

CUÁNTICA Y MÚSICA

INSPIRADA

TEXTO:
MACIEJ LEWENSTEIN
Y REIKO YAMADA

Exploramos las conexiones

entre la física cuántica
y la música improvisada,

incluyendo la vanguardia
contemporánea, el free jazz

y la improvisación libre.

El hilo conductor
que une a estos ámbitos

aparentemente distantes
es la aleatoriedad y la
imprevisibilidad: conceptos
que se encuentran

en los fundamentos de

la mecánica cuántica y

que han desempeñado un
papel significativo en el desarrollo

del pensamiento musical

contemporáneo.

La aleatoriedad y la imprevisibilidad son intrínsecas a la mecánica cuántica, y esos mismos conceptos han impulsado algunos de los desarrollos más radicales y fértiles del arte y la música contemporáneos. El paralelismo, sugerimos, es más que superficial. Desde las trayectorias pictóricas de Jackson Pollock hasta el *I Ching* que usaba en sus composiciones John Cage, desde el *free jazz* de Ornette Coleman hasta los saltos cuánticos de un solo átomo atrapado. La confrontación con la imprevisibilidad ha funcionado a menudo como un recurso creativo, tanto en la física como en la música. La investigación interdisciplinaria de la sonificación cuántica y, en particular, su forma canónica, ofrece una forma posible de hacer que esta conexión sea no solo intelectual, sino también sensorial: algo que se puede oír, sentir y experimentar directamente.

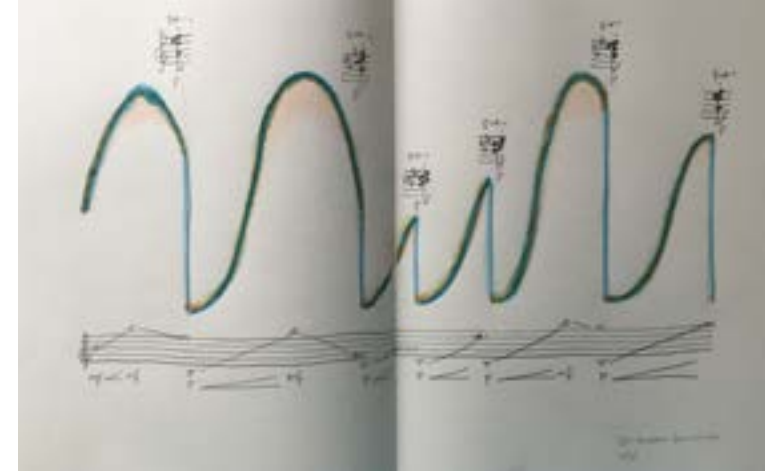
ALEATORIEDAD E IMPREVISIBILIDAD

La aleatoriedad desempeña un papel importante en las expresiones artísticas contemporáneas. En las artes visuales, por ejemplo, las técnicas utilizadas por Jackson Pollock (1912-1956), figura central del expresionismo abstracto, consistían en lanzar pintura sobre el lienzo de forma aparentemente aleatoria. Sin embargo, las obras de Pollock no son puramente accidentales: el artista controlaba la viscosidad de la pintura, la velocidad de sus movimientos y la altura desde la que la vertía, de modo que el azar operaba dentro de un marco de elecciones deliberadas. Esta interacción entre el control y el accidente es un tema profundo en el arte del siglo XX.

En la música, la tradición de explorar la aleatoriedad se remonta a Wolfgang Amadeus Mozart. Un ejemplo muy conocido atribuido a Mozart consiste en el uso de compases precompuestos seleccionados según los resultados de lanzar dos dados. El *Musikalisches Würfelspiel* (juego musical de dados), como se le conoció, producía un minuetto diferente en cada partida. Todos los resultados eran estilísticamente coherentes, ya que los compases precompuestos se habían escrito cuidadosamente para encajar en cualquier combinación. La aleatoriedad funcionaba aquí como un mecanismo de selección dentro de un lenguaje musical preestablecido, no como un desafío a ese lenguaje.

Pero el enfoque más profundo de la aleatoriedad en la composición está relacionado con la música contemporánea. Una figura importante en estos desarrollos fue el compositor y teórico musical estadounidense Henry Cowell (1897-1965). Fue uno de los primeros compositores en explorar técnicas pianísticas que eludían el teclado, utilizando

Anotación gráfica para *Interpreting Quantum Randomness*, actuación presentada en el Festival Sónar AI & Music / S+T+ARTS, el 28 de diciembre de 2021. La imagen muestra parte de la partitura visual utilizada para guiar a los intérpretes.



la manipulación directa de las cuerdas del interior del instrumento. Luego llegaron más innovadores. John Cage (1912-1992) creó procedimientos compositivos basados en el azar que tuvieron una gran influencia en la música experimental de la posguerra y en la vanguardia contemporánea. Compu so su obra emblemática, *Music of Changes* (1951), consultando el *I Ching*, el antiguo *Libro chino de los cambios*, en cada punto de decisión: tono, duración, dinámica, tempo. Su famosa obra *4'33"* (1952) llevó el argumento a su extremo lógico: un intérprete se sienta al piano y no toca nada durante 4 minutos y 33 segundos, invitando al público a escuchar cualquier sonido que se produzca en la sala.

Para Cage, estos sonidos ambientales, como un tos, un coche que pasa o el zumbido del aire acondicionado, pasan a formar parte de lo que se escucha como evento musical. La intención y el azar se reconfiguran aquí, en cierto sentido.

Como señala Maciej Lewenstein en su libro *The Amateur's Guide to Avantgarde*, varios avances importantes dieron forma a la música experimental del siglo XX, entre ellos la *musique concrète*, la música electrónica y, más tarde, las corrientes minimalistas dentro de un panorama experimental que apostaba

“La sonificación de los fenómenos cuánticos sigue siendo relativamente inexplorada, y su potencial artístico y científico apenas se está empezando a cartografiar”

por prácticas improvisadas. Figuras como Edgar Varèse (1883-1965) desempeñaron un importante papel pionero, mientras que instituciones y estudios como el Groupe de Recherche de Musique Concrète (GRMC) de la radio francesa y, más tarde, el Institut de Recherche et Coordination Acoustique/Musique (IRCAM) de París proporcionaron importantes marcos para la experimentación, la producción y la difusión.

Una figura importante en el uso de métodos probabilísticos en la composición musical fue Iannis Xenakis ▶



La obra emblemática de **John Cage**, *Music of Changes*, fue compuesta consultando el *I Ching*, el antiguo *Libro chino de los cambios*.

kis (1922-2001), nacido en Rumanía de padres griegos. Formado como arquitecto, poseía un profundo conocimiento de las matemáticas y la geometría. Su obra orquestal *Pithoprakta* (1956) aplicaba la distribución de Maxwell-Boltzmann de la teoría cinética de los gases para controlar los movimientos de una orquesta de cuerda, tratando cada instrumento como una partícula individual sujeta a leyes estadísticas. La analogía con la física no era meramente decorativa: Xenakis sostenía que la teoría de la probabilidad y la ciencia ofrecían recursos compositivos tan legítimos y poderosos como la tradición musical heredada.

Sin embargo, todos estos enfoques implican un uso precompuesto o predeterminado de la aleatoriedad. La relación más directa y espontánea con la imprevisibilidad en la música proviene de la improvisación libre.

MÚSICA IMPROVISADA LIBRE

El *free jazz*, que surgió a principios de la década de 1960, abrió el camino a prácticas más abstractas que contribuyeron a lo que hoy se denomina improvisación libre o música improvisada libre. Entre las figuras clave en el nacimiento del *free jazz* se encuentran Ornette Coleman, cuyos álbumes *The Shape of Jazz to Come* (1959) y *Free Jazz* (1960) marcaron una ruptura decisiva con las convenciones armónicas del *bebop*, así como Cecil Taylor, Albert Ayler y Archie Shepp. En Europa, desarrollos paralelos dieron lugar a la obra de músicos como Derek Bailey, Evan Parker y Peter Brötzmann, que impulsaron la improvisación libre hacia una disolución más radical de las convenciones musicales. Lo que unía a estos artistas, por lo demás muy diferentes, era, en diversos grados, una menor dependencia de las estructuras predeterminadas y un mayor énfasis en la espontaneidad de la interpretación.

La improvisación libre puede entenderse tanto como una técnica —un modo de interpretación disponible en principio para cualquier músico de cualquier género—, como una tradición estética distinta con su propia historia, valores y practicantes. Como

“Los fonones en los sistemas cuánticos suelen vibrar a frecuencias muy alejadas del rango audible, por lo que se aplica una renormalización para traducir el espectro de fonones a la banda audible”

género reconocible, surgió en Estados Unidos y Europa a mediados y finales de la década de 1960, a partir del *free jazz*, por un lado, y de la vertiente experimental de la música clásica contemporánea por otro. Una de sus características definitorias es la relativa ausencia de estructuras predeterminadas, ya que la música se configura en tiempo real

a partir de la escucha, las decisiones y las interacciones de los intérpretes. La música se rige únicamente por la lógica interna y la inclinación inmediata de los músicos participantes en el momento de la interpretación.

La pregunta natural que surge es: ¿se puede considerar aleatoria la improvisación libre?

Desde el punto de vista empírico, los investigadores han descubierto que las interpretaciones improvisadas libremente muestran correlaciones y patrones de memoria a largo plazo que las distinguen claramente de las secuencias puramente aleatorias: la producción de un músico está determinada por su vocabulario técnico, su experiencia auditiva acumulada y su respuesta a los colaboradores. Sin embargo, la improvisación libre se resiste deliberadamente al control de planes preestablecidos, produciendo música que es genuinamente impredecible en el momento. Esto plantea una pregunta más profunda: ¿esta imprevisibilidad es solo aparente? ¿Emerge de una complejidad que escapa a nuestra capacidad para seguirla? ¿Debe entenderse de manera diferente al carácter fundamentalmente probabilístico que se atribuye a la aleatoriedad cuántica?

EL SONIDO DE LA CUÁNTICA

Una forma de abordar esta cuestión es a través de la sonificación —la representación de datos a través de sonidos no verbales— de los procesos cuánticos. Y aquí la respuesta es afirmativa: cuando el material musical deriva directamente de procesos cuánticos, su imprevisibilidad no es solo resultado de la complejidad compositiva, sino resultado de una fuente intrínsecamente aleatoria.

En el contexto de la mecánica cuántica, la sonificación puede servir para múltiples propósitos: profundizar en la comprensión intuitiva del comportamiento cuántico, sugerir nuevos enfoques para el almacenamiento de información cuántica y crear herramientas para analizar y categorizar características dentro de los sistemas cuánticos.

La sonificación de los fenómenos cuánticos sigue siendo relativamente inexplorada, y su potencial artístico y científico apenas se está empezando a cartografiar.

Nuestro proyecto de investigación interdisciplinario en el Instituto de Ciencias Fotónicas (ICFO), perteneciente al Instituto de Ciencia y Tecnología de Barcelona (BIST), comenzó con intentos de sonificar un proceso cuántico relativamente simple que exhibe aleatoriedad: la fluorescencia de resonancia de un solo átomo atrapado. En estudios posteriores, exploramos la sonificación de la evolución de la función de Wigner, una distribución cuasiprobabilística que representa los estados cuánticos en el espacio de fase, capaz de tomar valores negativos, una característica estándar del comportamiento no clásico. Más recientemente, hemos explorado la sonificación de datos de simuladores cuánticos, sistemas cuánticos controlables que imitan el comportamiento de materiales más complejos. También hemos comenzado a ampliar estos estudios a sistemas bidimensionales en el contexto de la *twistronica*, la física de dos capas de grafeno



En su obra orquestal *Pithoprakta*, **Iannis Xenakis** aplicaba la distribución de Maxwell-Boltzmann de la teoría cinética de los gases a los movimientos de una orquesta de cuerda, tratando cada instrumento como una partícula individual sujeta a leyes estadísticas.

apiladas con un pequeño ángulo de torsión relativo, lo que da lugar a una serie de fenómenos cuánticos novedosos.

Todos los métodos de sonificación descritos anteriormente comparten una limitación importante: la correspondencia entre los datos cuánticos y el sonido se elige basándose en la intuición estética y el juicio musical, sin que exista un principio físico fundamental que dicte por qué se debe preferir una correspondencia sobre otra.

SONIFICACIÓN CANÓNICA

Para el proceso, el equipo científico selecciona un sistema para el que se pueden recopilar datos precisos que describen la dinámica cuántica de las vibraciones (fonones). Los fonones en los sistemas cuánticos suelen vibrar a frecuencias muy alejadas del rango audible para el ser humano, desde sub-

Hz hasta THz, por lo que se aplica un reescalado sistemático —una renormalización— para traducir el espectro de fonones a la banda audible. En este enfoque, la correspondencia pretende seguir lo más fielmente posible los parámetros físicos del sistema, en lugar de basarse en elecciones artísticas arbitrarias; en este sentido, se describe como canónica.

El resultado es generalmente austero desde el punto

de vista acústico. En la etapa final, el equipo musical trabaja para que el resultado sea artísticamente atractivo y estéticamente rico, añadiendo estructura, textura y ornamentación, al tiempo que se preserva el carácter esencial de los datos cuánticos. En este marco, el sonido se utiliza no solo como metáfora del comportamiento cuántico, sino como una representación físicamente fundamentada de ciertos procesos dinámicos cuánticos.

La posibilidad de hacer audibles aspectos del mundo cuántico, no solo a través de metáforas o analogías, sino mediante una traducción con base física de la dinámica cuántica al sonido, ofrece una conexión particularmente sugerente entre la física cuántica y la música. Indica que la relación entre ambos ámbitos puede ser más estrecha de lo que sugeriría una comparación puramente simbólica, aunque normalmente se aborde a escalas muy diferentes y con fines muy distintos. ■

FINANCIACIÓN

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades y la Agencia Estatal de Investigación, así como por el Gobierno de España a través del Proyecto Quantum Spain. También ha recibido financiación de la Unión Europea a través de los programas NextGenerationEU, Horizon 2020 y Horizon Europe. Asimismo, ha contado con el apoyo de la Generalitat de Catalunya, las fundaciones Cellex y Mir-Puig y el Barcelona Supercomputing Center.