

## **El Micrófono, el último Nexo con la Realidad Acústica**

En épocas en donde los vientos de cambio soplan digitales, cuando se habla indistintamente tanto de procesadores como de cables y fichas, hay partes de la cadena de audio que aún resisten el embate electrónico-numérico, una de las más importantes es el micrófono, nuestro único vínculo con la realidad acústica. Disertaremos pues, sobre los temas asociados a esto.

### **El primero y último Eslabón**

No nos debe asombrar esto, ya que el micrófono, es el único nexo con la realidad del mundo físico. Cuando hablamos de música, sonido y acústica, estamos hablando de vibraciones y perturbaciones que se propagan en un medio físico, comúnmente el aire. Si pensamos en introducir las en el mundo maravilloso de la electrónica y los cálculos matemáticos, nos hallamos con un sutil problema, hay que pasar de 'ondas' a magnitudes electrónicas y posiblemente interpretadas luego como números  
*¿no suena un tanto extraño todo esto?*

### **Millones de años de Evolución**

Ahora bien, nuestra manera de percibir el sonido, es puramente física, pasando por nuestro sistema de percepción, sin tanta conversión ni procesos. Nuestro sistema neurobiológico, posee una de las más sutiles y maravillosas piezas acústico-biológicas existentes, que son los oídos, proezas de la ingeniería natural con millones de años de desarrollo por evolución. Ellos, hacen algo mucho más maravilloso e incomprensible que es el poder capturar la magia del sonido y apreciarla con todos sus matices. Veamos que tiene todo esto de común con nuestro invento moderno: los micrófonos.

### **La Captación del sonido**

La ingeniería ha propuesto innumerables mecanismos para imitar ese fabuloso sistema natural que son los oídos, tratando de imitar burdamente millones de años de evolución adaptativa y certera con mecanismos artificiales usando el ingenio junto a membranas, metales, tornillos, física y cables; el resultado final: nuestros actuales micrófonos.

### **Una foto un tanto ciega de la realidad**

Cuando pretendemos "fotografiar" (o grabar) el sonido para luego "escucharlo" en otro lugar y tiempo, lo primero que se nos ocurre para tomar esta foto, es "obtener" estas magnitudes de sonidos que llenan el aire para luego re-producirlas. Preguntas que surgen inmediatamente son: ¿Con qué instrumento tomarlas? ¿En cuantos lugares? ¿Dónde "verlas" mejor? Estas, son algunas de las preguntas que todo sonidista y microfonista se hacen a diario y cuya respuesta, si la hubiera solo logra parcialmente su objetivo.

### **La Limitación de 3 Dimensiones**

La solución no es sencilla pues las latitudes del sonido viven en una cantidad de dimensiones que no percibimos fácilmente, por estar nosotros, condicionados a un máximo de 3 dimensiones para pensar claramente. Tampoco es fácil percibir el conjunto de estas dimensiones sin herramientas apropiadas para develarnos su compleja existencia. Es como si siendo nosotros sombras grises, tratásemos de imaginar algo que no es plano y tiene colores.

### **El legado Armónico**

Durante años, los ingenieros y científicos avocados al sonido, buscaron la perfección en sus instrumentos, basándose en lo que habían aprendido a hacer bien: el análisis armónico. Se estudió la respuesta en frecuencia con las herramientas que el matemático francés *Jean Baptiste Joseph Fourier* nos legó en un brillante aporte, hace unos 200 años. Si bien esto resulta viable y útil; fue lo único que se pudo usar por muchos años para contrastar valores, hacer mediciones en audio e interpretarlas. Permite interpretar fácilmente fenómenos asociados a las no linealidades de los sistemas, definiendo distorsiones y muchas de las magnitudes que inundan las hojas de especificaciones. Aquí es en donde falta algo, olvidado todo este tiempo: la percepción del sonido es mucho más cosas que simplemente un duro y matemático análisis armónico.

### **El Verdadero sonido**

La percepción del sonido, si se pudiese describir en dimensiones, no tendría solamente las frecuencias e intensidades, sino la dirección de cada una de sus componentes junto al momento (tiempo) de arribo al punto de medición. Esto a simple vista, conforma algo bastante diferente a un simple “voltaje” de salida unidimensional de un captador al que llamamos micrófono, con una salida sola de tensión vs. tiempo.

### **Restringiendo la “foto” a un punto**

Vamos a detenernos a analizar esto, pues es aquí en donde hubo, hay y habrá un fuerte desentendimiento entre la grabación del sonido, su reproducción y la cruda realidad. Cualquiera sea la “cosa” que detecte o mida el sonido en ese único punto escogido, como el sonido es una onda de presión que arriba de todos lados, el captador debiera de entregar una magnitud de presión (1D) para cada dirección de incidencia (3D) Con la ayuda de las imposibilidades prácticas de lograr esto a la fecha, algo de matemáticas para entender lo que pasa se arriba a una grosera simplificación del problema: los micrófonos actuales. Ellos entregan una sola señal de salida resultante de todo ese mundo de ondas incidentes desde todos lados. Pero resta una pregunta: ¿Cuál es la relación entre lo que entregan y el verdadero sonido?

### **El diagrama polar, una simplificación natural**

Cuando hablamos de direccionalidad, estamos hablando de cómo el captador responde a cada onda de presión según de donde viene la incidencia (ángulo sólido = 3D). Cuando son “ciegos” a esta dirección, los llamamos omnidireccionales o de presión, pues en definitiva lo único que miden, es la presión absoluta, desprovista de dirección. Luego, mediante técnicas diversas, muchas derivadas de la manera de captar el sonido de los mecanismos naturales (membranas, diafragmas, pabellones auditivos, etc.) se logra cambiar esa respuesta de presión, con la dirección de incidencia, pero en forma fija, y se los llama de presión-velocidad. Según sea el diagrama de captación, los hay muy direccionales, simétricos lobulares o diagrama de ocho, cardioides, y toda la gama nombres conocidos en el mercado.

Esta es la pista por donde comenzar a comprender el porque un micrófono no se caracteriza solamente por su diagrama de respuesta en frecuencias y diagrama polar. Pero antes de proseguir, es necesario un análisis más.

### **El principio de incertidumbre acústico**

Otro detalle a comprender, es que el elemento de captación, que llamaremos micrófono, no es etéreo ni transparente al sonido, sino que es muchas veces metálico y con cuerpo sólido y duro, por lo cual inevitablemente interfiere con esas livianas e invisibles ondas acústicas, cosa para nada despreciable. El resultado de esta interferencia es, la que lamentablemente, es obtenida como salida y no la onda de sonido que pasaba por allí.

### **De la Física Cuántica al Sonido**

Esto es muy similar a un concepto que parecía restringido a la física cuántica, el principio de incertidumbre que nos regaló hace apenas 80 años el físico alemán *Werner Heisenberg*. Básicamente plantea que no se puede saber al mismo tiempo la posición y velocidad de una partícula, presentando una constante especial que relaciona ambas indeterminaciones en forma biunívoca y dura. Esto, a primera vista, nos llena de sorpresas, pero al pensarlo bajo la óptica de lo recientemente expuesto (*sonido, presión*), es completamente razonable, pues el concepto de “*ver*” implica medir y para medir hay que interferir con esa magnitud, lo cual la va a desviar o cambiar, evitando que midamos exactamente lo que queríamos “*ver*” en un principio.

### **Entre la imaginación y la realidad**

El concepto imaginario de saber algo, no existe como tal en el mundo real y solo vive en nuestras mentes predictivas. Es como si para saber que había dentro, hubo que abrirlo y al abrirlo, lo que hallamos ya no está más dentro por estar abierto, pero esto nos alcanza. Este juego de palabras nos dice que nosotros todo el tiempo imaginamos y extrapolamos la realidad en un mundo de inferencias y predicciones.

En realidad, toda la ciencia de la medición se basa en interferir con las cosas para poder medirlas, pues la interacción con algo, es la única manera de saber “*que más hay*”.

### **La Interferencia Acústica**

En acústica, deberemos pues saber como interferimos como para saber cómo y si podremos corregir de algún modo esos efectos y en su defecto, comprender el resultado. De hecho al escuchar un sonido, también estamos en el camino de esa onda de sonido, pero la gran diferencia es que esto es lo que en realidad percibimos, y solamente estando allí, interfiriendo, lo podremos percibir de modo natural. Pero a diferencia de la física y otras ciencias, la señal que nos interesa re-crear, es precisamente la “*interferida*” por nosotros.

### **El estado actual del Arte**

Los actuales micrófonos, en sus diferentes tecnologías y formas, derivan principalmente de “*interferir*” con la onda, mediante una parte móvil liviana, que llamamos membrana, diafragma o parte móvil y convertir ese movimiento en una magnitud física como tensión para luego alimentar un sistema electrónico. Esto es parte de lo que se llama hoy electroacústica.

### **El hombre, un micrófono un tanto grande**

Ahora bien, si hacemos una analogía entre nosotros y un micrófono, no hay humanos 'pigmeos' de 15cm, 300g y *microcéfalos*, con cabezas y oídos de 1 pulgada, como tampoco hay micrófonos de 1.70m de altura, 80kg y un captador de 18cm de diámetro. Esta es una real e importante diferencia poco notada y mencionada por los entendidos en el tema, a la hora de comparar la interferencia por la presencia de uno y otro.

### **Los Micrófonos Hoy**

La mayoría de los micrófonos usados actualmente, ascendiendo por el gradiente de precio/calidad son los electrets económicos, luego los dinámicos y finalmente los capacitivos profesionales, con membranas desde mylar metalizado hasta de titanio. Quedan fuera del mercado actual, mecanismos como los de cinta, electrodinámicos, carbón, algunas rarezas de estado sólido y de interferencia láser, entre otros inventos, con características y costos que los ubican solamente entre laboratorios de investigación, coleccionistas y fanáticos. Recientemente hubo un desarrollo de micrófonos novedosos, los cuales miden el flujo del aire, por medio de un ingenioso sistema de micro sensores térmicos y los llaman micrófonos de flujo "flow". Entre sus particularidades está su bajo ruido y la respuesta en frecuencia que arranca desde 0Hz hasta alrededor de 500Hz en donde el mecanismo de captación se torna un tanto lento y ruidoso, por basarse en el enfriamiento diferencial con aire de unos alambrecitos muy pequeños sobrecalentados.

### **El Legado matemático**

Finalmente arribó la era digital, lo que antes eran cintas magnéticas y surcos en discos de pasta y vinilo; hoy se han vuelto discos rígidos, discos ópticos leídos y escritos por rayos láser y memorias flash; transportando muchísima información llamada digital o "pura". Pero cuidado! siempre hay que tener presente cómo fue captada esa información pues no se puede reproducir lo que no se obtuvo, ni siquiera adivinando.

### **Entre bits y Decibeles**

El ingeniero de audio maneja magnitudes en un campo logarítmico (llamado decibel), para poder comprender más simplemente la percepción natural. Esto se basa en la comprensión del mecanismo de percepción del oído. Hoy pero hay otra magnitud que salió al campo de juego y es el bit. Todo se habla en bits, pero cuál es la relación? Hay una regla de oro para relacionar dB y bits y es práctico pensar en 6 dB por bit. En otras palabras si una señal tiene 16 bits, podrá representar un máximo de  $6 \times 16 = 96$  dB. Igualmente un sistema de 24 bits podrá representar 144 dB de señal y uno de 32 bits 192dB, pero detengámonos a pensar en esto físicamente, es posible tantos dB?

### **El Sr. Boltzman limita los bits.**

Si pretendemos que los números sean una representación de la realidad "*medida*" la pregunta que surge inmediatamente es "*cuanto es realmente medible*". Le respuesta, de nuevo vino de la mano de los físicos teórico y se halló la mínima señal posible a una determinada temperatura, y ésta es fuertemente dependiente de parámetros físicos y del modelo, pero no puede "*penetrar*" fácilmente mas allá de los 130dB, a temperatura ambiente normal (25°C). Entonces 24bits y 32 bits (144dB y 192dB) son una fantasía?

### **La cruda Realidad**

La respuesta es si, no hay magnitudes físicas analógicas representables en ese rango en la tierra. Pero cuidado, no es del todo cierto que no sean útiles, puesto que por problemas inherentes a cuantos de esos bits usamos realmente y cuestiones de errores matemáticos acumulados, nos facilitan el trabajo en determinados contextos de procesamiento.

La realidad es que el rango de señales acústicas (midiendo en dB) es de pocas decenas de dB para el mínimo sonido perceptible por el oído humano a un poco más de 170dB, para ruidos industriales lejos de poder ser apreciados sin daños al sistema auditivo humano. Esto, traducido dice que con apenas 96dB de rango dinámico excedemos lo necesario para una buena reproducción y almacenamiento, no así para procesamiento intermedio.

### **Compresión psico-acústica**

Recientemente los sistemas con compresión psico-acústica, han hecho uso de las limitaciones de la percepción del oído humano y aumentar la eficiencia de almacenamiento de información, descartando lo que no se oye. Estos métodos tanto los analógicos (Dolby B y C) como los digitales (MPG, MP3), han revolucionado en la arena comercial, desafiando los usuarios con una avalancha de siglas y capacidades de compresión, entre ellos se hallan el Dolby, el Atrac-3, MP3 y otros que vendrán.

### **Rangos actuales de captación**

Los mejores micrófonos que se conocen hoy día, logran capturar la totalidad del rango de sonidos “*escuchables*” incluso excediendo el umbral superior (de daño) del oído humano. Es importante destacar que las diferencias entre como suenan o “*colorizan*” el sonido los diferentes micrófonos, radica principalmente en los siguientes factores: cómo “*pierden*” o “*aplanan*” la información de dirección, la respuesta en frecuencia del mismo y finalmente la sensibilidad y el piso de ruido que definen el rango usable del mismo.

### **Apenas una sombra del sonido**

Como mencionamos, la manera de “*aplanar*” al sonido que viene de múltiples direcciones expresadas en tres dimensiones y entregar una sola señal, (a modo de sombra) es el secreto de cómo suena un micrófono, cual es su patrón de captación y su “color”. Es razonable suponer que hay muchas maneras de hacer esto y no hay una sola que sea mejor que otra. En cambio el cómo realizarlo, es donde se diferencian los diversos productos del mercado. Es importante saber que las hojas de especificaciones, por más que presenten unas curvas muy bonitas de respuesta en frecuencia (*legado de Fourier*) y diagramas polares, no alcanzan para definir el comportamiento de un micrófono ante el embate del sonido real, pues la manera que “*aplana*” o proyecta las ondas incidentes en tres dimensiones (3D) no es un dato que se entregue y ni siquiera hay estándares o métodos de medición uniformes ni convenidos al respecto. La realidad de esta conversión es que por ahora, simplemente se percibe y es una de las pocas magnitudes en donde el oído entrenado contrasta y hasta opaca los más refinados instrumentos. Simplemente un micrófono “*suenan bien*” o “*suenan mal*”, según la música, la posición y el ambiente.

### **Que nos deparará el Futuro**

Probablemente en un futuro no muy lejano, se desarrollen transductores de sonido nuevos con capacidad de captación tensorial (ángulo de incidencia + presión) y esto seguramente vendrá acompañado de la manera de re-crear estas magnitudes, que hoy tampoco se pueden reproducir del mismo modo, pues los parlantes tampoco han evolucionado en esta dirección. Nada detendrá el ingenio humano y la creatividad en tal sentido, tratando de recrear y extender nuestras capacidades.

No olvidemos que el oído y la voz son algunas de las más importantes de nuestras capacidades para el arte de la música y la comunicación.

### **Palabras Finales**

Que el advenimiento de la era digital no nos oculte la realidad acústica tras una montaña de algoritmos y números perfectos. Tal vez los sistemas crezcan y tengan tantos bits, dsps y mega-flops; entre otras siglas que no podamos siquiera vincularlos con el mundo real. Lo importante es no olvidarnos que en la captación del sonido real, siempre habrá un último y único eslabón necesario, el micrófono y queda mucho aún por hacer con él.

*Andrés Hohendahl*  
*DNI. 13.711.348*