

# Stephon Alexander

## El jazz de la física

El vínculo secreto entre la música  
y la estructura del universo



TUSQUETS  
EDITORES

## Índice

Portada

Dedicatoria

Agradecimientos

Introducción

1. Pasos de gigante

2. Las lecciones de Leon

3. Todos los ríos llevan a la estructura cósmica

4. La belleza a juicio

5. El sueño pitagórico

6. Eno, el cosmólogo sonoro

7. Edificar sobre una frase

8. La ubicuidad de la vibración

9. Los físicos rebeldes

10. El espacio en el que vivimos

11. Agujeros negros sónicos

12. La armonía de la estructura cósmica

13. Un viaje al cerebro cuántico de Mark Turner

14. El jazz de Feynman

15. Resonancia cósmica

16. La belleza del ruido

17. El universo musical

18. Espacio interestelar

Epílogo

Notas

Créditos

Dedicado a mis padres,  
Felician y Keith, y a mi hija Kolka

## AGRADECIMIENTOS

Quiero dar especialmente las gracias a mi editor T.J. Kelleher, el mago, y a Lara Heimert. Gracias al personal de Basic Books y Perseus —Helene Barthelemy, Sandra Beris, Cassie Nelson, Liz Tzetzto— por hacer realidad este libro. Estaré eternamente agradecido a Dagny Kimberly Yousuf por ayudarme a dar forma al manuscrito original, y por toda su inspiración y apoyo desde el primer día en que comencé a escribir este libro. Gracias a Max Brockman y al personal de Brockman Inc. por ayudarme a convertir este libro en una realidad.

También quiero dar las gracias a mis amigos, familiares y colegas que me han prestado horas de inspiración, intercambio, ideas y ánimo: Rome Alexander, Steven Beckerman, Robert Caldwell, Will Calhoun, Steve Canon, Michael Casey, K.C. Cole, Ornette Coleman, Diego Cortez, François Dorias, Brian Eno, Everard Findlay, Edward Frenkel, Margaret Geller, Indradeep Ghosh, Melvin Gibbs, Marcelo Gleiser, Rebecca Goldstein, Mark Gould, Rick Granger, Daniel Grin, Sam Heydt, Chris Hull, Chris Isham, Beth Jacobs, Clifford Johnson, Brian Keating, Jaron Lanier, Yusef Lateef, Harry Lennix, Arto Lindsay, Joao Magueijo, Brandon Ogbunu, Steve Pinker, Sanjaye Ramgoolam, Erin Rioux, Tristan Smith, Lee Smolin, David Spergel, Greg Tate, Greg Thomas, Spencer Topel, Gary Weber y Eric Weinstein. Mi gratitud a Salvador Almagro-Moreno por sus brillantes diagramas a medida a lo largo del libro.

## Introducción

Se me ocurrió por intuición, y la música fue la fuerza que la impulsó. Mi descubrimiento fue el resultado de la percepción musical.

Albert Einstein (sobre cómo concibió su teoría de la relatividad)

Y valoro por encima de todo las analogías, mis maestras más fiables. Conocen todos los secretos de la naturaleza, y donde menos deberían ignorarse es en geometría.

Johannes Kepler

Los seres humanos somos especiales. *Once mil millones* de años después del nacimiento del universo, las condiciones fueron las adecuadas para que los océanos que borboteaban ricos en minerales del planeta que llamamos Tierra generaran vida: una superviviente hambrienta que muta y evoluciona. En el último suspiro de la vida en el universo, hemos aprendido a cultivar la Tierra y observar impertéritos los cielos para entender de dónde venimos.

La gente de todas las culturas se ha interrogado sobre sus orígenes y los orígenes del cosmos. ¿Qué es este espacio que nos rodea? ¿De dónde hemos venido? No cabe duda de que estas preguntas (que muchos nos hicimos de niños) siguen siendo de las más apremiantes de la ciencia. Estas cuestiones entroncan con nuestra curiosidad innata

acerca de nuestros orígenes y con los límites de nuestro conocimiento. Durante milenios sólo pudimos responderlas a base de mitos. Pero desde la revolución científica hemos procurado prescindir del mito y dejar la exploración de los orígenes de la humanidad y del universo a los científicos y sus metodologías de hechos puros y duros. Los cosmólogos modernos, aunque armados de ecuaciones complejas y experimentos de alta tecnología, pueden verse como los creadores de mitos de nuestro tiempo. A pesar de la precisión de nuestras matemáticas y nuestros experimentos, la física y la cosmología modernas han proporcionado nuevas sorpresas que llevan a algunos de los físicos más capaces a recurrir al mito para intentar explicar la pasmosa información sobre la naturaleza del universo que han desvelado.

Ha habido esfuerzos heroicos para explicar los conceptos subyacentes tras la cosmología moderna al público lego, pero es demasiado fácil que los libros no lleguen a cumplir lo que prometen. Explicar sólo con palabras temas como la relatividad general o la mecánica cuántica, para cuya comunicación natural se emplea el lenguaje matemático, es una tarea ingente. Esas ecuaciones tan complejas pueden nublar incluso a los propios físicos, quienes se las ven y se las desean para comprender plenamente o visualizar lo que dicen sus fórmulas, un hecho que pone de manifiesto la necesidad de encontrar otras maneras de conceptualizar la estructura del universo, a través de imágenes o analogías físicas claras. He descubierto que los libros que mejor han resuelto este problema de comunicación son los que recurren a las mejores analogías para reflejar la física. De hecho, el razonamiento analógico será un motor clave en este texto.

El presente libro transportará a los lectores en un viaje de primera mano por el proceso de descubrimiento en la investigación en física teórica. Veremos que, a diferencia de la estructura lógica innata de la ley física, en nuestros intentos de revelar nuevos panoramas de comprensión a menu-

do debemos adoptar un proceso irracional, ilógico, a veces plagado de errores e improvisación. Aunque tanto los músicos de jazz como los físicos deben llegar a dominar la técnica y la teoría de sus respectivas disciplinas, la innovación demanda ir más allá de lo aprendido. El poder del razonamiento analógico es clave para la innovación en física teórica. En este libro mostraré que el arte de encontrar las analogías correctas puede ayudarnos a abrir nuevos caminos para atravesar el mundo cuántico oculto hasta llegar a la vasta superestructura de nuestro universo.

En estas páginas, la música será la analogía que nos ayudará a entender buena parte de la física moderna y la cosmología, y también a desvelar algunos misterios recientes a los que se han enfrentado los físicos. Incluso mientras lo escribía, este pensamiento analógico me permitió descubrir un nuevo enfoque para un viejo problema no resuelto de la cosmología del universo primordial. Una de las preguntas principales, y una gran cuestión abierta en cosmología, es cómo surgieron las primeras estructuras de un universo recién nacido vacío y uniforme. La intrincada interacción entre las leyes fundamentales de la física para crear y sustentar la estructura global del universo, responsable de nuestra propia existencia, parece cosa de magia (algo no muy diferente de cómo el esqueleto de la teoría musical ha dado lugar a todo, desde «Estrellita dónde estás» hasta el *Interstellar Space* de Coltrane). Adoptando un enfoque interdisciplinario, inspirado por tres grandes mentes (John Coltrane, Albert Einstein y Pitágoras), podemos comenzar a vislumbrar que el comportamiento «mágico» de nuestro floreciente cosmos se basa en la música.

Hace alrededor de una década, estaba sentado solo en un oscuro café de la calle principal de Amherst, Massachusetts, preparando una presentación para un empleo en la facultad de física, cuando de pronto sentí una urgencia. En-

contré un teléfono público con una guía telefónica local y me armé de valor para llamar a Yusef Lateef, un músico de jazz legendario que acababa de retirarse del departamento de música de la Universidad de Massachusetts. Tenía algo que decirle.

Como un adicto después de un chute, mis dedos recorrieron ansiosamente las páginas en busca del número. Allí estaba. El enérgico viento del otoño de Nueva Inglaterra refrescaba mi cara mientras le llamaba. A riesgo de importunarle, dejé que el teléfono sonara durante un buen rato.

—¿Diga? —contestó finalmente una voz masculina.

—Hola, ¿está el profesor Lateef? —pregunté.

—No, no está —dijo la voz lacónicamente.

—Podría dejarle un mensaje sobre el diagrama que John Coltrane le dio como regalo de cumpleaños en el año 61? Creo que he averiguado lo que significa.

Hubo una larga pausa.

—Soy yo el profesor.

Hablamos durante cerca de dos horas sobre el diagrama que aparecía en su aclamado libro *Repository of Scales and Melodic Patterns*, que es la compilación de una miríada de escalas musicales de Europa, Asia, África y el resto del mundo.<sup>1</sup> Le transmití mi impresión de que el diagrama tenía que ver con otro campo de estudio sin ninguna relación aparente: la gravedad cuántica (una grandiosa teoría que pretendía unificar la mecánica cuántica y la teoría de la relatividad general de Einstein). Había advertido, le dije a Lateef, que el mismo principio geométrico que motivaba la teoría de Einstein se reflejaba en el diagrama de Coltrane. Einstein era uno de mis héroes, como también lo eran Coltrane y Lateef.

El profesor Lateef compartió conmigo una información importante, y es que el diagrama representaba ciclos de cuartas y quintas. Él también tenía un interés profundo en la filosofía y la física y me inculcó su concepto de música autofisiopsíquica: música que emana del yo físico, mental y

espiritual.<sup>2</sup> Este concepto tendría un impacto trascendental en mi investigación subsiguiente de la relación entre la música y el cosmos. Lateef me animó y defendió mi idea de que había una conexión profunda entre la música y la estructura del universo. Aquel día, como una imagen estereoscópica que se enfoca, mis vidas paralelas en la física y en el jazz se fundieron ante mis ojos, creando una nueva dimensión.

Coltrane sentía fascinación por Einstein y sus ideas. Einstein es famoso por el que quizá sea su mayor don: la capacidad de trascender las limitaciones de las matemáticas mediante la intuición física. Improvisaba recurriendo a *Gedankenexperimente* (experimentos mentales, en alemán) que le proporcionaban una imagen mental del resultado de experimentos irrealizables. Por ejemplo, Einstein imaginó qué se sentiría cabalgando un rayo de luz. Hace falta intuición para conseguir esto. También solía recurrir a la música. Aunque es un hecho poco conocido, Einstein tocaba el piano. Elsa, su segunda mujer, contó que «la música le ayuda cuando está pensando en sus teorías. Se va a su estudio, vuelve, toca unos cuantos acordes en el piano, anota algo y vuelve a su estudio». Por un lado, Einstein aplicaba el rigor matemático, y por otro la creatividad y la intuición. Era un *improvisador* por naturaleza, igual que su héroe Mozart. Como dijo una vez: «La música de Mozart es tan pura y bella que la contemplo como un reflejo de la belleza intrínseca del universo».

Lo que me hizo ver el mandala de Coltrane fue que la improvisación es una característica tanto de la música como de la física. Como hacía Einstein con sus experimentos mentales, algunos improvisadores de jazz construyen pautas y formas mentales cuando ejecutan sus solos. Sospecho que era el caso de Coltrane.

John Coltrane falleció en 1967, dos años después de que Arno Penzias y Robert Wilson descubrieran el fondo de microondas cósmico, una reliquia del propio big bang. Este

descubrimiento demolió la idea de un universo estático y confirmó la expansión predicha por la teoría de la gravedad de Einstein. Entre los últimos discos de Coltrane estaban estos tres títulos: *Stellar Regions* [Regiones estelares], *Interstellar Space* [Espacio interestelar] y *Cosmic Sound* [Sonido cósmico]. Coltrane jugaba con la física en su música y, por increíble que parezca, comprendió correctamente que la expansión cósmica es una forma de antigravedad. En los conjuntos de jazz, la fuerza «gravitatoria» emana de la sección rítmica: el bajo y la batería. Los temas de *Interstellar Space* son una majestuosa exhibición de los solos expandidos de Coltrane liberándose de la atracción gravitatoria de la sección rítmica. Fue un innovador en la música, con la física en la yema de los dedos. No obstante, aquello no era nuevo. Estaban volviendo a representar la conexión entre música y física establecida milenios antes, cuando Pitágoras —el Coltrane de su tiempo— desveló por primera vez la matemática de la música. La filosofía de Pitágoras se sintetizaba en que «el número lo es todo», y la música y el cosmos no eran más que manifestaciones de este principio. En la matemática de las órbitas planetarias sonaba «la música de las esferas», con una armonía constituida por los tonos de una cuerda vibrante.

Siguiendo los pasos de Coltrane y Einstein, en este libro nosotros también revisitaremos el mundo antiguo donde la música, la física y el cosmos eran una sola cosa. Veremos que Pitágoras y otros empezaron a comprender el sonido, y cómo sus ideas y prácticas, en las mentes de grandes pensadores como Kepler y Newton, se desarrollaron en nuestra actual comprensión de la dinámica de cuerdas y ondas. Veinticinco siglos después, los autores de la teoría de cuerdas están atareados investigando cómo emplear cuerdas fundamentales para unificar las cuatro fuerzas de la naturaleza. Pero ¿cuántos de ellos recuerdan o reconocen

la importancia de que una de las ecuaciones centrales de su teoría, la ecuación de onda, hunde sus raíces en la búsqueda de la conexión universal con la música?

Este libro también es un ejercicio sobre la potencia de las analogías. Al reconectar las disciplinas de la física y la música a través de la analogía, podemos comenzar a entender la física a través del sonido. Veremos que la armonía y la resonancia son fenómenos universales que pueden servir para explicar la dinámica del universo primordial. Descubriremos que un cúmulo de datos cosmológicos revela que hace alrededor de 14.000 millones de años un conjunto relativamente simple de pautas sonoras dio lugar a estructuras como las galaxias y los cúmulos de galaxias, lo que en última instancia permitió la formación de planetas y la aparición de la vida misma.

También consideraremos los orígenes cuánticos de la vida. En casi todas las músicas, la gama de tonos en una escala se limita a vibraciones discretas. El dominio subatómico también está constituido por paquetes discretos, conocidos como cuantos (de ahí el nombre de mecánica cuántica). Tras la reciente confirmación de la existencia del bosón de Higgs en el Gran Colisionador de Hadrones, ha quedado verificado que el paradigma subyacente tras buena parte de la realidad física es la teoría cuántica de campos. Éste es un dominio de la física matemáticamente intimidante. Por fortuna para nosotros, puede entenderse bastante en los términos de los elementos de la música. Por ejemplo, las rupturas de simetrías cuánticas son vitales para la generación de nuestras fuerzas y partículas fundamentales, del mismo modo que las rupturas de simetría en las estructuras musicales, como una escala en modo mayor, crean un sentido de resolución composicional. La improvisación nos ayudará en nuestra exploración, proporcionándonos una herramienta para entender la estrafalaria dinámica del mundo

cuántico, sus incertidumbres inherentes y la idea de que cada resultado es de hecho la suma de todos los resultados posibles.

*Figura Int. 1.* El diagrama que John Coltrane le dio a Yusef Lateef como regalo de cumpleaños en 1961. Ayesha Lateef. (Prohibida cualquier otra reproducción de esta imagen.)

Junto con las matemáticas, he aprendido que una de las herramientas más poderosas a la hora de desvelar los secretos de las ciencias teóricas consiste en simplificar el sistema y tomar prestada una analogía de una disciplina que a primera vista no parece guardar ninguna relación. En los límites de estas analogías, donde se requiere más investigación, es donde encontramos nuevas vías de descubrimiento. Es como el salto interdisciplinario de la orilla de la ignorancia a la orilla del conocimiento, mientras el ancho río de la vida sigue discurriendo.

Si bien la física ha alcanzado un éxito sin precedentes en el desentrañamiento de los secretos de la naturaleza, desde las más pequeñas hasta las mayores distancias imaginables, no es ningún secreto que la disciplina se encuentra en un estado de crisis. Los físicos están atascados con problemas fundamentales, como el aparente «ajuste fino» del universo, un ejemplo del cual es el delicado ajuste de las intensidades relativas de las cuatro fuerzas de la naturaleza que son relevantes para la vida basada en el carbono. Quiero promover la idea de que la física puede entrar en una nueva era más abarcadora e interdisciplinaria: una física improvisativa. Basada en las analogías cruzadas, la física improvisativa empuja las fronteras disciplinarias hasta los límites de la analogía.

Éste es mi viaje. Cuando era un adolescente, hijo de un taxista neoyorquino originario de Trinidad, me enamoré perdidamente de un libro titulado *The Privilege of Being a Physicist* [El privilegio de ser físico], de Victor Weisskopf. Mi familia esperaba que el objeto de mi deseo fuera la música. «Hay dos cosas que hacen que la vida valga la pena», decía el autor del libro y premio Nobel Victor Weisskopf, «Mozart y la mecánica cuántica». Mozart me encantaba, pero de mecánica cuántica no sabía nada. Aquello resultó ser el comienzo de una larga historia de amor que se convertiría en mi futuro y luego incluiría también la cosmología y John Coltrane, que acabarían situándose en el corazón de esta pasión. Pero convertirme en físico me ha llevado por derroteros que ni siquiera aquellos nombres podrían haber predicho. Para llegar a ser un físico teórico profesional he recorrido un camino no convencional de fusión del jazz y la física. Esto sólo ha sido posible porque a lo largo de los últimos veinte años he contado con muchos profesores y amigos que me han dado fuerza, y con mentores de la talla del premio Nobel Leon Cooper, pionero de la superconductividad y amante de la música, además de músicos con pasión por la física, como Ornette Coleman y Brian Eno. Ellos me enseñaron la importancia del pensamiento interdisciplinario y del uso de las analogías para expandir las fronteras del conocimiento.

Conocer a estas figuras influyentes es parte del viaje. Sacar partido de los compases y ritmos de la teoría musical es parte del viaje. Seguir la evolución de la estructura de nuestro universo es parte del viaje. Crear una analogía entre la física y la música es parte del viaje. No disponer de una analogía adecuada y necesitar cálculos rigurosos para aclarar las cosas es parte del viaje.

*Cómo leer este libro*

Vamos a explorar una buena cantidad de física moderna, cosmología relativista y teoría musical, pero todo ello no requiere un conocimiento previo de estos campos; todo está autocontenido. A lo largo de los años he descubierto que aprender a través de narraciones es un recurso ameno y efectivo para transmitir ideas complejas en física, y en este libro hay muchas narraciones que contienen conceptos profundos. De vez en cuando aparecerán algunas ecuaciones bonitas, pero no es necesario entenderlas para captar la idea. Si alguna ecuación no se entiende, recomiendo saltársela y seguir leyendo. Por propia experiencia sé que, una vez se tiene una comprensión cualitativa de un concepto, es más fácil entender la ecuación en retrospectiva. No obstante, las ecuaciones de este libro se derivarán y explicarán con palabras.

Te invito, lector o lectora, a un baile donde la física y la música danzan juntas. Te invito a investigar y hacerte preguntas conmigo. Te invito a tomar en serio la analogía musical y preguntarte si podemos aprender algo nuevo sobre el universo a través de ella. Improvisemos.

## 1

## Pasos de gigante

La música es el placer que experimenta la mente humana de contar sin ser consciente de que está contando.

Gottfried Leibniz

En un soleado día de verano, Ruby Farley —«Mam» para sus nietos— estaba sentada en su mecedora, con un floreado pañuelo caribeño liado en la cabeza. Los otros niños estaban jugando al béisbol delante de su casa de piedra arenisca en el Bronx. Con su melodioso acento de Trinidad, Mam gritó: «Ah, no importa que tengas que sentarte a practicar con el piano durante horas, no te irás hasta que aprendas esa canción». A su nieto de ocho años le resultaba difícil colocar los dedos correctamente sobre las teclas. Estaba a punto de romper a llorar porque la única música que podía oír eran los alegres sonidos de sus amigos jugando fuera. Entonces la expresión adusta de la abuela se ablandó. Sonrió y canturreó para sí misma: «Ah, puedo ver el nombre de mi nieto escrito con luces en Broadway». Había ahorrado dinero trabajando como ayudante de enfermería en el Bronx durante treinta años con la esperanza de que yo llegara a ser concertista de piano, pero nunca me convertí en el pianista de sus sueños.

Ruby Farley, la madre de mi padre, creció en Trinidad en los años cuarenta, cuando la isla aún era colonia británica, y emigró a Nueva York en los sesenta. En aquel tiempo había un dinámico intercambio musical entre el Caribe y