



Matemáticas: la gramática de la naturaleza. El lenguaje de la complejidad y los fenómenos no lineales. Antología de la revista Ciencias 2.

Coord. César Carrillo Trueba
UNAM-Siglo XXI, México. 2012

Las buenas vibras

Toda onda u oscilación se caracteriza por tener una frecuencia, que es el número de vaivenes por unidad de tiempo y que se mide en ciclos por segundo, unidades llamadas hertzios en honor a Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894); y una amplitud que es el tamaño de las crestas de las ondas. Otra magnitud importante es la llamada longitud de onda, que no es otra cosa que la distancia entre cresta y cresta o valle y valle de ondas consecutivas, una variable inversamente proporcional a la frecuencia: longitudes de onda pequeñas corresponden a frecuencias altas y viceversa.

Cada uno de los colores que componen el espectro corresponde a una frecuencia de oscilaciones electromagnéticas o a una longitud de onda. Así, por ejemplo, el color rojo tiene una longitud de onda de 650 nanómetros (mil millonésimos de metro) y la longitud de onda más corta que podemos percibir es el violeta profundo con una longitud de onda de 380 nanómetros. De todas las frecuencias posibles, sólo un intervalo es accesible a nuestra vista y se conoce como el visible. Frecuencias mayores y menores no son detectables a través de los ojos, pero su existencia quedó fuera de toda duda Herschel, mediante un ingenioso experimento que consis-

te en medir con un termómetro sumamente sensible los cambios de temperatura que se producen al desplazar el termómetro a lo largo del espectro, encontró que había luz que no se podía mirar a la izquierda del rojo, pero que el termómetro detectaba. Esta radiación infrarroja escapa al sentido de la vista, pero se percibe en la piel como una sensación de calor.

Un año más tarde, en 1801, y seguramente inspirado por los experimentos de Herschel, Johann Wilhem Ritter descubrió que más allá del violeta del arcoíris existe una luz invisible que oscurece un papel impregnado de sales de plata aún más rápido que la porción violeta del arcoíris. Tanto el infrarrojo como el ultravioleta son formas de luz (invisible para nosotros), así como también lo son las oscilaciones que se extienden hacia las altas frecuencias (rayos x, rayos gamma, etcétera) o bien, que prolongan al infrarrojo hacia las bajas frecuencias (ondas de radio y microondas.)

Una gráfica de la frecuencia (o longitud de onda) en el eje de las abscisas contra la intensidad de cada una de las frecuencias en el eje vertical, se llama espectro o densidad espectral. Estas representaciones son hartó útiles, pues de un vistazo nos permiten saber las características de la fuente luminosa. El espectro de una



lámpara roja sería únicamente una línea vertical sobre el punto de la abscisa que le corresponde a la longitud de onda de 650 nanómetros. Evidentemente, la fuente de luz que más influencia tiene sobre nuestras vidas es el astro rey. [En el] espectro de la luz que recibimos de nuestra estrella; podemos apreciar que contiene prácticamente todas las longitudes de onda aunque en proporciones diversas, como ya lo decía la magnífica sor Juana cuando hablaba de Apolo-Tonatiuh:

"Rico el hermoso manto de sus luces, / guarnecido de puntas que son rayos, / sin que pueda pasar por demasía, / tira lo que es rojo a ser dorado. / Con realce de Estrellas, suelto al aire, / pudiera azul celeste ir publicando / que de su banda tiene los colores."

"Tira lo que es rojo a ser dorado". Hermosa descripción del matiz del Sol en su tránsito de la aurora al apogeo. ¿Cómo puede algo que es rojo convertirse en dorado? El espectro solar tiene su máximo cerca de la longitud de onda de 600 nm, lo que corresponde al color amarillo, pero al amanecer y en el ocaso, los rayos solares tienen que atravesar una capa más extensa de aire, pues entran de sesgo a la atmósfera y ésta absorbe la mayoría de las longitudes de onda, dejándo-

nos el color rojo, para fortuna de poetas y deleite nuestro cuando se mira desde una playa. Lo que es rojo lo es porque absorbe todas las longitudes de onda y refleja solamente la que corresponde al color rojo. Un objeto que vemos rojo no es rojo intrínsecamente, sólo se ve rojo. Si lo iluminamos con luz verde o azul, se ve negro. En un mundo que tuviese un sol cuya luz careciera de la componente verde, las plantas serían negras. Se ha argumentado mucho que la retina de los humanos tiene un máximo de sensibilidad en el color amarillo debido a un ajuste selectivo que ha conducido a que la evolución de nuestros ojos se adapte al máximo de la emisión solar. Es una explicación interesante, pero no explica por qué algunos animales desarrollaron una visión en blanco y negro.

¿Qué onda con el ruido?

También los sonidos son ondas; es decir vibraciones, pero que en este caso se propagan longitudinalmente: las vibraciones corren a lo largo de la dirección de propagación, zonas de compresión y rarefacción que se alejan de la fuente. El sonido requiere algún medio material como el aire o el agua para viajar. Una oscilación sonora, al igual que la luz, se puede caracterizar mediante una frecuencia o longitud de onda y



una amplitud. La diferencia entre un sonido grave y uno agudo se debe a la frecuencia de las ondas sonoras, mientras que la intensidad o volumen del sonido se debe a la amplitud de la onda.

Cada una de las notas musicales corresponde a una frecuencia bien determinada y esto nos permite hablar de un espectro acústico (Newton no estaba tan errado al hacer una analogía entre los siete colores del arcoíris y las siete notas musicales). Así, por ejemplo, 440 oscilaciones por segundo dan la nota La, detalle que es bien conocido por todos los amantes de la música afroanti-

llana y, en particular, del merengue dominicano. Curiosamente, el La de 440 Hz es la nota que se escucha como tono de invitación a marcar cuando uno descuelga el teléfono. El doble de la frecuencia, 880 Hz, también es La pero una octava más alta; en esa octava caben el resto de las notas (La-Si-Do-Re-Mi-Fa-Sol) con frecuencias arregladas en orden ascendente.

De colores [...] los campos...

La analogía newtoniana entre luz y sonido se extiende entonces a las series de tiempo: hay luz blanca, ruido blanco y series de tiempo blancas, ¡y también las habrá de todos los colores!

La analogía nos llevará a extremos interesantes e incluso divertidos: por ejemplo, si tenemos una fuente de sonido que emita ruido blanco (recordemos que es la mezcla de todas las frecuencias) pero en un medio de propagación que absorba las ondas con frecuencias altas, como es el caso del mar, entonces queda el llamado ruido rojo, concepto que se usa a veces en oceanografía y en el estudio de la dinámica de poblaciones en ecología. ¿Por qué no, entonces, hablar de una jornada roja en la Casa de Bolsa? Se puede, y no quiere decir que hubo violencia, sino que en las fluctuaciones de un día del índice de precios y valores predom-



minaron, en número, las pequeñas sobre las grandes, y eso se miraría en una gráfica espectral como una curva que desciende de valores grandes en las frecuencias bajas a pequeñas en las frecuencias altas. ¿Y series de tiempo azules? ¿Y de qué color es el registro de temperaturas en la ciudad de México? ¿Qué color tienen los datos de paperas en el país?

Si ya captamos la idea de interpretar en términos de colores los espectros de sonidos y de las series de datos, entonces podemos hacer un catálogo cromático de fenómenos según su espectro.

(Fragmentos del artículo "El color del ruido" de Pedro Miramontes). 🗣️