

ESTO ME SUENA

De la acústica a los archivos MP3

En un espacio de apenas cinco centímetros, nuestro oído dispone de un transductor, un amplificador mecánico y un detector que, en conjunto, son capaces de medir variaciones de presión 10.000 millones de veces menores que la atmosférica, provocadas, por ejemplo, por el acorde final del Réquiem de Mozart.

Por **Luis Carlos PARDO/Munich**, doctor en Ciencias Físicas por la UPC
 luis.carlos.pardo@upc.edu

FÍSICA DE LA MÚSICA

El violinista toma el arco, pulsa una cuerda y empieza a tocar: no cabe duda, el violín es un Stradivarius. Aún hoy en día, no se sabe a ciencia cierta por qué la calidad del sonido de los violines construidos por el *luthier* Antonio Stradivarius en su taller de Cremona supera a la de cualquier otro violín. Teorías, como el uso de maderas provenientes de una vieja catedral, o el envejecimiento de la laca que utilizaba, no faltan, pero nadie ha podido repetir un violín como aquéllos. Nos queda el consuelo de que, por lo menos, gracias a la física somos capaces de describir con magnitudes exactas su sonido y detectar si un violín es un Stradivarius auténtico.

Para poder estudiar su sonido, analicemos en primer lugar qué sucede cuando el violinista frota la cuerda con el arco. Ésta vibra principalmente con una frecuencia (para la nota "la", 440 veces por segundo, es decir 440 Hz), y esto es lo que determina el *tono* del sonido que produce. La vibración de la cuerda se transmite entonces al cuerpo del violín, que vibrará principalmente con la misma frecuencia que la cuerda. Esta vibración de las paredes de la caja hace que la presión del aire cambie periódicamente con la misma frecuencia que la de la cuerda (440 Hz), propagándose este movimiento por el aire. El sonido es, por tanto, una variación periódica de la presión del aire con una frecuencia determinada.

Si el violinista frota más violentamente la cuerda, la amplitud de la vibración de la cuerda, y por tanto la de la caja de resonancia,



Los expertos siguen sin saber qué hace tan extraordinario el sonido de un Stradivarius

será mayor, aumentando el cambio de la presión del aire, es decir, la *intensidad* de la nota variará. Por lo tanto, el sonido necesita del aire, u otro medio físico como un trozo de metal o una cuerda tensada entre dos botes de yogur, para propagarse... Y este detalle es el causante de un error clásico en las películas de ciencia-ficción. Para desgracia de los directores de cine, una batalla espacial se desarrollaría en el más absoluto silencio, dado que en el espacio no hay aire ni ningún medio que pueda propagar el sonido.

EL ECUALIZADOR DE FOURIER

Recuperemos una vez más a nuestro virtuoso músico tocando un Stradivarius: ¿cómo es posible distinguir que, efectivamente, el violín que toca es un Stradivarius? Es más, ¿cómo podemos distinguir si el músico está tocando la misma nota con un violín o con una trompeta, o es una persona cantando?

La cuerda vibra principalmente con una frecuencia, pero también puede hacerlo (y lo hace) con frecuencias que sean múltiplos de la primera. Eso es debido a que, dada la longitud de la cuerda, no sólo "cabe" una onda entera, sino también la mitad de ésta, o la tercera parte, o la cuarta... A la frecuencia con que vibra la cuerda principalmente se le llama "armónico fundamental", y a las frecuencias más altas con que también vibra la cuerda se denominan *armónicos superiores*, y precisamente en estos armónicos superiores está el secreto del Stradivarius.

Cada instrumento musical (incluida la voz), tiene una relación entre la intensidad de los armónicos superiores diferente, que determinan el timbre del sonido. Por lo tanto, cuando escuchamos una nota musical, oímos una mezcla del armónico fundamental, más ondas de frecuencias mayores en una proporción determinada, lo que da como resultado una onda más o menos complicada. Dicho de otra manera: si conocemos la relación entre armónicos superiores, podemos reproducir el sonido original. Esta manera doble de representar un sonido (en forma de una onda complicada, o en forma de su contenido en armónicos) fue

EL OÍDO, UN APARATO DE PRECISIÓN



Dos músculos del oído, el estapedio y el tensor del tímpano, relajan tanto más la tensión de la cadena de huesecillos y del tímpano, respectivamente, cuanto más fuerte sea el sonido que percibimos. Este proceso de regulación permite al oído escuchar desde el ruido de un mosquito volando a tres metros hasta el de un trueno, un millón de veces más intenso que el primero. Este gran rango de intensidades que podemos

oír hace necesaria la utilización de una escala decibélica para cuantificar la intensidad del sonido. Si asignamos 0 dB al sonido más débil que podemos percibir, definimos la escala decibélica de manera que un aumento de 10 dB de un sonido implica multiplicar por diez su intensidad. Es decir, si un coro de 10 personas emite un sonido de 50 dB, un coro de 100 personas, emitirá un sonido de 60 dB, y uno de 1.000 de 70 dB.

estudiada por el matemático y físico Jean Baptiste Joseph Fourier (1768 -1830). De todas sus contribuciones, una de ellas es de especial interés para el mundo audiovisual: la transformada de Fourier. Gracias a este método es posible, a partir de un cálculo matemático, obtener de una onda cualquiera la relación entre sus armónicos superiores. Es decir, es posible obtener la firma que hace a cada voz o instrumento musical únicos. La misma herramienta matemática permite además hacer el camino inverso: la transformada de Fourier de la descomposición en armónicos de un sonido recupera la onda del sonido original. De las innumerables aplicaciones de la transformada de Fourier en el campo del audiovisual, dos de ellas son especialmente interesantes: la compresión de archivos de audio y el ecualizador.

Un método para poder comprimir un archivo de audio de nuestro ordenador es la utilización de un programa para descomponer dicho archivo en los armónicos superiores que lo componen (es decir, hacer su transformada de Fourier). Puesto que nuestro oído no es capaz de distinguir sonidos de frecuencias muy altas, podemos eliminar la información para estas frecuencias sin perder calidad en la música, pero reduciendo el tamaño de nuestro fichero inicial. Si queremos escuchar la grabación, sólo tenemos que recuperar la onda (hacer de nuevo una transformada de Fourier), de la que habremos eliminado frecuencias inaudibles. Este procedimiento de eliminar información innecesaria de altas frecuencias se utiliza en el

formato MP3 para guardar música ocupando un espacio mínimo en el disco duro de nuestro ordenador. Pero no sólo es posible realizar la transformada de Fourier usando un programa informático. Un ecualizador utiliza circuitos electrónicos para poder aplicar la transformada de Fourier a un sonido sin necesidad de programa alguno. De esta manera, podemos conseguir descomponerlo en sus componentes para diferentes frecuencias, y potenciar unas u otras según nos convenga. Utilizando el ecualizador podemos, por ejemplo, atenuar el ruido de una grabación eliminando componentes de alta frecuencia, o podemos potenciar las frecuencias bajas asociadas a la percusión.

Hemos visto que el acorde final del Réquiem de Mozart es una variación periódica, más o menos compleja, de la presión del aire que percibimos como sonido. Si bien esta explicación puede parecer muy fría, toda la técnica de grabación y reproducción de audio que nos permite disfrutar de la música se basa en una profunda comprensión de las cualidades del sonido: tono, intensidad y timbre. Si bien los tonos de una melodía, que nos indican lo grave o agudo de cada nota, son suficientes para reconocerla, su timbre e intensidad hacen que sea más agradable si es tocada por un violín Stradivarius. Además, podemos obtener la "firma" de su sonido, descomponiéndolo en sus armónicos superiores, gracias a la transformada de Fourier... Pocos imaginan que su reproductor MP3 se basa en un artilugio matemático de hace más de tres siglos ■