Unidad de Comunicación y Cultura Científica

Instituto de Astronomía, UNAM

La música como un sistema que sigue un orden natural

- Una analogía entre la energía interna en la termodinámica y el de la disonancia en la música, podría explicar por qué las escalas musicales emergen como estados ordenados de sonidos discretos.
- El estudio señala cómo los métodos de la termodinámica generan algunos de los distintos marcos de sonido que se siguen en varias culturas.

Ciudad de México a 14 de mayo de 2025.- Una analogía entre el papel que juega la energía interna en la termodinámica y el de la disonancia en la música, podría explicar por qué las escalas musicales emergen como estados ordenados de sonidos discretos, siguiendo el mismo principio termodinámico mediante el cual surgen fases ordenadas en la materia.

En el estudio llevado a cabo por el Dr. Xavier Hernández Doring del Instituto de Astronomía (IA) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), el Dr. Luis Nasser del Columbia College Chicago y el Dr. Andy Tillotson de la NYU, Abu Dhabi, se explora cómo los métodos de la termodinámica, aplicados en el contexto de la teoría musical y la percepción de disonancia, generan algunos de los distintos marcos de sonido que se siguen en varias culturas.

“Todo comenzó con el estudio de Jesse Berezovsky, quien planteó que la estructura, orden de la música y aparición de la fase ordenada de sonido, obedecen a la misma física que la aparición de fases ordenadas en la materia”, dijo el Dr. Luis Nasser.

Berezovsky mostró cómo la minimización de la diferencia entre la disonancia total de un sistema y la fracción de energía desordenada (el producto de la entropía por la temperatura) explica cómo surgen conjuntos ordenados de tonos discretos a partir de distribuciones continuas de sonidos sin orden.

Una octava es un intervalo entre dos notas cuyas frecuencias (número de vibraciones por segundo del elemento que genera el sonido) son una el doble de la otra, y tienen la propiedad de que todos los armónicos de la nota más aguda existen también como armónicos de la nota grave. La armonía es el estudio de cómo partir la octava: cuántas notas se deben usar para cubrir la octava y generar un idioma capaz de expresar la riqueza de emociones que el arte exige.

Con base en ello, los investigadores reprodujeron el trabajo de Berezovsky y, posteriormente, lo generalizaron: cambiaron la mezcla de armónicos mediante los cuales los sonidos interactúan y notaron que el método termodinámico es robusto, permitiendo ver cómo surgen marcos de armonía y escalas armónicos para instrumentos periódicos (cuerdas, instrumentos de viento) al igual que para instrumentos inarmónicos, como las percusiones y campanas utilizadas en la música Gamelán de Indonesia.

Los investigadores explicaron que en la música se busca minimizar la disonancia, pero sin reducirla a cero: “La disonancia es clave. Ahí entra un aspecto de percepción humana. Esta tiene un componente cultural y subjetivo; no es absoluta, es perceptual”, agregó el Dr. Luis Nasser.

Por su parte, el Dr. Xavier Hernández dijo que se puede concluir que la propuesta de ver al sistema musical como un lenguaje en el que se establece un balance entre disonancia y número de notas es una idea correcta. El Dr. Xavier Hernández también resaltó que parte fundamental en este trabajo de investigación fue que, aparte de contar con su perspectiva como físico, tuvo la participación de músicos profesionales como el Dr. Luis Nasser y el Dr. Andy Tillotson, quienes también son físicos.

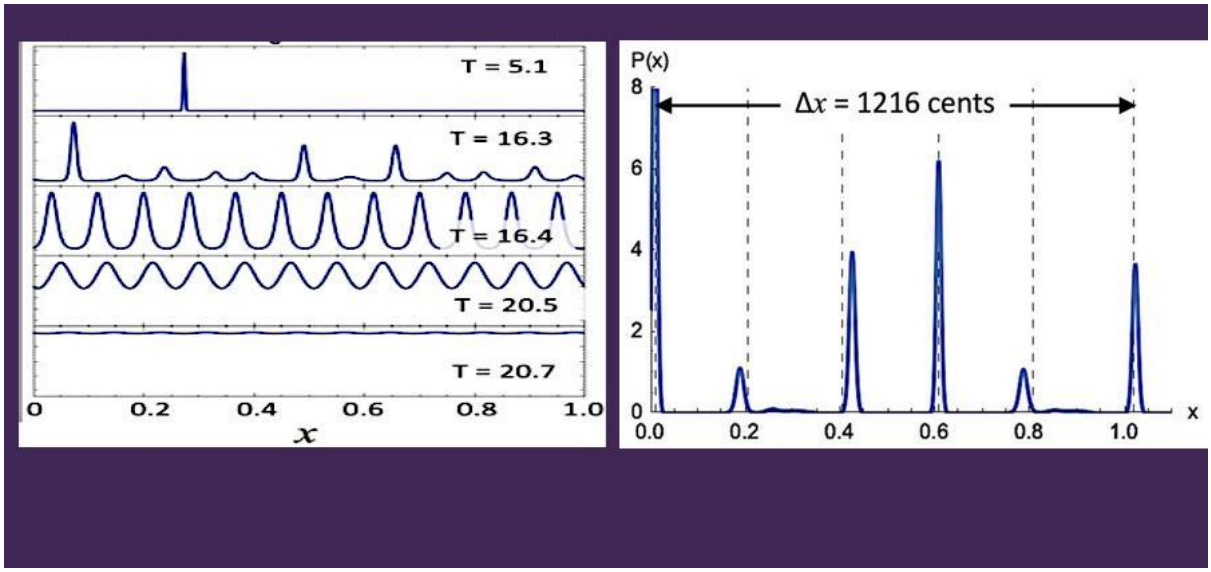
El estudio titulado “*Thermodynamics of harmony: extending the analogy across musical systems*” concluye que la misma analogía termodinámica que resulta en la división en 12 notas de la música occidental para instrumentos armónicos, usando ahora la estructura de sobretonos de instrumentos inarmónicos, replica también las estructuras musicales

usadas en tradiciones musicales distintas donde este tipo de instrumentos prevalecen.

Enlace al artículo científico:

https://doi.org/10.1371/journal.pone.0322385

Imágenes



Pie de imagen: Izquierda: P(x) es la probabilidad de que un sonido aparezca al minimizar la diferencia entre disonancia y entropía. El intervalo 0 < x < 1 es una octava. Se observa que a temperaturas altas (T) no existe orden (es como si fuera un gas y hay ruido blanco). Al bajar la temperatura surgen fases ordenadas con un número característico de notas que dividen la octava; en este caso 12 notas bien definidas para T = 16.4; sin embargo, al reducirse la temperatura ligeramente esa fase ordenada desaparece y el sistema se congela en una única nota a T= 5.1. Del lado derecho, observamos que, para instrumentos inarmónicos, el mismo formalismo nos entrega una división para "octavas" efectivas un poco más extendidas que las armónicas (donde Delta x=1000 cent), ahora con 5 notas. Estas no son la escala pentatónica del blues, pero sí corresponden al Sistema armónico de Indonesia Slendro.

Pie de figura: En instrumentos donde el elemento sonoro es a una buena aproximación unidimensional, como la cuerda de una guitarra o el tubo de una flauta, las soluciones matemáticas a la vibración de este elemento son senos y cosenos y los sobretonos de cada nota son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental de esta nota. El arreglo de las teclas de una flauta -la posición de agujeros sobre el tubo- corresponde a la afinación occidental estándar de 12 semitonos logarítmicamente espaciados como esquema de división de la octava. Cuando el elemento sonoro es un objeto de 2 o 3 dimensiones, como la membrana de un tambor o el cuerpo de una campana, las funciones matemáticas que describen la vibración del objeto son más complicadas, por ejemplo, funciones de Bessel para membranas circulares. Estas funciones no presentan sobretonos enteros de la frecuencia fundamental. Sin embargo, sistemas musicales donde este segundo tipo de instrumentos predominan, son también entendibles dentro de la misma analogía termodinámica que se usó para entender la división estándar de la octava en la música occidental, y dan como resultado precisamente sistemas armónicos coincidentes con los usados en la música Gamelan de Indonesia.

Sobre el IA-UNAM

El Instituto de Astronomía (IA) de la UNAM es la institución encargada de la investigación en astrofísica más antigua del país. Forma parte de la mejor universidad de México, una universidad pública que cuenta con más de 360,000 estudiantes. Los objetivos de IA son realizar investigación en astrofísica, desarrollar instrumentación astronómica, así como formar recursos humanos de alta calidad en los niveles de licenciatura, maestría y doctorado. El IA realiza también difusión y divulgación de la astronomía y de la ciencia en general. El IA tiene adscritos el Observatorio Astronómico Nacional de San Pedro Mártir en Baja California (OAN-SPM) y el Observatorio Astronómico Nacional de Tonantzintla en Puebla (OAN-T). Para obtener más información visite http://www.astronomia.unam.mx o escriba a uc3@astro.unam.mx.

Unidad de Comunicación y Cultura Científica (UC3)

Instituto de Astronomía, UNAM

Dra. Ángeles Pérez Villegas | Jefatura de UC3

Mtra. Brenda C. Arias Martín | Edición, medios de comunicación

Ana Luisa Pérez Sánchez | Redacción