno de sus hermanos, Otto Möckel. Esto fue resultado del redescubrimiento del llamado "compás de curvas", encontrado entre las herramientas que usó Antonio Stradivarius, y que los antiguos luthiers usaban para construir curvas de nivel regulares y obtener así las curvas arqueadas.



"Compás de curvas"

Si haces un corte horizontal a través de una cordillera, obtendrás curvas de nivel como las que se obtienen de las mediciones geodésicas, y que muestran los mapas topográficos.

Las superficies de los cuerpos del violín, la viola y el chelo son irregularmente curvos por todos lados hacia sus centros, y su irregularidad va reduciéndose hacia los lados. Por supuesto, el cuerpo del violín no es una barra de madera maciza, en la que puedas hacer un corte horizontal para estudiar sus interesantes curvas arqueadas, sino que está hueco por dentro. Dos superficies curvas constituyen la caja de resonancia del violín, y la calidad del sonido del instrumento depende de su calibración precisa. Por tanto, para estudiar sus curvaturas, tienes que invertir el procedimiento; tienes que tomar la medida de la bóveda de un instrumento ya construido y reproducirla tallando una tabla de madera maciza.

Entonces, Otto Möckel "inventó" una forma de copiar las curvas de nivel de todos los instrumentos antiguos. Describió su método de trabajo con el peculiar "compás de curvas", como sigue:

Se asume que. . . ellos [los viejos luthiers] colocaban las partes sin terminar entre las aberturas del compás, de tal forma que la punta del pincel formaba un ángulo recto perfecto respecto a la bóveda [de la superficie del violín construido], y entonces lo movían suavemente. Luego, movían el compás de forma suave alrededor de la curvatura que todavía no se lijaba, y así se harían marcas negras sólo a cierta altura, y la curva resultante se mostraría de inmediato, incluso a la vista del inexperto, con todas las imperfecciones y las curvas de nivel mal ubicadas de la superficie abovedada. Los errores pueden rectificarse con facilidad usando un bocel finamente ajustado para transformar los bordes y esquinas de las líneas feas, en nobles curvas. Luego el compás, ajustado de nuevo, se pone en acción otra vez y el proceso de lijar vuelve a comenzar. Entre más curvas traces con las curvas de nivel a diferentes alturas, más defectos aparecerán.

Así que la construcción de las curvas abovedadas es la base para la distribución óptima del sonido en la tapa y la espalda del instrumento. Los luthiers en la actualidad usan el método de Otto Möckel para copiar con la mayor precisión posible las curvas abovedadas de los antiguos violines italianos.

El fascinante mundo de las ondas de sonido



Tapa y espalda de un Stradivarius

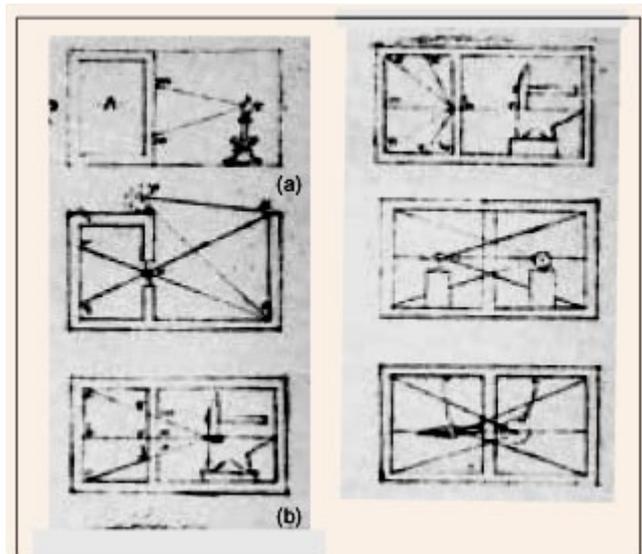
Sin embargo, para entender a cabalidad el sonido espléndido de estos instrumentos uno debe pasar a la física de la tonalidad y las ondas de sonido ¿Qué es el sonido en realidad? ¿Cuál es el origen de los intervalos en el espacio sónico, donde no reconocemos todos los sonidos como *synphon*? Y, ¿cuál es la causa de su creación?

La investigación del sonido claramente confirma que la curvatura lograda por los viejos maestros italianos es ideal para crear el sonido más poderoso y puro, así como para eliminar ciertos tonos como de "aullido" indeseables, o regiones chillantes del espectro sónico.

El propio espacio sónico es "curvo" en muchas y diversas formas. Muchas de las ondas de sonido que percibimos con nuestros oídos como ruido o sonido son invisibles, aunque con la ayuda de experimentos pueden representarse visualmente.

No sabemos si Leonardo hizo una investigación exhaustiva del oído humano, o de la audición *per se*; pero hay muchas cosas en sus diarios y escritos que dan pie a la fuerte sospecha de que sí. Además, hay un compendio de experimentos en los que analizó varios tipos de ondas, y los comparó unos con otros.

En esta investigación Leonardo comparó toda clase de vibraciones —luz, sonido y magnetismo — entre sí, para descubrir sus similitudes. Tomar esto como punto de partida, e intentar suponer que tales vibraciones tienen algo en común, todavía es prácticamente un tabú en la actualidad. Es ampliamente aceptado que, a principios del siglo 19, André Marie Ampère reconoció que los rayos de luz y de calor eran ondas, que sólo se distinguían por sus diferentes longitudes de onda, y hoy sabemos que los rayos eléctricos y magnéticos, los rayos X, las ondas de radio y demás, pertenecen a la misma clase de radiación electromagnética. A pesar de eso, hasta ahora se ha considerado a las ondas de sonido y del agua como si pertenecieran a un universo con leyes diferentes.



Bocetos de Leonardo Da Vinci para emprender una serie experimental. Leonardo compara la trasmisión de la luz (a), el sonido (b) y el magnetismo (C).

Las ondas de sonido y del agua ofrecen un campo abierto para la investigación del fenómeno de las ondas, así como de las leyes que de ellas se desprenden. Los científicos que investigaron las ondas de todas clases, después de Leonardo da Vinci, fueron los hermanos Ernst Heinrich Weber y Wilhelm Weber, así como también Félix Savart, Denise Poisson y Benjamín Franklin. En el trabajo de 1825, *Teoría con base experimental de las ondas, o sobre las ondas de fluidos que forman gotas, con aplicación a las ondas del sonido y de la luz* (Wellenlehre auf Experimente gegründet, oder ueber die Wellen tropfbarer Flüssigkeiten mit anwendung auf die Schall- und Lichtwellen), los hermanos Weber definieron el concepto de cresta de la onda, onda continua, amplitud de onda y longitud de onda (que ellos llamaban "ancho de onda"), e investigaron con especial detalle el fenómeno de la interferencia. Podría decirse que ellos siguieron el camino pavimentado por Leonardo.

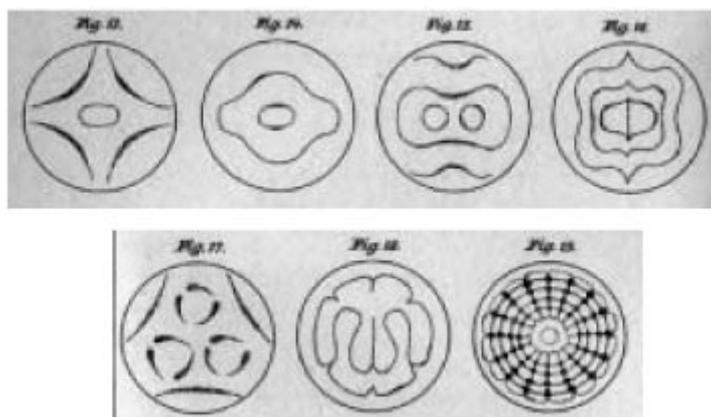
Pero, ¿qué pasa en realidad en el interior de un instrumento cuando se genera el sonido? Y, ¿cómo se propagan la ondas? Algunas fuerzas activas ponen en movimiento los átomos o las moléculas del medio. En la madera, el agua, los huesos del cráneo, o los líquidos del oído, o en un medio elástico, las ondas sónicas causan cambios de presión, de modo que muchas partes se ponen en movimiento al mismo tiempo, como si hubieran recibido un solo golpe. A los hermanos Weber los inspiró su maestro Ernst Florens Chladni, para realizar un estudio intensivo de las paradojas acústicas y musicales. El propio Chladni también se dio a la tarea — como Benjamín Franklin— de crear nuevos instrumentos musicales, y por esta razón realizó muchos experimentos para tratar de hacer visible el movimiento de las ondas a través de una placa acústica. En los libros de física antiguos se describen los esfuerzos por propagar ondas en dichas placas.

En el transcurso de sus experimentos, Chladni hizo el siguiente descubrimiento fascinante: los diferentes tonos manifiestan características específicas en las que algunas partes se mueven y otras adyacentes no, y es posible "ver" esto. Chladni vertió arena sobre placas de metal, las hizo vibrar con un arco de violín, y entonces descubrió que la arena formaba varias figuras sobre las placas. Dependiendo de la fuerza del estímulo, su dirección o su velocidad, se formaban figuras de sonido muy interesantes, demostrando que las ondas del sonido obedecen a "condiciones" peculiares específicas.

En sus trabajos sobre el sonido, Wilhelm Weber describió los esfuerzos de Chladni como sigue:

"Si tomas un círculo de papel, de un diámetro de entre 8 y 12 pulgadas, y lo pones sobre un aro —o mejor, pones una membrana de forma horizontal sobre el borde de un vaso, el cual tiene pie y base, desparramas arena sobre la membrana, y creas un sonido cercano al vaso, a unas 4 u 8 pulgadas de distancia—, entonces la arena se distribuye en líneas, que a menudo forman

figuras perfectamente regulares. . . Como Chladni demostró, para generar ese tipo de ondas tienes que apoyar la membrana en varios lugares, por ejemplo, en dos puntos del borde y uno sobre la superficie misma. . . la membrana se coloca de forma horizontal. . . La tabla V, figuras 6–18, presenta la mayoría de las figuras regulares [algunas se muestran en la figura] que se forman sobre la membrana que hace vibrar de manera moderada. Cuando la membrana no está completamente tensa, hay veces que aparece un gran número de líneas de arena, como las que muestra la figura 19, intersecándose unas con otras, y que parecen originarse en el cruce de las líneas circulares con las diametrales. [Wilhelm Weber Werke, vol. 1, págs. 113–114.]

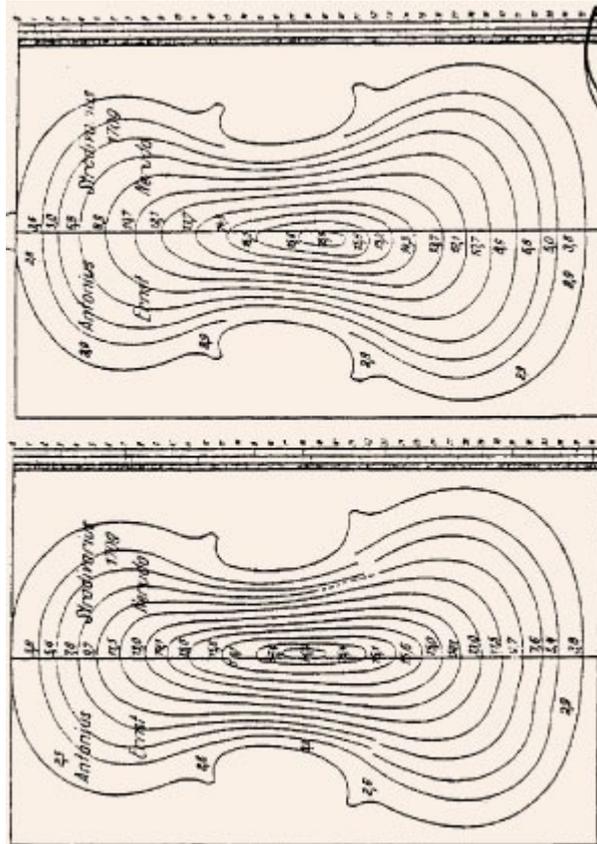


Figuras del sonido, de Wilhelm Weber

En la actualidad se realizan investigaciones de este tipo para tratar de hacer visible la acción de las ondas en la tapa y la espalda de los violines. También se usan hologramas láser para ver las vibraciones de las guitarras.

Otto Möckel describió la importancia de la investigación de Chladni para el entendimiento del espacio sónico:

"Chladni ha logrado hacer visibles sus figuras del sonido sobre placas circulares, rectangulares y ovaladas que vibran libremente. Las figuras que ha descubierto se producen en una variedad rica y abundante, cuando se toca un instrumento de arco (o, para el caso, cualquier instrumento con una caja de resonancia), y secciones de su superficie vibran en una multiplicidad que cambia de forma continua. Se sabe que cada tono, cuando sus vibraciones se transfieren por un medio a una membrana, o a una caja de resonancia, divide la superficie vibrante en varias partes (dependiendo de su frecuencia), que no participan en el movimiento. . . Si uno dibujara las ondas vibratorias que crean diferentes instrumentos musicales, la belleza de sus formas encantaría a nuestra vista. Toda creación de ondas —no tiene que ser en un instrumento musical— contribuye a este mar infinito de vibraciones. Ni siquiera es necesario tener una buena imaginación para visualizar esta pintura de ondas que surgen. Tiramos una piedra a un estanque, y somos felices con el círculo que se desplaza y nos sorprende con la uniforme danza de sus ondas circulares. Ahora, imagina este círculo transformado en una esfera, que incrementa de forma continua su tamaño e interseca con otras esferas sin perder su forma. En cada esfera hay un punto medio, el creador de ondas, el cual forma cada vez nuevas ondas de una curvatura más compleja. Esta es la materia silenciosa, en extraña calma, convocada para permitir que surja un milagro invisible de belleza en rica abundancia. Estas ondas no son para los ojos, sino para el oído". [Otto Möckel, *Die Kunst des Geigenbaus*, pág. 114 y 189.]



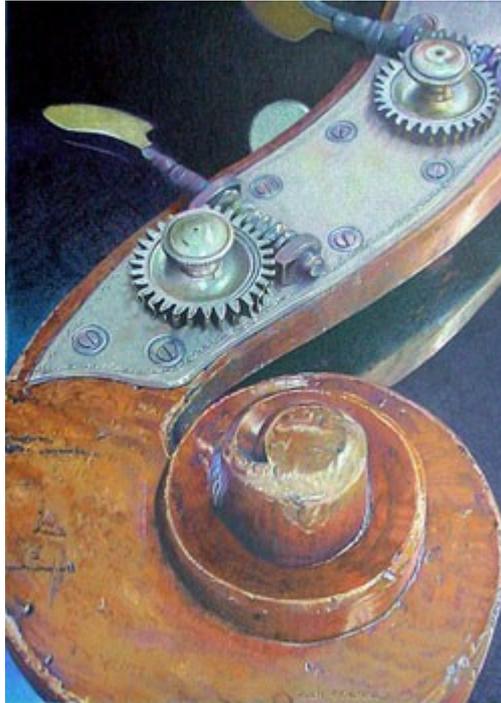
El redescubrimiento de la función del compas de curvas hizo posible reproducir los patrones de abovedado de los viejos violines. (Diagrama de un Stradivarius.)

El oído humano y la idea de la curvatura múltiple

¿Cómo escucha en realidad el oído humano estas fenomenales figuras de las ondas, las más discernibles de las cuales pueden verse con la vista? Aquí entra en juego un hecho sorprendente, donde de nuevo desempeña un papel la relación que Leonardo y Pacioli llamaron, de forma tan significativa, la *divina proporción*: es decir, que el oído interno tiene la forma de un caracol.

En la cóclea (caracol) las vibraciones que golpean el tímpano se transmiten por los huesecillos del oído (el martillo, el yunque y el estribo) hacia el oído interno, y las vibraciones sonoras del aire se transforman en señales en el sistema nervioso. Esta interacción entre energía sonora e impulsos nerviosos es bien conocida; sin embargo, sabemos muy poco acerca de la forma en que se procesa esta variedad de información, o impresiones sobre el sistema nervioso.

La gran importancia de la cóclea también debiera ser evidente por su localización (junto con el laberinto, el órgano que gobierna nuestro sentido del equilibrio) dentro del hueso petroso, el hueso más duro de nuestro cuerpo. Es un sistema que consta de tres tubos en espiral diferentes, colocados lado a lado: la escala vestibular, la escala media y la escala timpánica. La escala media contiene un fluido llamado endolinfa, el cual es rico en potasio y bajo en sodio, contrario a la composición de la perilinfa en la escala vestibular y la escala timpánica, que es exactamente la inversa. Esta diferencia crea un potencial eléctrico entre los dos líquidos. Entre la escala media y la timpánica hay una membrana fibrosa, llamada membrana basilar, donde se encuentran las células vellosas. Estas células actúan como sensores que transmiten las ondas de sonido que vienen del exterior, de forma tal que la membrana empieza a vibrar en tres dimensiones. Las notas agudas tienden a estimular principalmente a las células vellosas localizadas en la entrada de la membrana basilar, las notas graves estimulan a las del otro extremo. Las corrientes eléctricas producidas se transmiten por fibras nerviosas conectadas a las células vellosas, a lo largo del nervio auditivo, hasta el cerebro.



Cabeza del violín

El hecho de que el órgano auditivo del hombre tenga forma de caracol es más que simbólico, dada la conexión entre la música y la geometría. ¿Qué otra explicación podría tener el papel tan importante que desempeña la forma de caracol de la cabeza del violín, desde inicios del siglo 16 hasta la fecha? ¿Por qué ha adquirido prácticamente una forma fija como ornamento tridimensional, desde el clavijero hasta la voluta esculpida, que va haciéndose ancha y cuya mayor anchura se ubica a mitad del caracol? Después de todo, el caracol corona a la nueva familia de instrumentos, el violín, la viola y el chelo, y quizá fortalezca las ondas o actúe como guía de las mismas; pero una cosa es segura: expresa el ordenamiento interno de la construcción del instrumento.

Bibliografía:

Ernst Florens F. Chaldni, 1827. *Kurze Übersicht der Schall- und Kanglehere, nebst einem Anhange die Entwicklung und Anordnung der Tonverhältnisse betreffend* (Maguncia: B. Schoot's Söhne).

Alberto Durero, 1908. *Unterweissung der Messung*, neu Herausgegeben von Alfred Pletzer (München: Südeutsche Monatshefte GmbH).

Leonardo da Vinci, 1953. *Tagebücher und Aufzeichnungen* (Leipzig: Paul List Verlag).

Georg Eske, 1997. *Schall und Klang–Wie und was wir hören* (Basilea: Birkhäuser Verlag).

Max Möckel, 1925. *Das Konstruktionsgeheimnis der alten italienischen Meister–Der Goldene Schnitt im Geigenbau* (Berlín: Verlad der Musikinstrumenten–Zeitung Moritz Warschauer).

1935. *Die Kunst der Messung im Geigebau* (Berlín: Alfred Metzner Verlag).

Otto Möckel, 1930. *Die Kunst des Geigenbaus* (Leipzig: Verlag v. Berhnhard Friedr. Voigt).

Fray Luca Pacioli, 1889. *De Divina proportione—Die Lehre vom Goldenen Schnitt*, Constantin Winterberg (Wien: Verlag Carl Graeser).

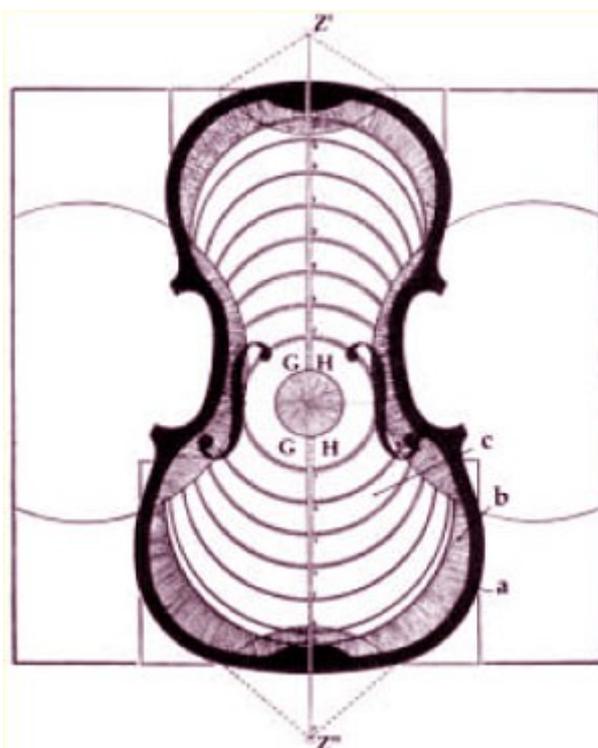
Bartel Leendert van der Waerden, 1979. *Die Pythagoreer* (Zürich: Artemis).

Josef Wechsberg. *Zauber der Geige* (Fráncfort: S. Fischer-Verlag).

Grosses Lexikon der Musik, 1968. Abschnitt über Musikinstrumente von Emmanuel Winternitz, Norman Lloyd (Ginebra: WPI).

Emmanuel Winternitz, 1974. "Leonardo da Vinci and Music," en Ladislao Reti, *The Unknown Leonardo* (Nueva York: McGraw Hill).

¿Qué es la coma pitagórica?



La paradoja de la coma pitagórica es una de las razones por las que nunca se han igualado los instrumentos de cuerdas creados hace 300 años, por el fabricante de violines de Cremona, Italia, Antonio Stradivarius.

por Larry Hecht

En la creación de tonos musicales, los intervalos de los consonantes puros pueden producirse al dividir una cuerda. Así, cuando reduces una cuerda a dos tercios de su longitud original, el tono que escucharás cuando la pulses será el de una quinta pura por encima del sonido que emite la cuerda completa. Cuando reduces su largo a cuatro quintos, escuchas el intervalo de la tercera mayor; al dividir la cuerda a la mitad, produces la octava.

Sin embargo, no tocarías música en un instrumento afinado así. Lo que sucede es que, si divides la cuerda de forma continua en estas fracciones simples, produciendo tonos sucesivamente mayores, la escala no "cierra", como puedes descubrir al cantar una sucesión de terceras ascendentes.

Este problema lo conocían bien los pitagóricos de la antigua Grecia, quienes reconocieron que para hacer música era necesario hacer correcciones a los intervalos "puros"; de ahí el concepto de la coma pitagórica.

Estas consideraciones, entre otras, surgen al abordar el problema de construir instrumentos musicales capaces de imitar el sonido más bello que puede producirse, la voz humana adiestrada en el *bel canto*. Y aquí es donde nos topamos con la mayor paradoja: el que nunca se hayan igualado los instrumentos de cuerdas creados hace 300 años, en el laboratorio del fabricante de violines de Cremona, Italia, Antonio Stradivarius. Una vez que uno reconoce que no es cosa de algún secreto "técnico", se vuelve ineludible la conclusión de que hay una deficiencia muy grave en nuestro entendimiento moderno sobre el sonido y el oído.

Tales cuestiones las aborda a fondo el artículo principal de la revista *21st Century Science & Technology* (Siglo 21, Ciencia y Tecnología), número de primavera del 2003, "Music and the Unsolved Paradox of Pythagoras" (La música y la paradoja irresoluta de Pitágoras), escrito por Caroline Hartmann.

Pitágoras y la Era Espacial

Los griegos de la época de Pitágoras veían el problema de representar tonos musicales mediante simples proporciones de número enteros, como algo similar al problema de cómo medir la longitud de la línea que dobla el cuadrado. Aunque esta longitud puede construirse fácilmente dibujando la diagonal del cuadrado original, cualquier intento por medirla en unidades fraccionales de la línea original conducirá a una paradoja. Cuando se intentó doblar el cubo, surgió una forma aún más complicada de la paradoja, descrita por Platón como el problema de los "poderes".

Los esfuerzos por comprender la paradoja de los "poderes", tal como la obra de Nicolás de Cusa, Johannes Kepler y Carl Gauss los revivieron tras la Era de Tinieblas del Imperio Romano, produjo los avances más profundos en la ciencia de la física-matemática. De ahí, finalmente, derivó la Era Espacial.

Por último, el padre del Movimiento de Juventudes Larouchistas, que obra para crear un nuevo renacimiento en la ciencia, Lyndon LaRouche, comenta sobre el desastre del transbordador espacial Columbia, en "Por qué falló el transbordador espacial; culpen a la mentalidad de contador", que además de publicarlo *21st Century*, también puede encontrarse en español en la revista *Resumen ejecutivo de EIR*, de la 2a quincena de marzo de 2003.

Para mayor información sobre cuestiones de ciencia, el lector puede visitar la sección en español de la revista *21st Century Science & Technology*, en el sitio electrónico www.21stcenturysciencetech.com/espanol.html

Artículos publicados en la página del Instituto Schiller